



DITF

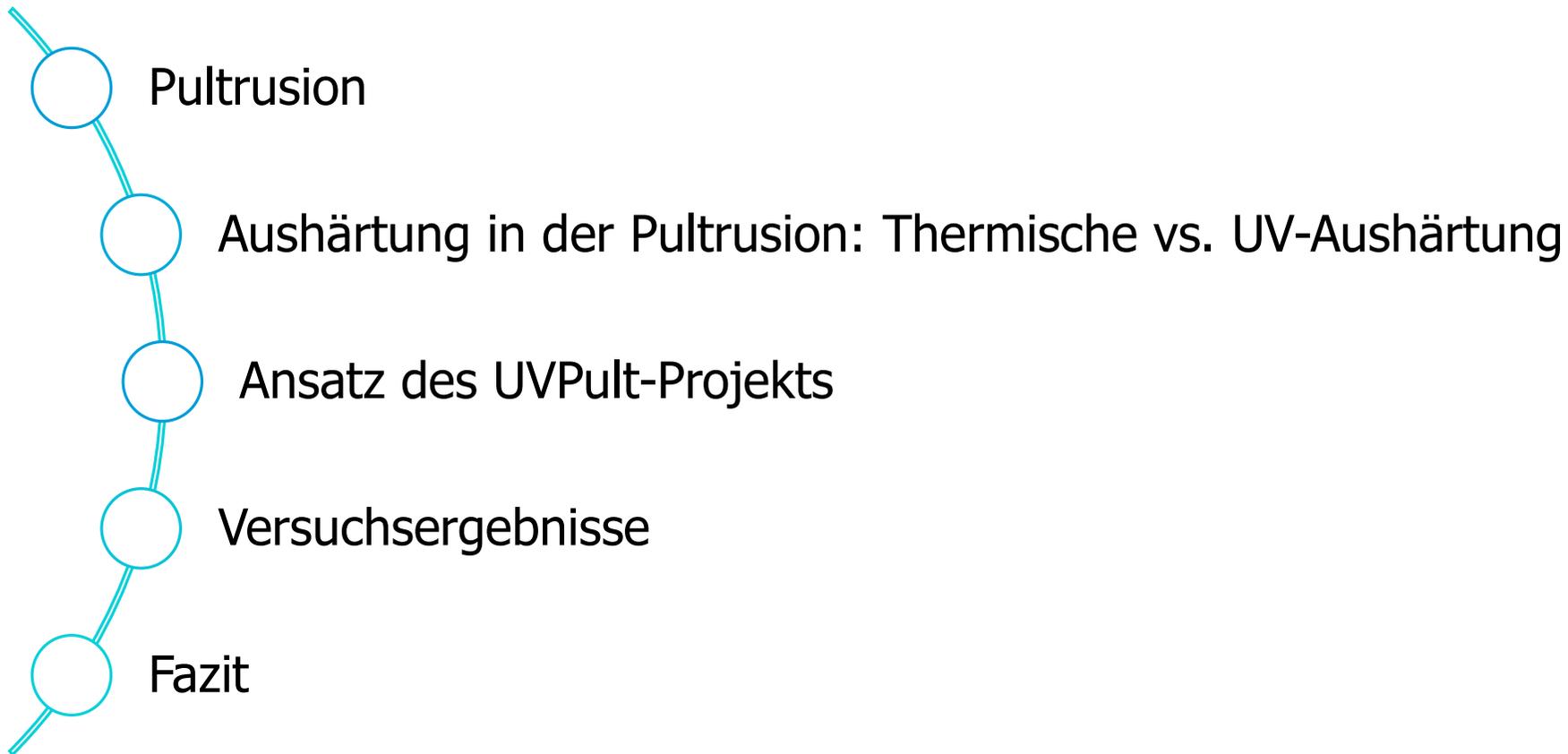
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

# Energieeffiziente Serienfertigung von Automobilteilen durch innovative UV-Pultrusionsverfahren

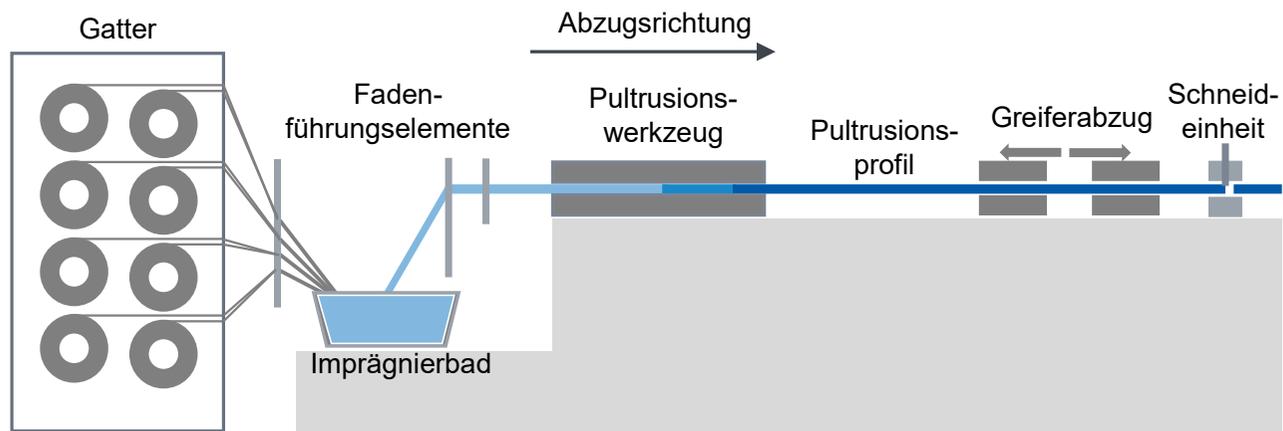
Sathis Kumar Selvarayan

Technologietag Leichtbau, 06.11.2024, Fraunhofer IPA Stuttgart

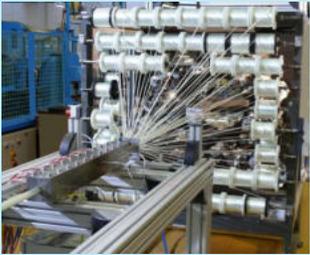
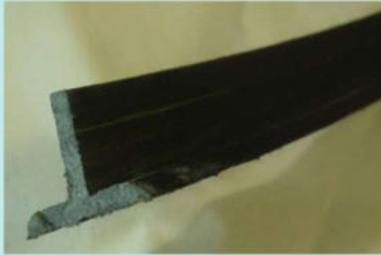
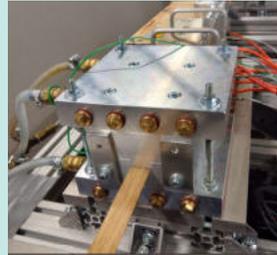
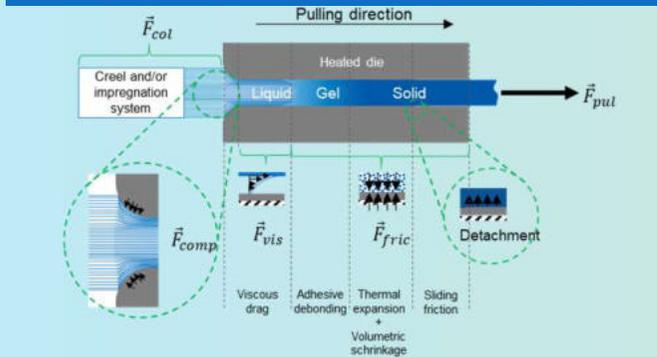
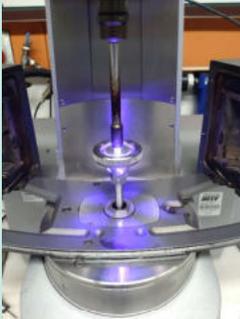
## Gliederung



# Pultrusion



## Pultrusion an den DITF

Thermische Pultrusion	Duroplast			Thermoplast		Keramik		
								
	Flecht-Pultrusion	Bio-basierte Materialien	Bionik	Gekrümmte Profile	Cellulose	Keramik system		
	Schnelles Aushärten	Mikrowelle	UV		Prozess Optimierung	„Die Dynamics“		Analytik
								

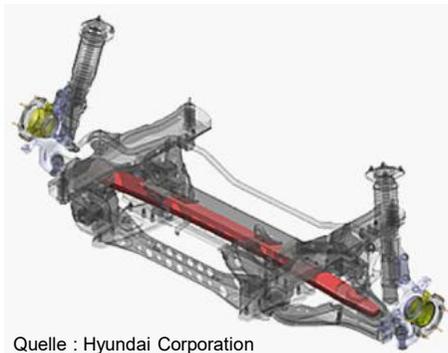
## Faserverbundprofile für Automobilanwendungen



Quelle: BASF



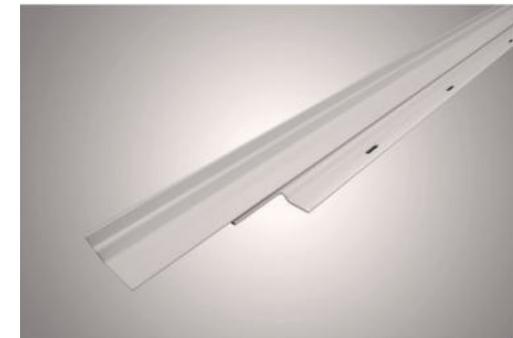
Quelle : L&L Products



Quelle : Hyundai Corporation

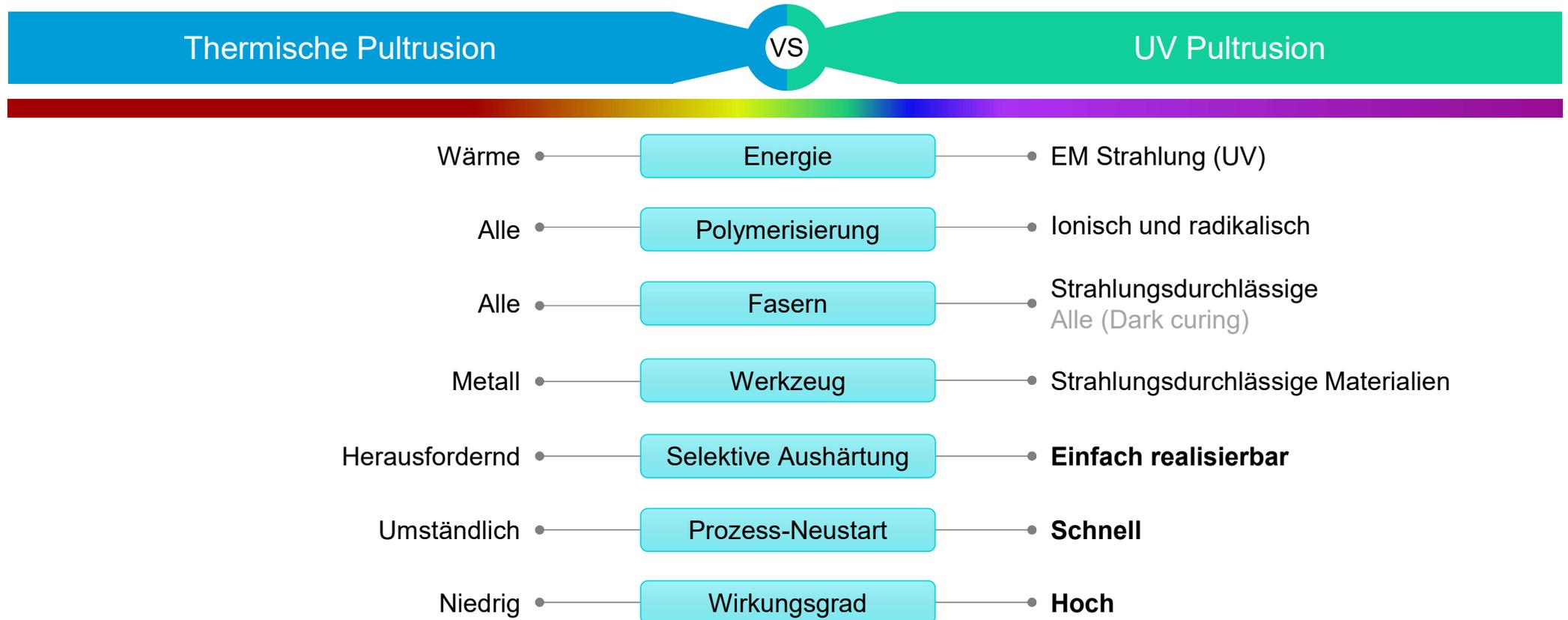


Quelle : Audi AG

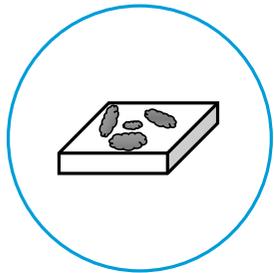


Quelle : Techno Composites

# Aushärtung in der Pultrusion: Thermische vs. UV-Aushärtung



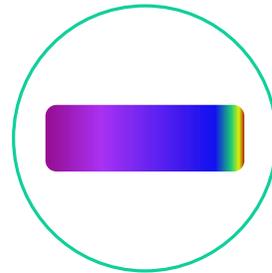
# Herausforderungen bei der UV-Pultrusion



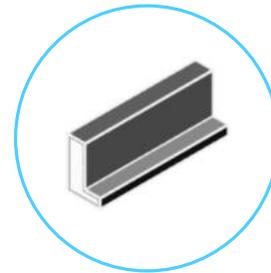
Aushärtung im  
Werkzeug  
**Schnelle  
Anhaftung**



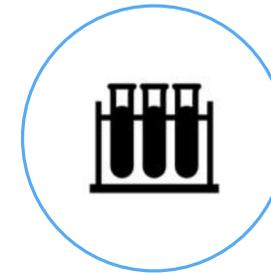
Werkzeug-  
gestaltung  
**Material  
Strahlung**



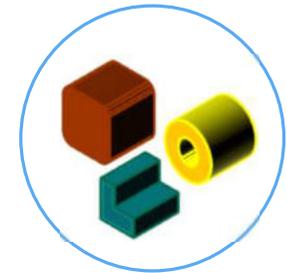
Strahlungsquelle  
**Wellenlänge  
Intensität**



Bauteildicke  
**Dicke vs.  
Aushärtung**

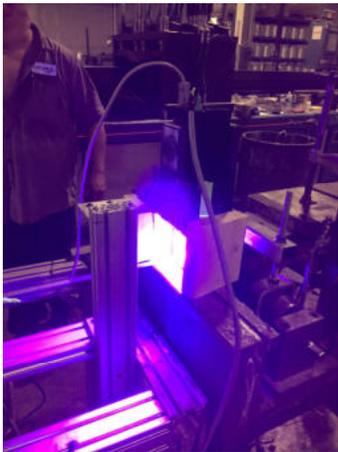


Harzsystem  
**Aushärte Kinetik**

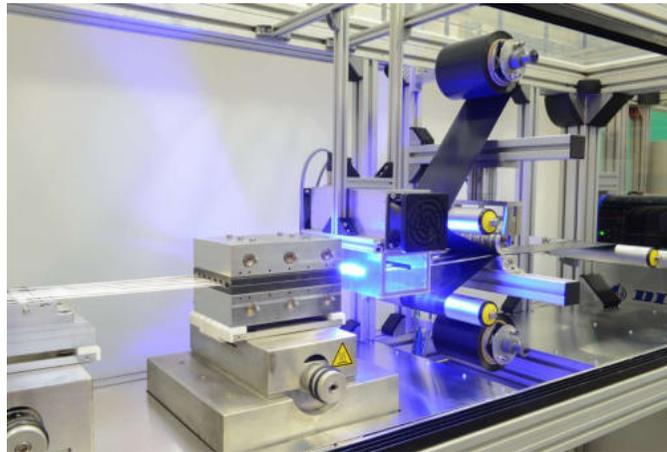


Farbe  
**Geringere Licht-  
durchlässigkeit**

# Stand der Technik in der UV-Pultrusion



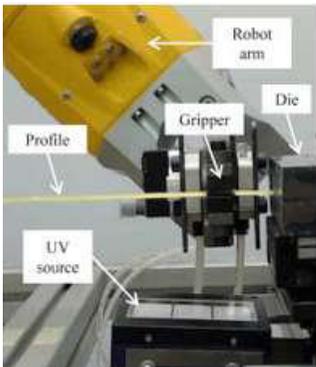
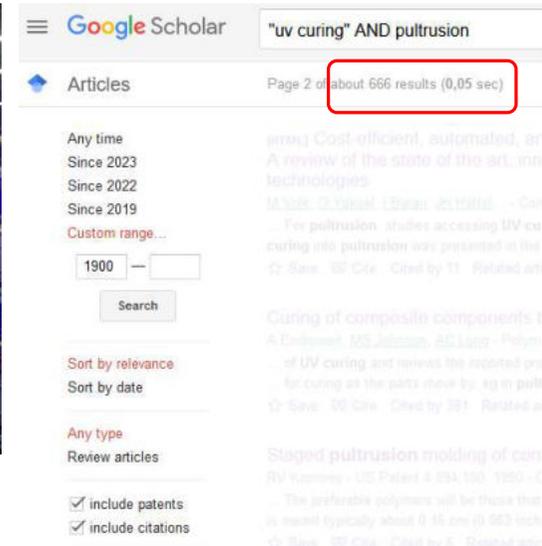
Quelle: PulFORCE, LLC



Quelle : Fraunhofer IPT

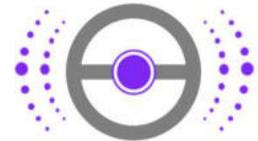


Quelle : Fraunhofer PYCO, AiF-Project UV-CO-Light



<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.11.027>

Überwiegend Aushärtung außerhalb des Werkzeugs  
**Offene Pultrusion (OP)**



# UV Pult



## Assoziierte Partnern



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekt Laufzeit: 09.2021 – 08.2025

## Ziele des UVPult-Projekts

Aushärtungsgrad  
> 90 %  
**im Werkzeug**

Energie-Effizienz  
**> 50 % pro kg  
Profil**

Produktions-  
geschwindigkeit  
**2 m/min**  
(122 mm<sup>2</sup> Profil)

**Selektive  
Aushärtung &  
Inline-  
Funktionalisierung**

Verringerung der  
Standzeiten

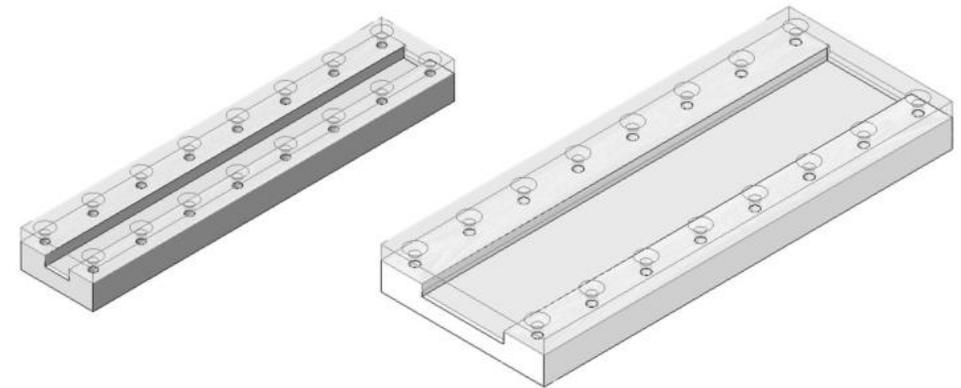
Innovative Prozess-  
überwachung und  
Inline-  
Qualitätskontrolle

Hochwertige  
Oberflächenqualität  
und enge  
geometrische  
Toleranzen

# Pultrusion von Rechteckprofilen

Prozessparameter	Profil Geometrie	
	20x3	60x2
Abzugsgeschwindigkeit [mm/min]	170 520	75
Strahlungslänge [mm]	160	56
UV-Intensität [W/cm <sup>2</sup> ]	1.5 3	1.5
Faservolumenanteil [%], $V_f$	66 60 54	66
Photoinitiator-Konzentration [phr], PI	2 3	2 3

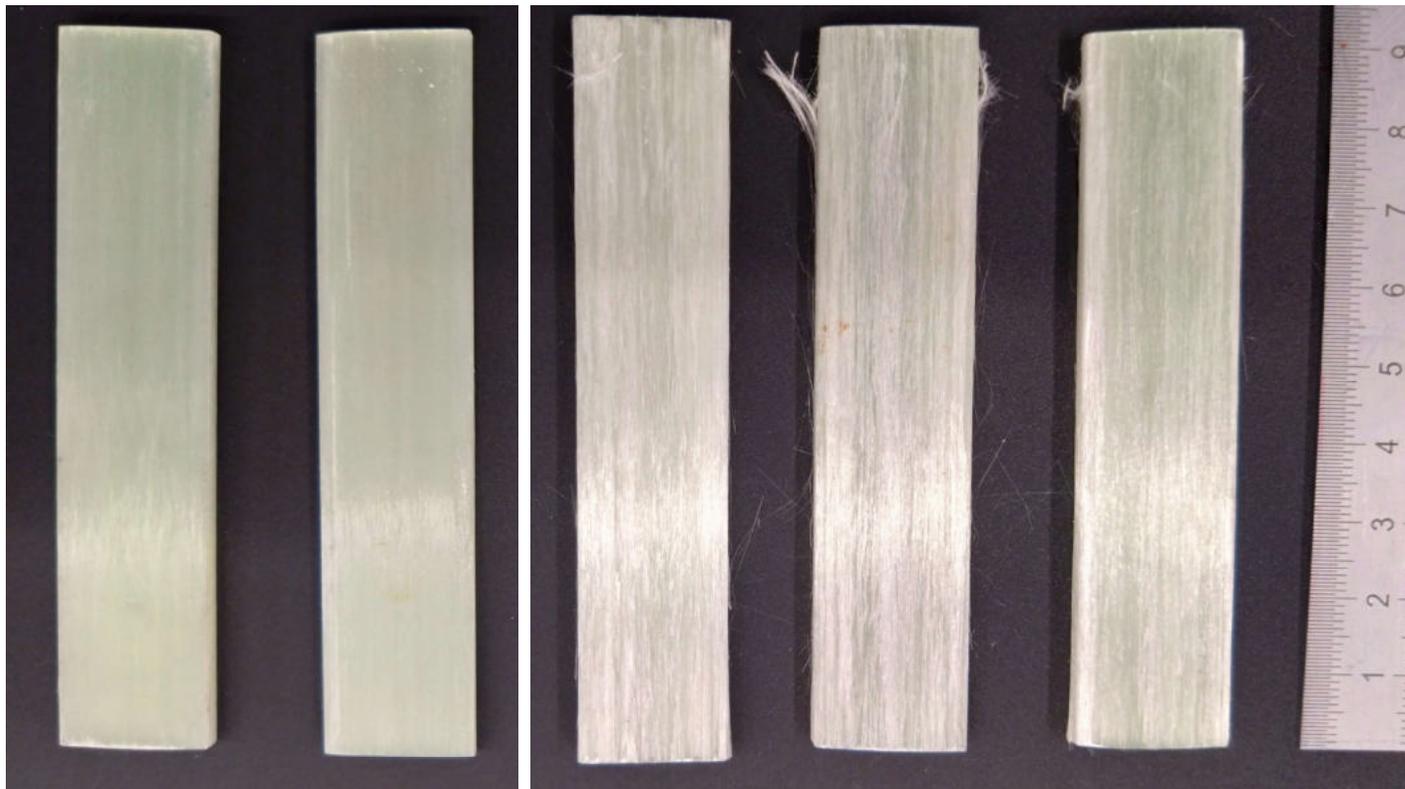
Referenzprofile wurden nach der OP-Methode pultrudiert



20x3 mm<sup>2</sup> Werkzeug

60x2 mm<sup>2</sup> Werkzeug

# Pultrudierte Proben



Wellenlänge A    Wellenlänge B

Aushärtung im Werkzeug

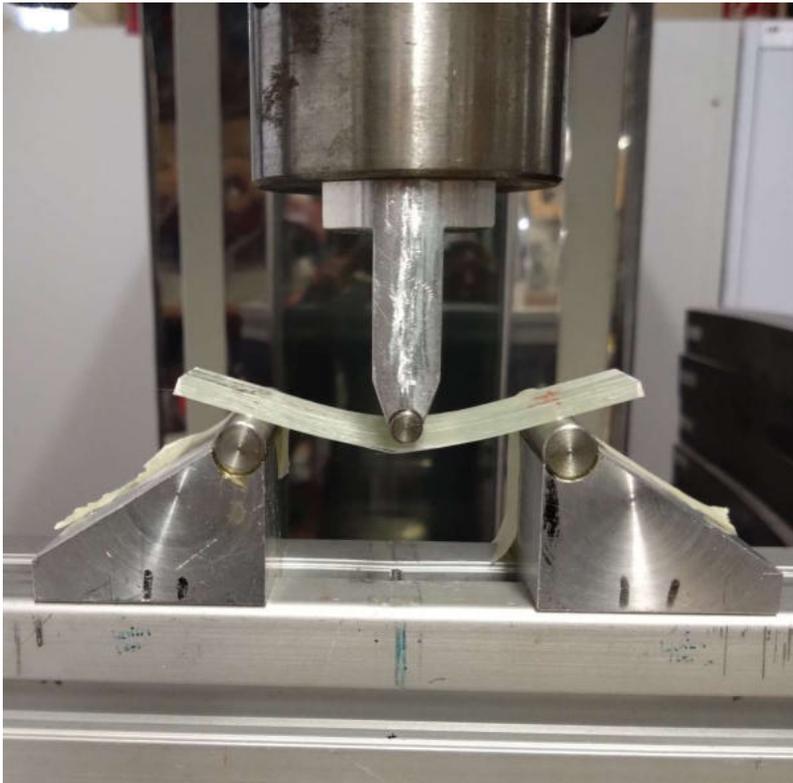
Wellenlänge A    Wellenlänge B    Wellenlänge C

Offene pultrusion

Prozessparameter		Profil
		20x3
Abzugsgeschwindigkeit [mm/min]	170	
Faservolumenanteil [%]	66	
Photoinitiator konzentration [phr]	3	

# Biegeeigenschaften

Zwick/Roell 5 kN



DITF

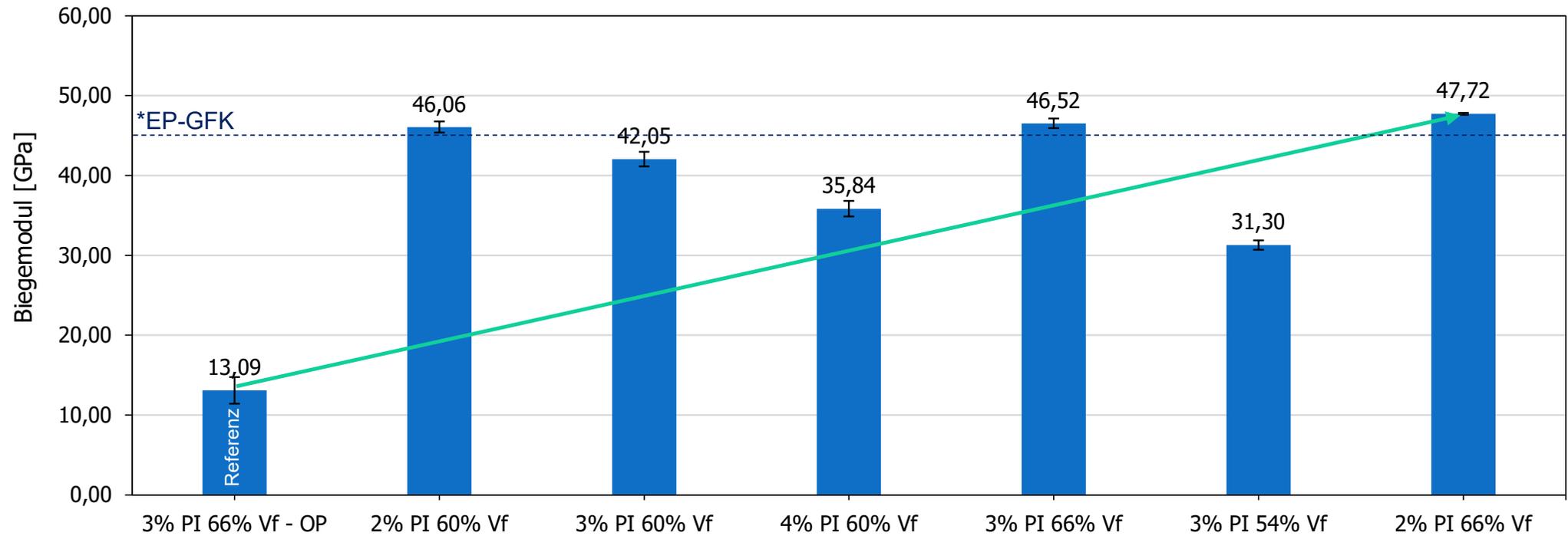
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

DIN ISO 14125

Parameter	Werte
Profil	20 x 3 mm <sup>2</sup>
Probenlänge	90 mm
Stutzweite	60 mm
Prüfgeschwindigkeit	1 mm/min
Vorkraft	5 N

# Biegemodul

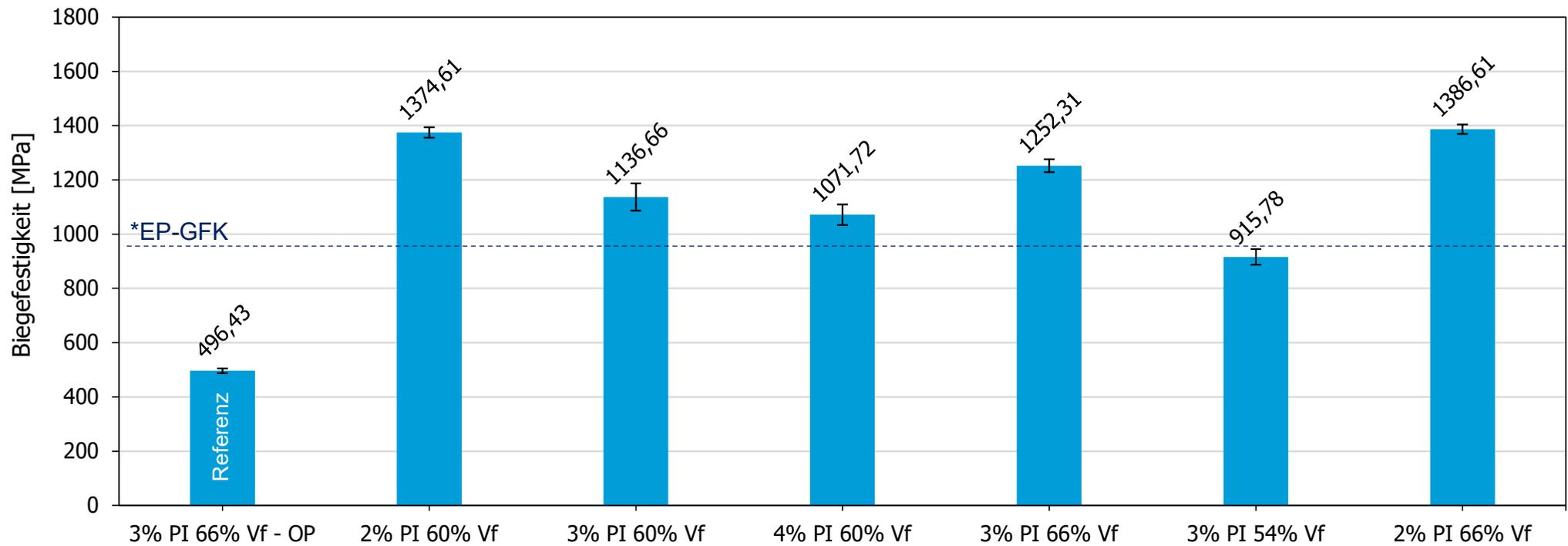
N = 7



\*Benchmark – Durostone® EPGZ Fa. Röchling

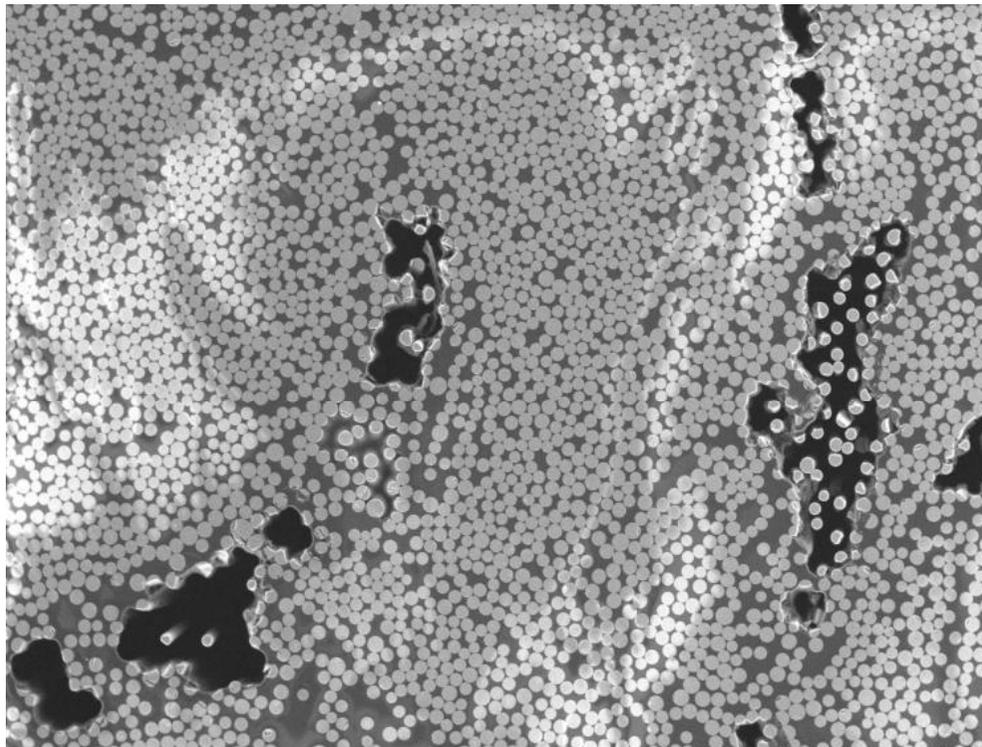
# Biegefestigkeit( $\sigma_{max}$ )

N = 7



\*Benchmark – Durostone® EPGZ Fa. Röchling

# REM Aufnahme von pultrudierten Profilen



DITF-22-3297

x150 500 um

OP | Referenz



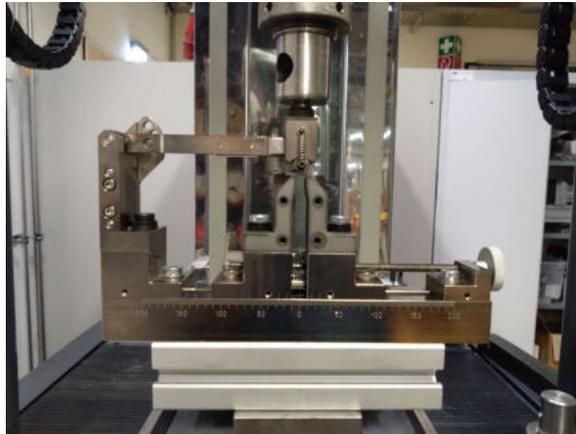
DITF-22-3301

L x120 500 um

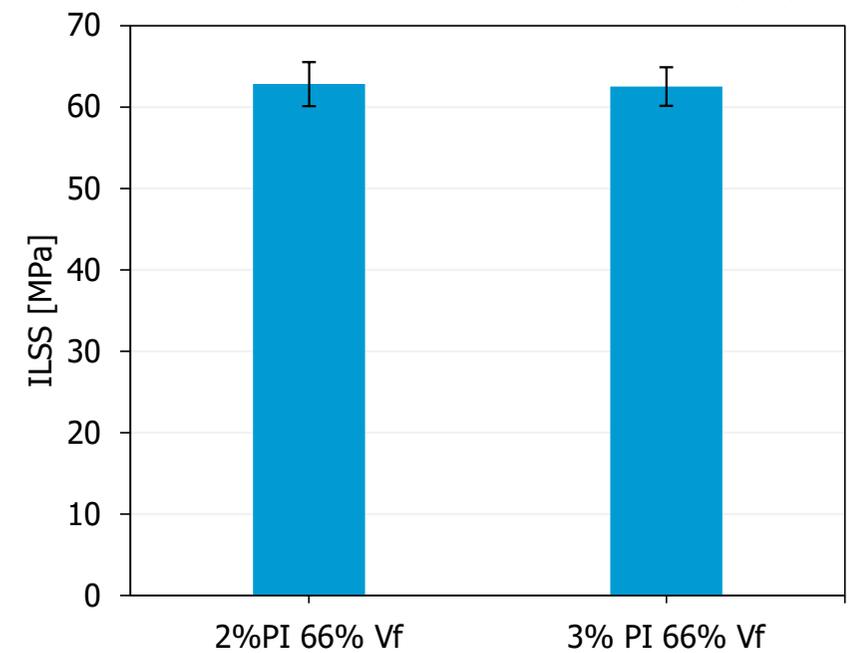
In-die 3% PI Vf 66 %

# Scheinbare interlaminare Scherfestigkeit - ILSS

Zwick/Roell 5 kN

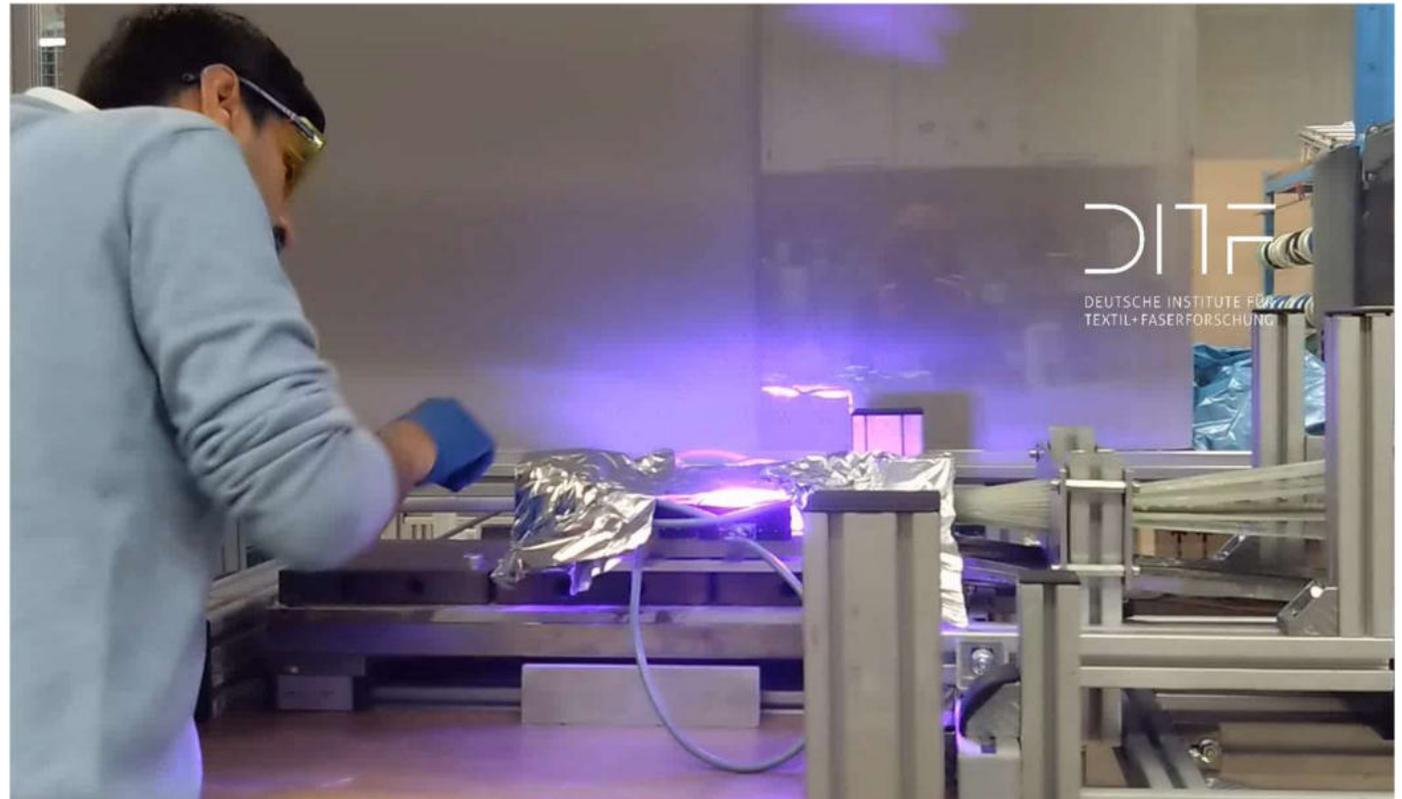


Parameter	Werte
Profil	10 x 2 mm <sup>2</sup>
Probenlänge	20 mm
Stutzweite	10 mm
Prüfgeschwindigkeit	1 mm/min
Vorkraft	1 N



# Pultrusion von Rundprofilen

Parameter	Werte
Profil- Querschnittsfläche	122 mm <sup>2</sup>
Faservolumenanteil	>65 %
Abzugsgeschwindigkeit	1800 mm/min
Strahlungslänge	200 mm
UV-Intensität	4-6 W/cm <sup>2</sup>



# Pultrusionsanlage mit in-line Umformstation



# Umformen

DITF

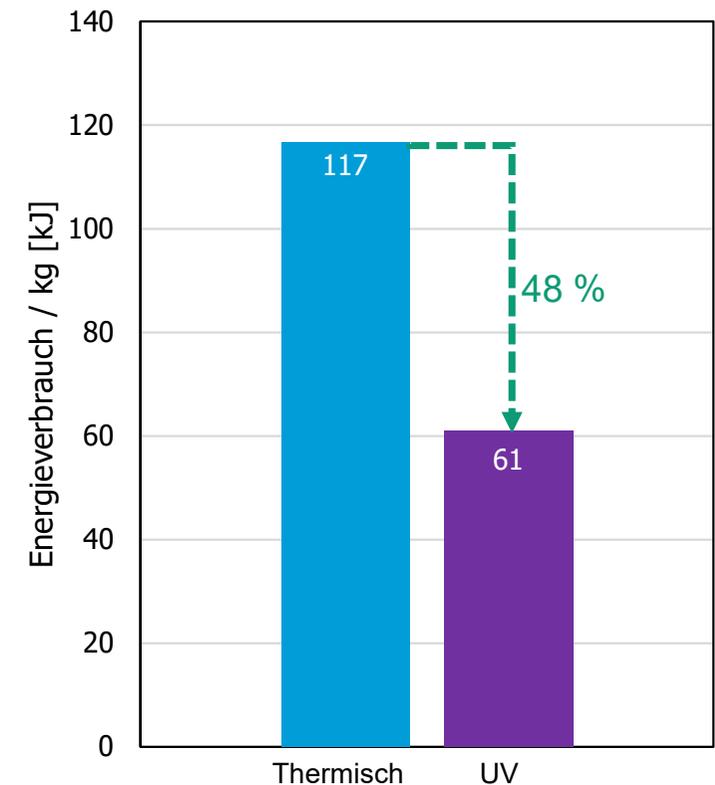
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG



# UV-Pultrusion – Energie-Effizienz

Parameter	Thermisch <sup>a</sup>	UVPult
Profil-Querschnittsfläche [mm <sup>2</sup> ]	268	122
Abzugsgeschwindigkeit [mm/min]	500	1800
Faservolumenanteil [%]	54	> 65
Harzsystem	UP	similar to VE
<b>**Berechneter Energieverbrauch/ kg [kJ]</b>	<b>117</b>	<b>61</b>

<sup>a</sup>Silva, Francisco JG, et al. "Optimising the energy consumption on pultrusion process." Composites Part B: Engineering 57 (2014): 13-20.



\*\* Energie, die dem Werkzeug zugeführt wird

## Fazit

- Neuer Ansatz ermöglicht UV-Pultrusion von im Werkzeug ausgehärteten Profilen
- Die mechanischen Eigenschaften der im Werkzeug ausgehärteten Profile sind wesentlich höher als die der OP
- Im Vergleich zur thermischen Pultrusion bietet die UV-Pultrusion eine hohe Wirtschaftlichkeit
- Relativ niedrige Prozesstemperatur führt zu geringeren Eigenspannungen im Bauteil
- Die Energieeffizienz der UV-Pultrusion ist doppelt so hoch wie die der thermischen Pultrusion
- UV-Pultrusion erleichtert die Inline-Funktionalisierung von Profilen



# Danksagung / Kontakt

Gefördert durch:



Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt UVPult wurde im Rahmen des Programms "Technologietransferprogramm Leichtbau" (Förderkennzeichen 03LB2036D) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und vom Projektträger Jülich (PTJ) betreut.

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

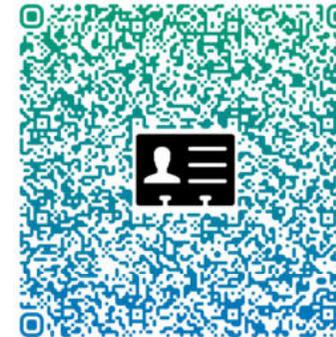


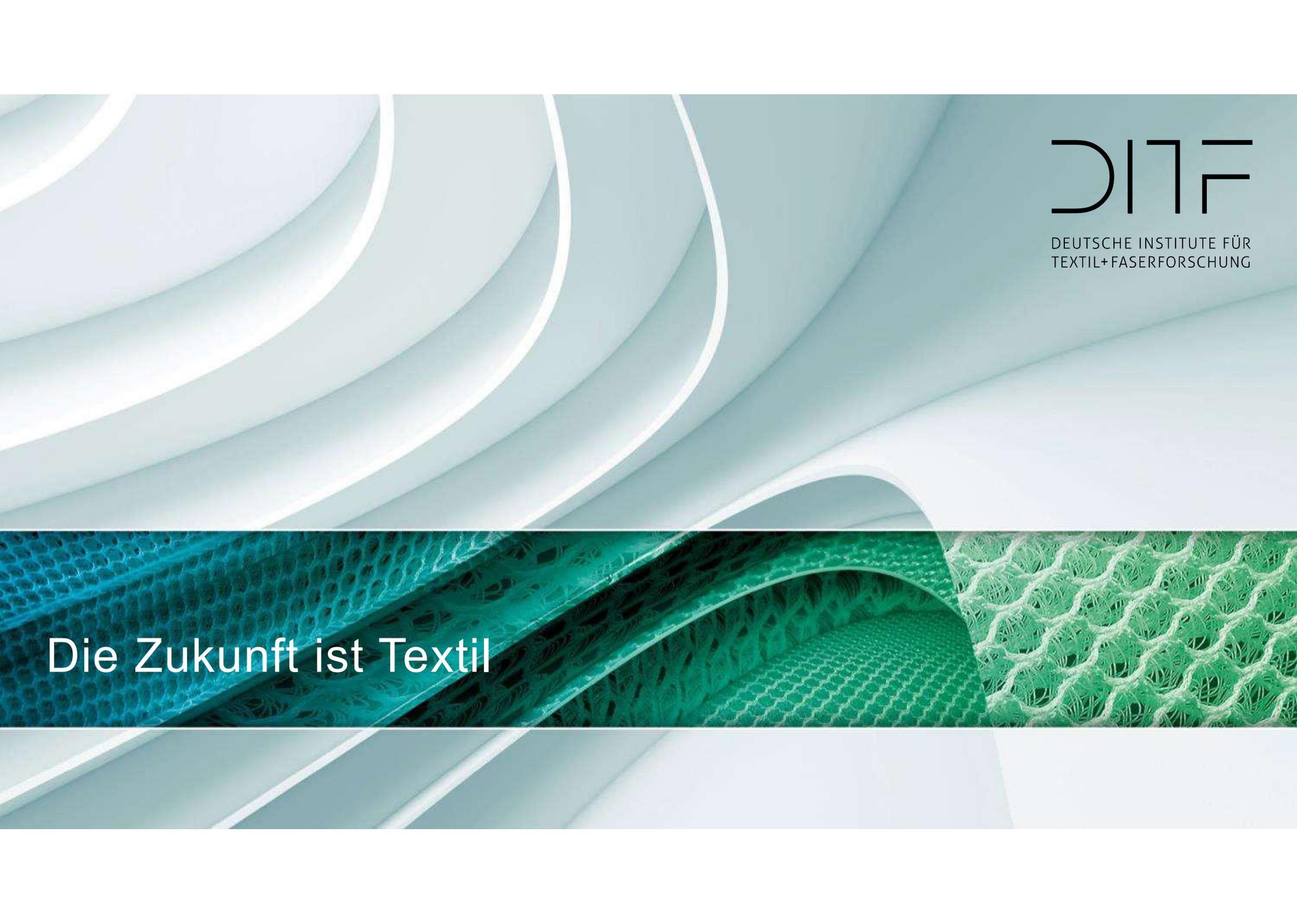
**Ansprechpartner:**

Dr.-Ing. Sathis Kumar Selvarayan

E-mail: [sathiskumar.selvarayan@ditf.de](mailto:sathiskumar.selvarayan@ditf.de)

Tel.: +49 711 9340 551





DITF

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR  
TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Die Zukunft ist Textil