

Nanobeschichtete Schablone mit Anti-Haft-Wirkung

Von Carmina Lüntzsch, LaserJob GmbH, Grafrath, und Dipl.-Ing. Michael Rösch, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Bei der Verwendung nanobeschichteter Druckschablonen werden sowohl das Zusetzen feiner Aperturen als auch das Auftreten von Lotpastenrückständen auf der Schablonenunterseite bei zunehmender Druckanzahl erheblich reduziert, wie umfangreiche Untersuchungen beweisen. Durch die Nanobeschichtung wird das Auslöseverhältnis der Paste optimiert und die Flächenverhältnisse und Aspektverhältnisse deutlich verbessert.

Einleitung

Gestiegene Qualitätsanforderungen und der Kostendruck in der Flachbaugruppenfertigung zwingen die Unternehmen dazu, alle Produktionsschritte (Qualitätskosten – Materialkosten – Prozesskosten) nach ganzheitlichen Gesichtspunkten zu optimieren. Die Lotpasten namhafter internationaler Anbieter und die Schablonendruckautomaten haben ein hohes Qualitätsniveau erreicht. Bei der Schablonentechnologie gibt es noch Verbesserungspotentiale, da bei herkömmlichen Produktionstechnologien das Auslöseverhalten der Pasten und die Verschmutzung der Schablonenunterseite nicht optimiert sind.

Die Qualität und Zuverlässigkeit der Lötverbindungen wird stark von einer gleichmäßigen Lotpastenmenge beeinflusst. Die Anti-Haft-Schicht von *LaserJob* erlaubt ein konstantes Auslöseverhalten und das gefürchtete „Clocking“ – das langsame Zusetzen der Schablone – wird verhindert. Die hydrophoben Eigenschaften der Anti-Haft-Beschichtung beruhen auf nanoskalierten, funktionell modifizierten anorganischen Partikeln in den Schablonenöffnungen und auf der Schablonenunterseite. Auf diese Weise wird die Verschmutzung der Schablone signifikant reduziert.

Nach dem heutigen Stand der Technik werden in der SMD-Technologie hauptsächlich drei verschiedene Schablonentypen eingesetzt:

1. lasergeschnittene Edelstahlschablone

Dabei werden die Aperturöffnungen mit Hilfe eines gepulsten Lasers in das Schablonenmaterial geschnitten. Die dabei entstehenden leicht konischen Öffnungen erleichtern das Auslösen der Paste aus den Schablonenöffnungen. Vorteil: hochgenaue Aperturöffnungen mit einer Padge-

naugigkeit von $\pm 3 \mu\text{m}$ und einer Positionsgenauigkeit von $\pm 10 \mu\text{m}$.

In einem anschließenden Nachbearbeitungsprozess werden die Schablonenunterseiten gebürstet, um den entstandenen Schneidgrat zu entfernen, die Aperturöffnungsflächen bleiben dadurch unverändert erhalten. Alternativ dazu können die Edelstahlschablonen einem elektrochemischen Nachbearbeitungsschritt unterzogen werden, bei dem neben der Entfernung des Schneidgrates auch die Aperturöffnungsflächen und die Blechdicke beeinflusst werden.

2. galvanogeformte Nickel Schablone (electroformed stencil, e-form)

Dabei wird ein leitfähiger, flächiger Träger mit Fotolack beschichtet. Filmtechnisch wird diese Schicht mittels Fotomaske der SMD-Lands der Leiterplatte belichtet. Nach fototechnischer Entwicklung und einem Spülvorgang verbleiben die späteren Öffnungen der Schablone als isolierendes Material auf dem Träger. In einem galvanischen Prozess wird Nickel an den freien Stellen der Oberfläche des leitfähigen Trägers abgeschieden. Anschließend wird die Schablone vom Träger getrennt. Die galvanogeformte Schablone zeichnet sich durch glatte Wandstrukturen aus. Nachteil: erhöhte Kosten, geringere Genauigkeit

3. geätzte Schablone

Sie stellt das älteste Verfahren zur Herstellung von Schablonen für die SMD-Technologie dar. Es werden wie beim Siebdruck photosensible Lacke eingesetzt, bei denen die unbelichteten Bereiche (Aperturen) herausgeätzt werden. Die entstehende Ätzlippe in den Aperturen wirkt sich negativ auf das Auslöseverhalten der Paste aus. Deshalb werden heutzutage hauptsächlich lasergeschnit-

tene Edelstahlschablonen oder galvanogeformte Nickelschablonen eingesetzt.

Eine Weltneuheit stellt die lasergeschnittene und nanobeschichtete Edelstahlschablone dar. Durch die Nanobeschichtung, die auf die Unterseite der Schablone und in den Aperturwandungen aufgebracht wird, wird das Auslöseverhältnis der Paste weiter optimiert und die Flächenverhältnisse und Aspektverhältnisse deutlich verbessert.

Verfahrensbeschreibung der Nanobeschichtung

In einer speziellen Beschichtungsanlage wird nach dem Bürstvorgang auf der Schablone mit einem besonders umweltfreundlichen Lösungsmittel eine anorganische Beschichtung exakt dosiert aufgebracht. Danach wird in einem Temperaturprozess das Lösemittel entfernt und anschließend die entstehende anorganische Schicht einem mehrstufigen Polymerisationsprozess unterworfen. Gleichzeitig wird eine Reaktion mit einem organischen Medium durchgeführt, um die hydrophoben Anti-Haft-Eigenschaften zu erzielen.

Überprüfung der Anti-Haft-Eigenschaften

Die Anti-Haft-Eigenschaften korrelieren mit den Oberflächenspannungen der beschichteten Schablone. Die Oberflächenspannung fester Werkstoffe wird durch den Kontaktwinkel einer Messflüssigkeit mit dem Werkstoff definiert. Als Kontaktwinkel wird der Winkel bezeichnet, der ein Flüssigkeitstropfen auf der Oberfläche eines Feststoffs zu dieser Oberfläche bildet (Abb. 1).

Die Größe des Kontaktwinkels zwischen Flüssigkeit und Feststoff hängt ab von den Oberflächen-

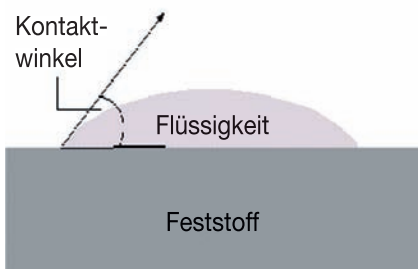


Abb. 1: Definition des Kontaktwinkels

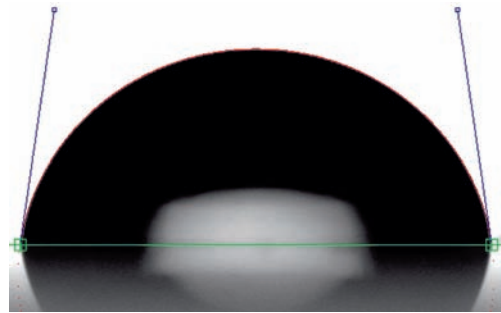


Abb. 2: Beispiel eines hohen Kontaktwinkels

spannungen der flüssigen und festen Phase. Wie man an Abb. 2 erkennen kann, beschreibt ein hoher Kontaktwinkel die Anti-Haft-Eigenschaft. Dagegen beschreibt ein niedriger Kontaktwinkel gute Benetzung und damit gute Hafteigenschaften.

Deshalb ist die klassische Messung mit der Tropfenmethode eine geeignete Methode der Qualitätssicherung [1]. Die Messung des Kontaktwinkels erfolgt rechnergesteuert mit hoher Genauigkeit und hoher Wiederholgenauigkeit (Abb. 3).

Diese Methode eignet sich auch dazu, die Stabilität der Beschichtung gegenüber handelsüblichen Schablonenreinigern zu überprüfen.

Für die grundsätzliche Qualitätsüberprüfung der Nanobeschichtung wurden Aufnahmen am Rasterelektronenmikroskop erstellt, um die Homogenität der Beschichtung sowohl in den Aperturöff-



Abb. 3: Rechnergesteuertes Kontaktwinkelmessgerät „Mobile Drop“ [1]

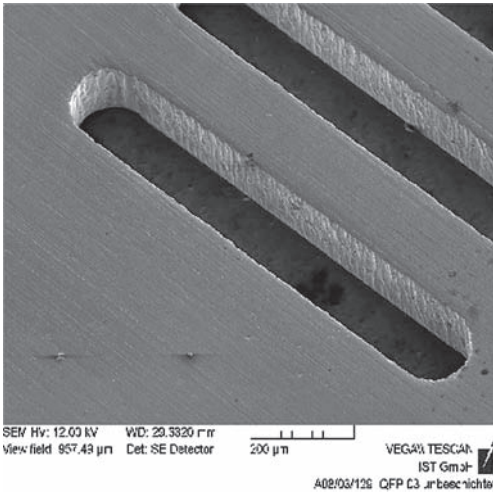


Abb. 4: Lasergeschchnittene Edelstahlschablone

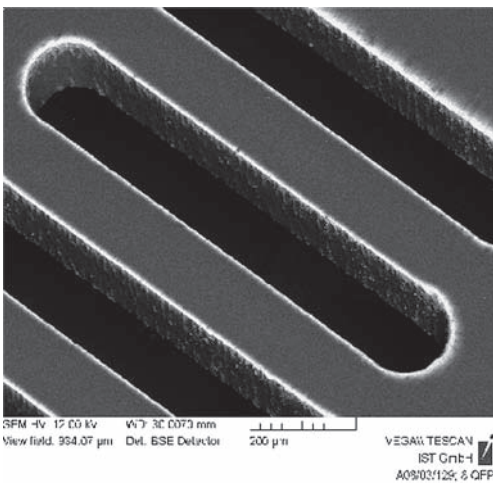


Abb. 5: Nanobeschichtete Edelstahlschablone

nungen, als auch auf der Unterseite der Schablone nachzuweisen. Als Vergleich dazu wurde eine REM Aufnahme von einer QFP-Apertur bei einer lasergeschrittenen Edelstahlschablone und einer nanobeschichteten Edelstahlschablone gemacht (Abb. 4 und 5). Durch energiedispersive Röntgenstrahlung (EDX) wurde eine homogene Verteilung der Nanobeschichtung in den Aperturwänden (Rastermaß QFP: 0,3 mm) von der Unterseite bis zur Aperturoberseite nachgewiesen (Abb. 6 und 7).

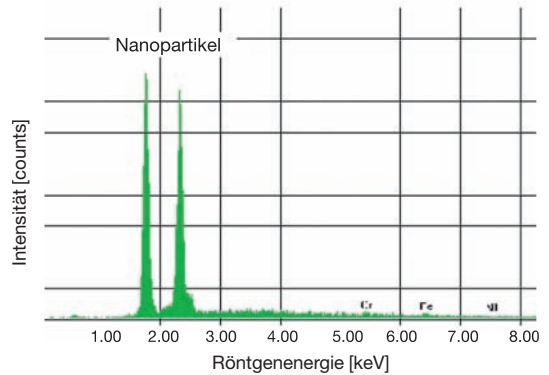


Abb. 6: EDX-Aufnahme der Aperturwand (Abb. 5) – Leiterplattenseite

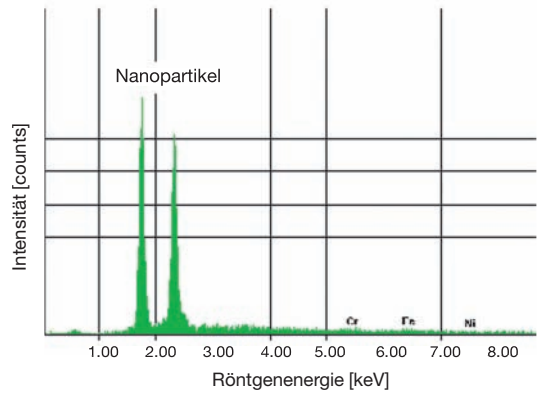


Abb. 7: EDX-Aufnahme der Aperturwand (Abb. 5) – Rakelseite

Eigenschaften der Beschichtung

Die nanobeschichtete Schablone von *LaserJob* ist eine Kombination eines organischen Materials mit anorganischem Medium. Dabei werden die hohe Beständigkeit anorganischer Schichten und die Anti-Haft-Eigenschaft des organischen Materials vereint. Neben dem deutlich verbesserten Auslöseverhalten der Lotpaste, muss besonders auf die easy-to-clean-Oberfläche hingewiesen werden. Diese Eigenschaft bleibt auch nach über 200 Waschzyklen mit handelsüblichen Reinigern erhalten. Eine deutliche Einsparung an Reinigungsmaterial und eine Steigerung der Produktivität des Schablonendruckers sind die betriebswirtschaftlichen Vor-

teile. Umfangreiche Untersuchungen beim Kunden vor Ort haben gezeigt, dass 50 Drucke ohne Schablonenunterseitenreinigung sicher realisiert werden können. Mit den nachfolgenden Untersuchungen am Lehrstuhl *FAPS* von *Prof. Feldmann* werden die auch in der Praxis bestätigten Druckergebnisse ausführlich beschrieben.

Druckeigenschaften der nanobeschichteten SMT-Druckschablone

Im Rahmen umfangreicher Untersuchungen wurden die Druckeigenschaften nanobeschichteter SMT-Druckschablonen und alternativer Schablonentechnologien hinsichtlich ihrer Verschmutzungsneigung analysiert. Die Verschmutzungsneigung von SMT-Druckschablonen stellt ein wesentliches Kriterium dar, um alternative Schablonentechnologien technologisch-wirtschaftlich zu bewerten. So führt eine geringere Verschmutzungsneigung einerseits zu einer Erhöhung der Fertigungseffizienz des Schablonendrucks, da die eingesetzte Druckschablone seltener gereinigt werden muss. Andererseits wird die Prozessfähigkeit des Druckprozesses erhöht, da das Anhaften von Lotpaste auf der Schablonenunterseite und in den Aperturen verringert wird und somit volumenkonstante Pastendepots über eine Vielzahl von Druckzyklen erzeugt werden können.

Neben der nanobeschichteten Druckschablone (Schablonentyp *D*) kamen eine lasergeschnittene Edelstahlschablone mit mechanischer Nachbearbeitung (Schablonentyp *A*), eine lasergeschnittene Edelstahlschablone mit elektrochemischer Nachbearbeitung (Schablonentyp *B*) und eine galvanisch aufgebaute Nickelschablone (Schablonentyp *C*) zum Einsatz. Die Druckversuche wurden mit einer SAC-Lotpaste vom Typ 3 und 127 µm dicken Schablonen durchgeführt. Auf eine Reinigung der Schablonenunterseite nach den einzelnen Druckzyklen wurde bewusst verzichtet, um die Verschmutzungsneigung der einzelnen Schablonentypen darstellen zu können.

Bereits nach dem 5. Druck zeigten sich signifikante Unterschiede bei der Verwendung einer nanobeschichteten Druckschablone im Vergleich zu den alternativen Schablonentechnologien. Die in *Abb. 8* dargestellten Durchlichtaufnahmen der einzelnen

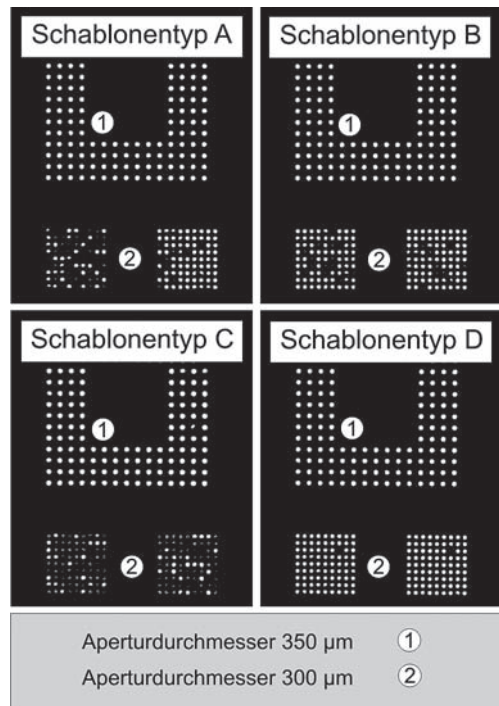


Abb. 8: Durchlichtaufnahmen der einzelnen Schablonentypen nach dem 5. Druck

Schablonentypen nach dem 5. Druck zeigen BGA-Strukturen mit Aperturdurchmessern von 350 µm und 300 µm. Während es bei den Schablonentypen *A*, *B* und *C* bereits partiell zu einem Zusetzen der Aperturen mit 300 µm Durchmesser gekommen ist, zeigt die nanobeschichtete Druckschablone (Schablonentyp *D*) diese Erscheinung nicht.

Das partielle Zusetzen der Schablonenaperturen mit 300 µm Durchmesser spiegelt sich auch in der transferierten Lotpastenmenge wider, welche im 5. Druckzyklus auf die Leiterplatte aufgetragen wurde. So konnte unter Verwendung der nanobeschichteten Druckschablone im Vergleich zu den alternativen Schablonentechnologien ein im Mittel um 6 % bis 18 % höherer Lotpastentransfer in Bezug auf das Nominalvolumen identifiziert werden.

Neben dem Zusetzen sehr feiner Aperturen mit zunehmender Druckanzahl unterscheidet sich die Verschmutzungsneigung der eingesetzten Schablonen auch im Hinblick auf Lotpastenrückstände,

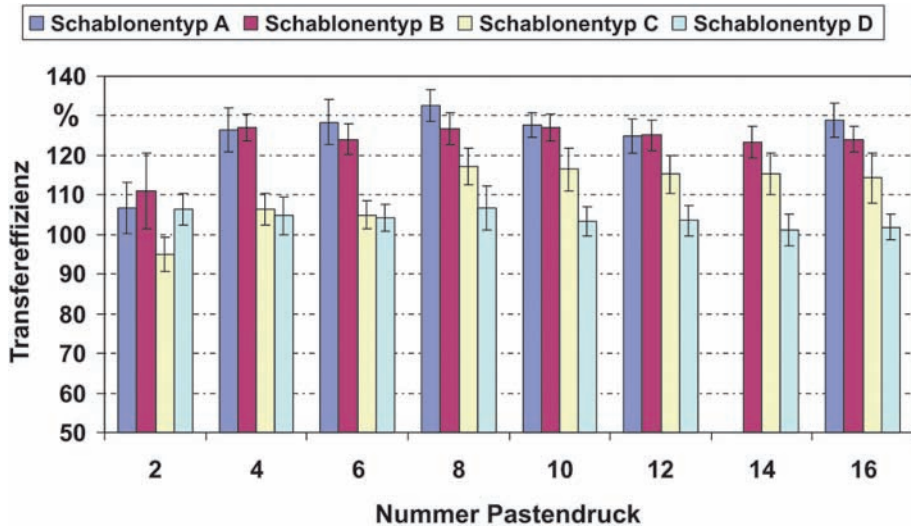


Abb. 9: Transfereffizienz der eingesetzten Druckschablonen für QFP-Strukturen mit 400 µm Rastermaß in Abhängigkeit der Druckanzahl

die nach dem Abheben der Schablone von der Leiterplatte auf der Schablonenunterseite verbleiben. Diese Rückstände führen dazu, dass QFP-Strukturen im Fine Pitch-Bereich (Rastermaß 400 µm und 300 µm) mit zunehmender Druckanzahl nicht mehr fehlerfrei gedruckt werden können. Während QFP-Strukturen mit einem Rastermaß von 400 µm unter Verwendung der nanobeschichteten Druckschablone über 25 Drucke problemlos druckbar waren, zeigte sich bei den alternativen Druckschablonen der Fehler Brückenbildung im Druckbild bereits nach dem 5. bzw. 6. Druck [2].

Die auftretende Brückenbildung bei den Schablontypen A, B und C hat ihre Ursache in der zunehmenden Verschmutzung der Schablonenunterseite mit Lotpastenrückständen. Diese Rückstände führen dazu, dass die Leiterplatte nicht mehr vollflächig unter die Druckschablone positioniert werden kann. Der resultierende Spalt zwischen Leiterplatte und Schablone fördert ein Überdrucken der entsprechenden Pastendepots – mit der Folge, dass mit zunehmender Druckanzahl das transferierte Pastenvolumen stark ansteigt. Die Darstellung der Transfereffizienz der eingesetzten Druckschablonen bei zunehmender Druckanzahl belegt dies eindeutig. Während die transferierten Pastenvolumen unter Verwendung der nanobeschichteten Druckschablone

relativ konstant bleiben, kann bei den Schablontypen A, B und C ein Ansteigen der transferierten Pastenmengen auf bis zu 130 % in Bezug auf das Nominalvolumen identifiziert werden (Abb. 9).

Neben dem Anstieg der transferierten Pastenmengen führt die Überdruckung ebenfalls zu einer Verbreiterung der gedruckten Pastendepots. Dies ist vor allem bei Fine Pitch-Bauelementen als äußerst kritisch zu bewerten, da dadurch die Brückenbildung im Druckprozess wesentlich gefördert wird. Dieser Sachverhalt wird in Abb. 10 veranschaulicht. Während sich die gedruckten Pastendepots einer QFP-Struktur (Rastermaß 400 µm) nach dem 2. und 10. Druck für Schablontyp D kaum unterscheiden (Abb. 10 unten), kommt es bei Schablontyp A zu einem Anstieg von Depotbreite und Depothöhe (Abb. 10 oben). Das bei Schablontyp A beobachtete Verhalten stellt sich für die Schablontypen B und C identisch dar.

Sowohl das Zusetzen feiner Aperturen als auch das Auftreten von Lotpastenrückständen auf der Schablonenunterseite bei zunehmender Druckanzahl werden durch den Einsatz nanobeschichteter Druckschablonen erheblich reduziert. Ursächlich hierfür ist die verminderte Adhäsionskraft zwischen Lotpaste und Schablone, die durch das Aufbringen der Nanobeschichtung erzielt werden kann.

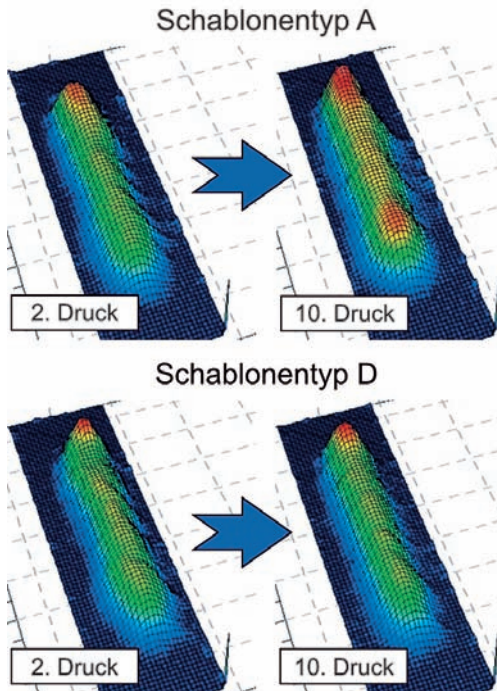


Abb. 10: Verbreiterung der gedruckten Pastendepots mit zunehmender Druckanzahl für QFP-Strukturen mit 400 µm Rastermaß

Durchgeführte Kontaktwinkelmessungen auf den Unterseiten der eingesetzten Schablonen zeigen, dass nanobeschichtete Druckschablonen im Vergleich zu alternativen Schablonen wesentlich größere Kontaktwinkel aufweisen. Die Adhäsionskraft zwischen Lotpaste und Schablone, die maßgeblich für das Zusetzen der Aperturen und das Auftreten von Lotpastenrückständen auf der Schablonenunterseite verantwortlich ist, stellt sich folglich für die nanobeschichtete Druckschablone am geringsten dar. Durch den Einsatz nanobeschichteter SMT-Druckschablonen wird somit eine weitere technologisch-wirtschaftliche Optimierung des Pastendruckprozesses ermöglicht.

Literaturverzeichnis

- [1] Kontaktwinkelmessung, www.kruss.de
- [2] M. Rösch, D. Kozic, F. Feldmann: „Qualifizierung des Schablonendrucks unter Verwendung nanobeschichteter SMT-Druckschablonen“, PLUS 11/2007, S. 2175-2179, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau

Kontaktadressen

Carmina Läntzsch, LaserJob GmbH, Bahnhofstr. 21a, 82284 Grafrath, Tel. 08144/9306-28, Fax -40, Carmina.Laentzsch@laserjob.de, www.laserjob.de

Dipl.-Ing. Michael Rösch, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Universität Erlangen-Nürnberg, Nordostpark 91, 90411 Nürnberg, Tel. 0911/58058-21, Fax 0911/58058-30, roesch@faps.uni-erlangen.de, www.faps.de