

# Einfluss des Aushärtegrades auf wesentliche Werkstoffeigenschaften von Epoxidharz-Faserverbundwerkstoffen

M. Wolfahrt<sup>1)</sup>, G. Pilz<sup>2)</sup>, R.W. Lang<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Polymer Competence Center Leoben GmbH

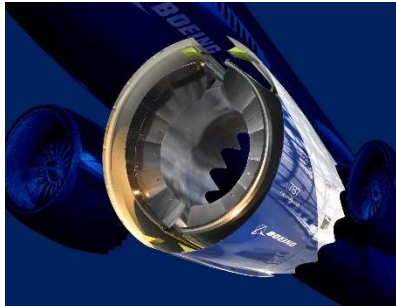
<sup>2)</sup> Department Kunststofftechnik, Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe,  
Montanuniversität Leoben

<sup>3)</sup> Institute of Polymeric Materials and Testing, Johannes Kepler Universität Linz

4a Technologietag am 06. März 2015 in Schladming

- **Einleitung und Hintergrund**
- **Methodische Umsetzung und Zielsetzungen**
- **Methodik und Experimentelles**
- **Ergebnisse**
- **Zusammenfassung**
- **Danksagung**

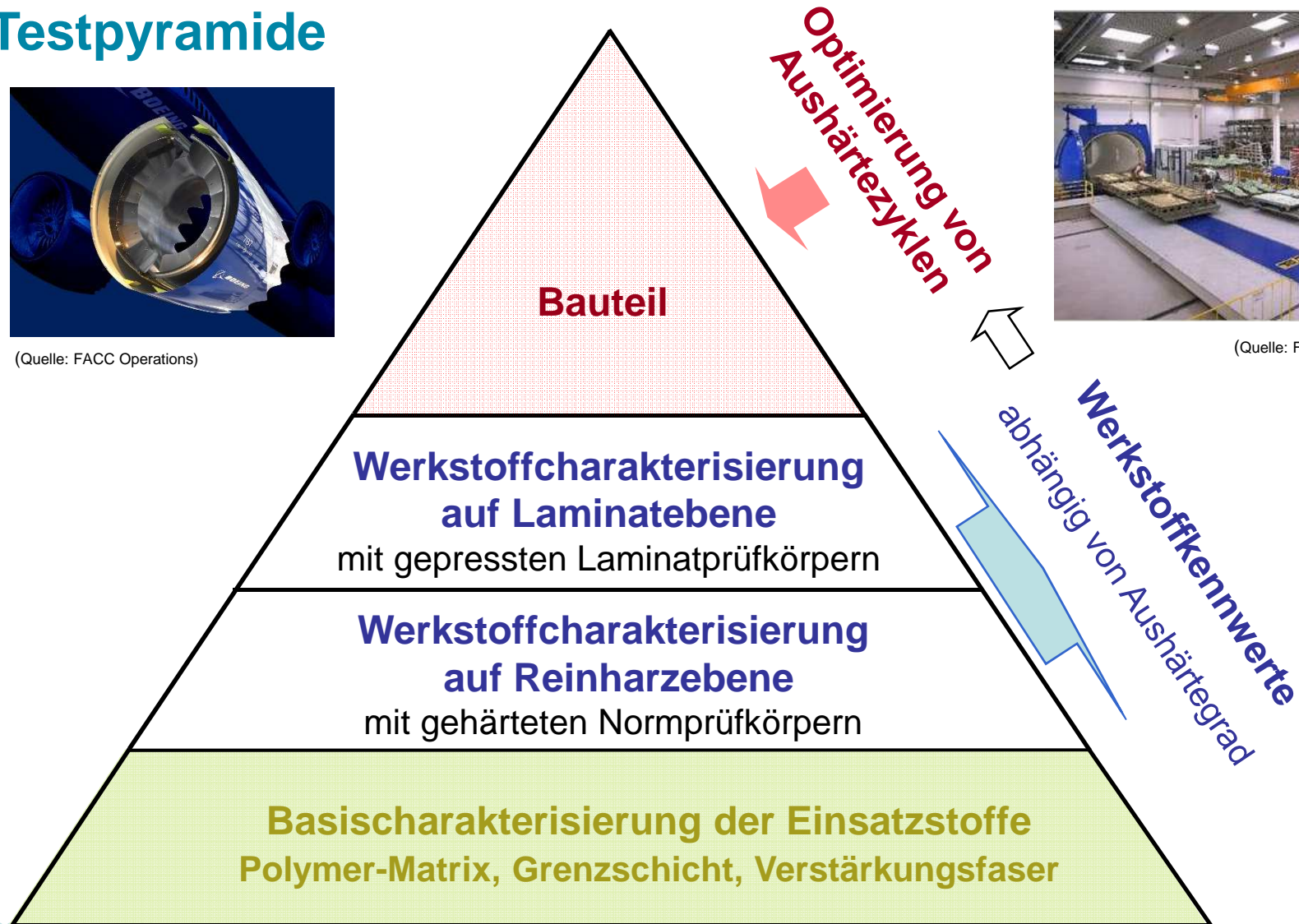
## Testpyramide



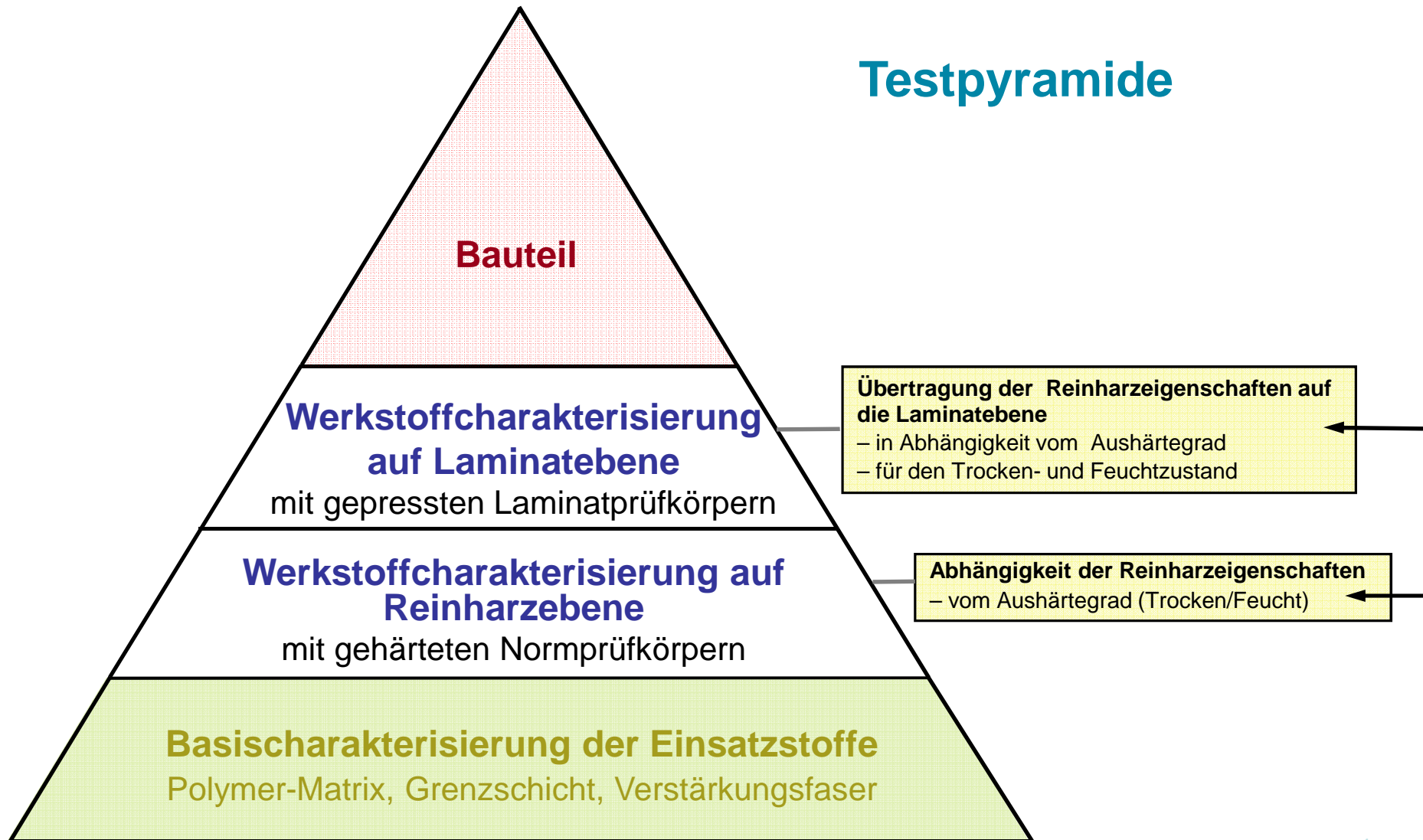
(Quelle: FACC Operations)



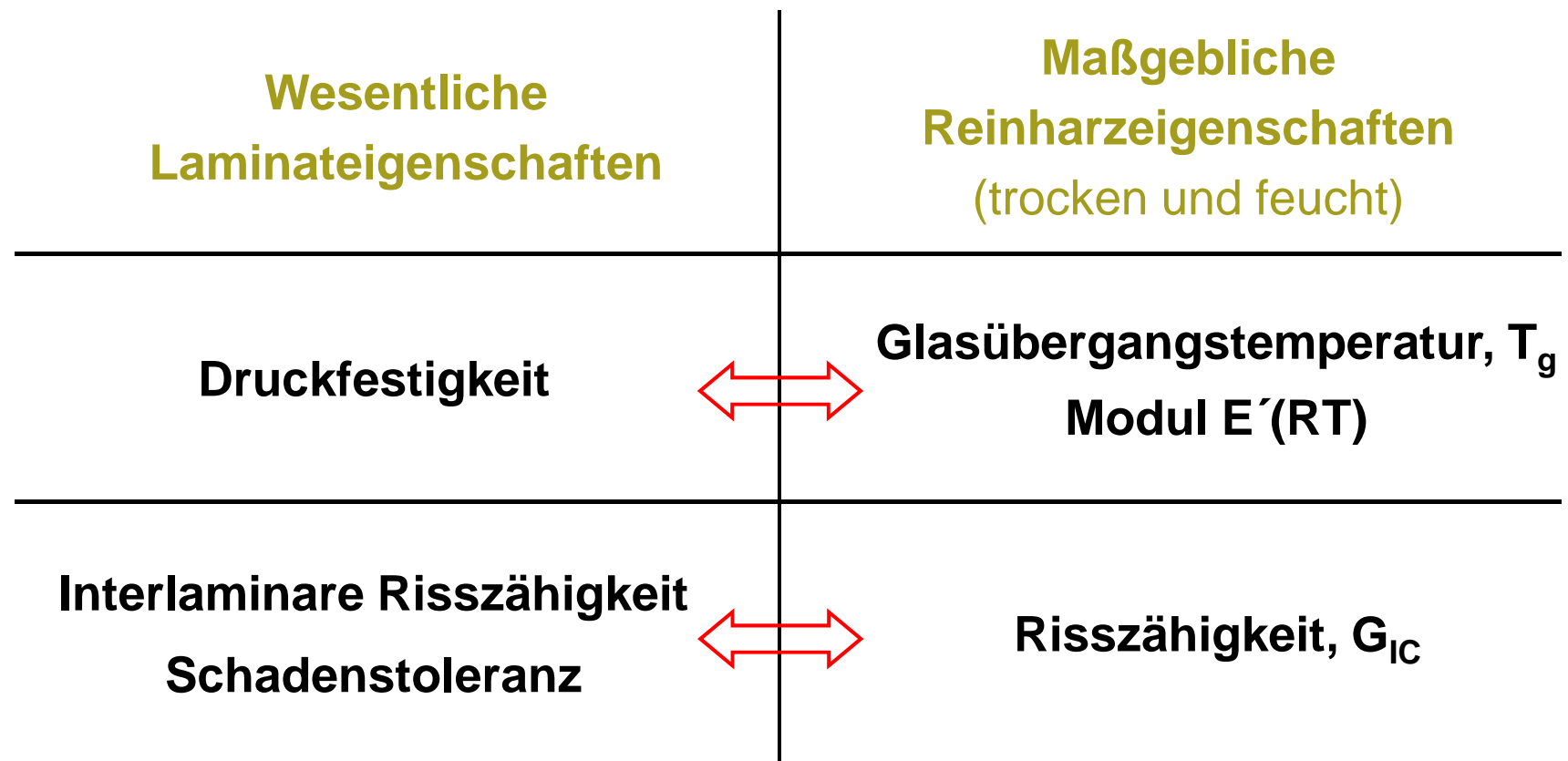
(Quelle: FACC Operations)



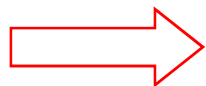
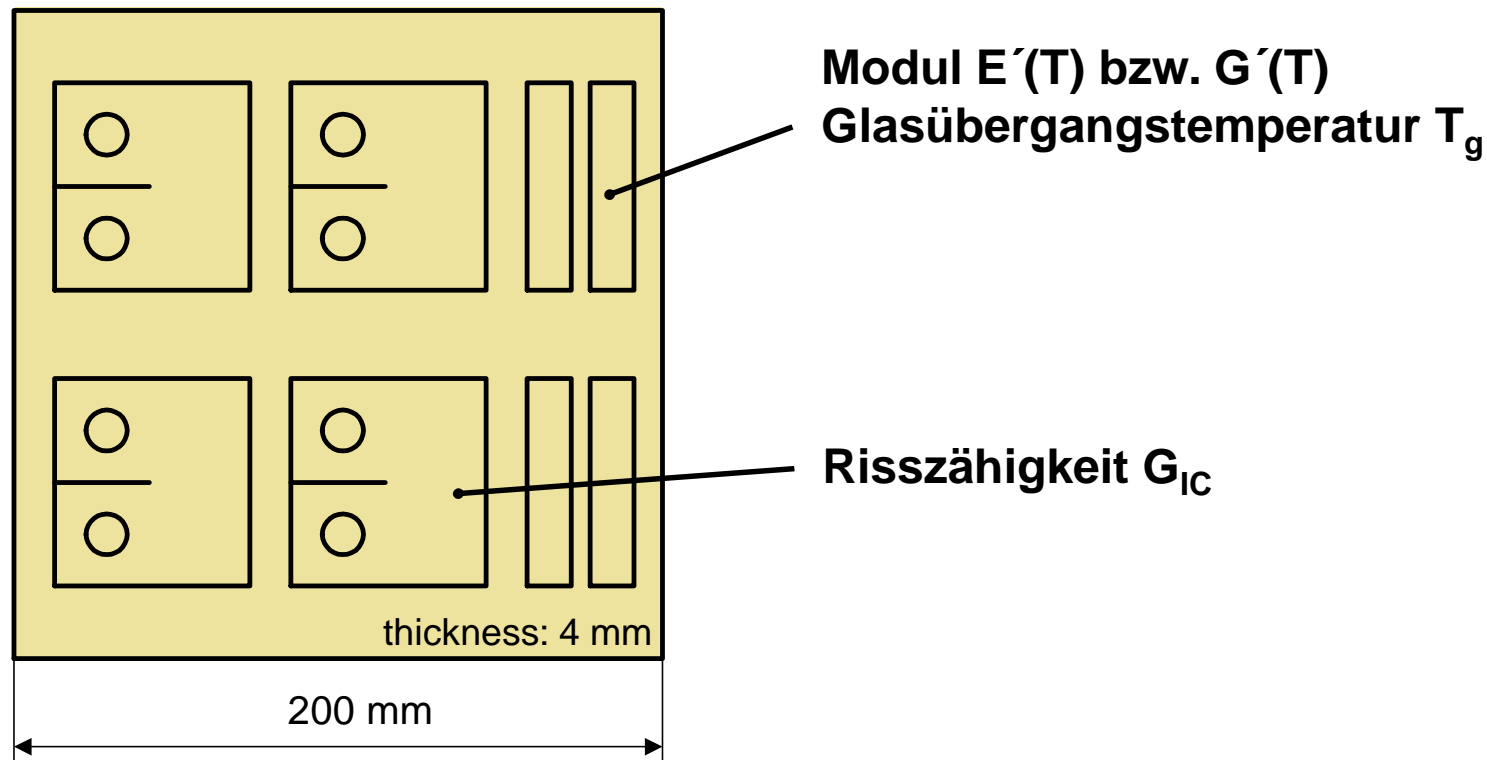
## Testpyramide



## Definition der Reinharz-Schlüsseigenschaften für den trockenen und feuchten Werkstoffzustand

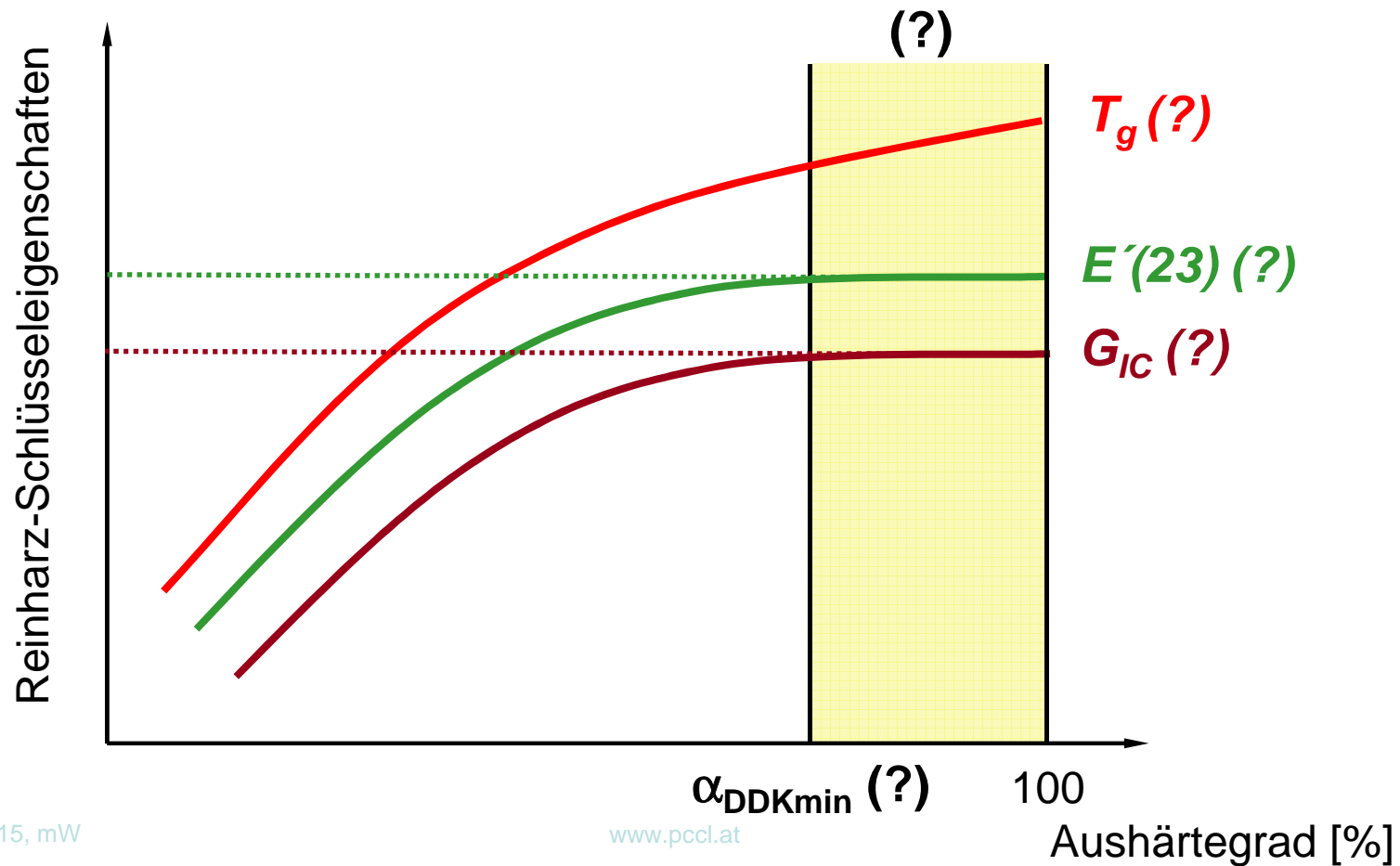


## Prüfkörpertypen für eine effiziente Werkstoffcharakterisierung



**Erforderlicher Bedarf an Reinharz:  $\approx 200$  g**

## Möglicher Einfluss des Aushärtegrades auf die Reinharz-Schlüsseigenschaften



## Werkstoffauswahl

Werkstoff-kategorien	Anmerkungen
<b>Epoxidharz (Reinharz)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– nicht stöchiometrische Formulierung mit Harzüberschuss</li><li>– empfohlene Härtungstemperatur (Prepreg): 180 °C</li></ul>
<b>Faserverbund (Laminat)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– quasi-unidirektionales (UD) Gewebeprepreg</li><li>– Verstärkungsfaser: Kohlenstofffaser vom Typ T700</li></ul>

## Werkstoffzustand

**Trockenzustand:** - Lagerung im Wärmeschrank bei 50°C bzw. 70°C für 24 Stunden

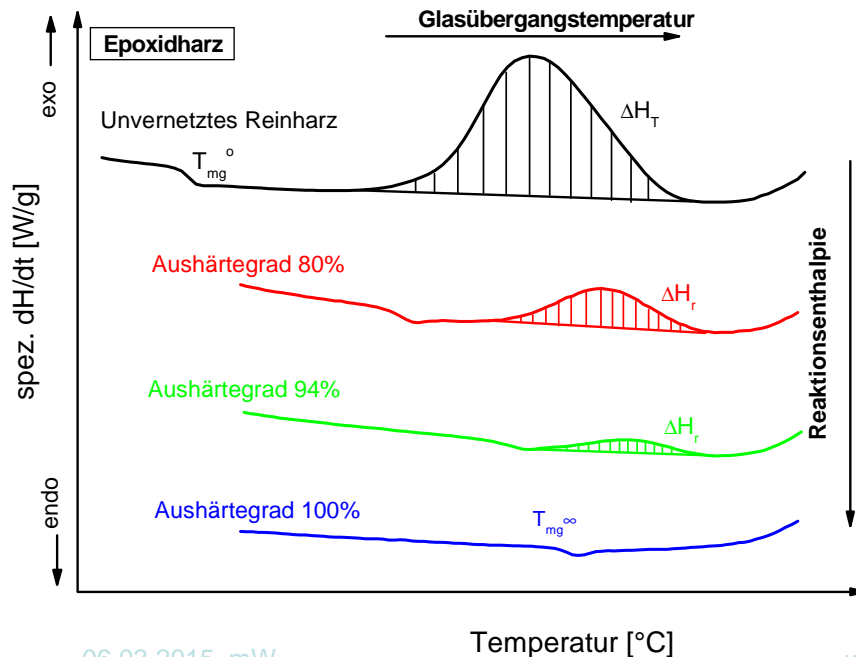
**Feuchtzustand:** - Lagerung der trockenen Prüfkörper in destilliertem Wasser bei 70°C für 10 Tage



## Bestimmung des Aushärtegrades auf Reinharzebene

### freiwerdende Restreaktionsenthalpie

$$\alpha_{DDK} = \left(1 - \frac{\Delta H_r}{\Delta H_T}\right) \cdot 100$$

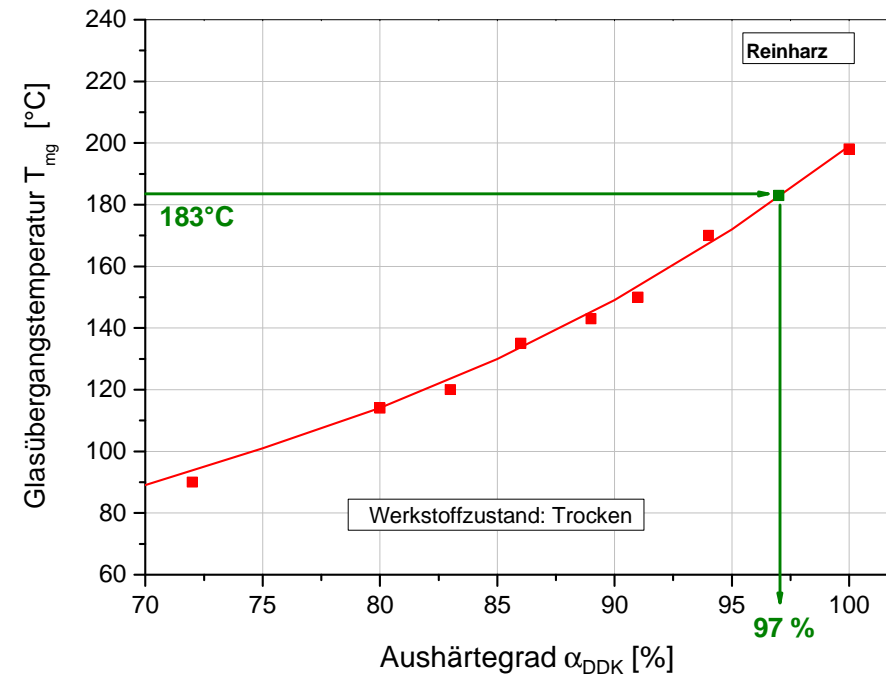


06.03.2015, mW

www.pccl.at

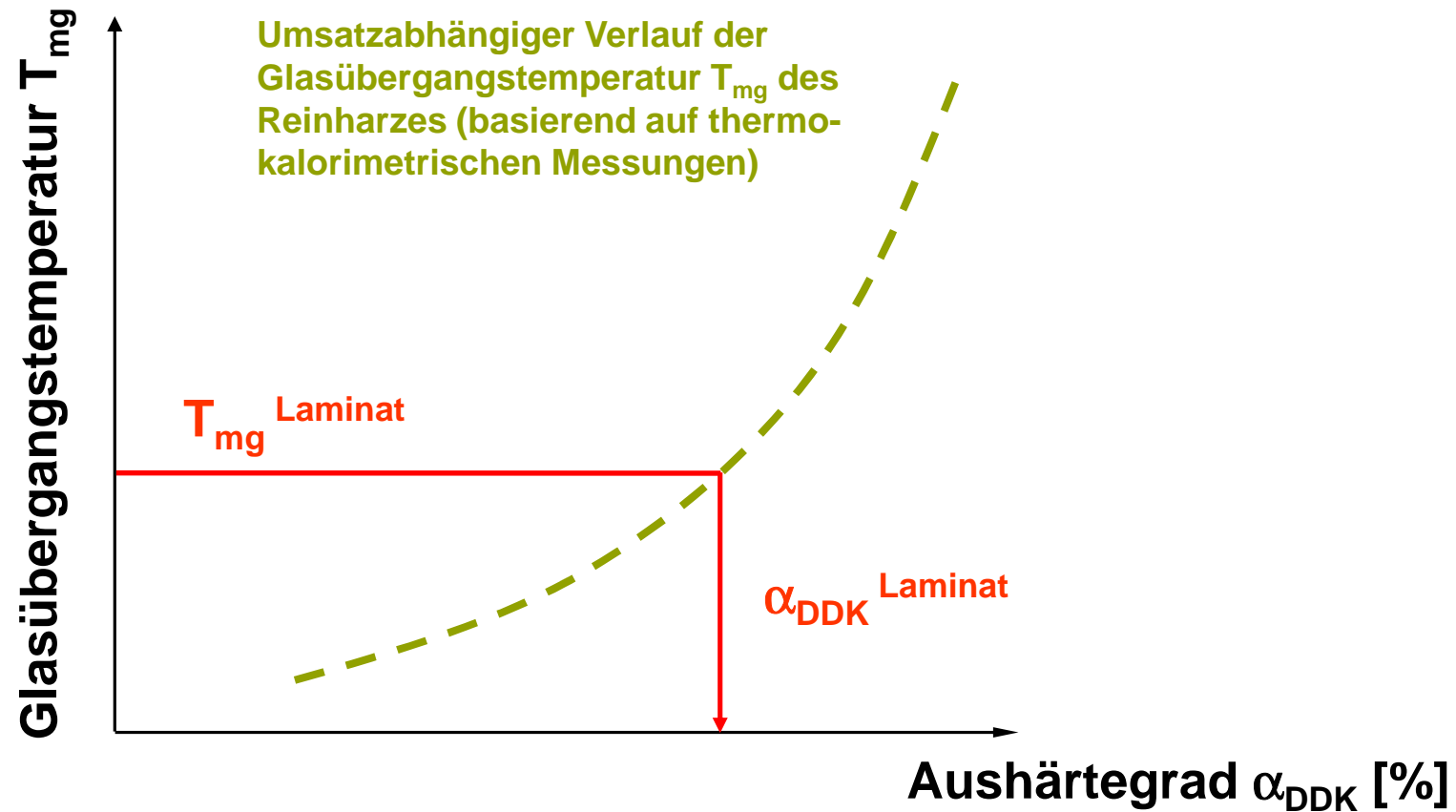
### Glasübergangstemperatur

Kurvenverlauf  $T_{mg}$  vs.  $\alpha_{DDK}$

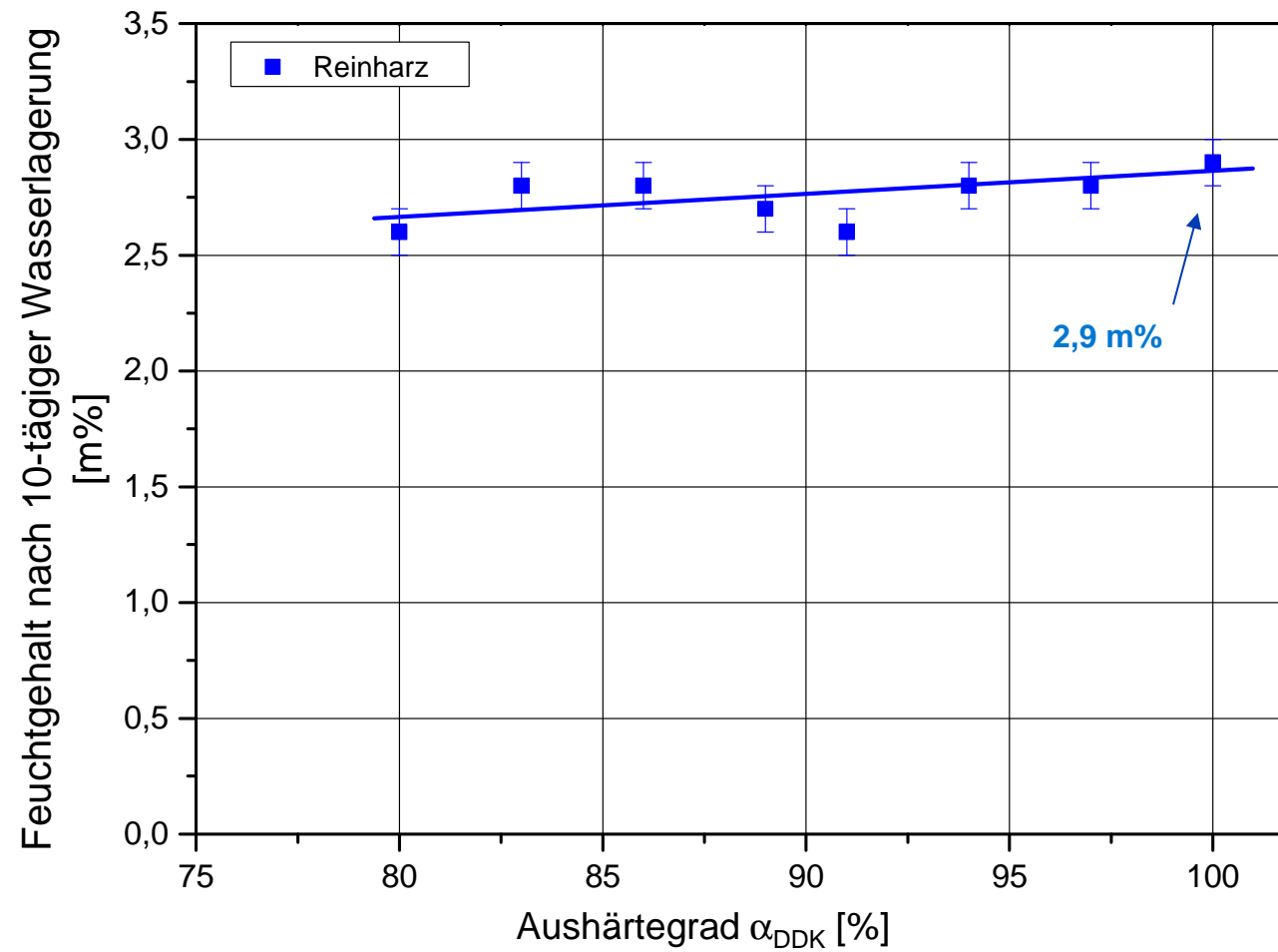


9

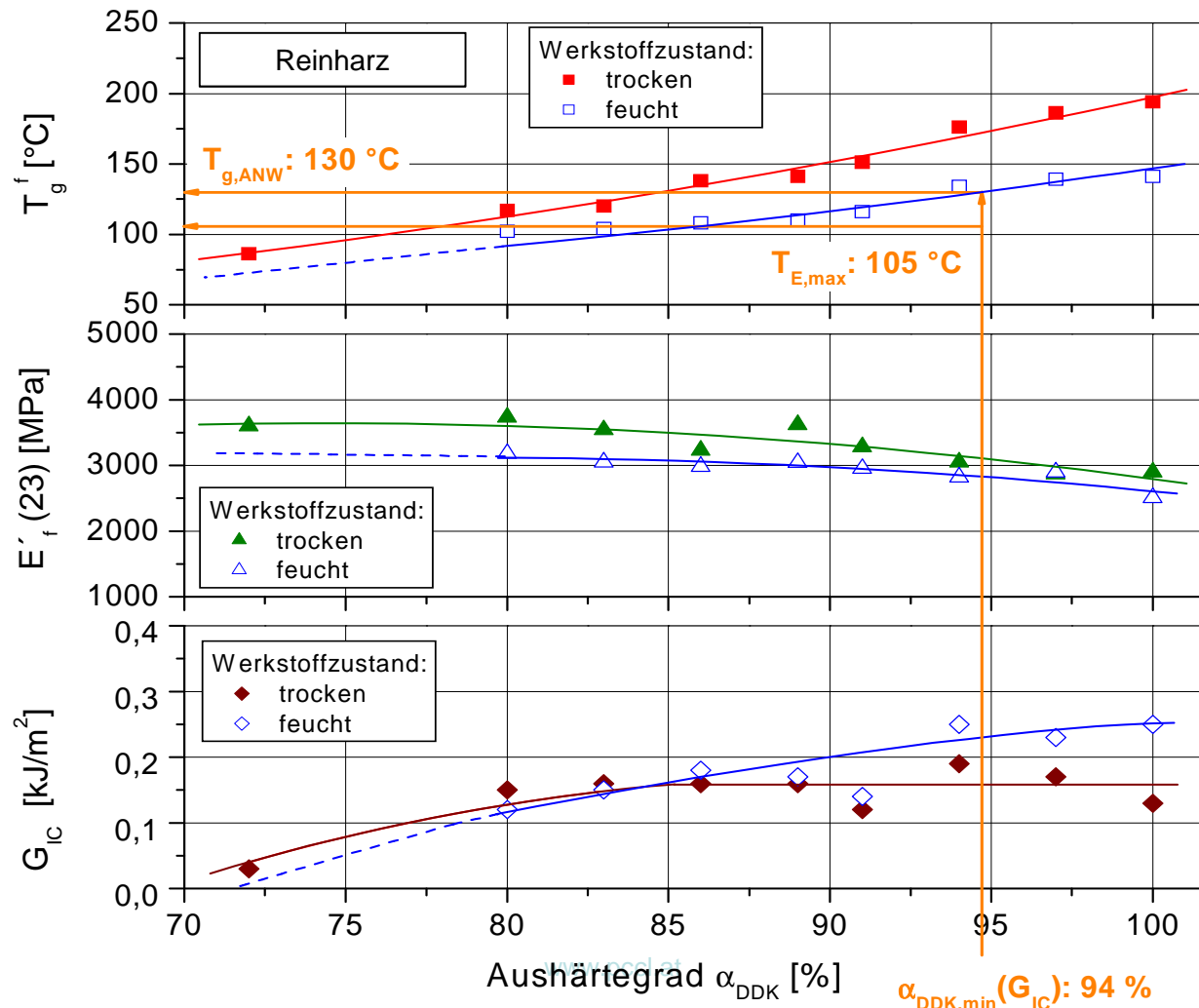
## Bestimmung des Aushärtegrades auf Laminatenebene



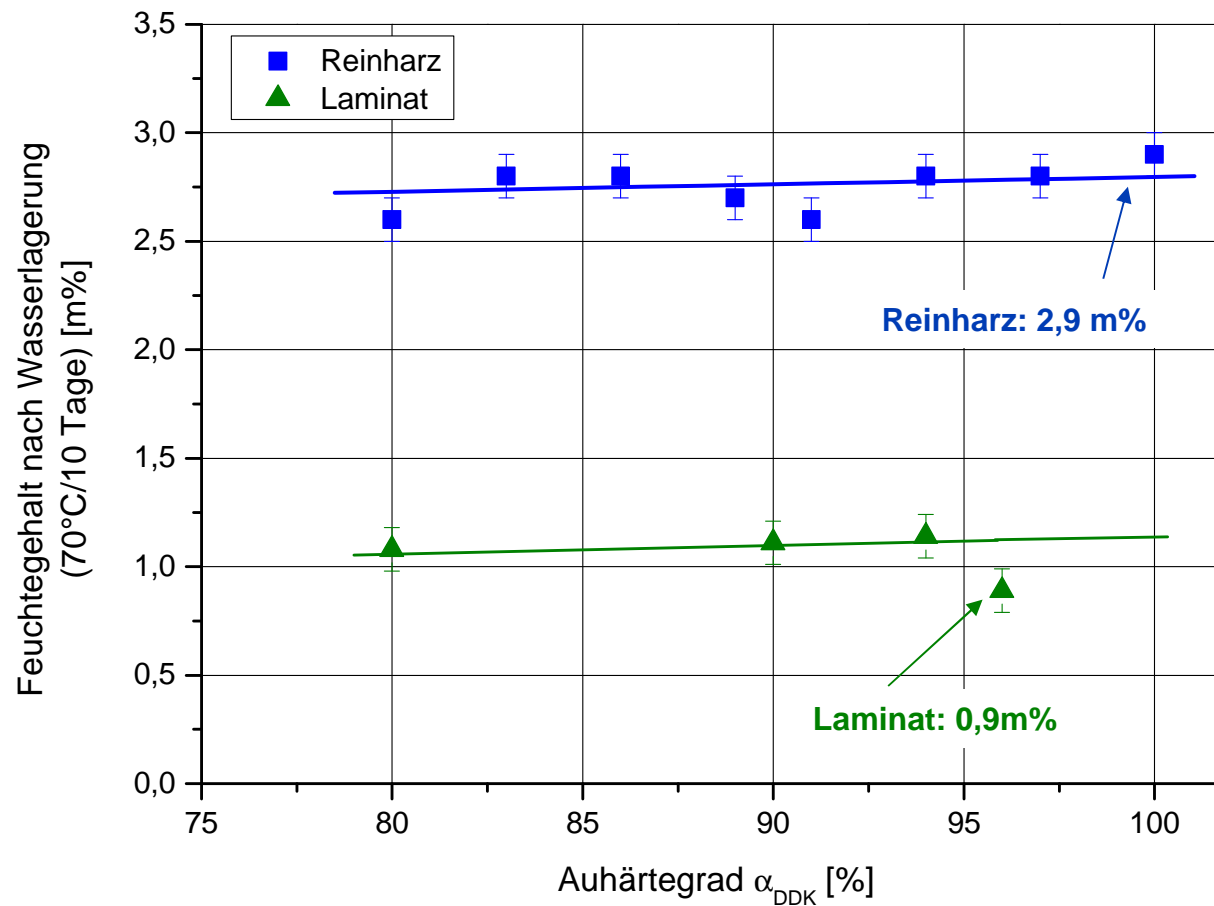
## Feuchteaufnahmeverhalten



## Einfluss des Aushärtegrades auf die Reinharz-Schlüsseleigenschaften Epoxidharz-Matrixwerkstoff im Trocken- und Feuchtzustand

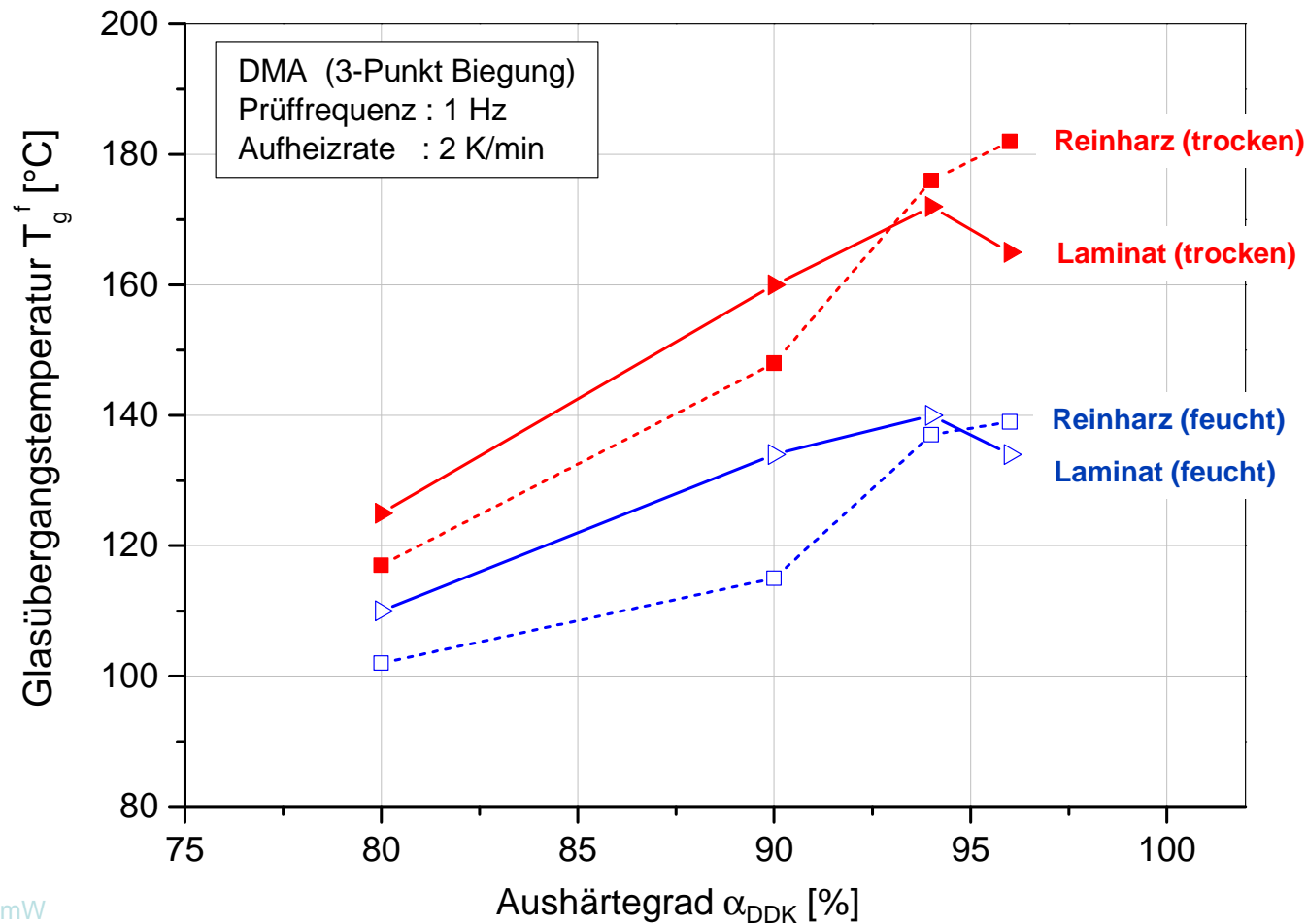


## Feuchteaufnahmeverhalten auf Reinharz- und Laminatenebene



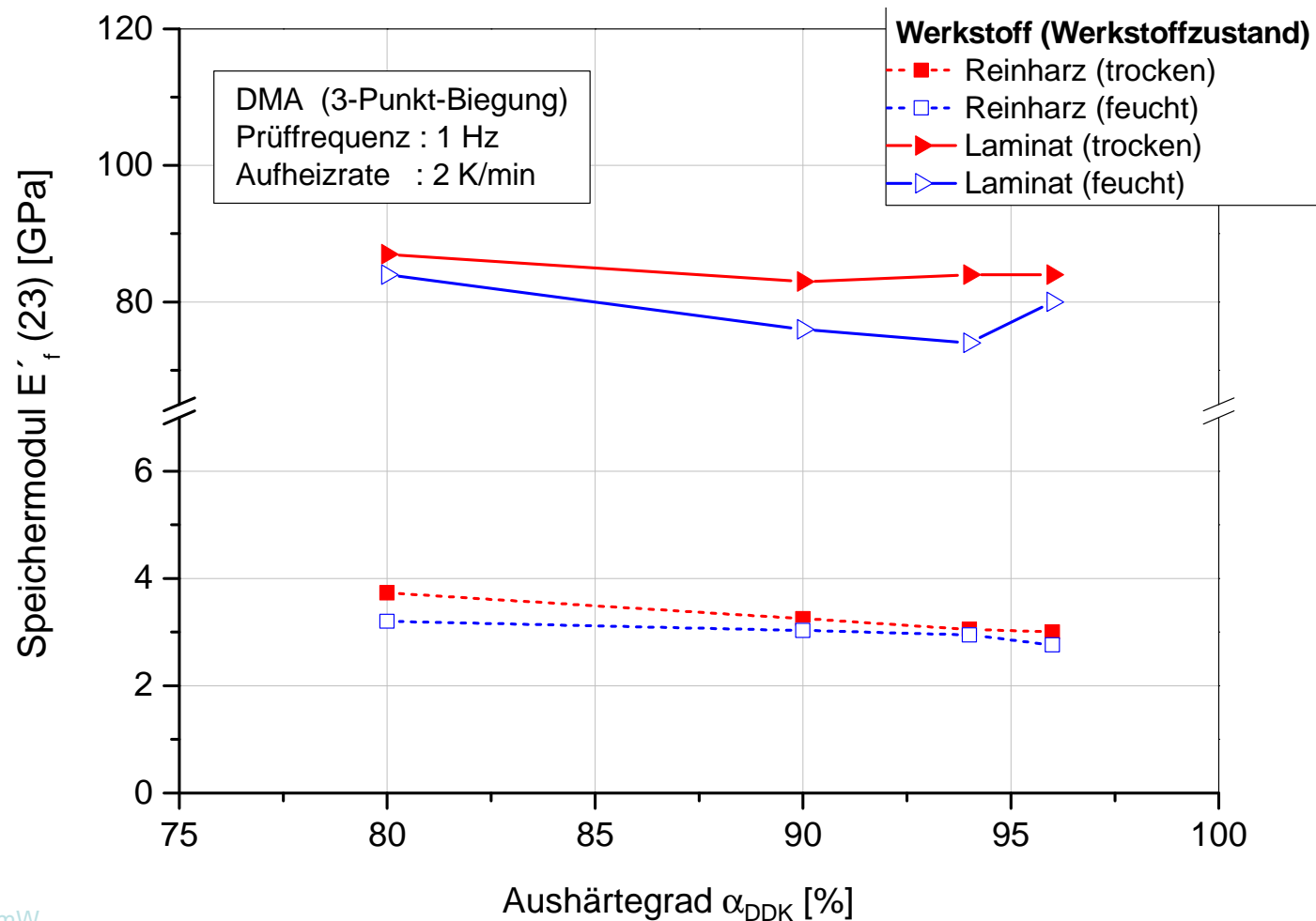
## Übertragbarkeit der Reinarzeigenschaften auf die Laminalebene

### Glasübergangstemperatur $T_g^f$ als Funktion des Aushärtegrades

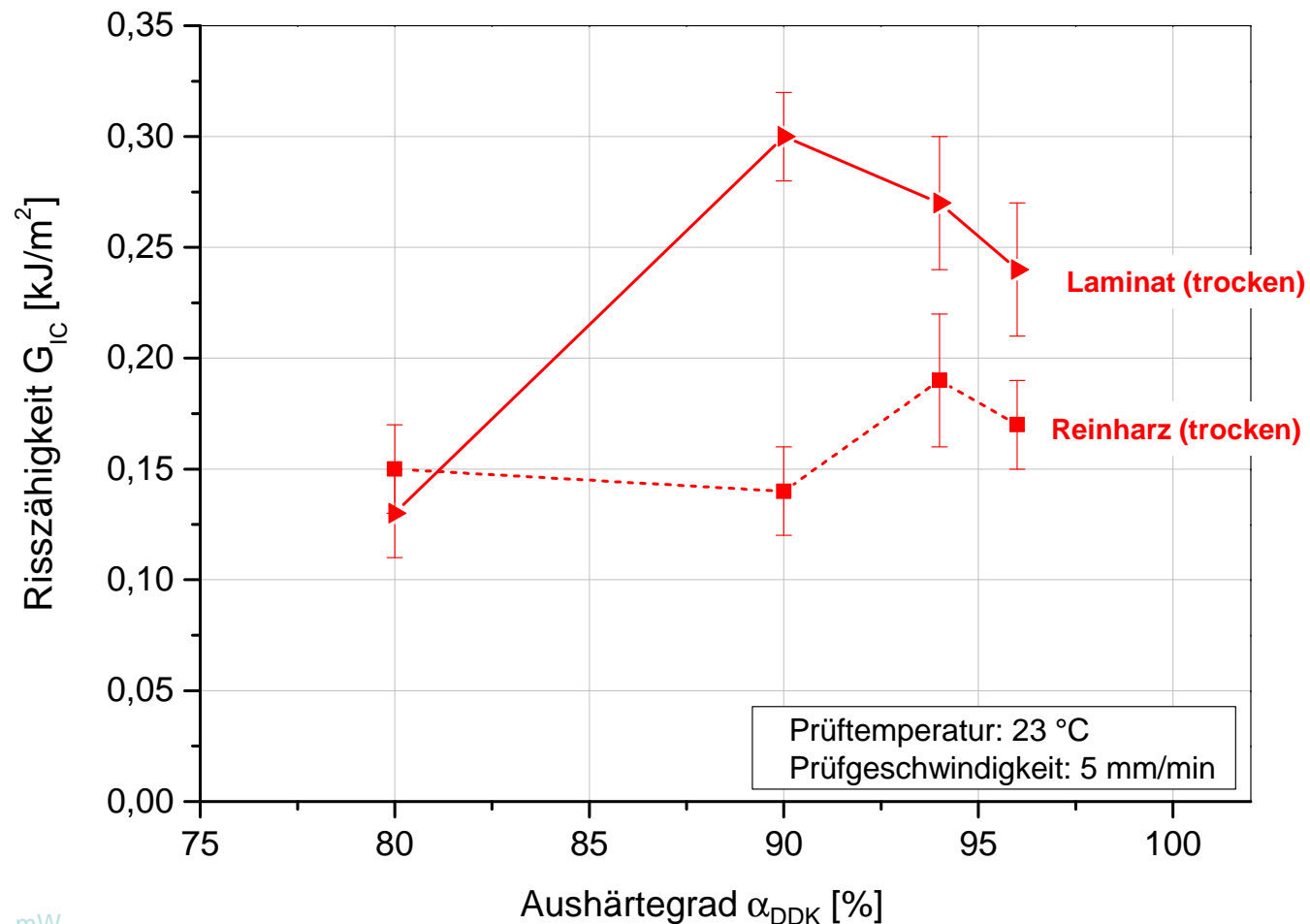


## Übertragbarkeit der Reinarzeigenschaften auf die Laminatenebene

### Speichermodul $E'_f(23)$ als Funktion des Aushärtegrades

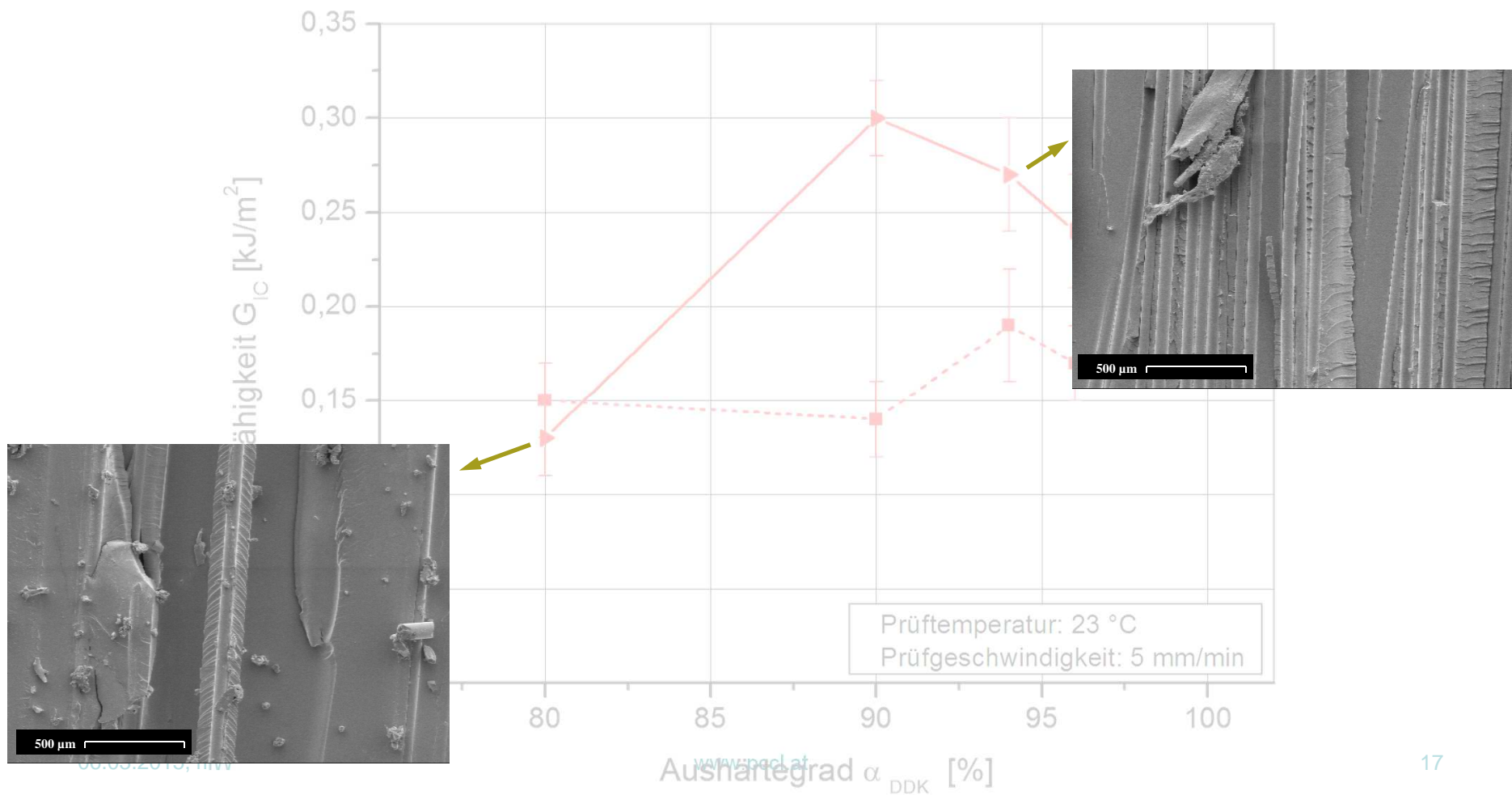


## Übertragbarkeit der Reiharzeigenschaften auf die Laminatenebene Risszähigkeit als Funktion des Aushärtegrades

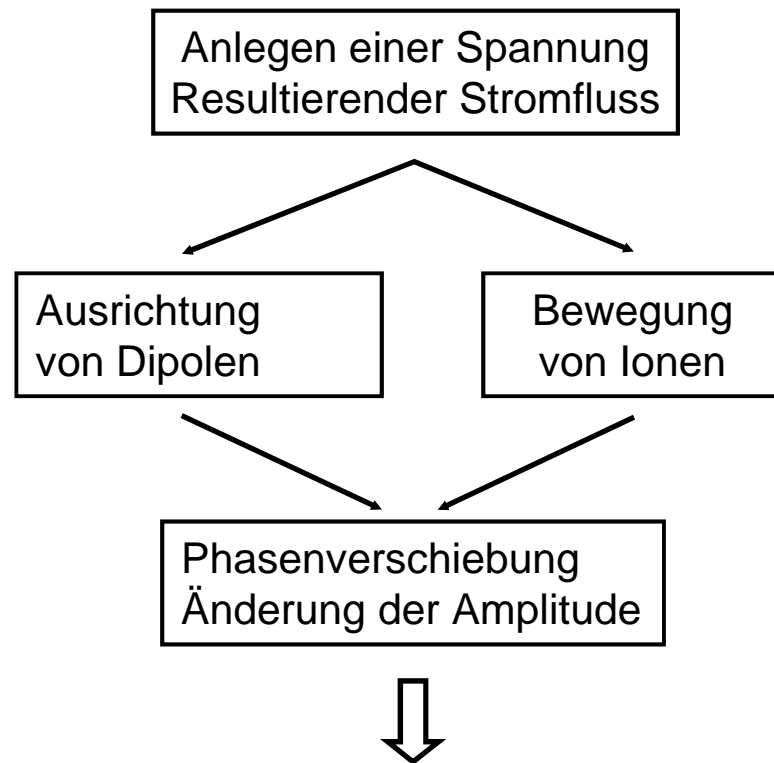




## Übertragbarkeit der Reinarzeigenschaften auf die Laminalebene Risszähigkeit als Funktion des Aushärtegrades



## Grundprinzip der dielektrischen Analyse DEA

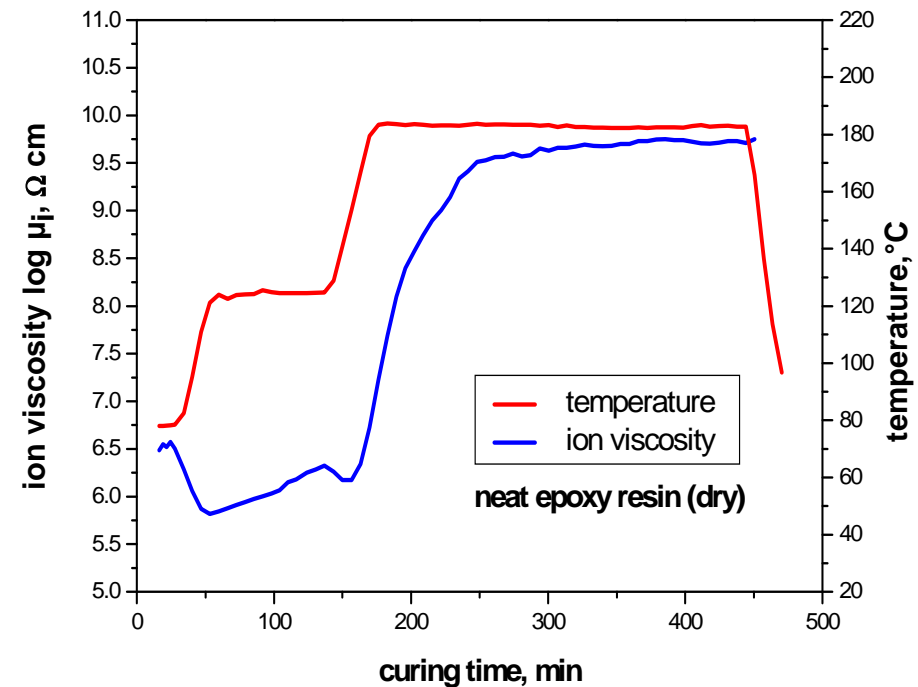


### Dielektrische Eigenschaften

Permittivität  $\epsilon'$

Dielektrischer Verlustzahl  $\epsilon''$

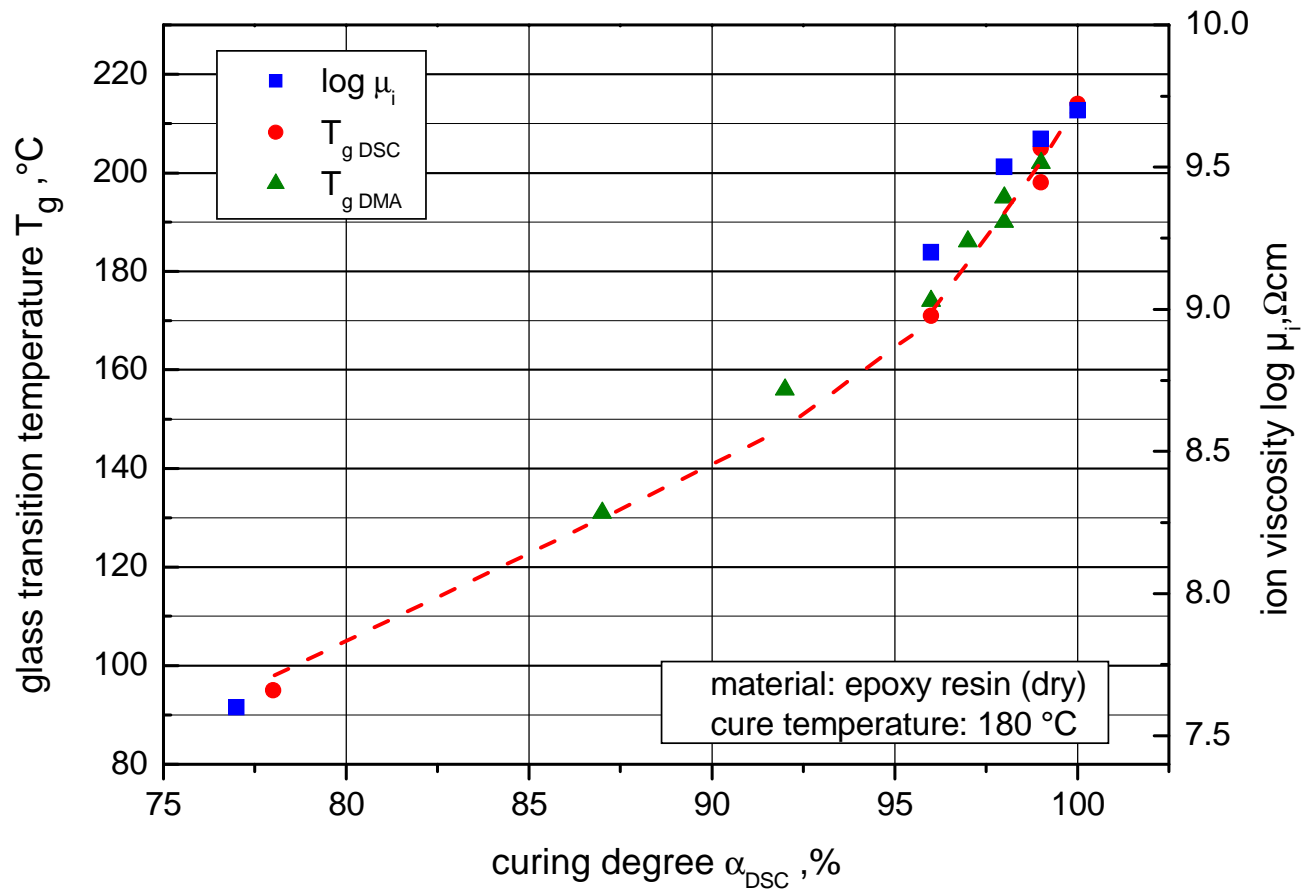
(Quelle: Knappe, 2004)



Ionenviskosität und Temperatur für das Reinharz als Funktion der Härtingszeit

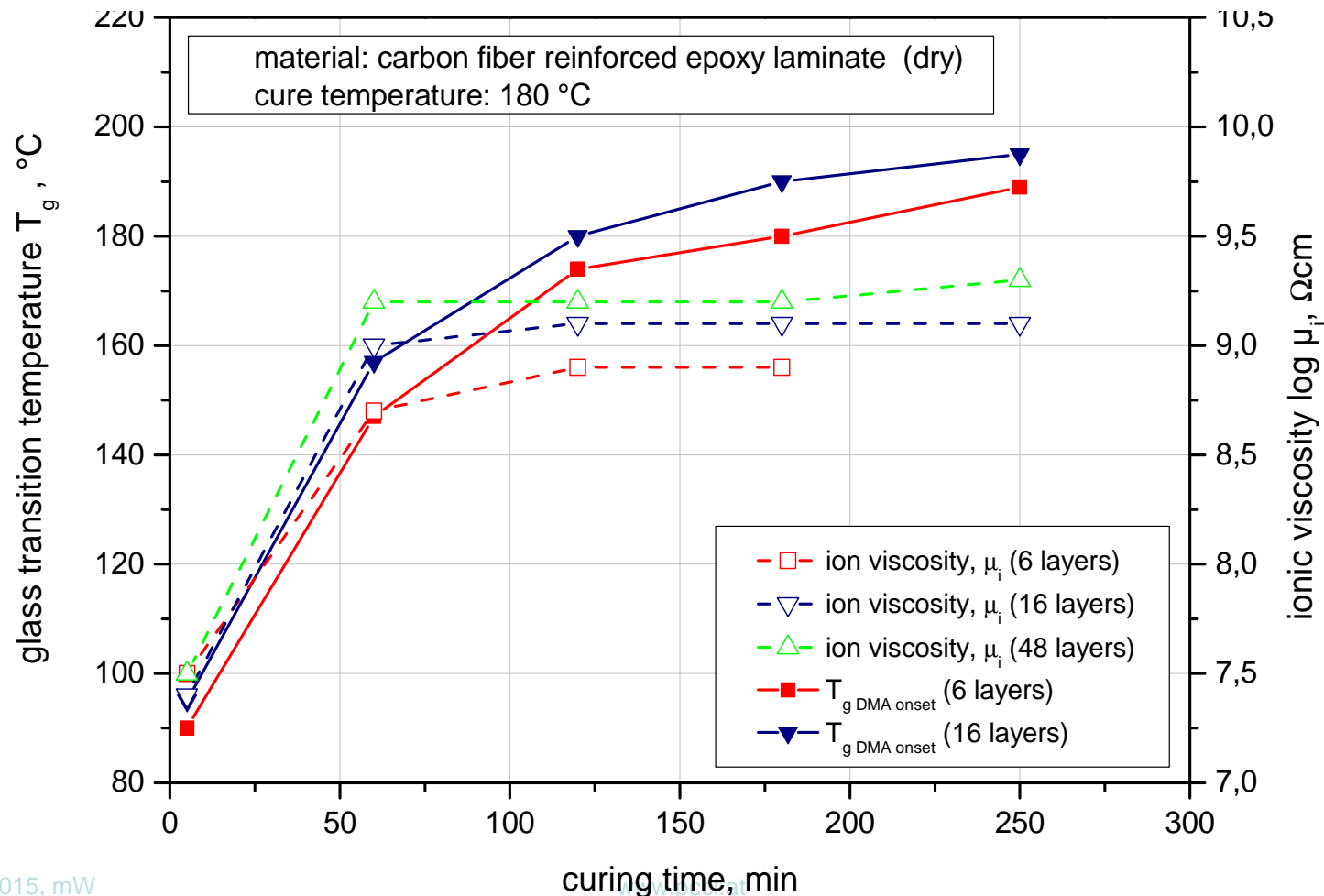
# Optimierung von Aushärtezyklen für Verbundbauteile

Dependence of glass transition temperatures on curing degree compared with results of DEA for a neat epoxy resin



# Optimierung von Aushärtezyklen für Verbundbauteile

## Glass transition temperature and ion viscosity as a function of the curing time for carbon fiber reinforced epoxy laminates



## Zusammenfassung

- (1) Die **Abhängigkeit der Reinharz-Schlüsseigenschaften vom Aushärtegrad** im Trocken- und Feuchtzustand kann wie folgt zusammengefasst werden:
  - Anstieg der Werte mit zunehmendem Umsatz für  $T_g$ ,
  - Abfall der Werte mit zunehmendem Umsatz für  $E_f'(23)$ ,
  - Anstieg der Werte bis zu einem bestimmten Umsatz mit anschließendem Übergang in ein vom Aushärtegrad unabhängiges Plateau für  $G_{IC}$ .
- (2) **Gute Übertragbarkeit der auf der Reinharzebene** in Abhängigkeit vom Aushärtegrad sowohl für den trockenen als auch für den feuchten Werkstoffzustand generierten Ergebnisse **auf die Laminebene**.
- (3) **Gute Korrelation zwischen Ionenviskosität und Glasübergangstemperatur auf Reinharzebene**

# Danksagung



Die vorliegende Forschungsarbeit wurde an der Polymer Competence Center Leoben GmbH im Rahmen des Kompetenzzentren-Programms COMET des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend unter Beteiligung der Montanuniversität Leoben (Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe), FACC Operations GmbH und Isovolta AG durchgeführt und mit Mitteln des Bundes und der Länder Steiermark, Niederösterreich und Oberösterreich gefördert.



# Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

**Dr. Markus Wolfahrt**

Senior Researcher Composites

Polymer Competence Center Leoben GmbH

Roseggerstrasse 12

A-8700 Leoben

Tel.: +43 3842 402-2107

Fax.: +43 3842 42962-6

markus.wolfahrt@pccl.at

www.pccl.at