

Entwicklung eines textilen thermoelektrischen Generators

Gudrun Andrä¹, A. Gawlik¹, J. Plentz¹

K. Richter², S. Hauspurg, J. Kynast, L. Bölecke, M. Schlenker

Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT)¹

ITP GmbH, Weimar-Chemnitz²

Arbeitsgruppe Photovoltaische Systeme

Telefon: 03641- 206 412

E-Mail: gudrun.andrae@leibniz-ipht.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SmartTex Workshop, Weimar 16.06.2017

Einleitung

Energie-Harvesting-Textilien sind aktuelles Forschungsfeld

Basis:

photovoltaische, piezoelektrische, biochemische oder thermoelektrische Effekte

Ziel:

textile Produkte im Konsumer-, Sicherheits- oder Gesundheitsbereich mit autarker Energieversorgung von integrierten oder angeschlossenen Verbrauchern (Smartphones, Sensoren für Vitalfunktion oder Umgebungsgefahren)

Textile thermoelektrische Generatoren:

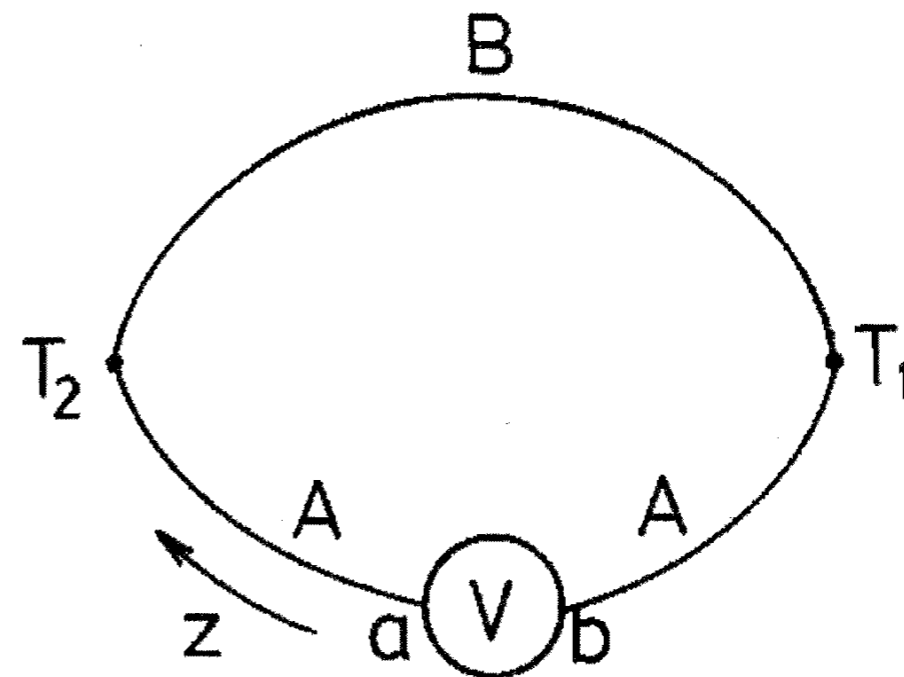
- besonders attraktiv wegen Möglichkeit der Energieerzeugung durch Nutzung der Körperwärme, die bei Gebrauch permanent zur Verfügung steht
- unkomplizierter Aufbau, notwendig nur geeignet beschichtetes Textil
- Problem: fehlende Materialbasis- und Technologien

Grundlagen des thermoelektrischen Generators

Basis: **Seebeck-Effekt**

Entstehung einer Spannung, wenn in einem Stromkreis 2 verschiedene, elektrisch leitende Materialien miteinander verbunden werden und die Kontaktstellen eine unterschiedliche Temperatur haben.

$$U = S_{AB} (T_1 - T_2)$$

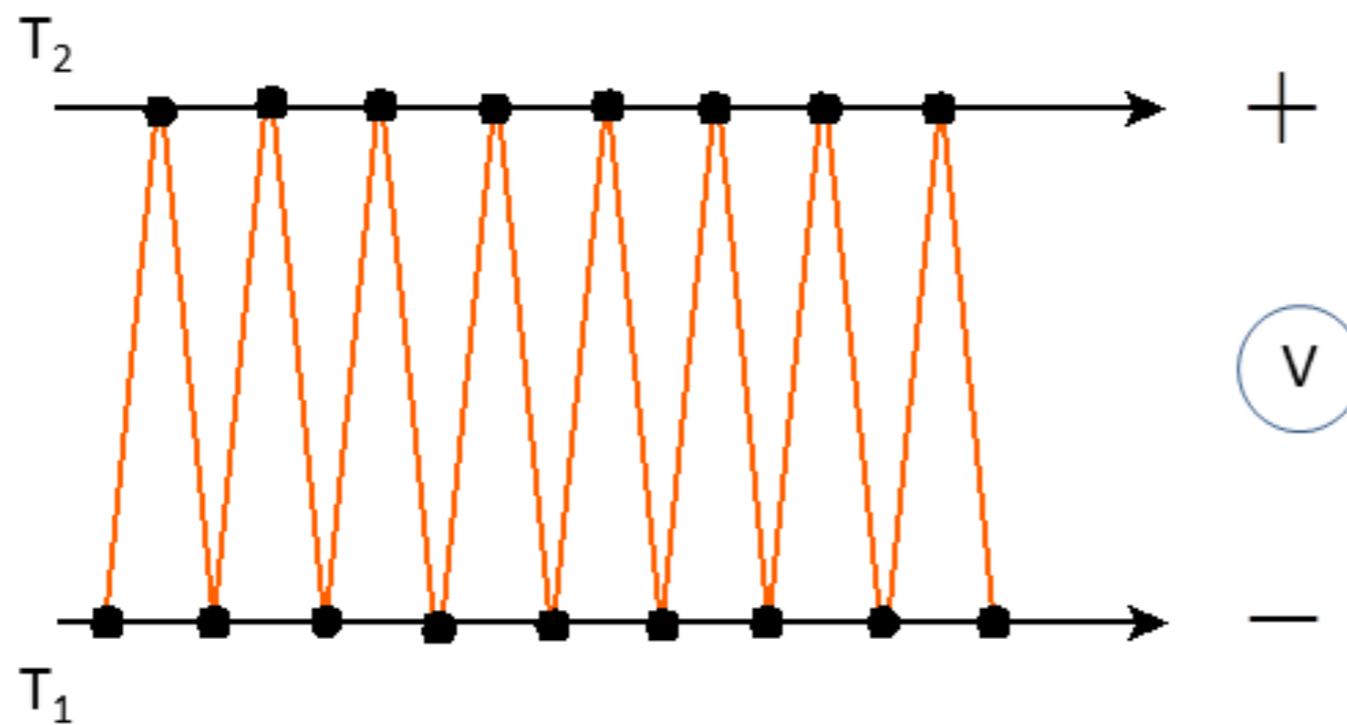


Für **effektives Energy-Harvesting**:

- Seebeck-Koeffizient möglichst groß
- Elektrische Leitfähigkeit des thermoelektrischen Materials möglichst groß
- Wärmedurchgang möglichst klein

Grundlagen des thermoelektrischen Generators

Umsetzung des Prinzips für Textilien

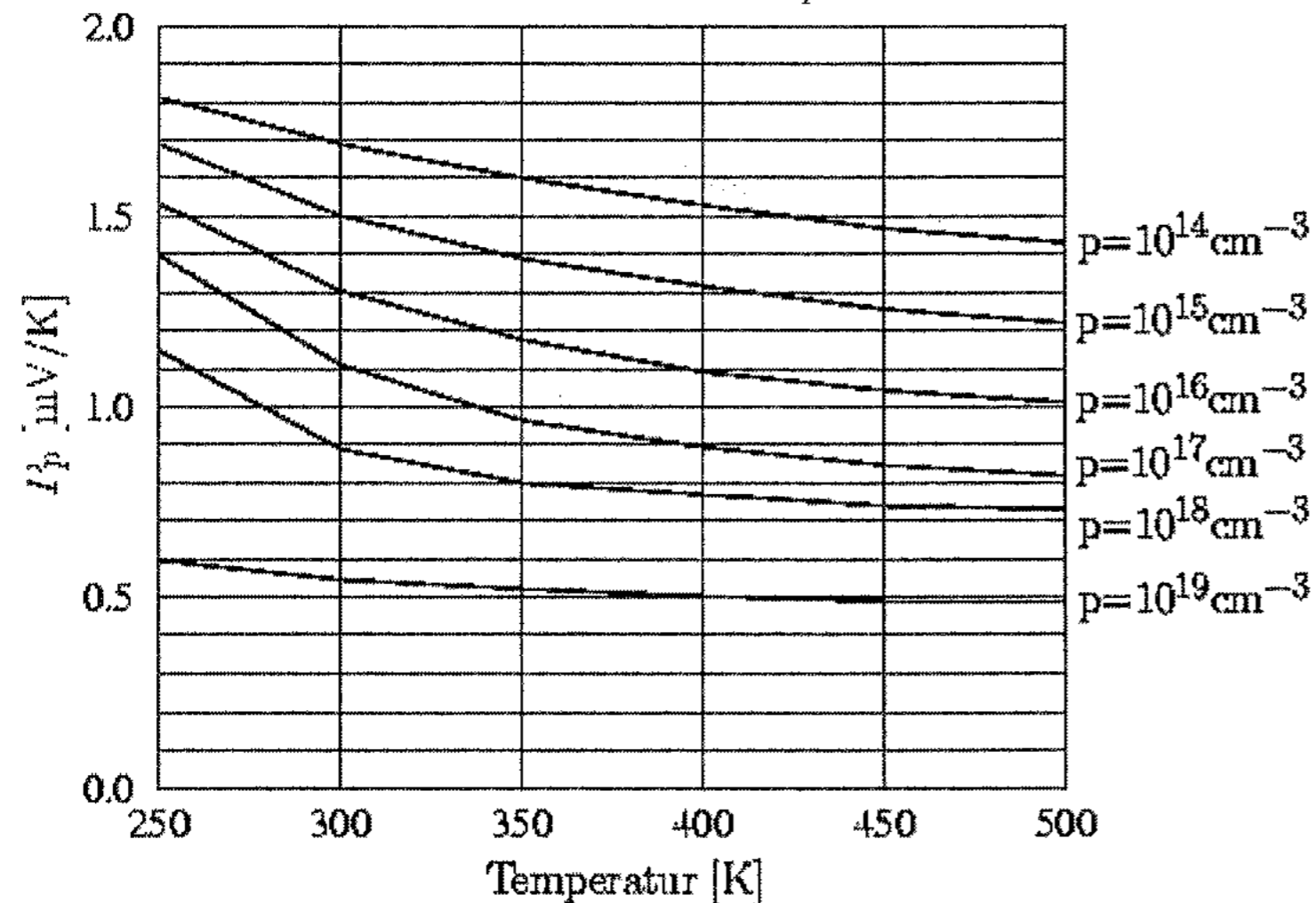


- metallisierte Fäden der Deckfläche
- Fäden mit Silizium beschichtet
- elektrische Kontakte
metallisierte Fäden/
siliziumbeschichtete Fäden

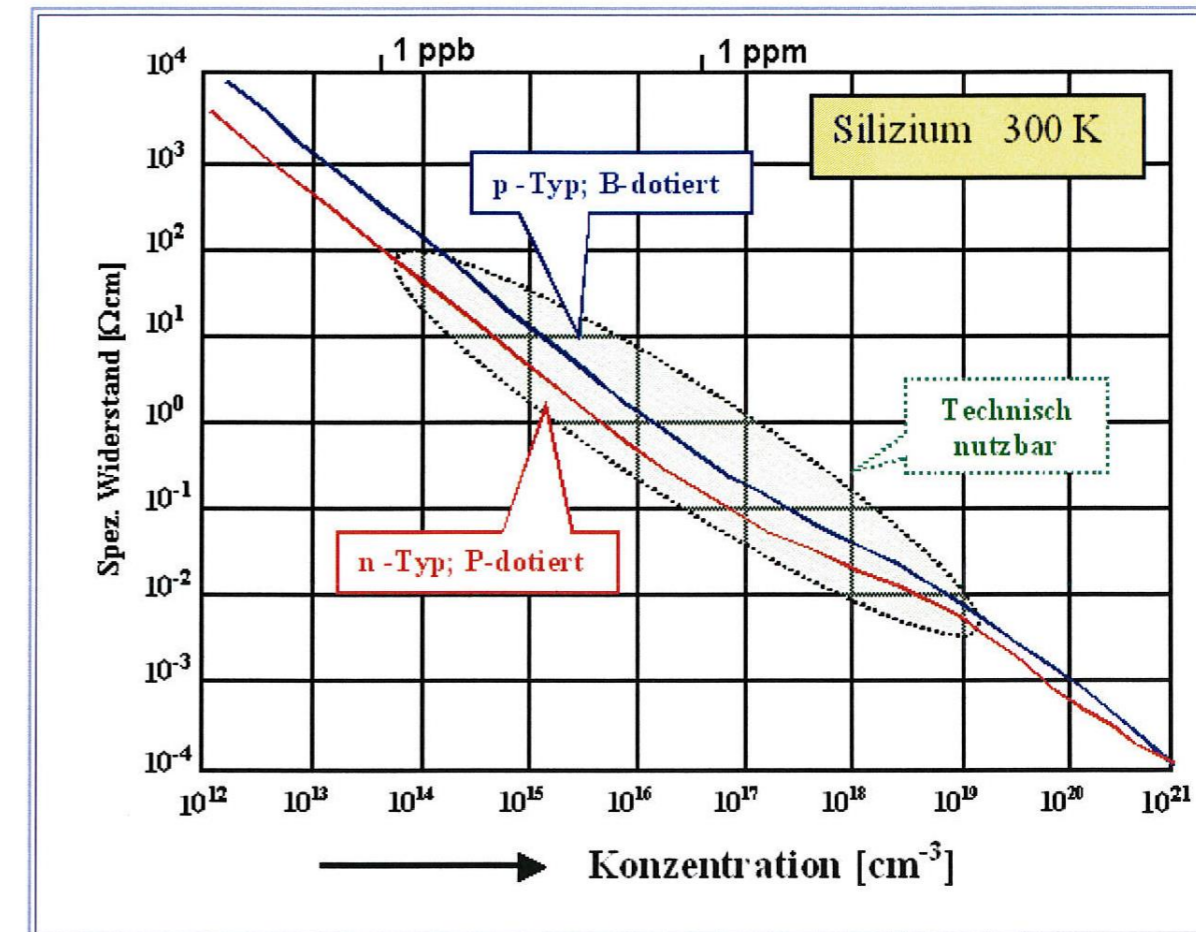
Grundlagen des thermoelektrischen Generators

Geeignetes Material: Silizium

a) Seebeck-Koeffizient*



b) Widerstand/ Leitfähigkeit**



c) Dünnschicht: Wärmedurchgang gering

Abschätzung der **Generator- Leistung**:

200 mW (4 μm Si- Dicke; Dotierung 10^{19} cm^{-3} ; $10 \times 10 \text{ cm}^2$ Fläche; $\Delta T \approx 10$ Grad)

Ziel des Projektes: 10 mW

* www.iue.tuwien.ac.at/phd/knaipp/node18.html

** https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2_ge/kap_5/backbone/r5_3_1.html

Grundlagen des thermoelektrischen Generators

Geeignetes Material: Silizium

Problem:

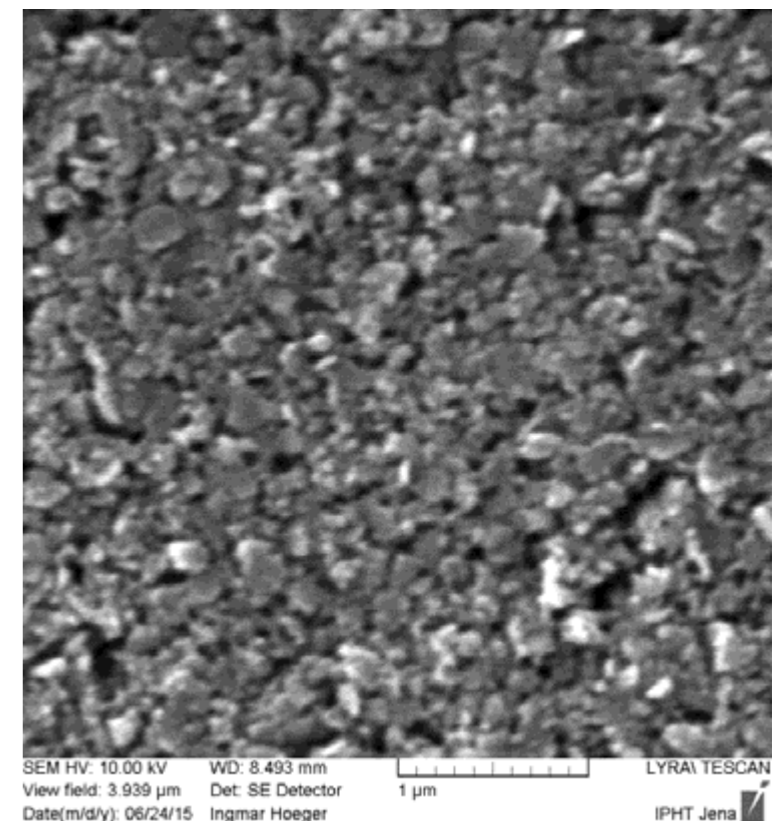
Herstellung von kristallinen Si- Schichten auf den Polfäden des 3D-Gewirkes mit konventionellen Beschichtungsverfahren (Sputtern, Bedampfen, CVD-Prozesse)
→ Abschattungseffekte

Lösung:

- Silizium-Nanopartikel -Suspension + Tauchtechnologie
- Material wird kommerziell angeboten (zu stark unterschiedlichen Mengen und Preise)
- Anbieter u.a.: Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA), Duisburg

IUTA-Material:

- Herstellung über einen CVD-Prozess durch Zersetzung von SiH_4 in Heißwandreaktor
- Partikelgröße 100..500 nm, p- Dotierung 10^{21} Bor-Atome/ cm^3
- SiNP-Ethanol-Suspension (10%-Volumenanteil)



SiNP-Schicht

Projektarbeiten und Ergebnisse: Textilauswahl

3D-Abstandsgewirk ! Deckflächen, **Polfäden**, Kontaktdrähte

Optimale Länge!

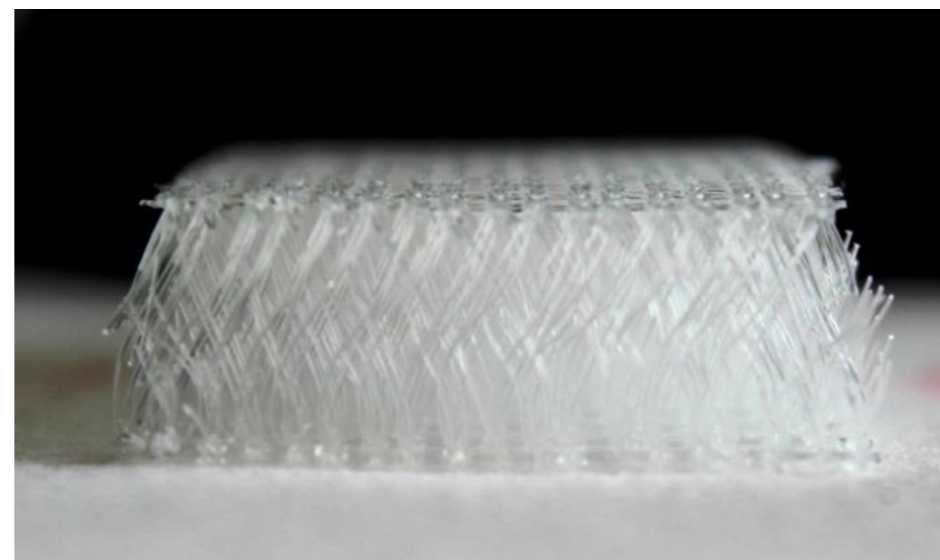
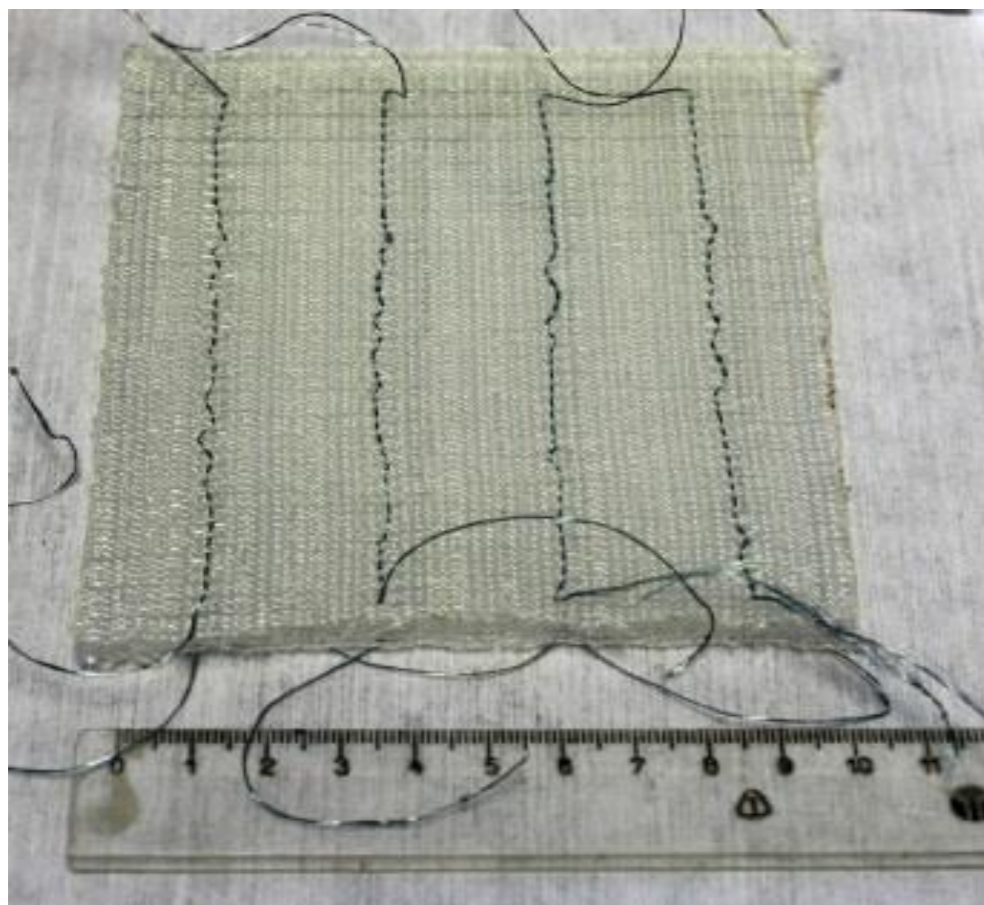
geringer Wärmedurchgang \leftrightarrow hohe elektrische Leitfähigkeit/ geringer Widerstand

Optimale Dicke!

große Oberfläche für ausreichend leitfähiges Material \leftrightarrow geringer Wärmedurchgang

Optimale Anzahl der Fäden!

geringer Wärmeübergang \leftrightarrow hohe elektrische Leitfähigkeit



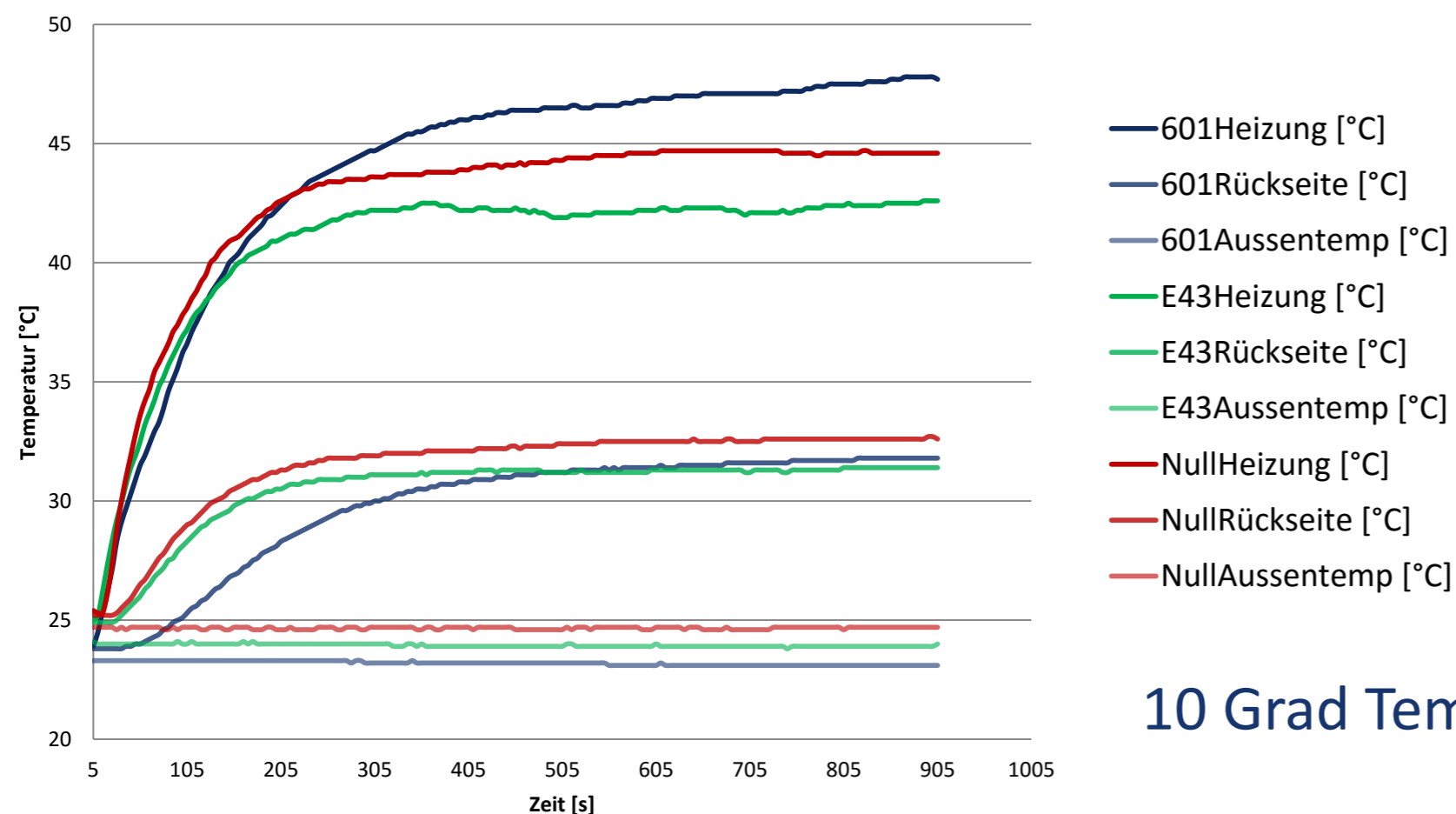
- Polyamid
- Polfadenlänge: 10 mm
- Polfaden-Durchmesser: 150 μm
- Polfadendichte: 300 Fäden/ cm^2

Projektarbeiten und Ergebnisse: Textilauswahl/ Test Wärmedurchgang

- Gewirk in Box (Zugluftschutz)
- Temperaturfühler auf dem Gewirk (beidseitig)
- 1 Fühler für Umgebungstemperatur
- Heizstrick-Textil auf einer Seite
- z.T. zusätzliche Silicon-Schicht (E43 und RT 601) für Stabilität und Drapierbarkeit



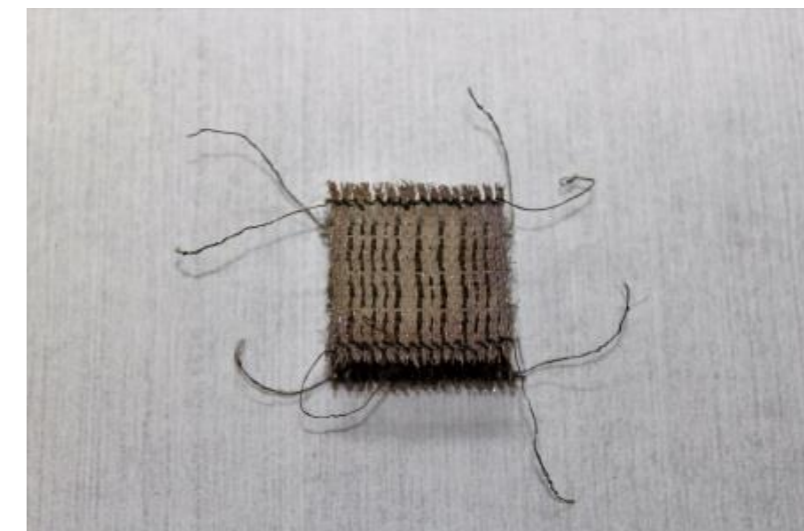
Messung Wärmedurchgang



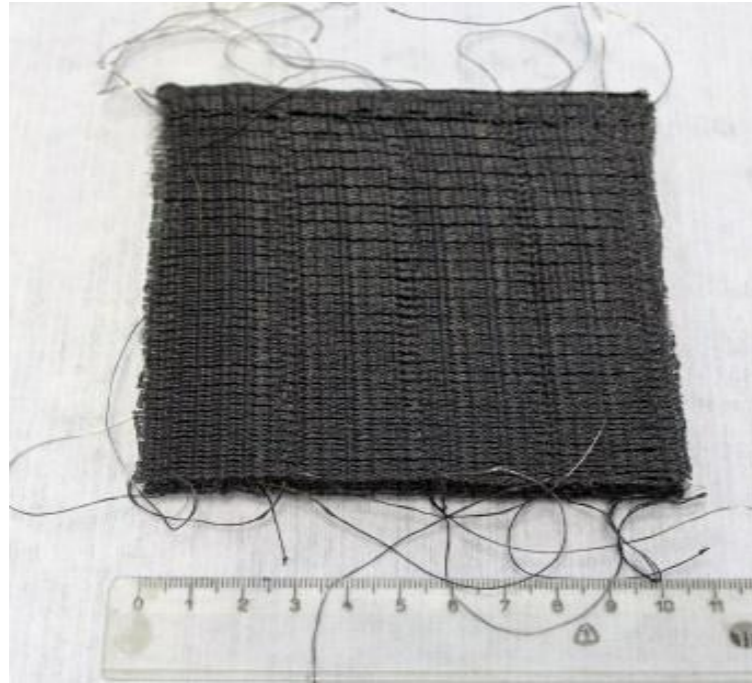
10 Grad Temperaturdifferenz bleibt stabil erhalten

Projektarbeiten und Ergebnisse: Beschichtung 3D-Gewirk

- Start mit Silber/ Leitsilber auf Deckflächen (Variante 1)
- Suspension: SiNP in Ethanol (5 Volumenprozent) mit Benetzer TX100
- Tauchprozess 1: waagerechtes Eintauchen und Entnehmen mit 50 $\mu\text{m}/\text{s}$
- Kurzer Tempersschritt
- Kurze $\text{H}_2\text{O}/\text{HF}$ -Dampfbehandlung \rightarrow Entfernung der Oxidmäntel
- ALD-Beschichtung mit 18 nm $\text{ZnO}:\text{Al}$ (AZO) \rightarrow Schutz vor Oxidation
 \rightarrow Brücken zwischen den SiNP
- Tauchprozess 2: Silicon E43
- Abschluss mit Silber/ Leitsilber auf Deckflächen (Variante 2)



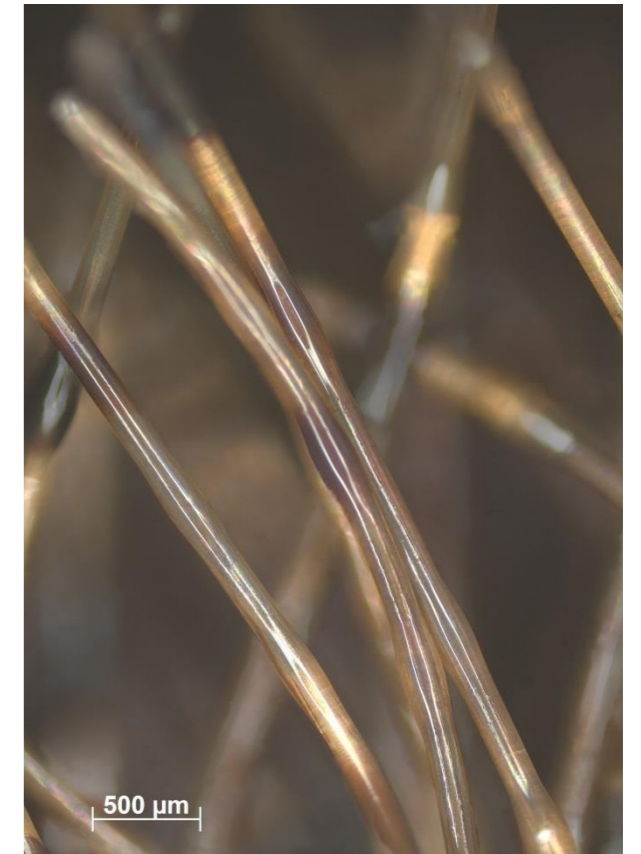
Projektarbeiten und Ergebnisse: Beschichtetes 3D-Gewirk



Generator

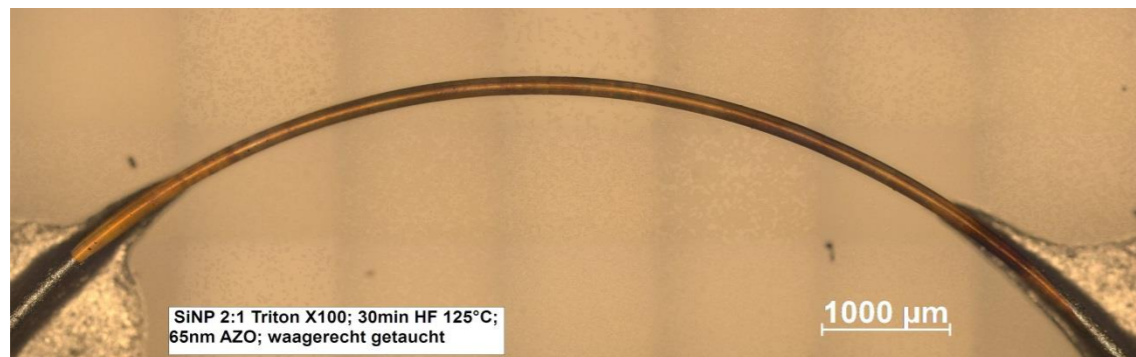


SiNP-beschichtetes Gewirk

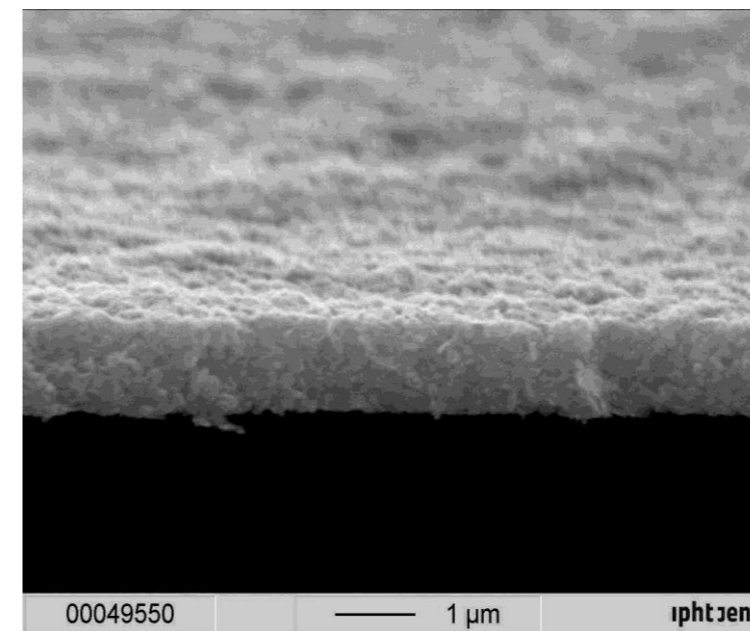


Beschichtetes Gewirk:

- SiNP
- AZO
- Silicon



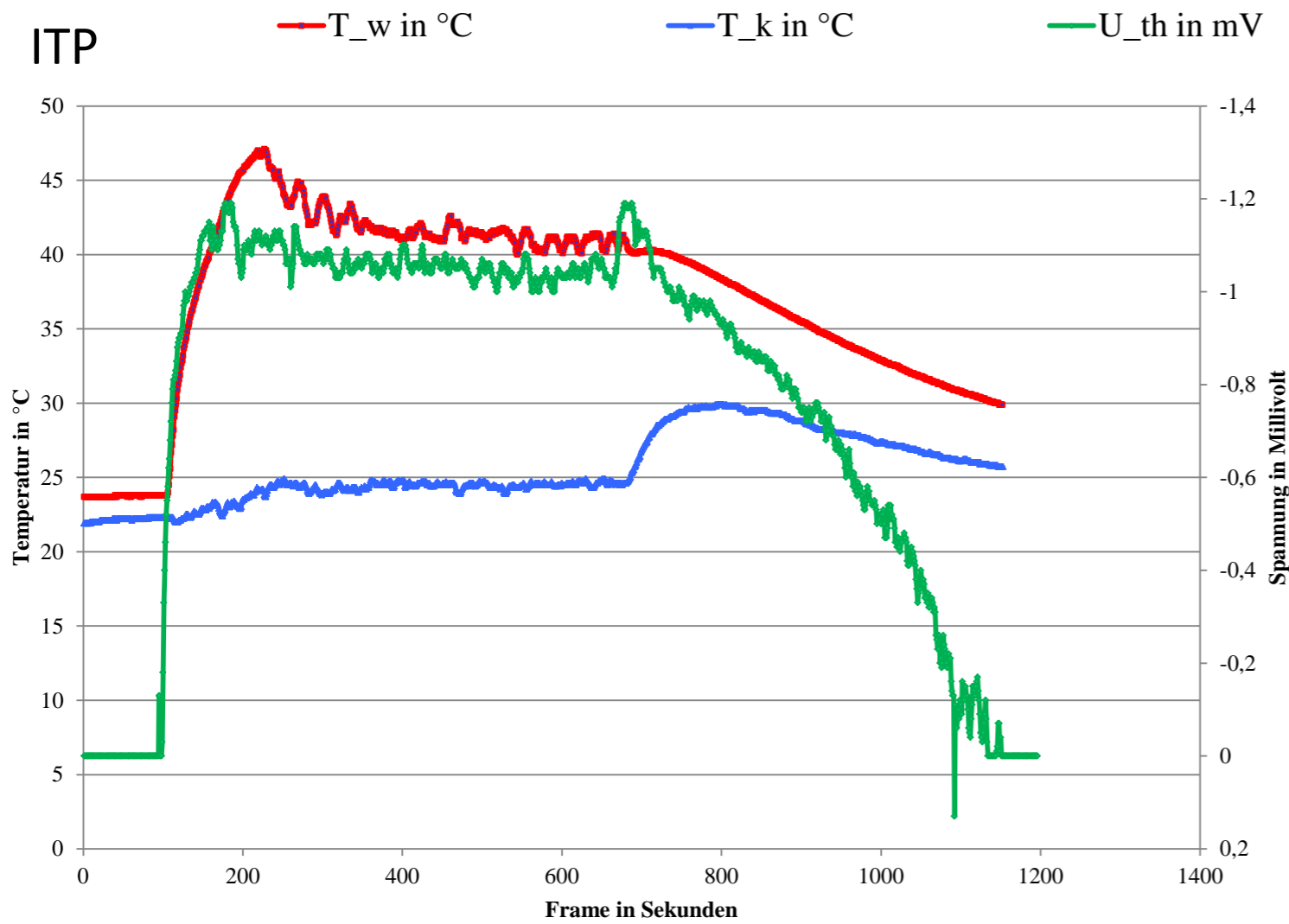
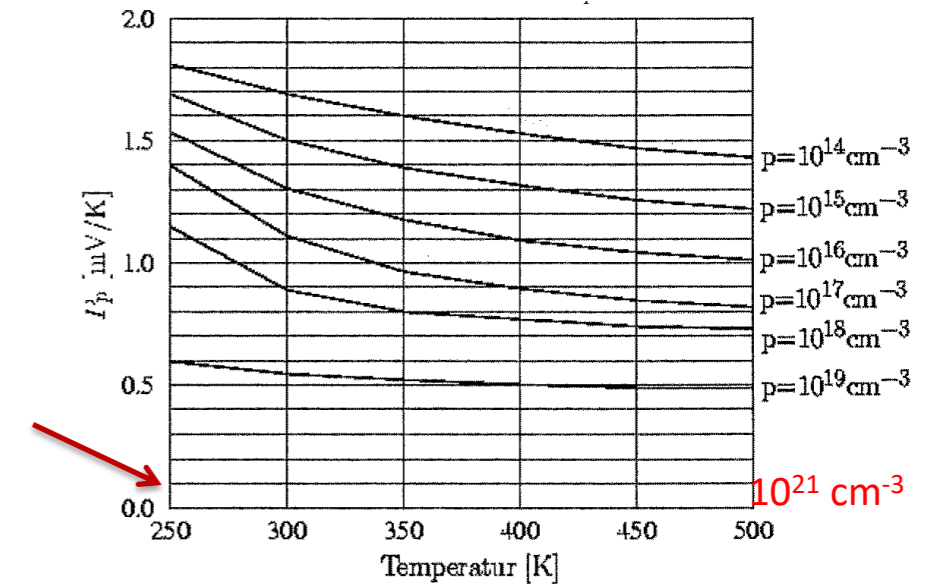
Beschichteter Polfaden



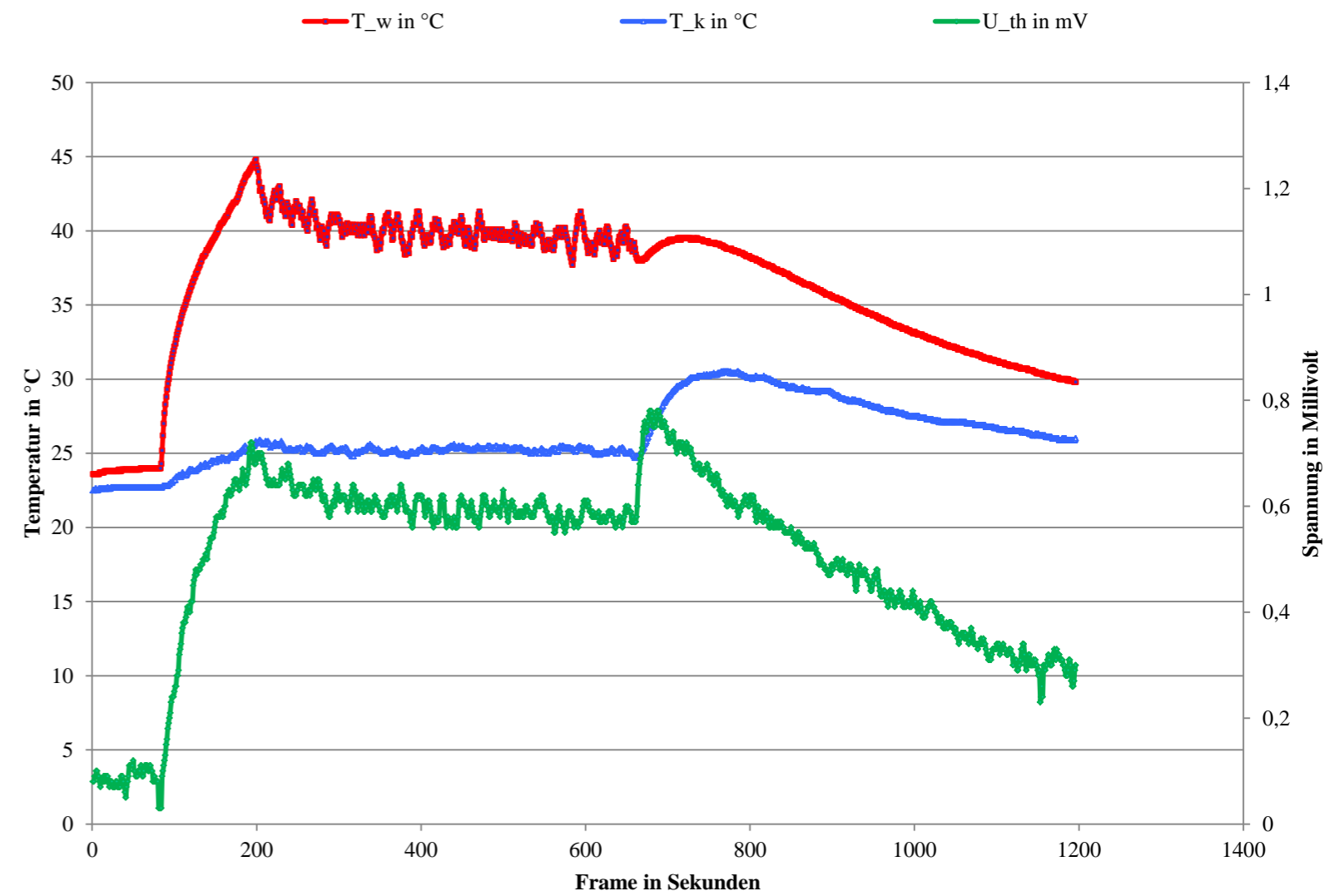
SiNP-Schicht auf Polfaden

Projektarbeiten und Ergebnisse: Generator-Gewirk

IPHT	Seebeck-Koeffizient ($\mu\text{V/K}$)	Bemerkungen
Si (hochdot.) 10E19	470	380 μm Stab
Si (niedrigdot.) 10E16	1080-1120	260 μm Stab
SiNP mit AZO 10E21	-65 – (-66)	Auf Gewirk-Faden

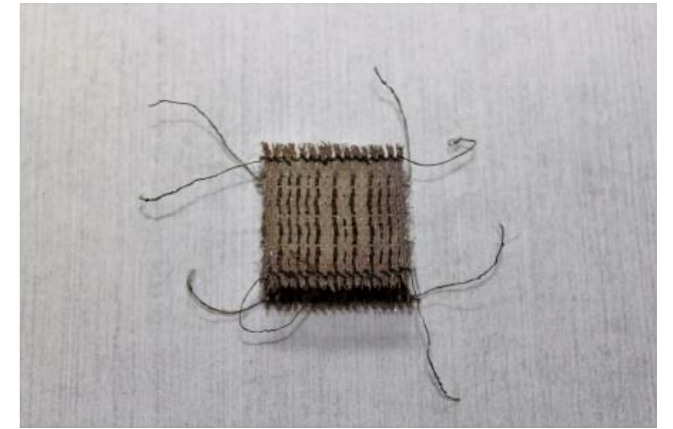


Deckfläche A warm \rightarrow - 1 mV bei $\Delta T = 20$ grad
 \rightarrow - 45 $\mu\text{V/K}$



Deckfläche B warm \rightarrow + 0,6 mV bei $\Delta T = 15$ grad
 \rightarrow + 55 μV

Fazit



- Erster textiler thermoelektrischer Generator hergestellt
- Grundschnitte der Prozesstechnologie sind entwickelt
- Seebeck-Koeffizient ist für das verwendete Material im erwarteten Bereich
- Baustelle ist die Leitfähigkeit der Schichten mit 3 Größenordnungen unter der für geschlossene Schichten (Oxid?, Dichte?, Brücken?)
→ μW Generator-Leistung statt mW

Nächste Schritte:

- Einsatz von SiNP-Material mit 10^{19} cm^{-3} Dotierung → $S = 500 \mu\text{V}/\text{K}$
- Verfolgen von Ideen zur Erhöhung der Leitfähigkeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!