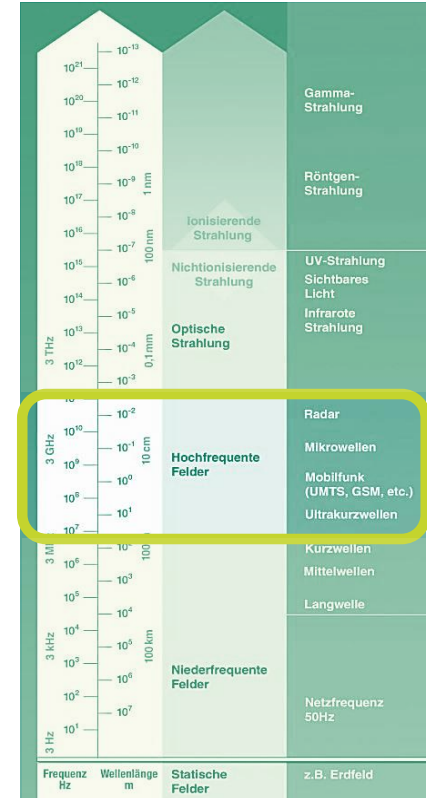


Leiterplatten für Hochfrequenz- und Radar-Anwendungen

M. Schmied

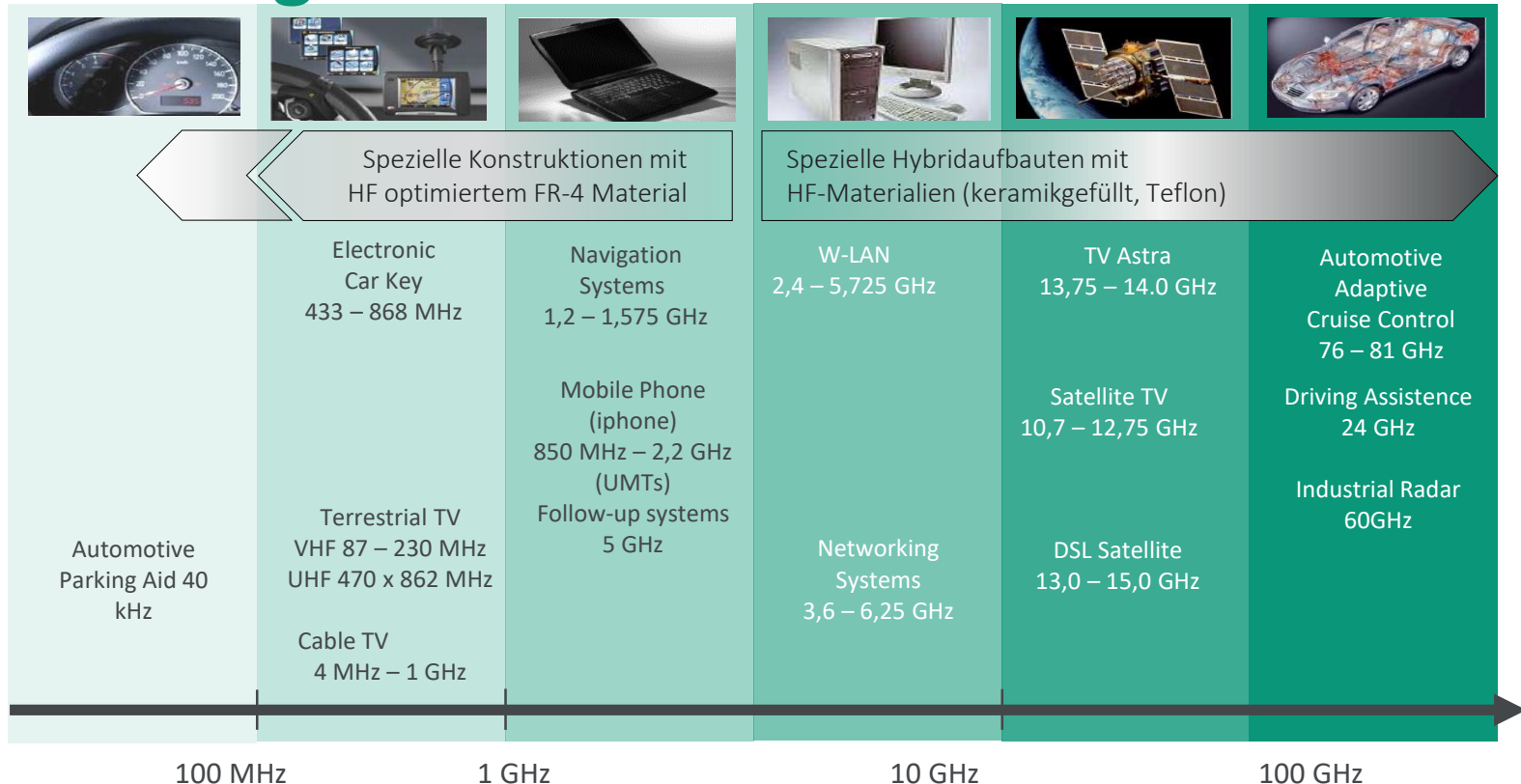
Begriffserklärung „Hochfrequenz“

- Die Grenze zwischen Nieder- und Hochfrequenz wird bei 10 MHz angenommen, da ab diesem Frequenzbereich die typischen thermischen Wirkungen hochfrequenter Felder in Erscheinung treten.
- Der Hochfrequenzbereich reicht im elektro-magnetischen Spektrum bis ca. 300 GHz.
- Weitere speziell bezeichnete Frequenzbereiche sind die Radiowellen, die Mikrowellen sowie die Zentimeter- und Millimeterwellen.



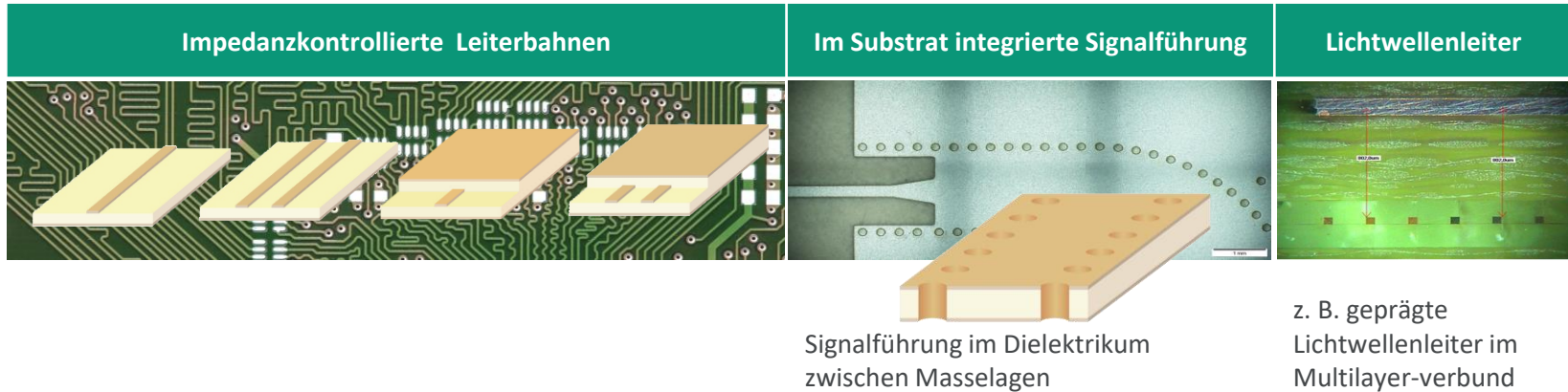
Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

Anwendungsfelder



Übertragungselement - Leiterplatte

Hochfrequenz-Übertragungsformen in der Leiterplatte

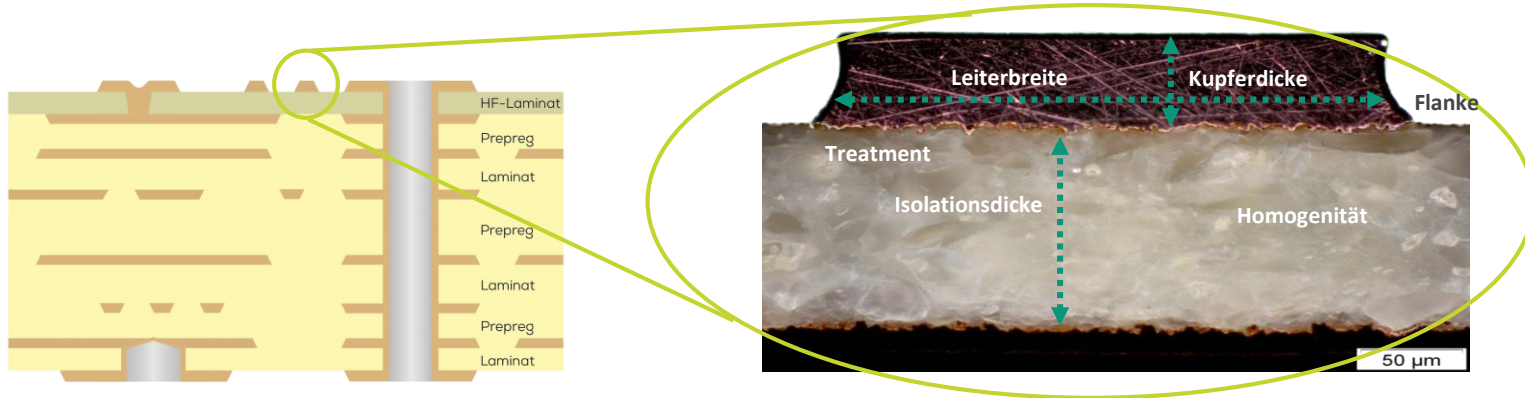


Hochfrequenz-Bauelemente auf der Leiterplatte



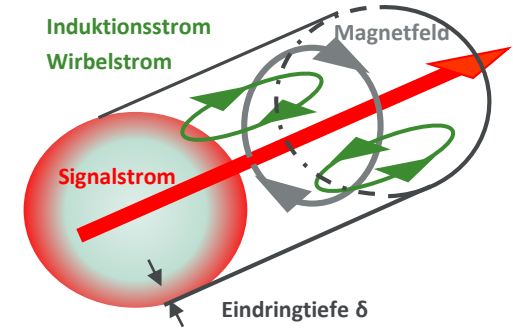
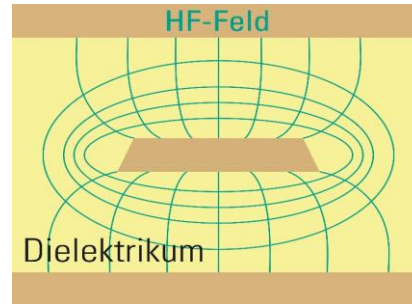
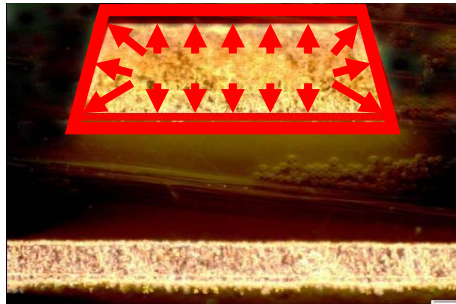
Allgemeine Anforderungen

- Kostenintensive HF-Materialien verlangen häufig unsymmetrische Schichtaufbauten.
- Klassische Prüfungen werden durch HF-spezifische Prüfungen ergänzt (Impedanzkontrolle, optische Inspektion HF-Design).
- HF-relevante Zusammenhänge müssen dem Produzenten bekannt sein.



Skin-Effekt

- Bei hohen Frequenzen wird der Stromfluss durch das magnetische HF-Feld aus dem Leiter verdrängt.
- Die leitende Schicht wird als Skin-Tiefe oder Eindringtiefe δ bezeichnet.
- Die Signale werden als Felder im Dielektrikum geführt.



$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot k}}$$

f = Frequenz

μ = Permeabilität

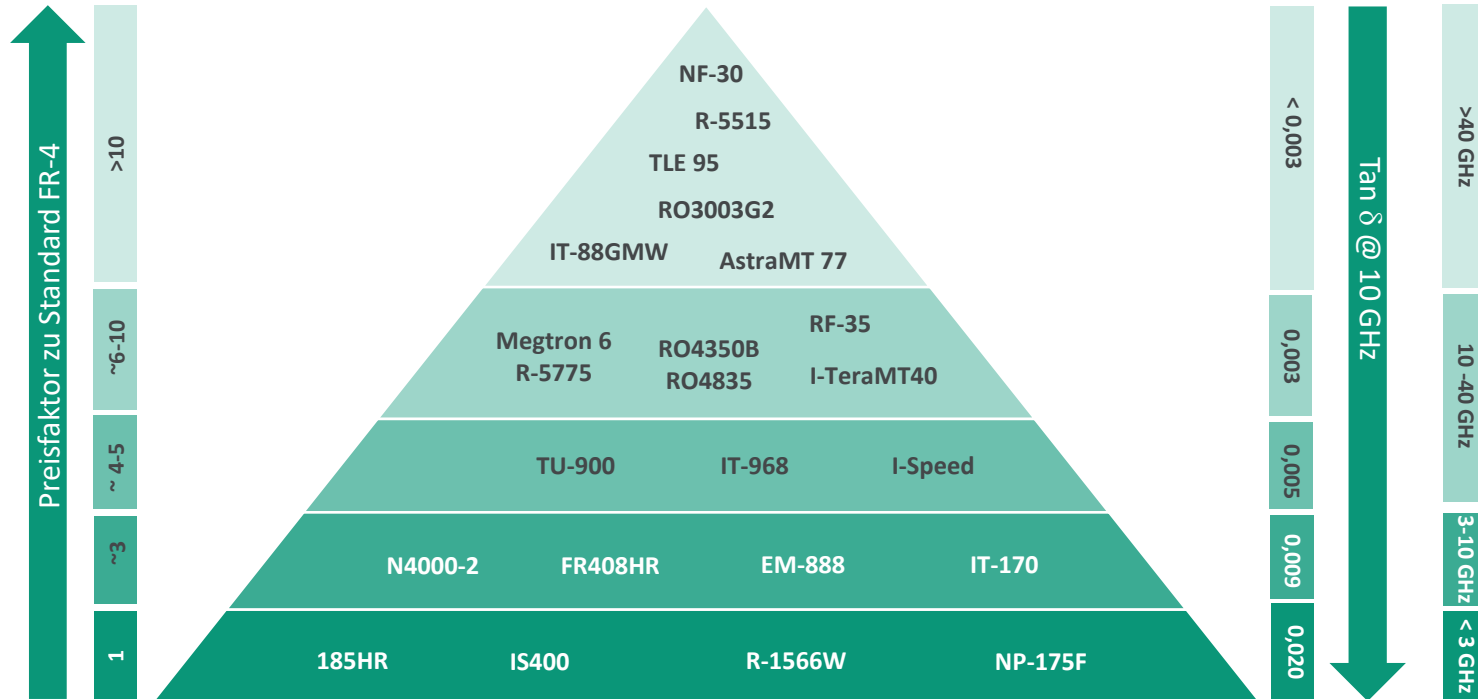
k = elektrische
Leitfähigkeit

- f = 1 GHz $\rightarrow \delta = 2,1 \mu\text{m}$
- f = 10 GHz $\rightarrow \delta = 0,7 \mu\text{m}$
- f = 77 GHz $\rightarrow \delta = 0,25 \mu\text{m}$

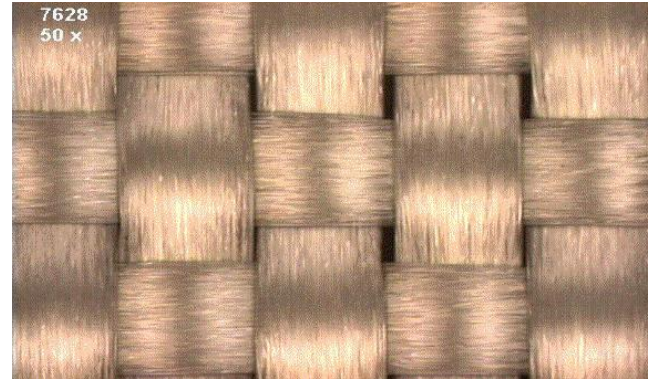
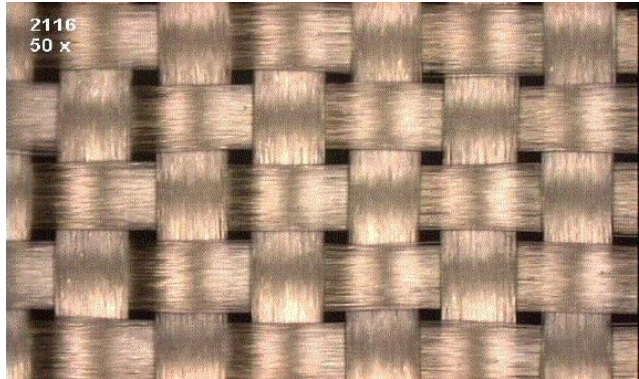
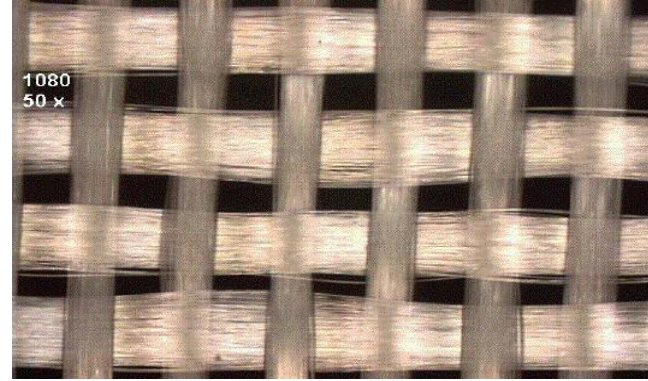
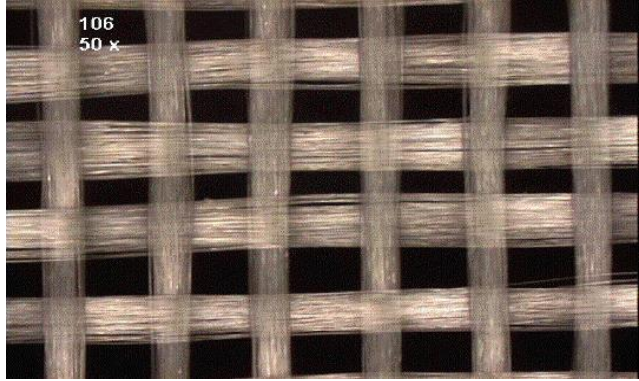
Basismaterial - Kenngrößen

- Dielektrizitätskonstante D_k
- Verlustfaktor D_f
- Glasqualitäten
- Stabilität der HF-Kenngrößen über relevanten Temperaturbereich
- Zuverlässigkeit nach Temperatur-Feuchtebelastung
- Kupferhaftfestigkeit
- Dimensionsstabilität
- Feuchtigkeitaufnahme
- Kosten

Basismaterial - Auswahl

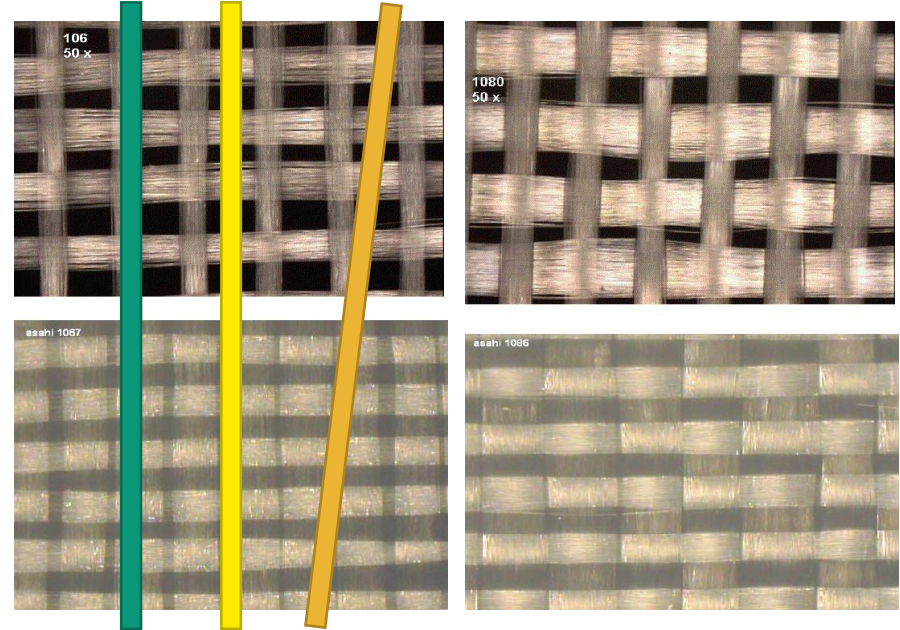


Basismaterial - Glasqualität



Basismaterial - Skew

- Laufzeitunterschiede durch lokale Permittivitätsprünge
- Optimierung
 - andere Glasqualitäten (square weave)
 - Leiter im Winkel verlegen



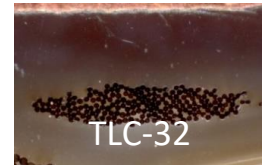
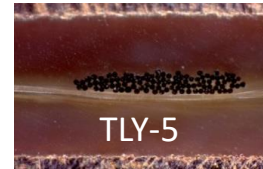
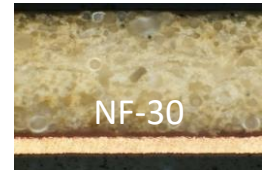
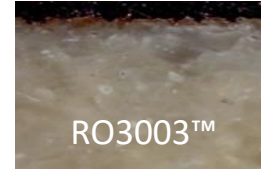
Basismaterial - Epoxidbasis

- Vorteile
 - Gute Stabilität und Eigensteifigkeit aufgrund Glasmattenverstärkung (vergleichbar FR4)
 - Bearbeitung mit Standardprozessen
- Herausforderungen
 - Füllstoffabhängige Anpassung der Bohr- und Fräsparameter
 - Dimensionsstabilität



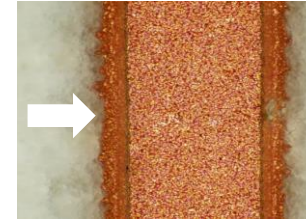
Basismaterial – PTFE-Basis

- Vorteile
 - Niedriger Verlustfaktor
 - Geringes Ausdehnungsverhalten
 - Hohe Zyklenfestigkeit
- Herausforderungen
 - Dimensionsstabilität / Zuverlässigkeit
 - Sonderbohr- u. Fräsparmeter erforderlich
 - Plasmabearbeitung zur Aktivierung notwendig
 - Hohe Empfindlichkeit gegenüber mechanischer Oberflächenbeanspruchung



Kupferfolie

- Reduzierung der Treatmentrauigkeit für HF-Materialien aufgrund Signalführung an der Kupferoberfläche.
- Eine hohe Treatmentrauigkeit führt auch zu hoher Kantenrauigkeit an Leiterbahnkanten (Übergang Kupfer zu Basismaterial).

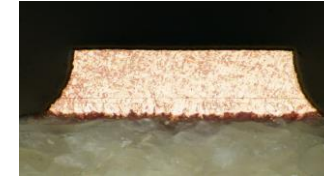


Kantenrauigkeit geätzter Kupferstrukturen

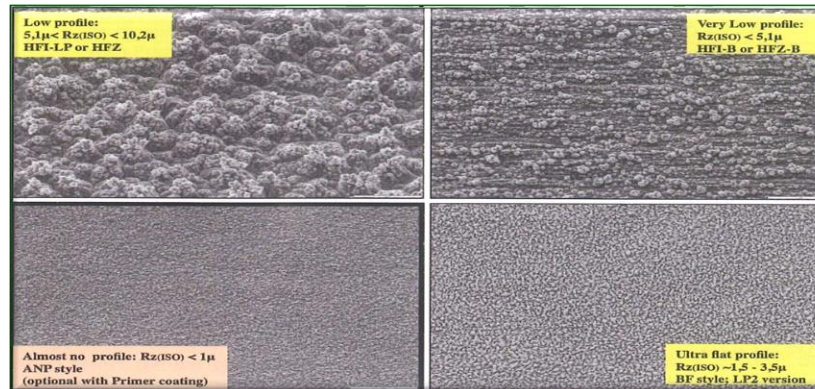
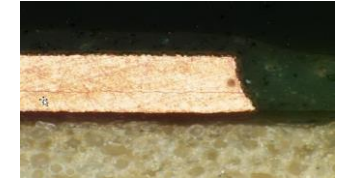
RO3003: bis 4 μm



NF-30: bis 2 μm



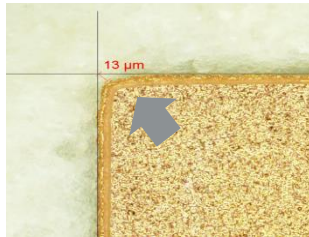
Leiter im Querschliff



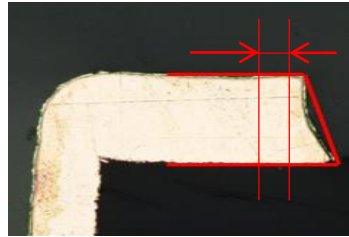
Quelle: Onboard technology; Raymond Gales, Circuit Foil

Leiterbildstrukturierung

- Kontrolle der Strukturtreue durch automatische optische Inspektion relevanter HF-Layer (produktabhängig keine lokalen Konturabweichungen im μm -Bereich erlaubt)
- Minimierung der Eckenverrundung einzelner Layoutelemente ($< 30 \mu\text{m}$)
- Einhaltung geforderter Flankensteilheit (Differenz Kopf- zu Fußmaß $< 40 \mu\text{m}$)
- Vermeidung zu hoher Kantenrauigkeiten durch verbleibende Treatmentspitzen

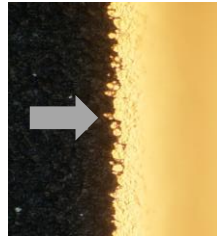


Eckenverrundung

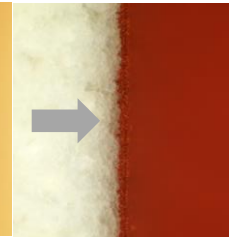


Flankensteilheit

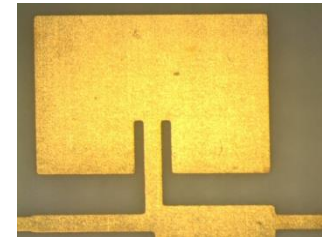
Standardmaterial



HF-Material



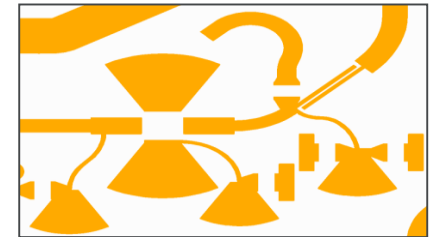
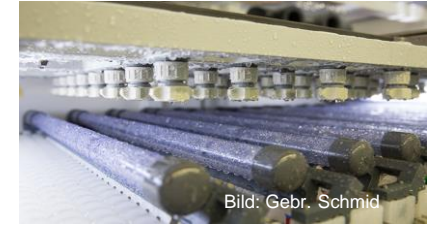
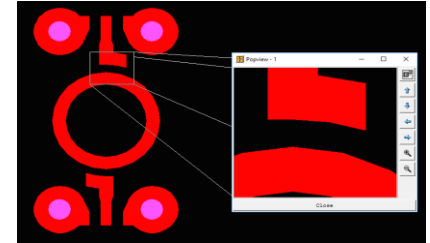
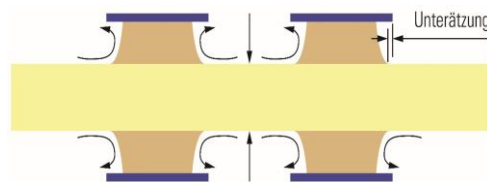
Vergleich Kantenrauigkeit



Patch Antennenelement

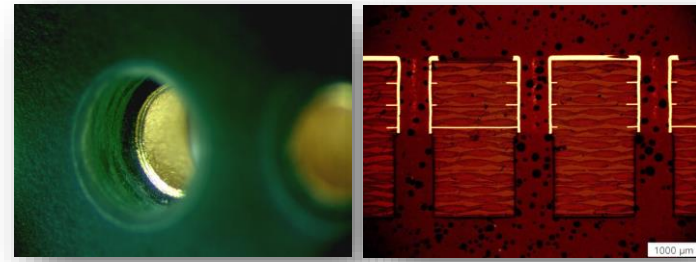
Leiterbildstrukturierung

- Umsetzung des HF-Layouts in engen Toleranzgrenzen erfordert ggf. die Anpassung einzelner Leiterelemente ($\pm 15 \mu\text{m}$ in Serie)
- Kontrolle des Anlagenzustandes (Ätzzratenbestimmung)
- Engmaschiges Prüfregime zur Überwachung der Prozess- und Produktqualität



HF Design

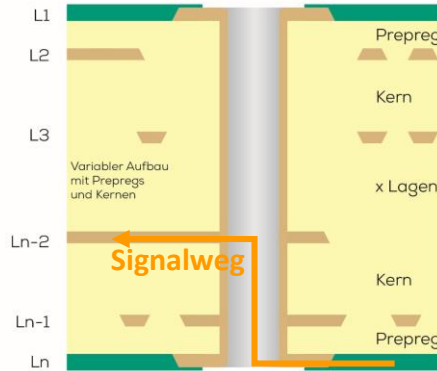
Backdrilling



- Auf- oder Rückbohren einer Durchkontaktierung zur Verbesserung der HF-Performance

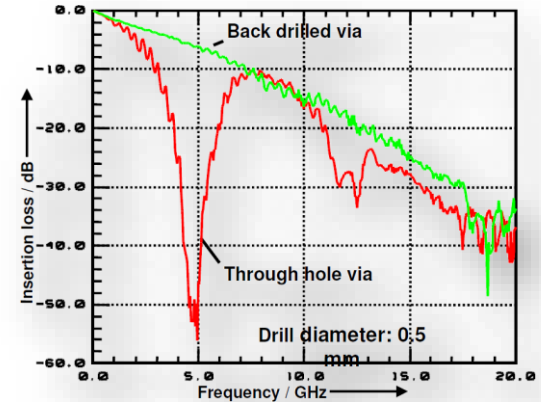
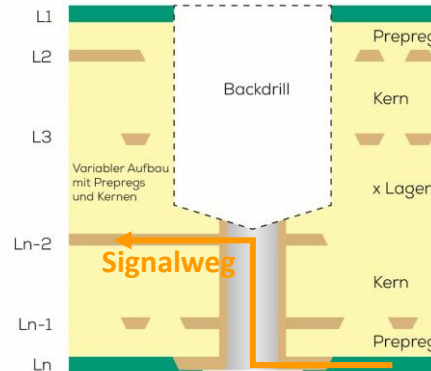
Durchkontaktierung Standard

Signalreflexion an Durchkontaktierungen



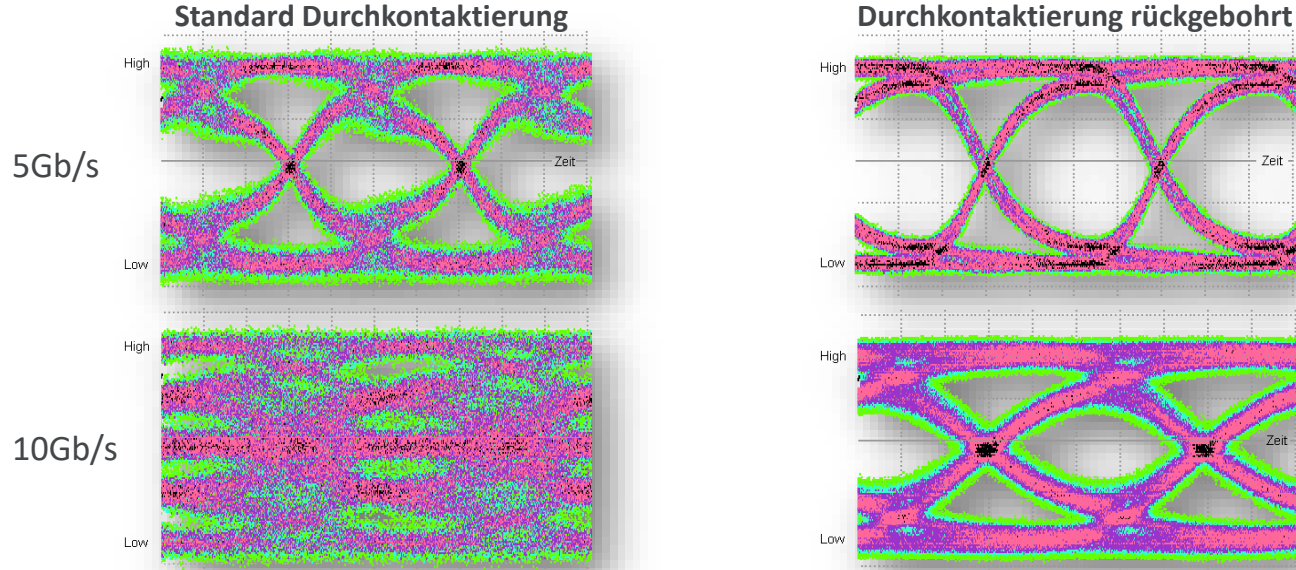
Durchkontaktierung rückgebohrt

Vermeidung unerwünschter Signalreflexion



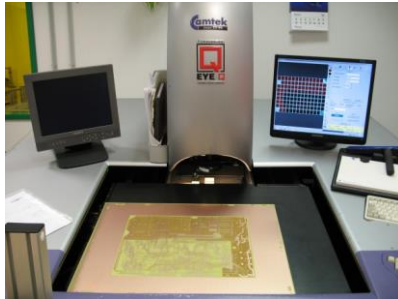
Backdrilling

- Wirkung auf Signalübertragung von hohen Frequenzen mittels Augendiagramm darstellbar.



Gewährleistung der Funktionalität

- Prüfung der Strukturtreue und Maßhaltigkeit
- Elektrischer Funktionstest
- Impedanzkontrolle
- Final-AOI im Auslieferungszustand
- ggf. Abstimmung eines Fehlerbildkataloges als Entscheidungsgrundlage



Innen- und Außenlagen AOI



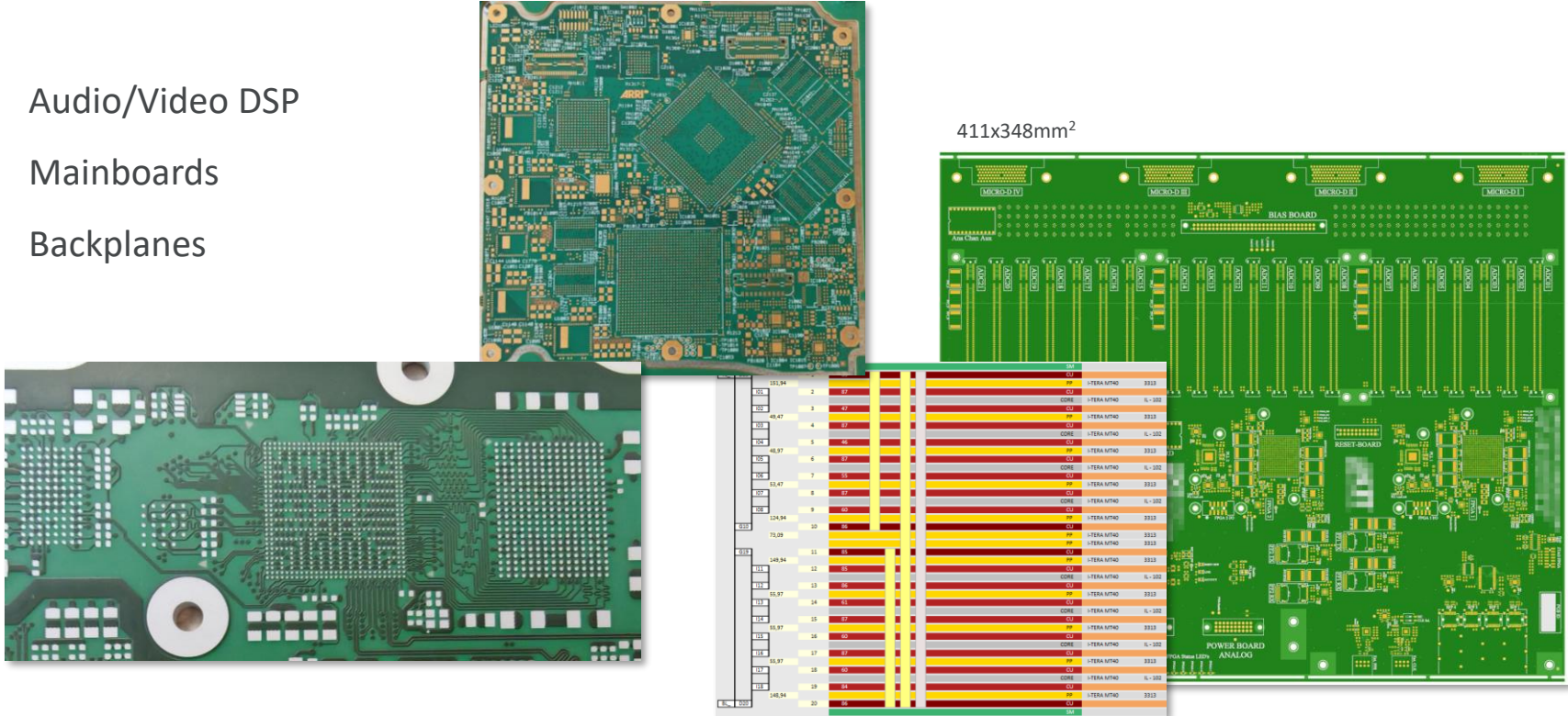
Impedanz-Messplatz/-Messung



Final-AOI

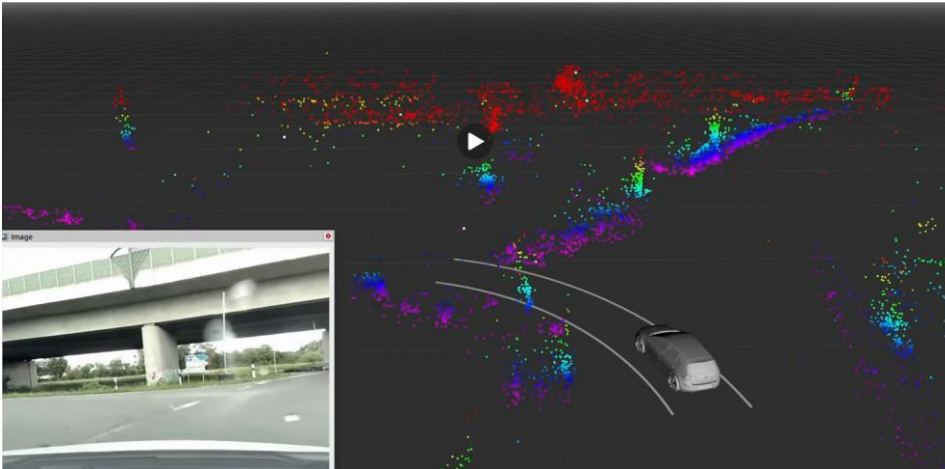
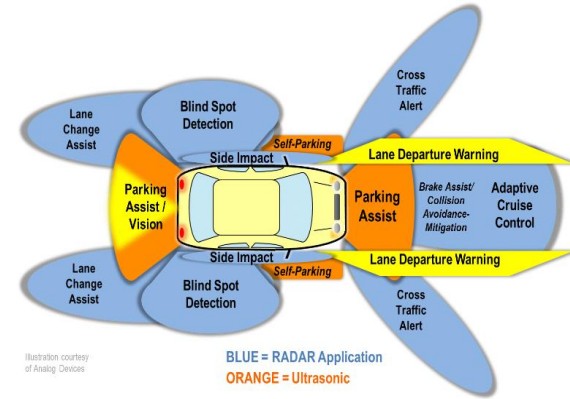
Anwendungen – High speed digital

- Audio/Video DSP
- Mainboards
- Backplanes



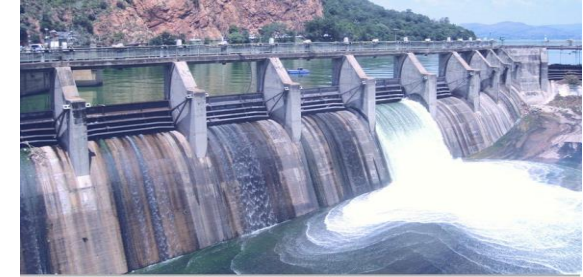
Anwendungen – Radar Automitiv

- ADAS
- 4D-Imaging



Anwendungen – Radar Industrial

- Toleranzbereich 1 mm bis wenige cm
- Füllstand (berührungslos)
- Erfassung Pegelstände von Flüssen
- Bewegungsmelder



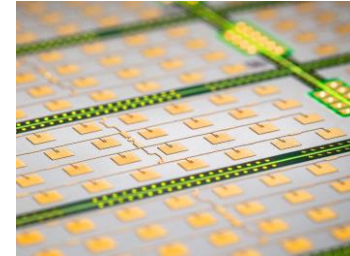
Flow velocity with radar technology 



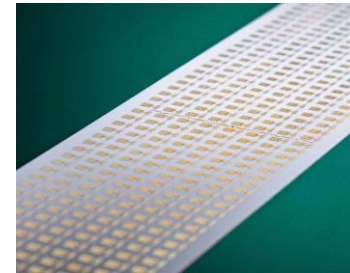
Level Measurement with RADAR 

Anwendungen – Radar Sicherheitstechnik

- Messung von Geschwindigkeiten und Abständen
 - Anzahl und Größenkategorisierung
 - Ampelsteuerung
 - Unabhängig von kritischen Wettereinflüssen
-
- Erfassung beweglicher Objekte durch Alarmanlagen, Zugangskontrollen, Kombinationen zwischen Video- und Radartechnik



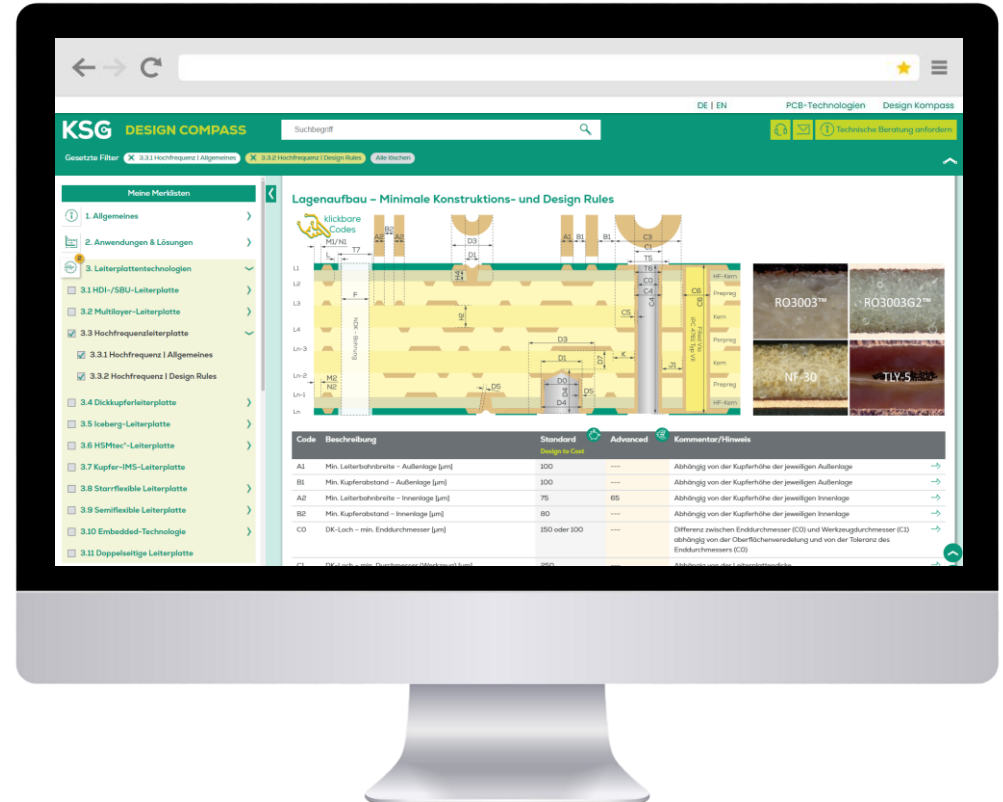
Quelle: A. Savin



Quelle: InnoSenT GmbH

Design Compass – Kapitel zu Hochfrequenz

Im Online Design Compass finden Sie im Kapitel **3.3 Hochfrequenzleiterplatte** weitere wertvolle Informationen, Konstruktions- und Design Rules.



Wir freuen uns auf den Austausch



Matthias Schmied

Projektingenieur

03721 / 266 - 391

matthias.schmied@ksg-pcb.com

KSG Group

Auerbacher Straße 3-5

09390 Gornsdorf - Germany

Folgen Sie uns für mehr Informationen:



www.ksg-pcb.com



[ksg_pcb](#)



[KSG PCB](#)



sales@ksg-pcb.com



www.pcb-blog.com



[KSG Group](#)



[KSG Group](#)



design-compass.ksg-pcb.com