

Qualitätskontrolle in der Polymerschäumextrusion

Marcel MAYR¹

¹ SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Kontakt E-Mail: m.mayr@skz.de

Kurzfassung

Der weltweite Markt für Polymerschäume umfasste 2017 etwa 23,1 Millionen Tonnen, wobei bis 2019 ein weiteres jährliches Wachstum von 4,8 % prognostiziert wird. Die Hauptabsatzmärkte bilden die Bauindustrie und die Leichtbaubranche im Energie- und Mobilitätssektor, bei denen die guten thermischen und mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitig reduziertem Gewicht genutzt werden. Ein Großteil dieser Schäume wird extrudiert und lediglich stichprobenartig, zeitaufwändig sowie teilweise zerstörend off-line im Labor charakterisiert. Bis vor kurzem war in der industriellen Praxis kein messtechnisches Konzept bekannt, welches inline, d. h. direkt im laufenden Prozess, Informationen über den zellulären Aufbau sowie die Rohdichte, die maßgebliche Qualitätskriterien darstellen, liefern kann.

Im Zuge des öffentlich geförderten AiF-IGF-Projektes mit der Fördernummer 19127 N wurde eine solche Messtechnik auf Basis der berührungslosen Terahertz-Technik erprobt und in einen Demonstrator überführt. Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse des Projekts repräsentativ für nahezu den gesamten Markt polymerer Schäume sind, wurde eine sehr breit aufgestellte Datengrundlage geschaffen. Dabei wurde eine Vielzahl von Schaummaterialien, die der projektbegleitende Ausschuss zur Verfügung gestellt hat, untersucht. Es zeigte sich, dass bei der realisierten Inline-Berechnung des Brechungsindex von unbekanntem Schäumen durch Anwendung einer entwickelten Kalibriergerade die Rohdichte ermittelt werden kann. Weiterhin konnte durch Betrachtung der frequenzabhängigen Streuung der Terahertz-Wellen auf die mittlere Zellgröße bzw. Zellgrößenverteilung geschlossen werden. Die Ergebnisse wurden mithilfe mikroskopischer und computertomografischer Untersuchungen verifiziert. Um diese zielgerichtet in die Industrie zu transferieren und die Anwenderakzeptanz zu erhöhen, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Berücksichtigung von extrusionsbedingten Rahmenbedingungen wie etwa Feuchtigkeit auf das Terahertz-Signal und die Hinterlegung von wesentlichen Projekterkenntnissen und den dazugehörigen umfangreichen Materialparametern in einer zentralen Datenbank, die potenzielle Nutzer abrufen können.



Qualitätskontrolle in der Polymerschäumextrusion

Marcel Mayr
02.04.2019

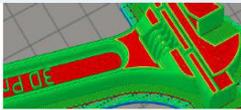


Die Adresse – wenn's um Kunststoff geht

Zahlen • Daten • Fakten

- Gegründet 1961 in Würzburg
- Über 400 Mitarbeiter (F&E: 170)
- Mehr als 350 Mitglieder in der Fördergemeinschaft für das Kunststoff-Zentrum
- Mitglied der AiF
- Gründungsmitglied der Zuse-Gemeinschaft





Additive Fertigung



Bauteileigenschaften



Biopolymere



Composite



Compoundieren



Dispergieren



Extrudieren



Kleben



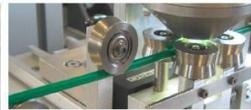
Materialentwicklung



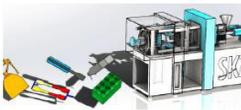
Nachhaltigkeit



Oberflächentechnik



Prozessmesstechnik



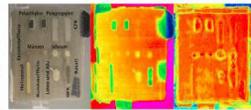
Spritzgießen



Schweißen



Textilbeton

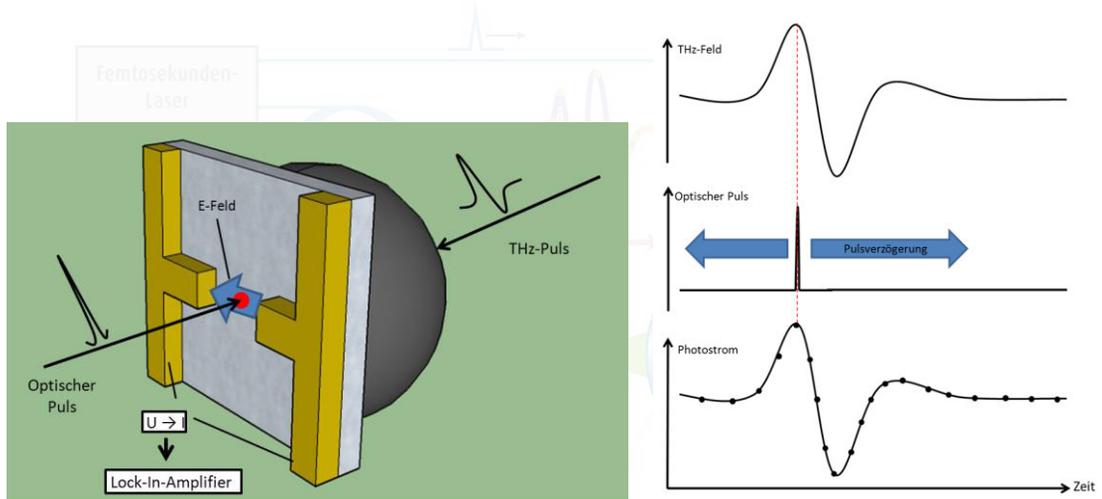
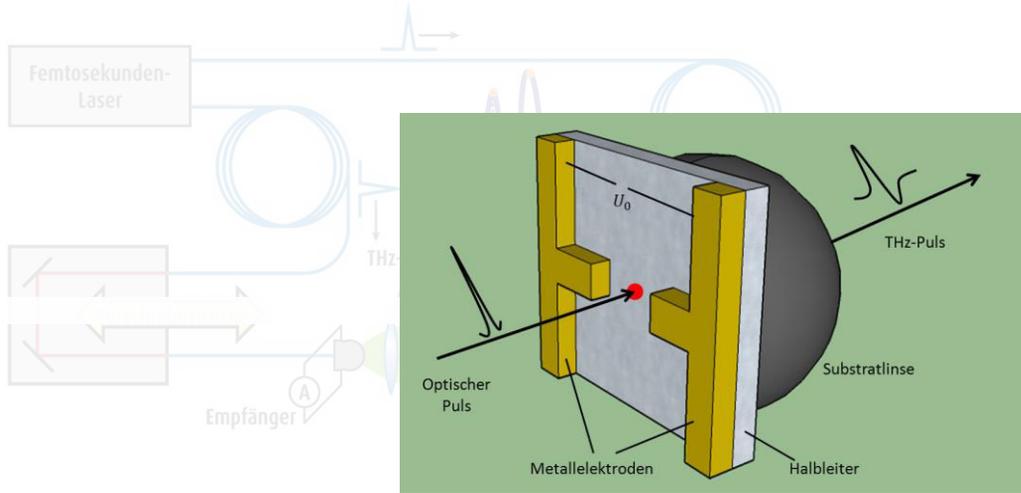


Zerstörungsfreie Prüfung

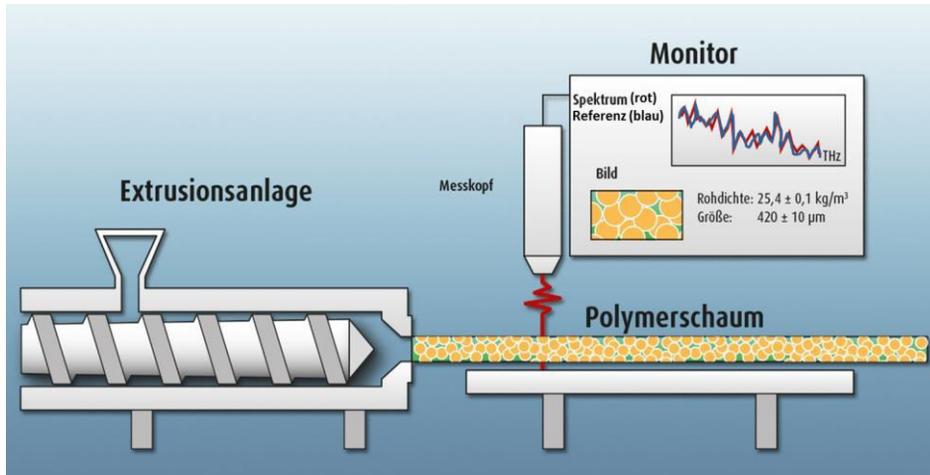
Definition

- Sammelbegriff für Prüfverfahren
- Bestimmung der Qualität, **OHNE** betriebsrelevante Zerstörung des Bauteils



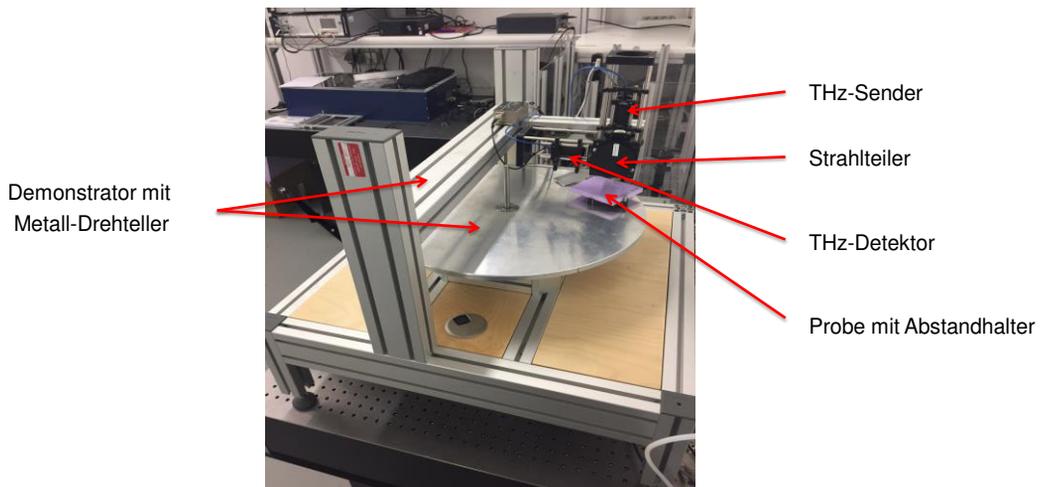


Charakterisierung von Polymerschäumen während der Herstellung



Terahertz-Messaufbau im Labor

Demonstrator-Prüfstand mit THz-Messkopf



Beispiele für geschäumte Kunststoffe



Geschäumte Rohre, Platten und Folien aus verschiedenen Materialien (PE, PET, PS, PP)



PE-Folien

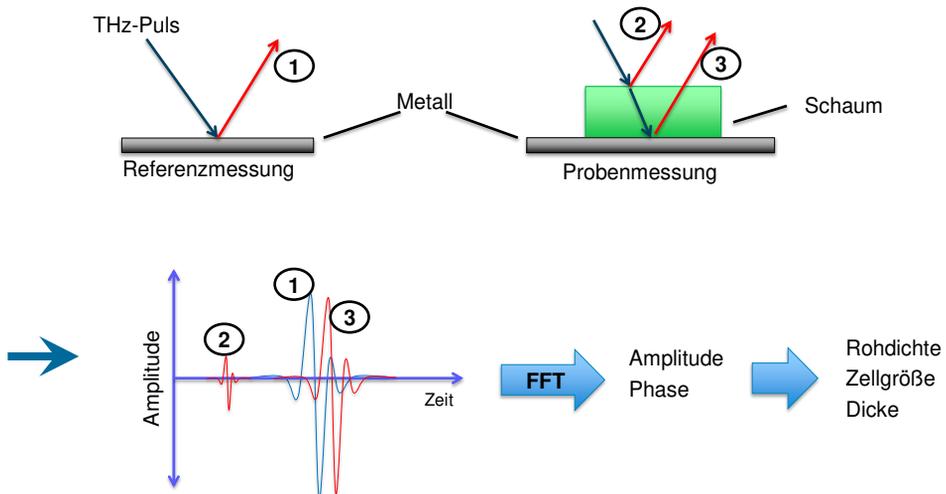


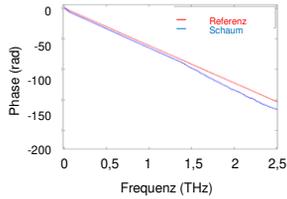
XPS-Dämmplatten



Sandwich-Bauteil

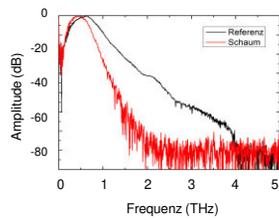
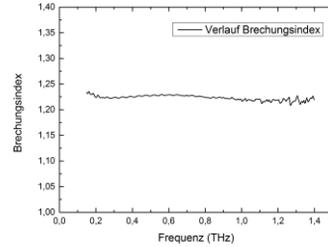
Terahertz – Charakterisierung von Polymerschäumen





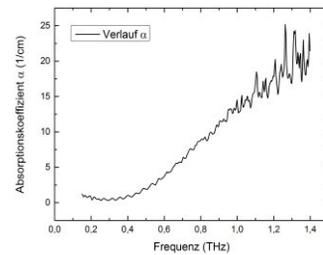
Brechungsindex:

$$n(\nu) = 1 + \frac{c}{2\pi\nu d} \Phi_{diff}(\nu)$$



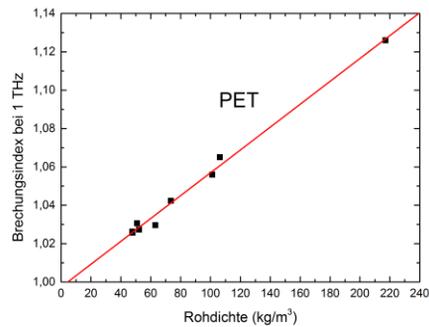
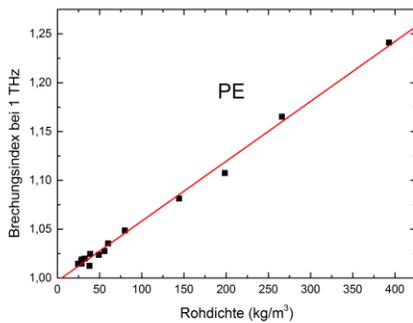
Dämpfung:

$$\alpha(\nu) = -\frac{2}{d} \ln \left[\frac{E_{sam}(\nu) (n(\nu) + 1)^2}{E_{ref}(\nu) 4n(\nu)} \right]$$

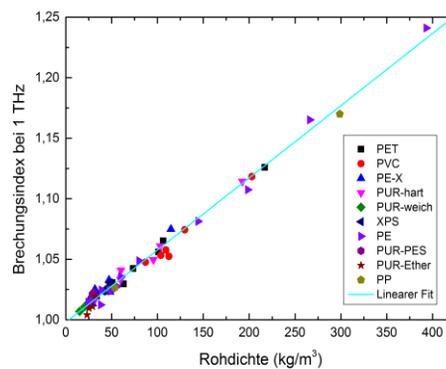
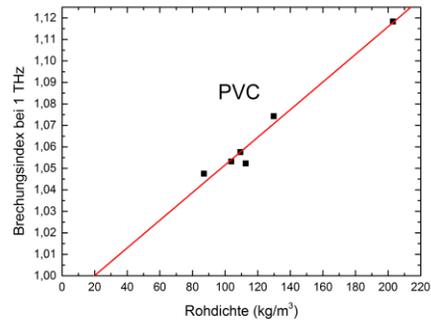
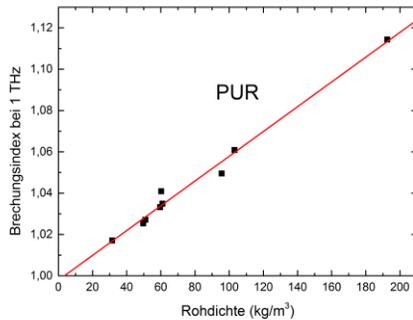


Ergebnisse – Rohdichte

- Bestimmung des **Brechungsindex**es mittels des THz-Systems
- Ermittlung der **Rohdichte** durch Wiegen von Proben bekannter Geometrie



- Bestimmung des **Brechungsindex** mittels des THz-Systems
- Ermittlung der **Rohdichte** durch Wiegen von Proben bekannter Geometrie



- Ermittlung einer Kalibrierkurve zur späteren Inline-Bestimmung der Rohdichte

Ergebnisse – Dickenberechnung

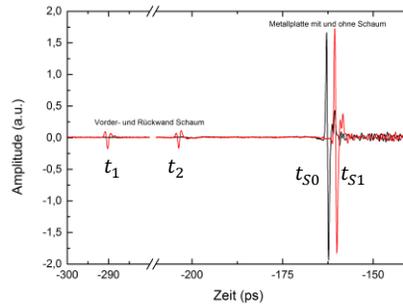
Zusätzliche Ermittlung der **Dicke** bei ebenen Oberflächen (Folien, Platten):
Idee: Kein direktes Aufliegen des Schaumes auf dem Drehteller

Reflexionen am Schaum:

$$n = \frac{c(t_2 - t_1)}{2d}$$

Zeitliche Änderung der
Reflexion an der Metallplatte
(Transmission):

$$n = \frac{c(t_{S1} - t_{S0})}{2d} + 1$$



Gleichsetzen und nach der Dicke d auflösen:

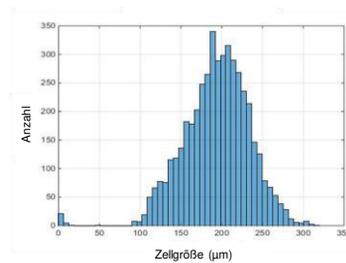
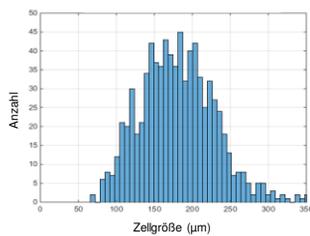
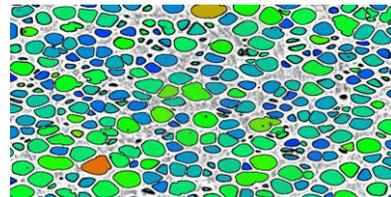
$$d = |(t_2 - t_1) - (t_{S1} - t_{S0})| \cdot \frac{c}{2}$$

Ergebnisse – Zellgrößenbestimmung mit Referenzverfahren

Mikroskop



CT-Untersuchung



Ergebnisse – Theorie zur Zellgrößenbestimmung mit Hilfe der Streuprozesse

Wellenlänge
 \approx
 Zellgröße  Approximation der Streuung durch die Mie-Theorie

$$\text{Extinktion (Dämpfung): } E = c_n \frac{\pi}{4} d_{sp}^2 K_{ext} d = c_v d \frac{3}{2 d_{sp}} K_{ext}$$

Nutzung der Theorie der Mie-Streuung zur Simulation der Extinktion bzw. der Streuprozesse

c_n : Partikelanzahlkonzentration c_v : Partikelvolumenkonzentration
 d_{sp} : Durchmesser des Partikels K_{ext} : Extinktionskoeffizient
 d : Dicke des Schaumes

Ergebnisse – Zellgrößenbestimmung

Es wurde eine Bibliothek an verschiedenen Extinktionsverläufen mit Hilfe der Mie-Streutheorie in Abhängigkeit folgender Parameter erstellt:

- Brechungsindex
- Zellgrößenverteilung

Bestimmung Brechungsindex aus vorliegendem Polymerschäum



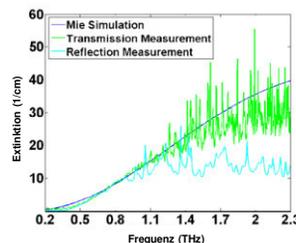
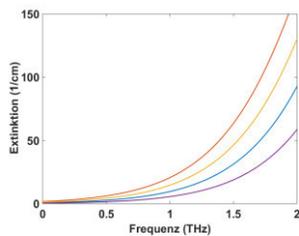
Aufrufen Bibliothek für jeweiligen Brechungsindex



Ermittlung beste Übereinstimmung Extinktionssimulation mit -messung



Mittlere Zellgröße + Standardabweichung

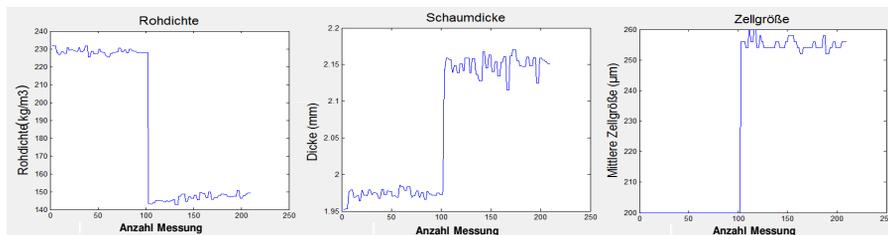


Referenzmessungen

- Messung zweier geschäumter PE-Folien
- Inline-Bestimmung von Rohdichte, Zellgröße und Dicke

Proben	Rohdichte (kg/m^3)		Zellgröße (μm)		Dicke (mm)
	Hersteller	Referenzmessung (Gewicht/Volumen)	Mikroskop	CT	Messschieber
P 9	185	199 ± 10	269 ± 85	210 ± 53	$2,0 \pm 0,1$
P 7	100	144 ± 2	329 ± 115	329 ± 102	$2,1 \pm 0,1$

THz-Messungen

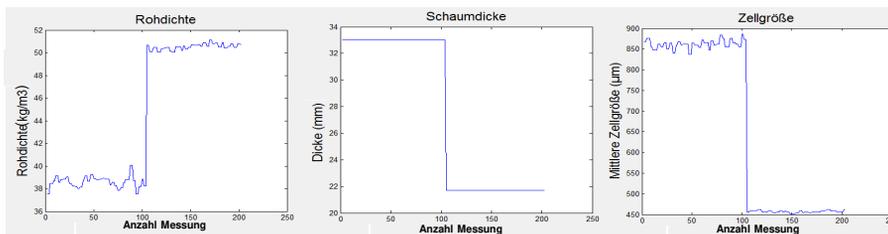


Referenzmessungen

- Messung geschäumter PE-Rohre
- Keine ebene Flächen, daher Eingabe der Dicke zur Berechnung der Rohdichte nötig

Proben	Rohdichte (kg/m^3)		Zellgröße (μm)		Dicke (mm)
	Hersteller	Referenzmessung (Gewicht/Volumen)	Mikroskop	CT	Messschieber
Rohr 1	35	39 ± 9	946 ± 289	782 ± 353	33
Rohr 2	45	56 ± 4	608 ± 195	567 ± 157	21,6

THz-Messungen

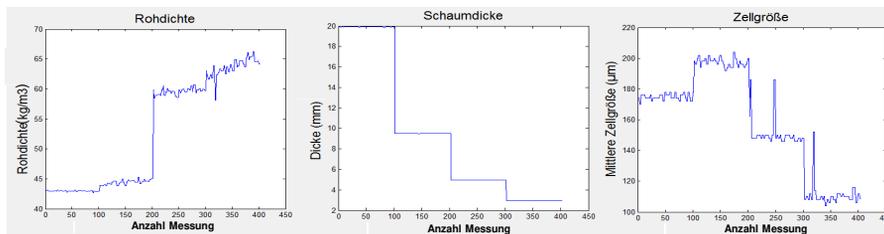


- Messung verschieden dicker geschäumter XPS-Platten
- Ebene Flächen, daher zusätzliche Berechnung der Dicke
- Steigende Rohdichte sowie fallende Zellgröße (bis auf Dicke 10 mm) bei kleiner werdender Plattendicke

Referenzmessungen

Proben	Rohdichte (kg/m^3)		Zellgröße (μm)		Dicke (mm)
	Hersteller	Referenzmessung (Gewicht/Volumen)	Mikroskop	CT	Messschieber
XPS	k. A.	42 ± 10	182 ± 69	250 ± 58	$20,15 \pm 0,10$ $9,72 \pm 0,10$ $5,20 \pm 0,70$ $3,10 \pm 0,05$

THz-Messungen



Zusammenfassung

- Entwicklung eines Demonstrators
- Simulation des Dämpfungsprozesses mittels der Mie-Streutheorie
- Schichtdicken- sowie Rohdichtenbestimmung waren mit Referenzmessungen vereinbar
- Teilweise Abweichung bei Zellgrößenbestimmung
 - Angepasste Kalibrierung auf einzelne Schaumtypen (Hersteller, Material) mit Hilfe eines zusätzlichen Faktors in Mie-Simulation
- Zusätzliche Dickenmessung bei glatten, ebenen Oberflächen (Folien, Platten)

Vielen Dank!

SKZ

