



FEUCHTE IN LEITERPLATTEN  
ENTWICKLUNG EINES EFFIZIENTEN  
TROCKNUNGSPROZESSES

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

# AGENDA

## Feuchte in Leiterplatten – Entwicklung eines effizienten Trocknungsprozesses

1. Wann ist Feuchte in Leiterplatten kritisch?
  - Thermische Belastungen
  - Fehlerbilder
2. Dokumente in der Kundenkommunikation
3. Feuchtegehalt – ein Gleichgewicht
4. Feuchtegehalt – Einflussfaktoren
5. Trocknen – aber wie?
  - Ofentechnologien und Trocknungszeit
  - Entwicklung eines effizienten Trocknungsprozesses
6. Und die Logistik?
7. Trocknen und Lötbarkeit
8. Weiterführende Literatur



**Andreas Schilpp**  
Technisches Marketing



# WANN IST FEUCHTE KRITISCH?

Feuchte und thermische Belastungen gleichzeitig

## Auswirkungen auf das PCB-Material

- Feuchte führt zur Quellung von Polymeren
- Feuchte reduziert Haftungskräfte an Grenzschichten, beispielsweise durch Hydrolyse
- „Feuchte reduziert die kritische Bruchzähigkeit“ und das E-Modul von Polymeren → Rissausbreitung wird begünstigt

(siehe Fraunhofer IZM, Dr. Hans Walter, Einfluss von Feuchte und Temperatur auf die Zuverlässigkeit von Packaging Materialien, 14. Europäisches Elektroniktechnologie-Kolleg, März 2011)

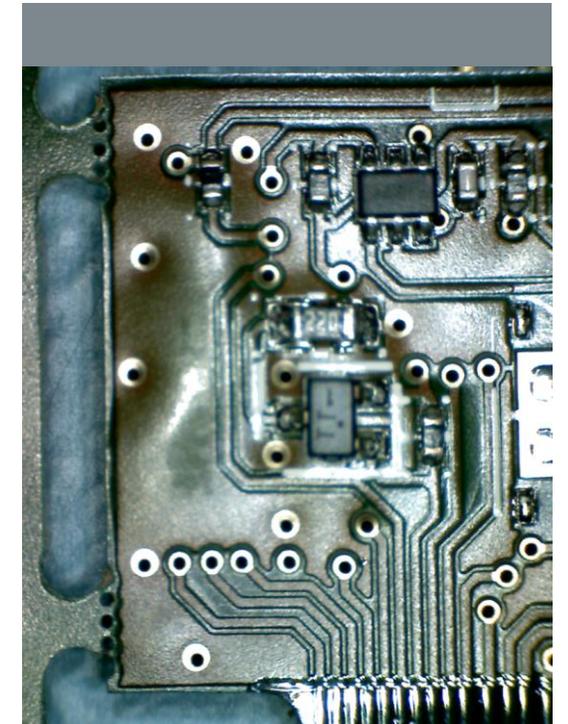
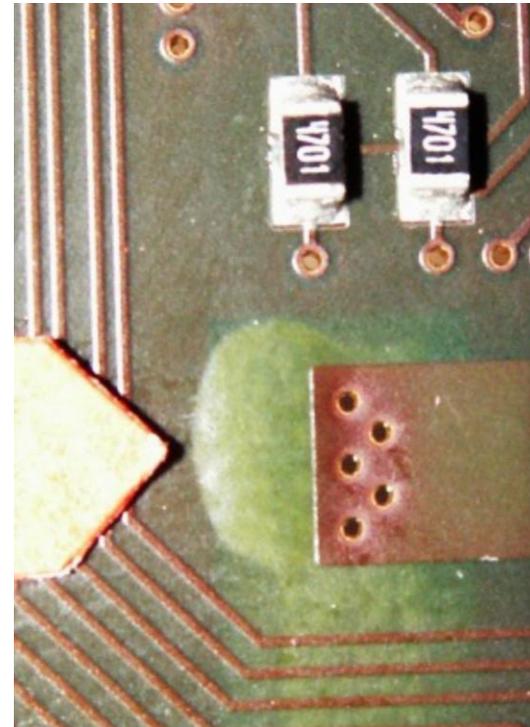
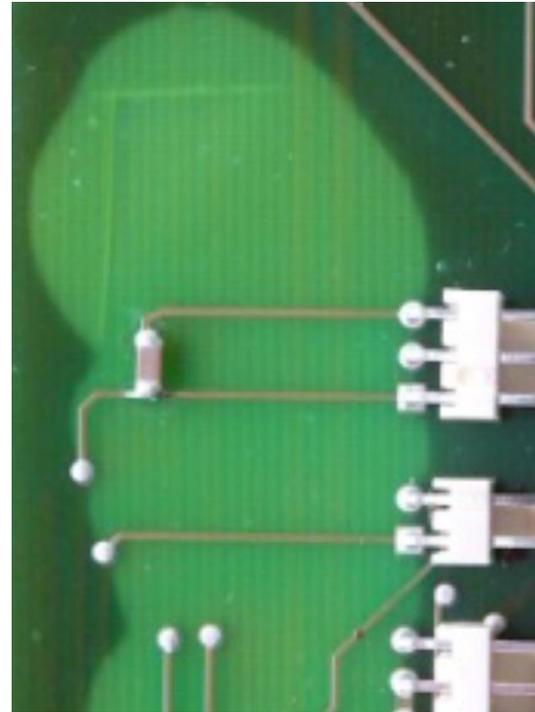
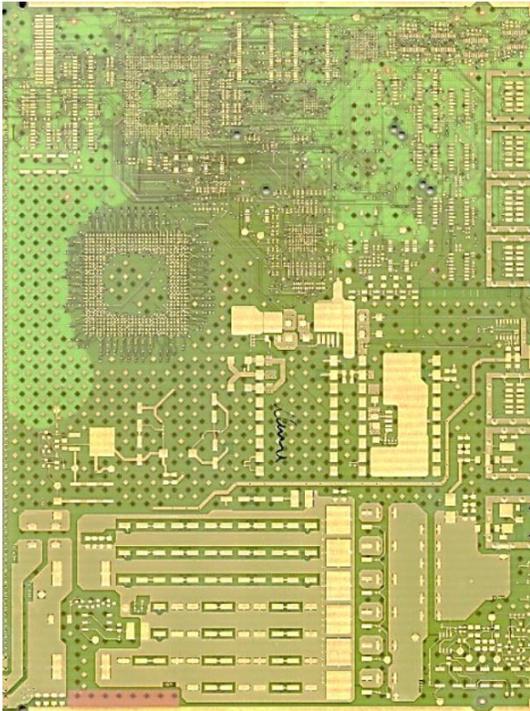
## Thermische Belastungen einer Leiterplatte

- Trocknungsprozesse
- Vorwärmen vor dem Lötprozess
- Kleberaushärtung bei 2-seitig SMD-Bestückung
- Wellenlöten
- Reflowlöten
- Selektivlöten
- Nacharbeit (eventuell **Handlötung!**)
- Reparaturlöten (eventuell **Handlötung!**)

# WANN IST FEUCHTE KRITISCH?

Typische Fehlerbilder nach dem Löten

- Helle Stellen großflächig
- Blasen ohne Kupfer
- Blasen mit Kupfer
- Blasen unter Kupfer



# KURZUMFRAGE

Multiple-Choice

Wann sind Leiterplatten vollständig trocken?

- Vor dem Waschprozess vor E-Test
- Bei Lieferung
- Bei Entnahme aus dem Lager
- Nach dem Reflow-Prozess
- Nie



# DOKUMENTE IN DER KUNDENKOMMUNIKATION

## ZVEI-Richtwerte/Empfehlungen

- „Trocknen von Leiterplatten vor Löten“

- „Lagerbedingungen für unbestückte Leiterplatten“

### Richtwerte/ Empfehlung „Trocknen von Leiterplatten vor Löten“



(Parametersetzung obliegt anwenderspezifischem Verarbeitungsprozess)

#### Zielstellung:

- Trocknung = Verminderung Feuchtigkeit im Basismaterial vor Lötverfahren
- Vorbeugung Delamination durch thermische Beanspruchung nach Feuchteaufnahme

#### Methoden:

- Trocknung durch Konvektion bzw. in Vakuumtrockenofen
- Parameter\* in Abhängigkeit von Materialtyp, Löttoberfläche, Lagenanzahl, Zeitspanne bis Löten, Layout (Cu-Flächen)

#### Parameterempfehlung:

- Trocknung in Konvektion-/ Umluftofen bzw. in Vakuumtrockenofen, nicht im Stapel
  - Trocknung

Material	Parameter	Zeit bis Lötprozess
FR4 (Tg 135 °C)	120 °C, ≥ 120 min	maximal 24 h
FR4 (Tg > 135 °C)	130 - 150 °C, ≥ 120 min	maximal 8 h
Starr-Flex, Flex	130 - 150 °C, ≥ 120 min	maximal 8 h
ML ≥ 6 Lagen	130 - 150 °C, ≥ 120 min	maximal 8 h
- Vakuumtrocknen bei 50 mbar erlaubt 20 K niedrigere Temp. und 60 Minuten kürzere Zeit
- Vakuumtrocknen bei thermisch sensiblen Oberflächen (z.B. chem. Zinn) empfohlen

(siehe auch Richtwerte/ Empfehlung „Lagerbedingungen für unbestückte Leiterplatten“)

Fachverband PCB and Electronic Systems im ZVEI e.V., AK Qualität 28.02.2008

### Richtwerte/ Empfehlung „Lagerbedingungen für unbestückte Leiterplatten“



(Anforderungsumsetzung obliegt anwenderspezifischem Lager/Verarbeitungsprozess)

#### Zielstellung:

- Handlungsanweisung zur Erhaltung der Lötbarkeit unbestückter Leiterplatten
- Vorbeugung mechanischer Beschädigung und Lötbarkeitsreduzierung

#### Methoden:

- Definition Lagertemperatur und -luftfeuchtigkeit
- Lagerung in definierter Verpackungsart/Verpackungsfolie

#### Parameterempfehlung:

- Lagertemperatur max. 30 °C; Luftfeuchtigkeit max. 70 % r. F.
- Verpackung: - genadelte Schrumpffolie (PE-Folie)  
- beschichtete Vakuumfolie (Vakuumbeu)  
- antistatisch
- optional Feuchtigkeitsindikator, Trockenmittel bei Vakuumverpackung
- optional mechanische Unterstützungsplatte (einseitig, beidseitig)

(siehe auch Richtwerte/ Empfehlung „Trocknen von Leiterplatten vor Löten“)

Fachverband PCB and Electronic Systems im ZVEI e.V., AK Qualität 28.02.2008

# DOKUMENTE IN DER KUNDENKOMMUNIKATION

## Trocknungsvorschrift

- Trocknungsvorschrift „Angebot“ als Anlage für Angebote zu Flex-Lösungen
- Trocknungsvorschrift „Versand“ als Lieferbeistellung bei Flex-Lösungen
- Wichtiger Unterschied: Kupferdesign

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

### DESIGN- UND TROCKNUNGSVORSCHRIFT FÜR FLEX-LÖSUNGEN



**Flexible und starrflexible Leiterplatten müssen vor dem Lötens getrocknet werden, das Kupferlayout muss dafür modifiziert werden!**

**WARUM?** Genau genommen sind Leiterplatten nie vollständig trocken, also ohne Feuchte. Lötprozesse stellen wegen der hohen Temperaturen ein großes Risiko für nicht getrocknete flexible oder starrflexible Leiterplatte dar. Deshalb ist die Originalverpackung mit dieser Kennzeichnung versehen.

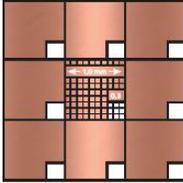
Dies ist mit MSL6 bei Bauteilen nach IPC/JEDEC J-STD-033 gleichzusetzen, eine Trocknung vor dem Lötprozess ist zwingend erforderlich. Trotz Verpackung können die Leiterplatten einen kritischen Feuchtegehalt aufweisen!

**WAS KANN PASSIEREN?** Typische Fehler sind Delaminationen wie auf dem Bild rechts zu sehen. *Wir weisen darauf hin, dass jegliche Haftung für Delamination und deren Folgeschäden ausgeschlossen ist, wenn diese Empfehlungen nicht eingehalten und dokumentiert werden.*

**WORAUF MÜSSEN SIE ACHTEN?** Um Schäden zu vermeiden, müssen die folgenden Punkte geprüft und beachtet werden:

1. Kupferlayout mit Öffnungen
2. Lagerung
3. Ausreichende Trocknung
4. Angepasste Logistik

**1 KUPFERLAYOUT, DAS EINE TROCKNUNG ERMÖGLICHT**  
Kupfer schließt Feuchte ein, große Kupferflächen verhindern eine ausreichende Trocknung in vertretbaren Trocknungszeiten. Deshalb ist es notwendig, Kupferflächen auf allen Lagen zu rastern bzw. mit Öffnungen zu versehen, damit die Feuchte auf kurzem Weg zur Oberfläche diffundieren kann. Dies gilt sowohl für die flexiblen als auch für die starren Bereiche im Fall einer starrflexiblen Leiterplatte!



→ Unsere Empfehlung für das Design: Kupferöffnungen mit mindestens 0,3 mm von 1 mm Kupferlänge (bis 70 µm Basiskupferdicke).

VERSION 1.1  
01.2022

1 | 2  
www.we-online.com

### DESIGN- UND TROCKNUNGSVORSCHRIFT FÜR FLEX-LÖSUNGEN

**2 KURZE UND MÖGLICHT TROCKENE LAGERUNG**  
Lange Lagerzeiten, beispielsweise über mehrere Monate, führen zu immer höherer Feuchteaufnahme und machen verlängerte Trocknungszeiten notwendig, um Schäden beim Löten zu vermeiden. Leiterplatten sollten grundsätzlich originalverpackt gelagert werden.

→ Ideal für Flex und Starrflex ist eine Lagerung im Trockenlagerschrank  $\leq 5\% \text{ r. F.}$  bei Raumtemperatur.

**3 AUSREICHENDE TROCKNUNG**  
Trocknen muss in einem geeigneten Prozess erfolgen. Artikelspezifische Trocknungsparameter lassen sich durch die Ermittlung von Trocknungskurven ermitteln. Dies gilt auch besonders für Reparaturen, z.B. beim Austausch von Bauelementen. Eine Beeinträchtigung des Lotverhaltens durch den Trocknungsprozess muss gegebenenfalls berücksichtigt werden. Bei unserer Standardoberfläche ENIG gibt es diesbezüglich keine Probleme.

Allgemeine Trocknungsparameter von Leiterplattenherstellern können nur als Anhaltswerte oder grobe Empfehlung verstanden werden und müssen vom Verarbeiter produktspezifisch verifiziert werden. Sowohl die Designöffnungen als auch die spezifischen Umgebungs-, Lager-, Trocknungs- und Lötbedingungen mit der dazu gehörenden Logistik spielen eine große Rolle.

→

- Eine effiziente Trocknungstemperatur ist 120 °C.
- Die Trocknungszeit sollte mindestens 4 Stunden betragen, es können bis zu 24 Stunden erforderlich sein.
- Eine ausreichende Trocknung kann bei nicht geeignetem Kupferlayout massiv verlängerte Trocknungszeiten erfordern oder im Extremfall unmöglich sein. Eine lange Lagerdauer wirkt sich dann sehr negativ aus („worst case“).

**4 ANGEPASSTE UND ÜBERWACHTE LOGISTIK**  
Das Bestücken und Löten muss direkt nach dem Trocknungsprozess (innerhalb von 2 Stunden) geschehen, da die hygroskopischen Eigenschaften der Leiterplatten bestehen bleiben. Bei Wartezeiten nach dem Trocknen oder zwischen mehreren Lötprozessen wird eine Lagerung in einem Trockenlagerschrank empfohlen. Somit kann ein weiterer Trockenprozess eingespart werden.

→ Eine ausführliche Ausarbeitung „Physik der Feuchte & Prozess des Trocknens von Leiterplatten – eine Sammlung“ finden Sie hier: [www.we-online.com/trocknungsprozesse](http://www.we-online.com/trocknungsprozesse)

HOTLINE ZU UNSEREN FLEXPARTEN  
Tel.: +49 7940 946-FLEX (3539)  
flex@we-online.com

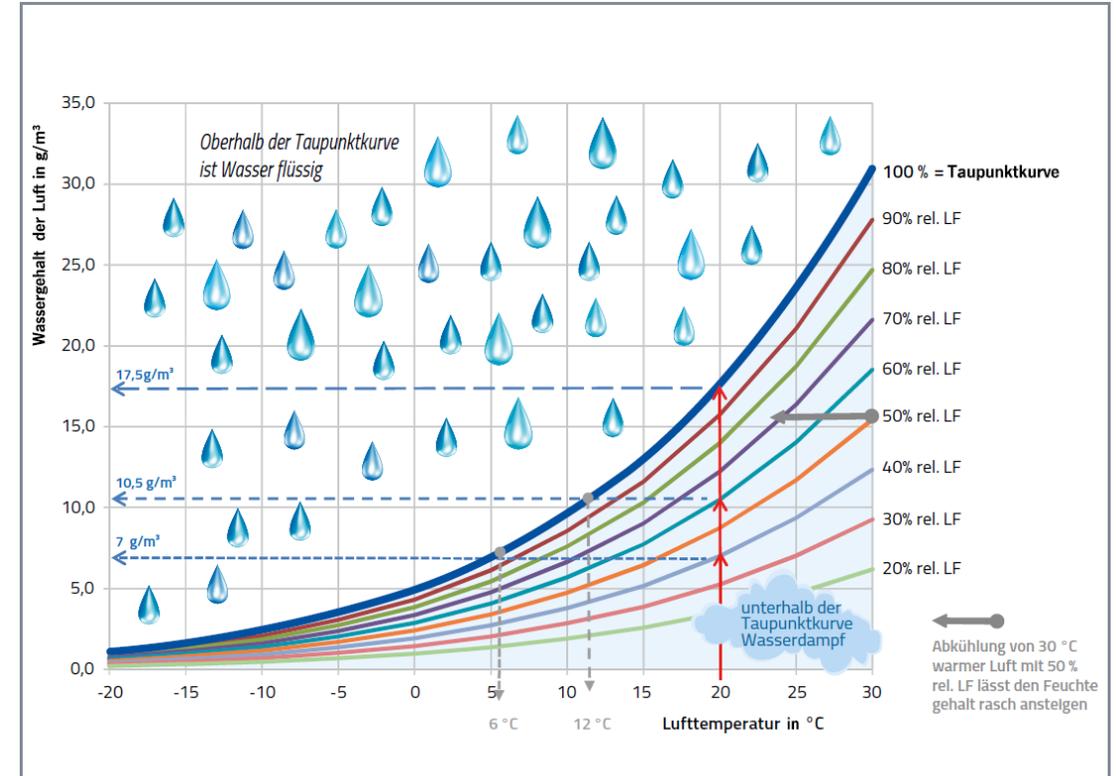
VERSION 1.1  
01.2022

2 | 2  
www.we-online.com

# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

## Feuchtegehalt – ein Gleichgewicht

- Feuchtigkeit ist Wasser in molekular gelöster Form
- Erfahrungen mit Luftfeuchte:
  - Kalte Brille beschlägt
  - Nebel- und Wolkenbildung
- Die Erreichung eines Gleichgewichts erfordert ausreichend Zeit
- Durch gezielte Änderungen der Bedingungen stellt sich ein neues Gleichgewicht ein.
- Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit sind umkehrbare Vorgänge.



Quelle: Fa. SANCO, 2012 (nach DIN 4108-3,

# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

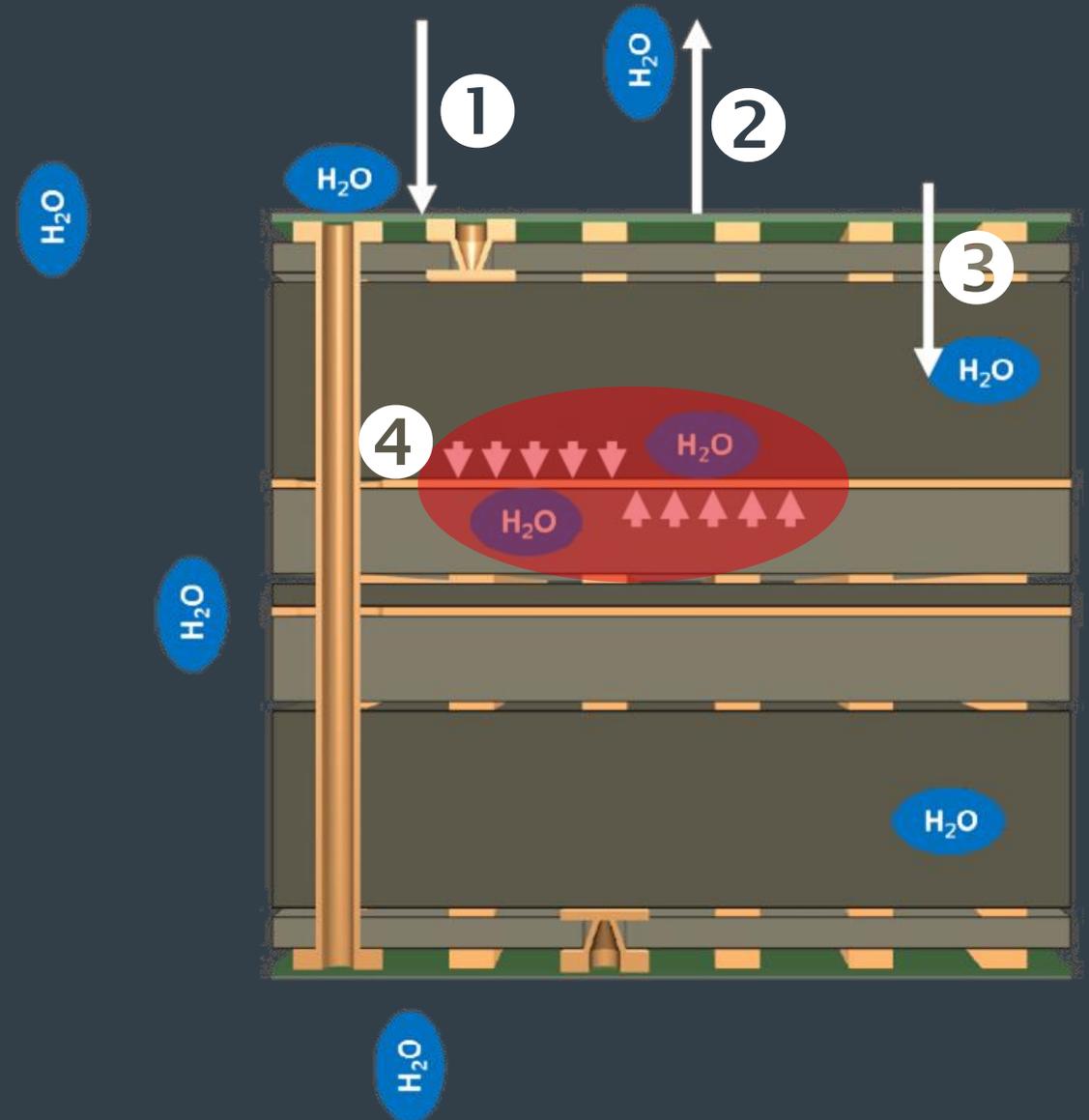
Feuchtegehalt – ein Gleichgewicht

1. Adsorption auf der Oberfläche
2. Desorption von der Oberfläche
3. Absorption und Diffusion in die Leiterplatte
4. Kupferfläche als Barriere

Eine Leiterplatte enthält im Gleichgewicht immer Feuchtigkeit entsprechend den Umgebungsbedingungen.

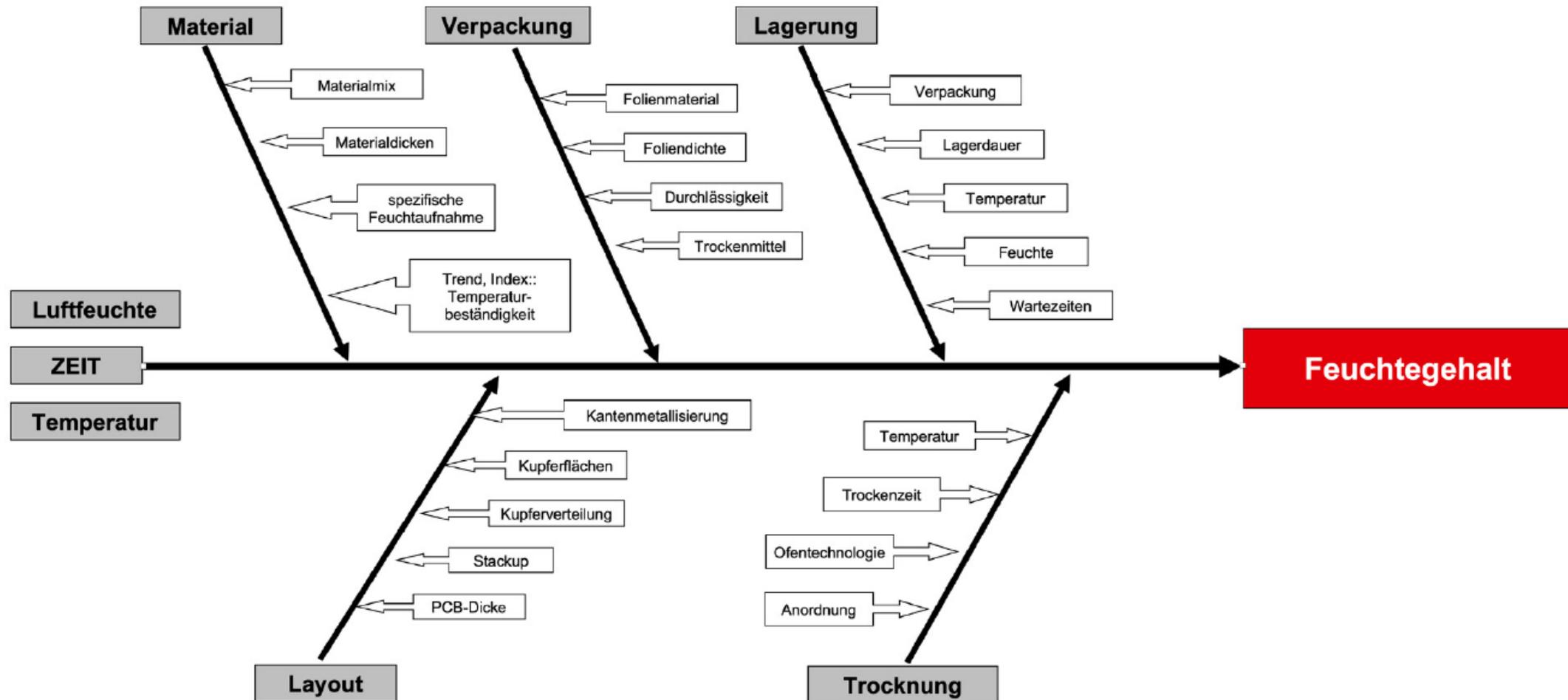
Die Einstellung des Gleichgewichts braucht Zeit.

Feuchte lagert sich bevorzugt an Grenzschichten an.



# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

## Einflussfaktoren



# KURZUMFRAGE

Multiple-Choice

**Welcher Parameter hat für den Trockenprozess den höchsten Einfluss?**

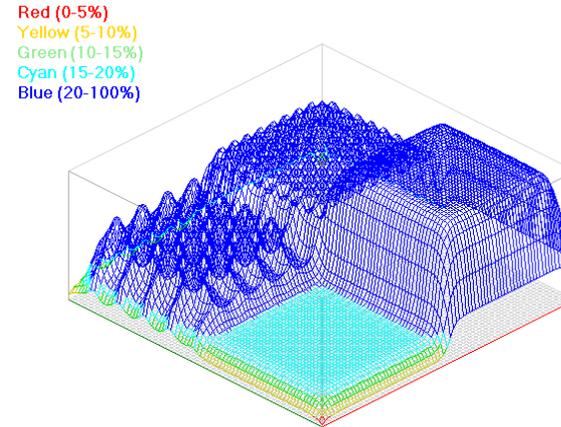
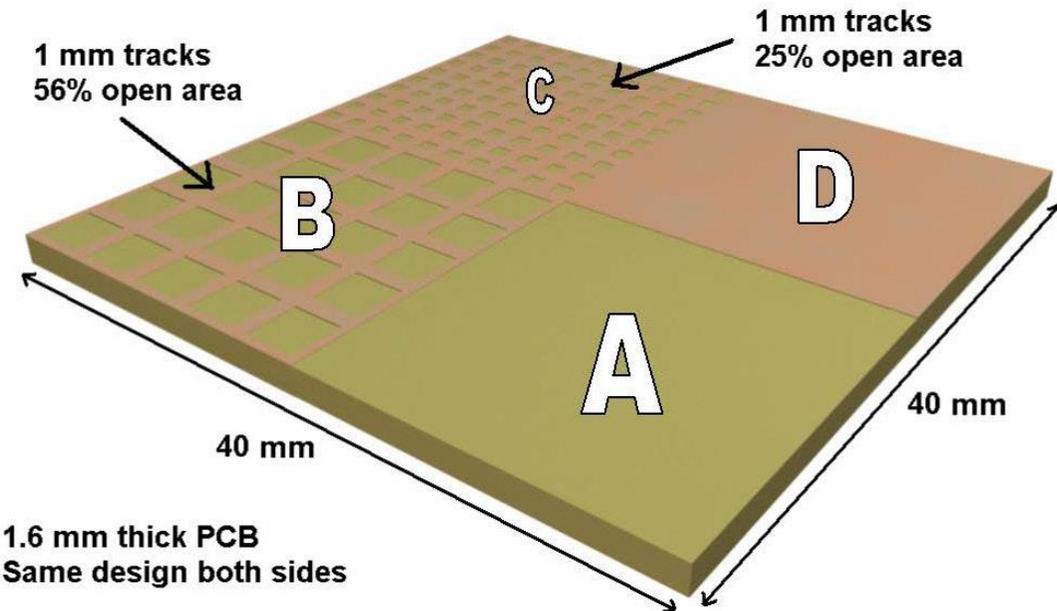
- Basismaterial
- Kupferlayout
- Ofentemperatur
- Druck / Vakuum
- Trocknungszeit



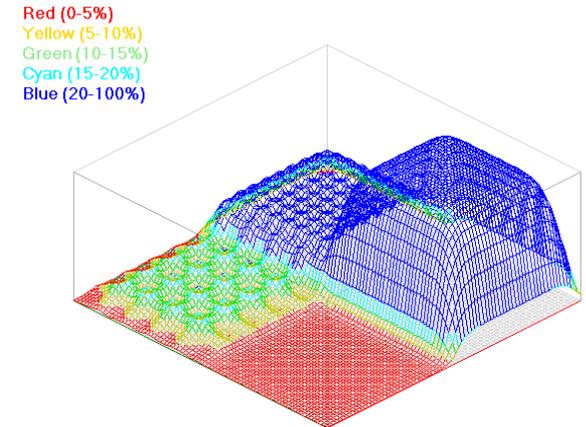
# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

## Trocknungszeit

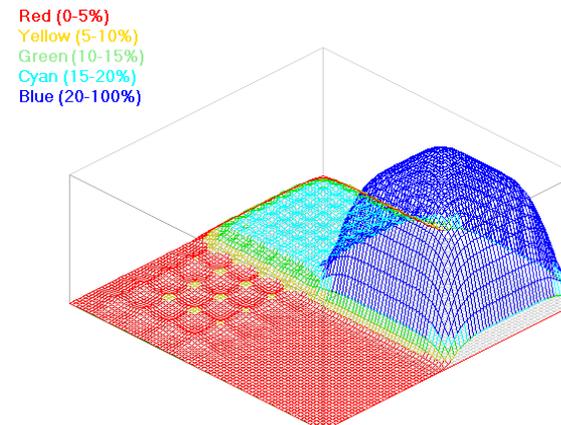
- Testlayout mit unterschiedlichen Kupferbelegungen
- Maximale Feuchtesättigung / Trocknen @ 125 °C
- Messung der Restfeuchte in 0,6mm Tiefe



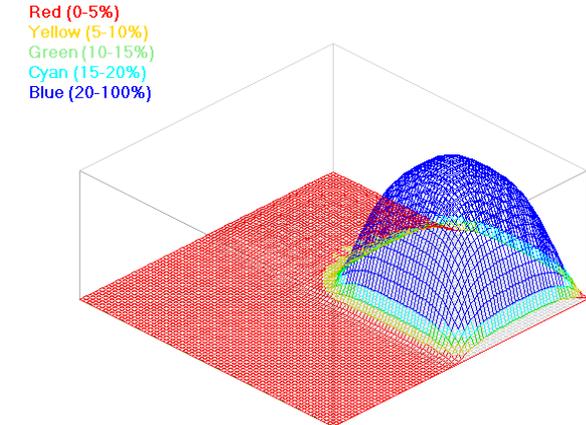
Elapsed Time: 6 hours



Elapsed Time: 15 hours



Elapsed Time: 25 hours



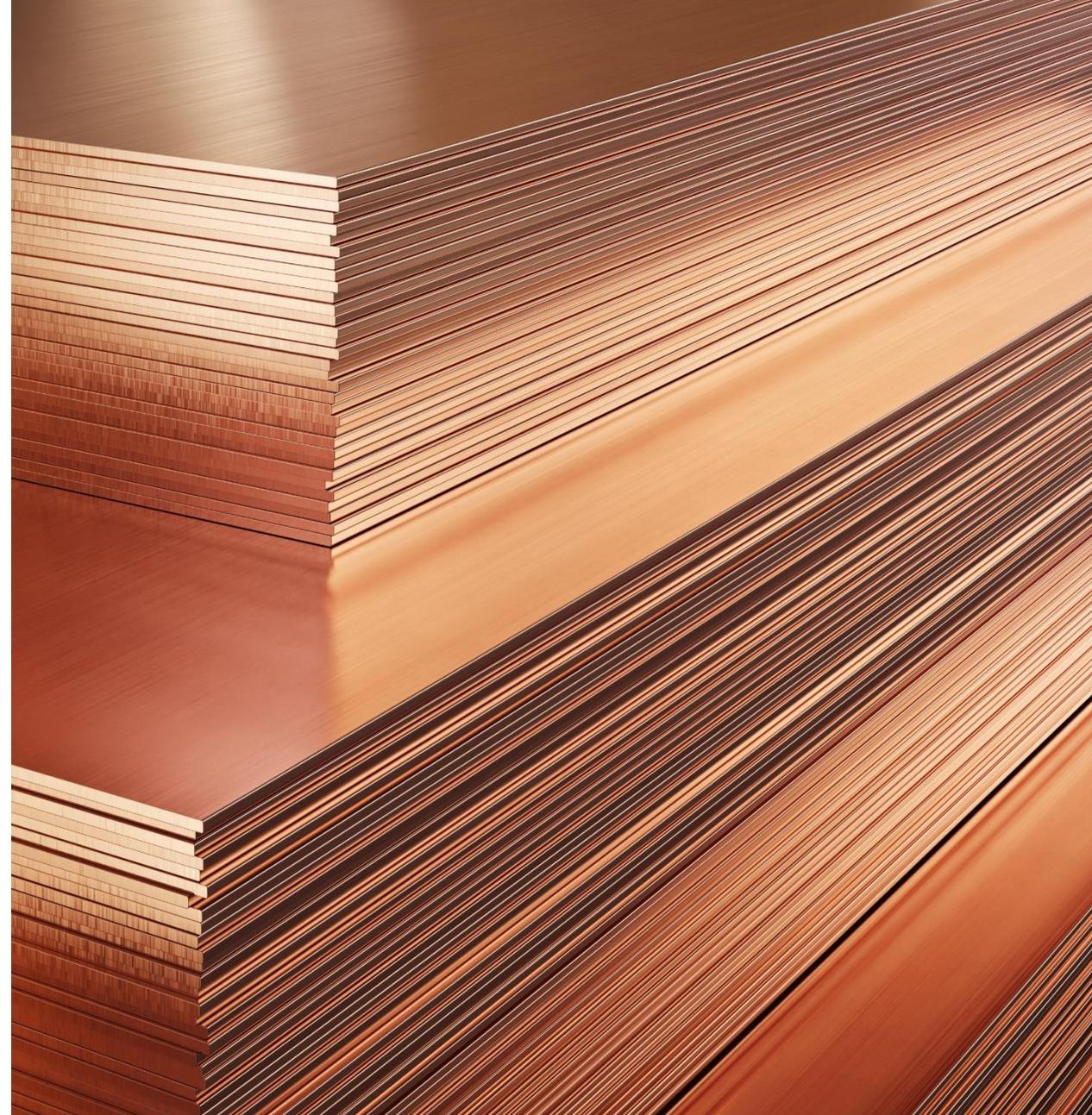
Elapsed Time: 45 hours

Source: Moisture Measurements in PCBs and Impact of Design on Desorption Behavior, Christopher Hunt, Owen Thomas, Martin Wickham, ISBN: 978-1-61782-845-4, IPC APEX EXPO Technical Conference 2011

# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

## Design-for-Drying

- Die größte zusammenhängende Kupferfläche ist das kritische Maß für die Trocknung.
- Vollflächige Kupferlagen ohne Unterbrechungen sollten vermieden werden, auch auf Innenlagen.
- Im Bereich von kritischen Signalen, die einen ungestörten Rückstrompfad auf der Referenzlage erfordern, können die Öffnungen entsprechend entfernt oder um das notwendige Maß verschoben werden.
- Bereits kleine Öffnungen im Kupfer stellen Diffusionskanäle für eine Trocknung dar.



# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

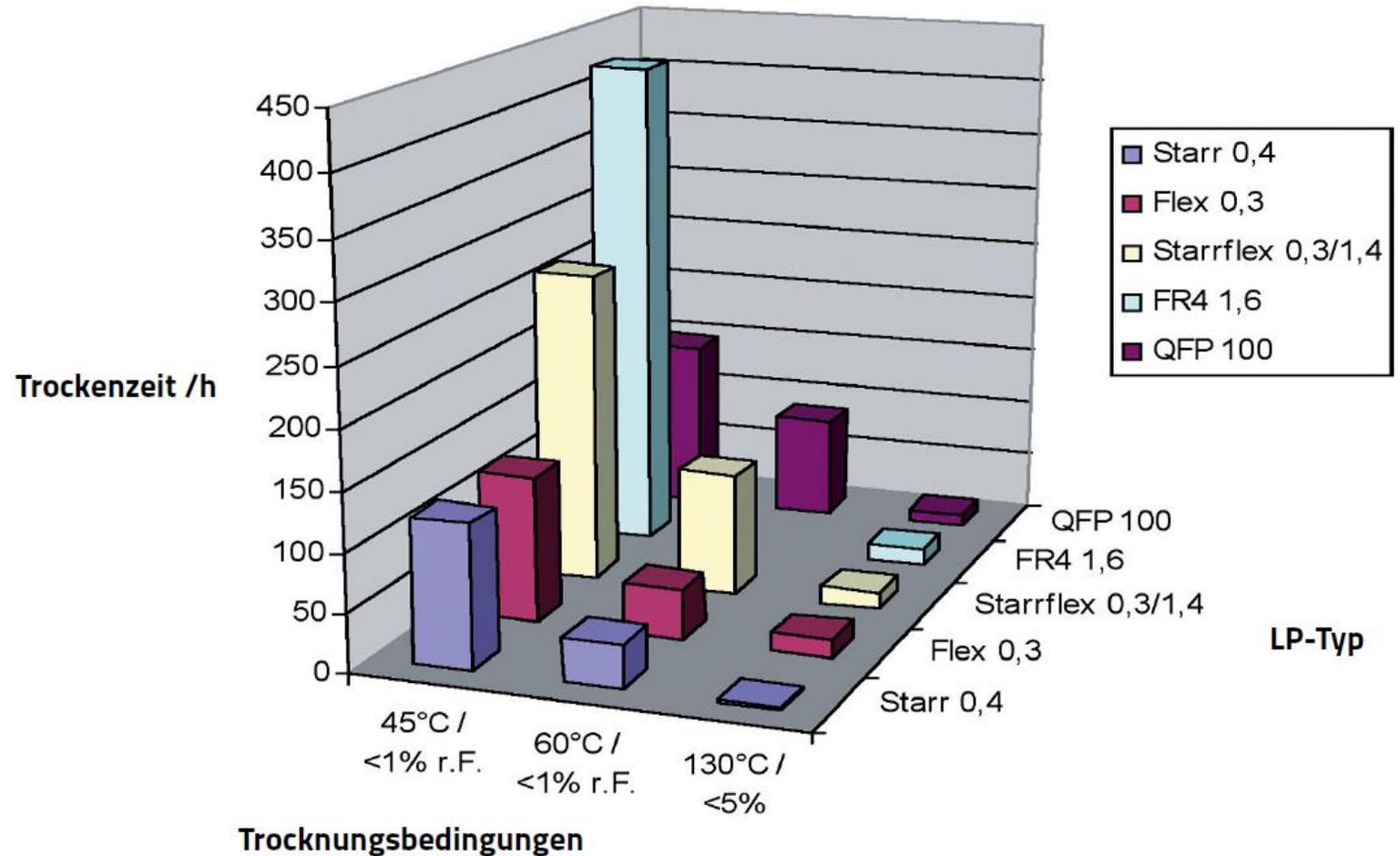
## Ofentechnologien

### Relevant für die Trocknung

- Temperatur  
→ Diffusionsgeschwindigkeit
- Übertragung der Wärme  
→ Zeit
- Feuchtegehalt im Ofen  
→ Desorptionsrate

### Praxis

- Umluft-Trockenschrank 120°C
- Vakuum nicht wirksam im Inneren der Leiterplatte
- Trockenlagerschrank geeignet, längere Trocknungszeiten



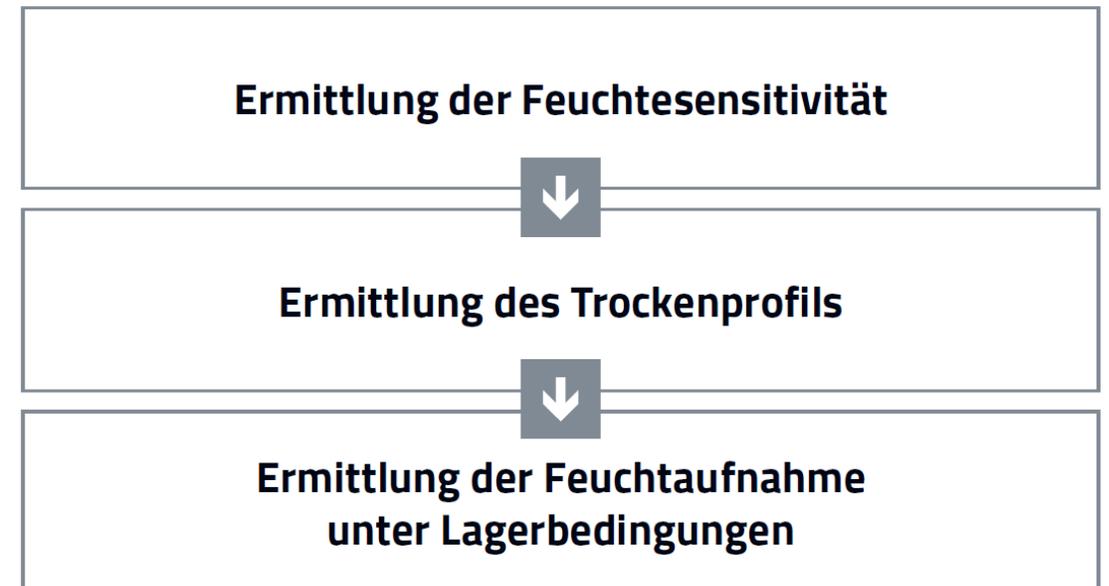
# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

Entwicklung eines effizienten Trocknungsprozesses

## Klärungen

- Wieviel Feuchte hat die Leiterplatte absorbiert?
- Welche Entfeuchtung ist für den anschließenden Temperaturstress ausreichend?
- Welche Feuchtaufnahme zeigt das Basismaterial beziehungsweise der Materialmix?
- Design-for-Drying ok?
  - Leiterplattendicke
  - Kupferflächen
  - Versorgungs- und Referenzlagen
  - Kantenmetallisierung
  - Heatsink
  - etc.
- Welche Zeit ohne Feuchteschutz muss zulässig sein?

Prozess:



# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

Und die Logistik?

- Fächer oder Trocknen im Stapel?
  - Risiko der Wölbung im Fächer
  - Durchtrocknung im Stapel sicherstellen
  - „Transfer-Druck“ prüfen
  - Etiketten? Ausbluten?
  - Oberfläche schützen vor Beschädigungen, Kratzer
- Maximal zwei Stunden ungeschützt
- Dokumentation, Trocknungsprotokoll?
  
- Fertigungssteuerung, Kanban?



# FEUCHTE IN LEITERPLATTEN

## Trocknen und Lötbarkeit

- Trocknen bei 120°C
  - Alterung
  - Lötbarkeit sicherstellen
    - Benetzungstests
    - Ausbreitungstests
  - ENIG
    - robust
    - kann mehrfach getrocknet werden

## Weiterführende Literatur



VIELEN DANK  
FÜR IHRE  
AUFMERKSAMKEIT