

**Reg.-Nr.: 49MF180144**

**Kurztitel: Polymer-PTC-Heizungen für Behälter und Leitungen in Autos**

**Laufzeit: 01.02.2019 – 31.07.2021**

Name und Anschrift des Zuwendungsempfängers

Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.  
Breitscheidstr. 97  
07407 Rudolstadt

**Kurzfassung** (Zielstellung, Ergebnisse)

Ziel des Projekts war die Entwicklung von maßgeschneiderten Polymerwerkstoffen für verschiedene Heizanwendungen im Automobil. Hierfür sollten leitfähige Polymerkomposite aus einem Matrixpolymer und einem Leitfähigkeitsadditiv durch Extrusion in einem Doppelschneckenextruder hergestellt und charakterisiert werden. Neben einer hohen Leitfähigkeit wurde ein möglichst großer PTC-Effekt (positive temperature coefficient) angestrebt, der eine signifikante Widerstandszunahme bei Erwärmung und damit eine selbsttätige Abregelung von Heizstrom und Heizleistung bewirkt. Zusätzlich soll ein ausgewogenes Verhältnis von mechanischen, thermischen, Verarbeitungs- und Beständigkeitseigenschaften erreicht werden.

Im Ergebnis der Projektforschung konnten mehrere hochleitfähige Polymerkomposite mit Ruß als Leitfähigkeitsadditiv und Polyethylen (HDPE), Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) als Matrixpolymere realisiert werden, mit denen ein Bereich des spezifischen Widerstands von 4  $\Omega$  cm bis 1000  $\Omega$  cm abgedeckt werden kann. Die Zunahme des Widerstands mit Temperaturerhöhung von 20°C auf 80°C beträgt bis zum Fünffachen des Ausgangswiderstands (PTC-Effekt). Thermoplastisch verarbeitet zu Rohren oder Spritzgusskörpern, werden Heizanwendungen ermöglicht, bei denen mit kleinen Spannungen Flüssigkeiten aufgeheizt, aufgetaut oder vor dem Einfrieren bewahrt werden können, wie z.B. Harnstofflösung für die Abgasnachbehandlung (AdBlue) oder Scheibenwaschwasser. Darüber hinaus können die Kunststoffheizungen im Elektromobil auch für Batterieheizungen oder Flächenheizungen in der Fahrgastzelle verwendet werden.

Die wesentlichen Vorteile der polymeren PTC-Materialien für Heizanwendungen im Vergleich zu konventionellen elektrischen Heizungen resultieren aus der Möglichkeit der thermoplastischen Verarbeitung und damit der freien Formgebung, der Selbstregulierung der Temperatur auf Grund des PTC-Effekts einschließlich des Schutzes vor Überhitzung, dem geringen Gewicht und der potenziell kostengünstigen Herstellung.

**Veröffentlichungen**

- Vortrag zur Woche der Umwelt, 10.-11.6.2021, online-Präsentation
- Internet: [https://www.titk.de/titkde/fileadmin/documents/downloads/Flyer\\_PTC\\_Heizfolien\\_web.pdf](https://www.titk.de/titkde/fileadmin/documents/downloads/Flyer_PTC_Heizfolien_web.pdf)
- Präsentation auf der Internationalen Automobilausstellung (IAA), München, 7.-12.9.2021

Patentanmeldungen: keine

Rudolstadt, den 31.01.2022

Datum

Dr. Mario Schrödner

Projektleiter

B. Redlingshöfer

Geschäftsführender Direktor

Rechtsverbindliche Unterschrift

Thüringisches Institut für  
Textil- und Kunststoff-  
Forschung e.V.  
Breitscheidstraße 97  
07407 Rudolstadt-Schwarza

# **Sachbericht (Schlussbericht)**

zum Verwendungsnachweis

zu FuE Vorhaben

<b>Reg.-Nr.:</b>	<b>49MF180144</b>
<b>FuE-Einrichtung:</b>	<b>Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.</b>
<b>Titel:</b>	<b>„Polymer-PTC-Heizungen für Behälter und Leitungen in Autos“</b>
<b>Projektlaufzeit:</b>	<b>01.02.2019 – 31.07.2021</b>

Rudolstadt

, den 31.01.2022

Name und Telefonnummer des Projektleiters: Dr. Mario Schrödner (03672/379553)

Firmenstempel

Thüringisches Institut für  
Textil- und Kunststoff-  
Forschung e.V.  
Breitscheidstraße 97  
07407 Rudolstadt-Schwarz

B. Redlingshöfer  
Geschäftsführender Direktor

Unterschrift des Projektleiters

rechtsverbindliche Unterschrift

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Technisch-technologische Zielstellung des Vorhabens	3
2. Darstellung der erzielten Vorhabensergebnisse	4
2.1. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polyethylen (HDPE) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv	4
2.2. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polypropylen (PP) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv	5
2.3. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polyamid (PA) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv	7
2.4. Untersuchungen zur elektrischen Homogenität an Spritzgußplatten	8
2.5. Extrusion von Rohrleitungen aus leitfähigen Polymerkompositen sowie Bestimmung der elektrischen Eigenschaften und Aufheizcharakteristiken	10
2.6. Herstellen eines Fluidbehälters mittels 3D-Druck	11
2.7 Bestimmung der elektrischen Eigenschaften und der Aufheiz- und Auftaucharakteristik des Behälters mit Fluid bzw. Eis	12
2.8. Untersuchungen zur Fluidbeständigkeit	17
2.9. Herstellen eines Demonstrators	18
3. Bewertung der Ergebnisse in Gegenüberstellung mit den Zielsetzungen des Antrags	20
4. Wirtschaftliche Verwertung der Vorhabensergebnisse, aktualisierter Verwertungsplan	21
4.1. Zielgruppen für die Wirtschaftliche Verwertung, Anwendungsbereiche	21
4.2. Markt- und Wettbewerbssituation	22
4.3. Charakterisierung der Marktgröße, der Marktentwicklung und des angestrebten Anteils	23
4.4. Marketing- und Vertriebskonzeption für das neue Erzeugnis/Verfahren	24
4.5. Umsatzerwartung aus der Verwertung der FuE-Ergebnisse	25
5. Bewertung des aktualisierten Verwertungsplan im Vergleich zum ursprünglichen Verwertungskonzept	26
6. Angaben zu erworbenen bzw. angemeldeten Schutzrechten	26
7. Veröffentlichungen	26

## 1. Technisch-technologische Zielstellung des Vorhabens

In Kraftfahrzeugen gibt es verschiedene Fluidbehälter und -leitungen, die im Winter nicht einfrieren sollten und deshalb beheizt werden müssen. Das betrifft z. B. Scheibenwaschwasser, AdBlue (Harnstofflösung) für das SCR-System und Kühlwasser. Beim SCR-System (selective catalytic reduction) zum katalytischen Abbau der Stickoxide im Zuge der Abgasnachbehandlung müssen z.B. neben dem Flüssigkeitsbehälter mehrere Meter Leitung beheizt werden, da die Harnstofflösung bei  $-11^{\circ}\text{C}$  einfriert. Konventionell wird der Harnstofftank mit einem keramischen PTC-Heizer und die Harnstoffleitung mit einer Drahtwendel beheizt. Beim Scheibenwaschwasser und beim Kühlwasser sind beheizte Systeme bisher kaum anzutreffen, da mittels Zusatz von Frostschutzmittel (z.B. Ethylenglycol) eine Gefrierpunktniedrigung bis  $-40^{\circ}\text{C}$  erreicht werden kann. Eine beheizte Scheibenwaschanlage gibt es z.B. bei Mercedes-Benz als Sonderausstattung.

Alternativ zu den bisherigen Lösungen könnte man die Behälter und Schläuche/Leitungen auch ganz oder teilweise aus elektrisch leitfähigen Kunststoffen mit PTC-Effekt herstellen und diese direkt elektrisch beheizen. Sie erfüllen damit neben ihrer angestammten reinen Behälterfunktion gleichzeitig eine aktive Funktion als selbstregulierende Heizung. Das hätte den Vorteil, dass das Fluid im direkten thermischen Kontakt mit der heizenden Behälter- bzw. Leitungswand steht, was einen direkten großflächigen und dadurch schnelleren sowie gleichmäßigeren Wärmeeintrag ermöglicht, und wiederum zu kürzeren Aufheizzeiten führt. Dadurch, dass keine externen Teile integriert werden müssen, vereinfacht sich der konstruktive und fertigungstechnische Aufwand, woraus sich auch kostenseitig und mithin preislich Vorteile ergeben.

Der PTC-Effekt (positive temperature coefficient) bewirkt eine Zunahme des Widerstands und damit eine Abnahme der elektrischen Leistung mit steigender Temperatur. Dadurch ist es möglich z.B. eine bestimmte Temperatur selbsttätig, d.h. ohne externe elektronische Regelung einzustellen und somit empfindliche Güter, Personen oder die Heizung selbst vor Überhitzung zu schützen. Beispielsweise darf eine Harnstofflösung im SCR-System nicht über  $60^{\circ}\text{C}$  erhitzt werden. Gleichzeitig passt sich die Heizung dem aktuellen Wärmebedarf an (hohe Leistung bei niedrigen Temperaturen und reduzierte Leistung bei hohen Temperaturen), wodurch elektrische Energie und letztlich Kraftstoff gespart werden können.

Folglich ist das Ziel des Projekts die Entwicklung von maßgeschneiderten Polymerwerkstoffen für den jeweiligen Anwendungszweck. Hierfür sollen Komposite aus einem Matrixpolymer und einem Leitfähigkeitsadditiv, bevorzugt Ruß, durch Extrusion in einem Doppelschneckenextruder hergestellt und charakterisiert werden. Als Matrixpolymer kommen je nach Anwendung Polyolefine (z.B. HDPE, PP) oder andere technische Polymere (POM,

Polyamide) zum Einsatz. Angestrebt wird ein möglichst großer PTC-Effekt mit einer Widerstandszunahme bei Erwärmung von 20°C auf 80°C von deutlich mehr als 100%. Neben guten elektrischen Eigenschaften soll ein ausgewogenes Verhältnis von mechanischen, thermischen, Verarbeitungs- und Beständigkeitseigenschaften erreicht werden.

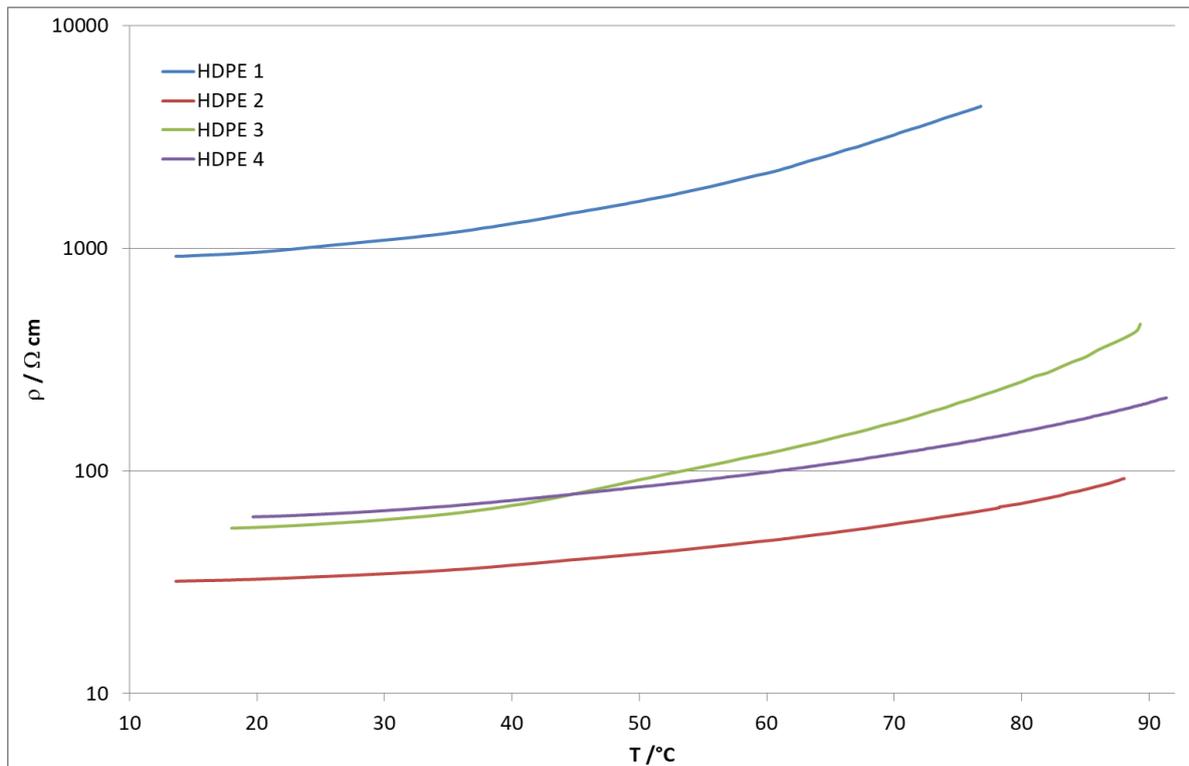
## **2. Darstellung der erzielten Vorhabensergebnisse**

### **2.1. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polyethylen (HDPE) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv**

Leitfähige Polymerkomposite auf Basis von Polyethylen (HDPE) wurden im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2 hergestellt und charakterisiert. Die Herstellung der leitfähigen Komposite erfolgte durch Mischen jeweils eines hoch gefüllten rußhaltigen Compounds (Konzentrat) mit einem ungefüllten Matrixpolymer in einem gleichsinnig rotierenden Doppelschneckenextruder (Haake Rheomex PTW 16/25) mit einem Schneckendurchmesser von 16 mm. Als Matrixpolymer wurde Lupolen GX 5038 (HDPE von LyondellBasell) eingesetzt. Die im Compoundierprozess erhaltenen Granulate wurden im Spritzguss zu Prüfkörpern (Platten, Zugprüfstäbe) verarbeitet, an Hand derer der spezifische elektrische Widerstand, der E-Modul, die Zugfestigkeit und die Schlagzähigkeit nach Charpy bestimmt wurden. Für die Widerstandsmessungen wurden versilberte Kupferdrähte als Kontakte an den gegenüber liegenden Seiten einer 20 mm breiten und 2 mm dicken Platte eingeschmolzen. Der Temperaturverlauf des spezifischen elektrischen Widerstands wurde kontinuierlich mit einem Datenlogger aufgezeichnet und ist in Bild 1 dargestellt. Alle anderen Messwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die spezifischen Widerstände der verschiedenen HDPE-Materialien decken einen Bereich von ca. 30  $\Omega$  cm bis 1000  $\Omega$  cm ab. Die Widerstandszunahme bei Erwärmung (PTC-Effekt) von 20°C auf 80°C ( $R_{80}/R_{20}$ ) beträgt für die HDPE-Typen zwischen 240 % und 520 %. Die höheren Werte werden mit dem weniger leitfähigen Komposit HDPE 1 erzielt.

Die mechanischen Kennwerte (E-Modul, Zugfestigkeit, Schlagzähigkeit) liegen in dem für HDPE erwarteten Rahmen. Die Schlagzähigkeitsprüfung wurde von allen Proben bestanden (NB  $\hat{=}$  nicht gebrochen).



**Bild 1:** Spezifischer Widerstand als Funktion der Temperatur von leitfähigen HDPE-Kompositen

**Tab. 1:** Materialkennwerte der leitfähigen HDPE-Polymerkomposite mit PTC-Effekt

	$\rho / \Omega \text{cm}$	$R_{80}/R_{20}$	$E / \text{MPa}$	Reißkraft / MPa	Schlagzähigkeit nach Charpy
HDPE 1	958	5,2	684	17,0	NB
HDPE2	33	2,8	666	20,8	NB
HDPE3	58	4,5	575	15,9	NB
HDPE4	65	2,4	1190	23,0	NB

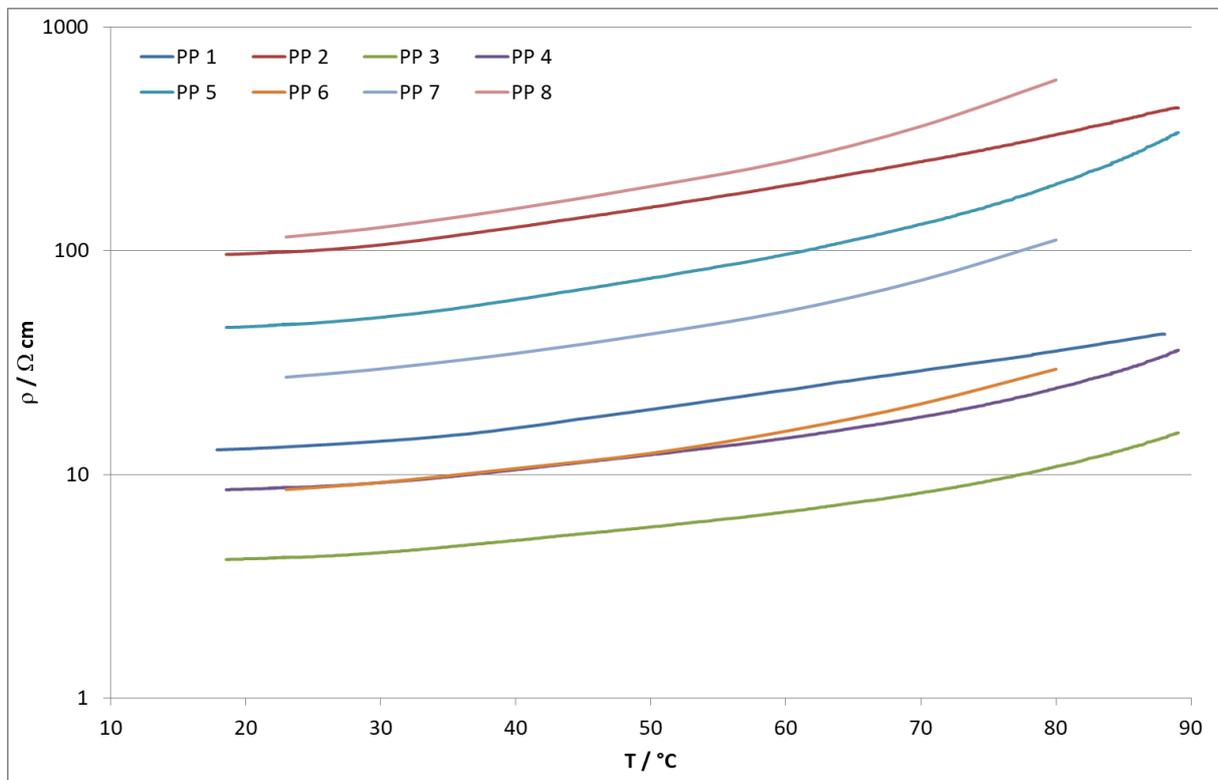
NB  $\triangleq$  nicht gebrochen

## 2.2. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polypropylen (PP) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv

Ähnlich wie in 2.1 für HDPE beschrieben, wurden in Arbeitspaket 3 leitfähige Polymerkomposite auf Basis von Polypropylen (PP) hergestellt und in Arbeitspaket 4 charakterisiert. Die Herstellung der leitfähigen Komposite erfolgte durch Mischen jeweils eines hoch gefüllten rußhaltigen Compounds (Konzentrat) mit einem ungefüllten Matrixpolymer in einem gleichsinnig rotierenden Doppelschneckenextruder (Haake Rheomex PTW 16/25) mit einem Schneckendurchmesser von 16 mm. Als Matrixpolymer wurde Braskem H214 eingesetzt. Weiterhin wurden zwei kommerziell verfügbare Komposite mit getestet. Die im Compoundierprozess erhaltenen Granulate wurden im Spritzguss zu Prüfkörpern (Platten, Zugprüfstäbe) verarbeitet, an Hand derer der spezifische elektrische Widerstand, der E-Modul,

die Zugfestigkeit und die Schlagzähigkeit nach Charpy bestimmt wurden. Die Messungen erfolgten wie in Kapitel 2.1 beschrieben und sind in Bild 2 bzw. in Tabelle 2 dargestellt.

Die spezifischen Widerstände der verschiedenen Materialien decken einen Bereich von ca. 4  $\Omega$  cm bis 115  $\Omega$  cm ab. Die Widerstandszunahme bei Erwärmung (PTC-Effekt) von 20°C auf 80°C ( $R_{80}/R_{20}$ ) beträgt für die PP-Typen zwischen 250 % und 500 %. Die Materialien PP7 und PP8 erwiesen sich als wenig schlagzäh, d.h. sie können nur wenig Stoßenergie absorbieren.



**Bild 2:** Spezifischer Widerstand als Funktion der Temperatur von leitfähigen PP-Kompositen

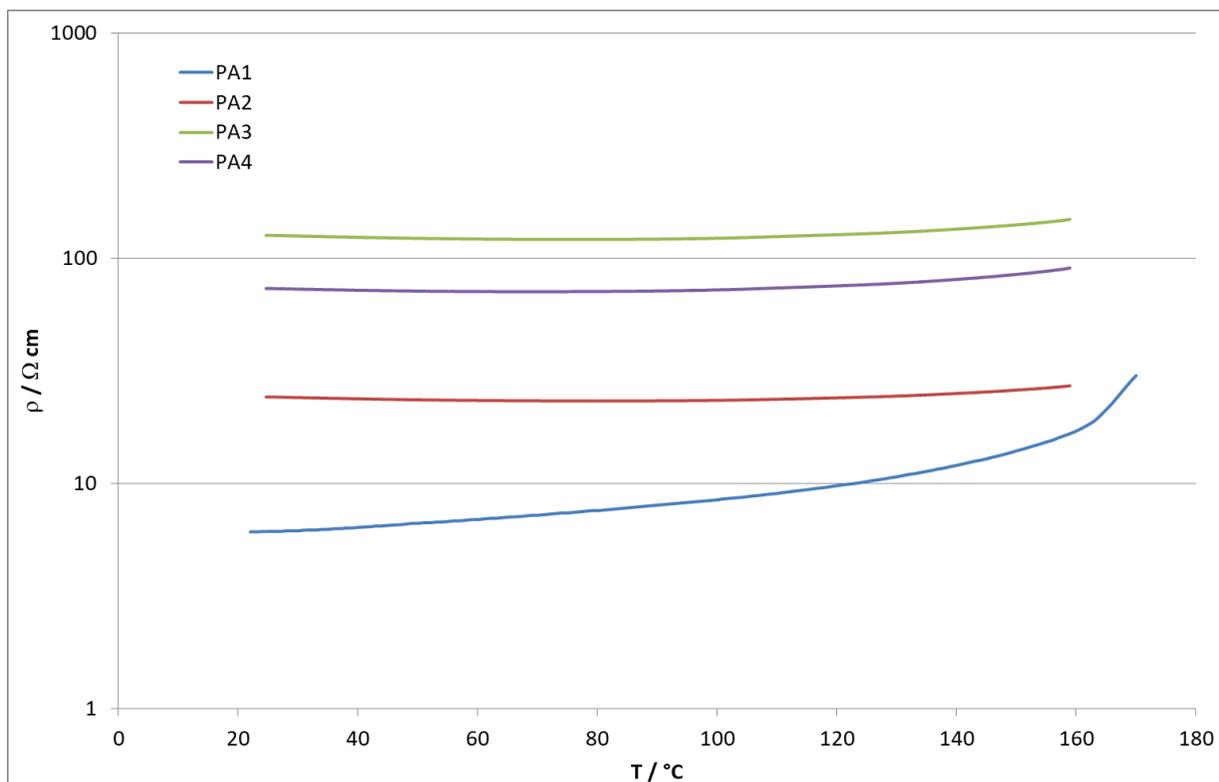
**Tab. 2:** Materialkennwerte der leitfähigen PP-Polymerkomposite mit PTC-Effekt

	$\rho / \Omega\text{cm}$	$R_{80}/R_{20}$	$E / \text{MPa}$	Reißkraft / MPa	Schlagzähigkeit nach Charpy
PP1	15	3,3	1140	21,0	NB
PP2	102	3,4	975	21,5	NB
PP3	4,2	2,5	894	24,4	NB
PP4	10,4	2,9	1020	27,8	NB
PP5	48	4,2	1030	26,1	NB
PP6	8,6	3,5	690	23,3	NB
PP7	27,2	4,1	904	26,9	8,3 kJ/m <sup>2</sup>
PP8	115	5,0	837	25,0	13,2 kJ/m <sup>2</sup>

NB  $\hat{=}$  nicht gebrochen

### 2.3. Polymerkomposite mit PTC-Eigenschaften auf Basis von Polyamid (PA) und Ruß als Leitfähigkeitsadditiv

Im Arbeitspaket 5 wurden leitfähige Polymerkomposite auf Basis von Polyamid (PA) hergestellt und charakterisiert (AP 6). Die Herstellung der leitfähigen Komposite erfolgte durch Mischen jeweils eines hoch gefüllten rußhaltigen Compounds (Konzentrat) mit einem ungefüllten Matrixpolymer in einem Doppelschneckenextruder analog zu den Arbeitspaketen 1 und 3. Als Matrixpolymere wurden Ultramid A27 (PA 66) und Ultramid B27 (PA 6) eingesetzt. Zusätzlich wurde ein kommerziell verfügbares Komposit getestet. Die Herstellung von Prüfkörpern (Platten, Zugprüfstäbe) sowie die Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstands, des E-Moduls, der Zugfestigkeit und der Schlagzähigkeit erfolgte wie in 2.1 und 2.2 beschrieben. Der Temperaturverlauf des spezifischen elektrischen Widerstands ist in Bild 3 dargestellt. Alle anderen Messwerte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.



**Bild 3:** Spezifischer Widerstand als Funktion der Temperatur von leitfähigen Polyamid-Kompositen

Die spezifischen Widerstände der verschiedenen Materialien decken einen Bereich von ca. 6  $\Omega$  cm bis 126  $\Omega$  cm ab. Im Vergleich zu PE und PP setzt eine merkliche Widerstandszunahme erst bei höheren Temperaturen ein und beträgt bei Erwärmung von 20°C auf 160°C (R160/R20) für das Polyamidkomposit PA1 280%. Bei den anderen Polyamidkompositen (PA 2 - PA 4) ist

der PTC-Effekt mit 10% -20% Widerstandszunahme deutlich geringer, wobei im Temperaturbereich unter 100°C sogar ein negativer Temperaturkoeffizient (NTC-Verhalten) vorliegt (Abb. 3). Das bedeutet, dass diese Materialien für PTC-Heizungen nicht nutzbar sind. Überdies weisen PA2 und PA3 nur eine geringe Schlagzähigkeit auf, d.h. sie sind relativ spröde.

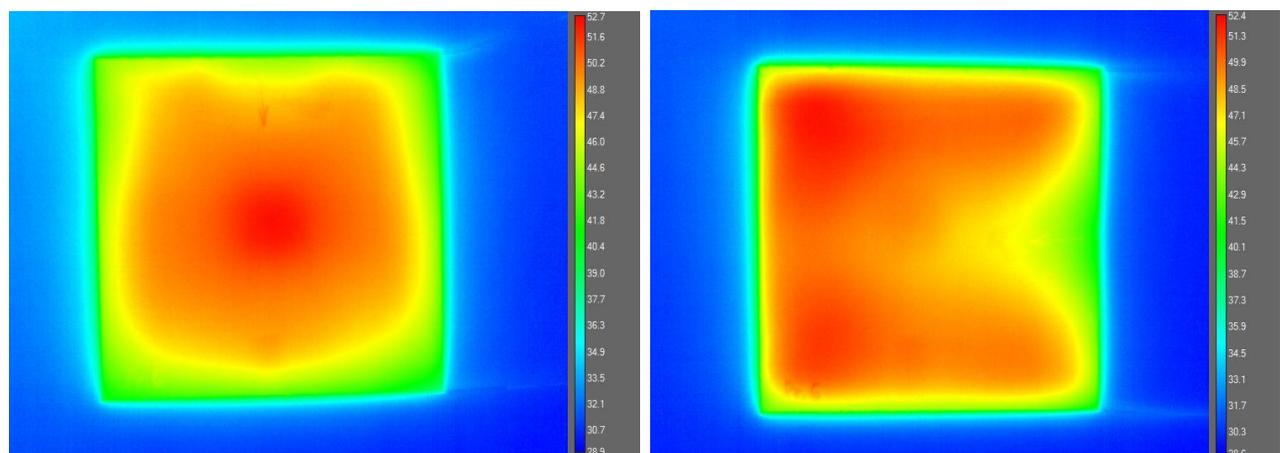
**Tab. 3:** Materialkennwerte der leitfähigen PA-Polymerkomposite mit PTC-Effekt

	$\rho / \Omega\text{cm}$	$R_{160}/R_{20}$	$E / \text{MPa}$	Reißkraft / MPa	Schlagzähigkeit nach Charpy
PA1	6,1	2,8	1240	39,9	NB
PA2	24,2	1,1	2460	72,5	26,1 kJ/m <sup>2</sup>
PA3	126	1,2	2530	70,2	17,9 kJ/m <sup>2</sup>
PA4	73,3	1,2	2670	69,6	NB

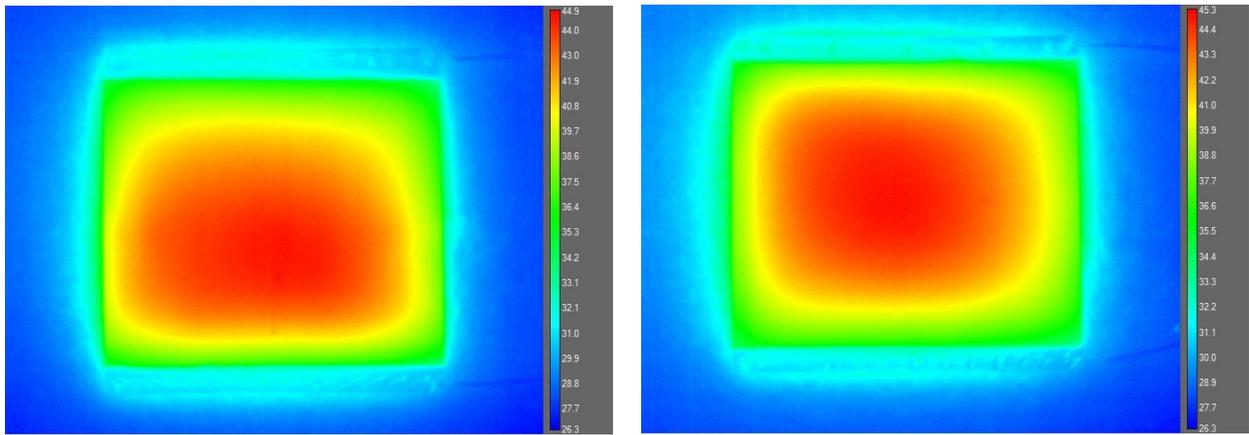
NB  $\hat{=}$  nicht gebrochen

#### 2.4. Untersuchungen zur elektrischen Homogenität an Spritzgußplatten und zur thermischen Stabilisierung durch Tempern

Die Homogenität der elektrischen Eigenschaften und damit der Wärmeentwicklung in Spritzgussplatten wurde in AP 7 untersucht. Hierfür wurden Platten der Geometrie 100 x 100 x 2 mm<sup>3</sup> bzw. 60 x 60 x 1 mm<sup>3</sup> (Polymer HDPE3) hergestellt. Die Platten wurden an den gegenüber liegenden Kanten jeweils so kontaktiert, dass der Strom einmal in Flussrichtung und einmal quer zur Flussrichtung der Schmelze fließt. Während bei einigen Materialien das Wärmebild sehr homogen ist (Bild 4 und 5), ist es bei anderen ungleichmäßiger. Das deutet auf einen lokal variierenden Widerstand hin. Insbesondere ist im Bereich des Angusses ein erhöhter Widerstand festzustellen, was auch aus der Literatur bekannt ist. Dadurch erscheint dieser Bereich im Wärmebild kälter.

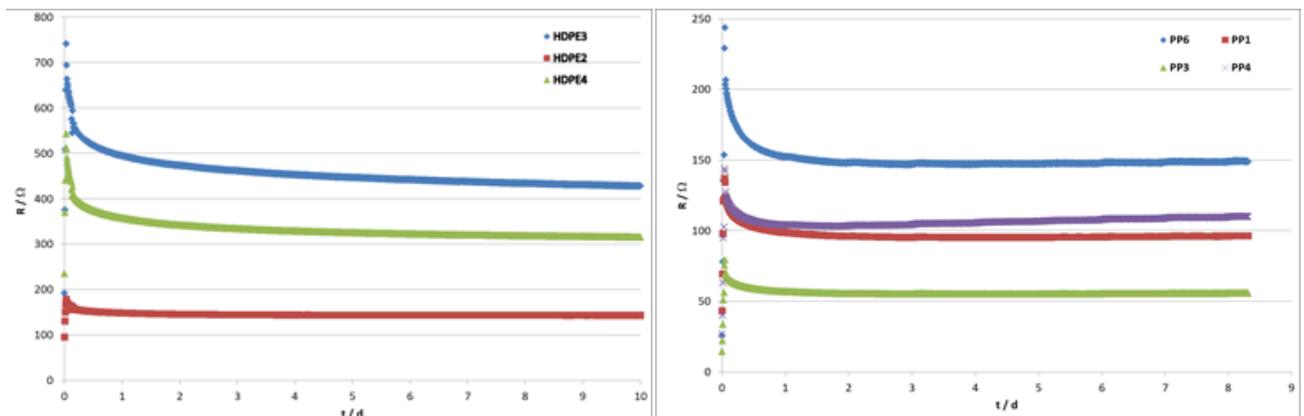


**Bild 4:** Wärmebildaufnahme einer beheizten Platte am Beispiel PA1 (10 x 10 cm<sup>2</sup>, P = 5W); Stromrichtung parallel (links) und senkrecht (rechts) zur Flussrichtung der Schmelze



**Bild 5:** Wärmebildaufnahme einer beheizten Platte am Beispiel HDPE3 (6 x 6 cm<sup>2</sup>, P = 0,8W); Stromrichtung parallel (links) und senkrecht (rechts) zur Flussrichtung der Schmelze

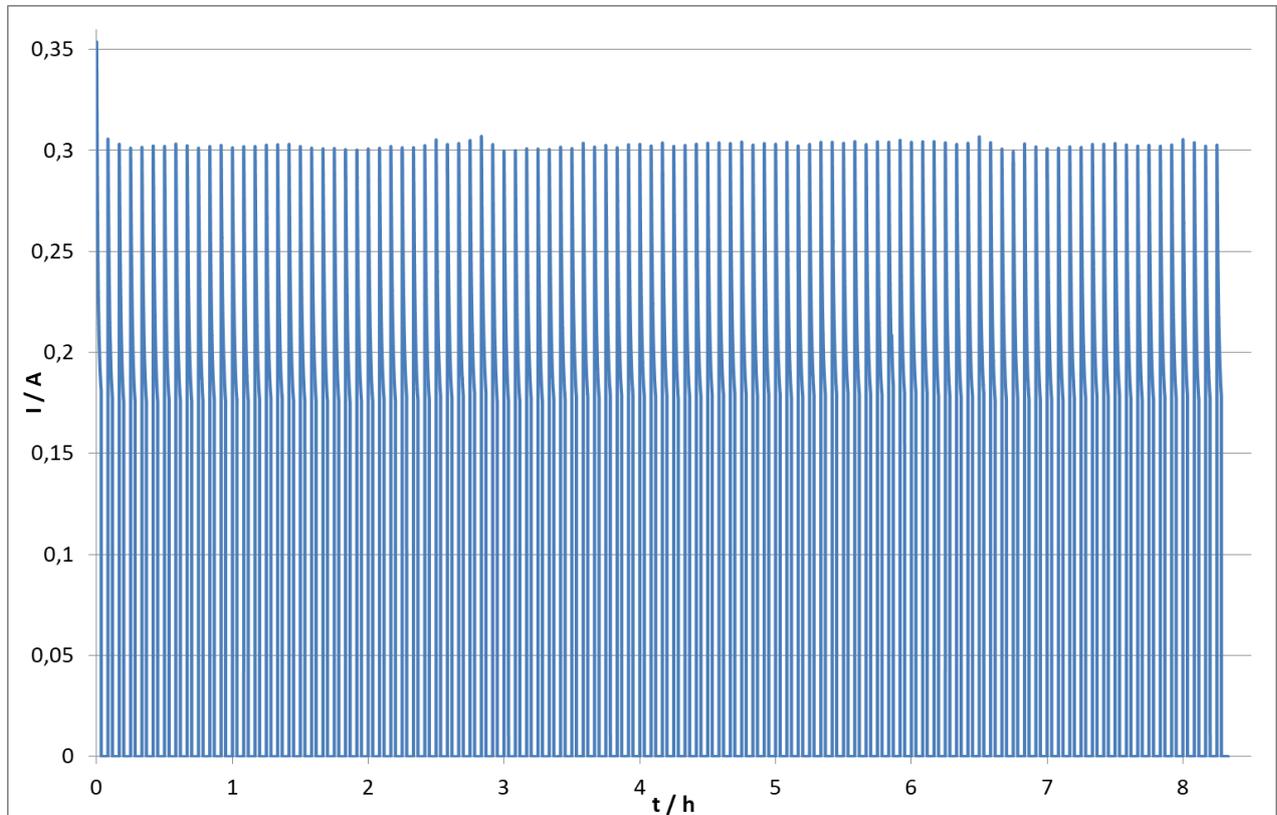
Die meisten der untersuchten PTC-Materialien zeigen eine Abnahme des Widerstands bei Lagerung bei erhöhter Temperatur über einen Zeitraum von wenigen Tagen, wobei der größte Abfall innerhalb der ersten 20 bis 50 Stunden geschieht. In Bild 6 sind die Widerstandsänderungen als Funktion der Zeit für HDPE- und die niederohmigeren PP-Proben bei Temperaturlagerung bei 80 °C bzw. 100°C dargestellt. So fällt der Widerstand der HDPE-Proben bei 80°C innerhalb des 1. Tages um 17% bis 35% des Ausgangswerts ab, bei den PP-Proben sind es bei 100°C zwischen 28% und 38 %. Danach ist die Änderung nur noch gering und der Wert stabilisiert sich nach ca. 2 Tagen.



**Bild 6:** Zeitliche Änderung des Widerstands bei Temperaturlagerung; Links: HDPE-Proben bei 80°C; Rechts: PP-Proben bei 100°C

Zyklische Belastungstests an getemperten Proben zeigen einen stabilen Verlauf über einen Zeitraum von 100 Testzyklen zu je 5 Minuten (2 min Heizen auf ca. 70°C, 3 min Kühlen). Die Versuche wurden mit Platten (ca. 45 x 20 x 2 mm<sup>3</sup>) aus einigen der bei 100°C getemperten Materialien PP1, PP3, PP4 und PP6 durchgeführt, wobei mit Spannungen von 6 – 10 V Anfangsheizleistungen von ca. 3 W angestrebt wurden. Im Verlauf der zweiminütigen Heizphase fiel die Heizleistung auf Grund der Erwärmung auf ca. 70°C und des damit

einhergehenden PTC-Effekts auf ca. 1,7 W ab. In der anschließenden dreiminütigen stromlosen Abkühlphase kühlten die Stäbe auf Werte zwischen 39°C bis 42°C ab. Es konnte ein sehr stabiler und reproduzierbarer Verlauf der Strom-Zeit-Kurven und damit der Heizcharakteristik nachgewiesen werden. Ein typischer Verlauf ist in Bild 7 für PP1 dargestellt.

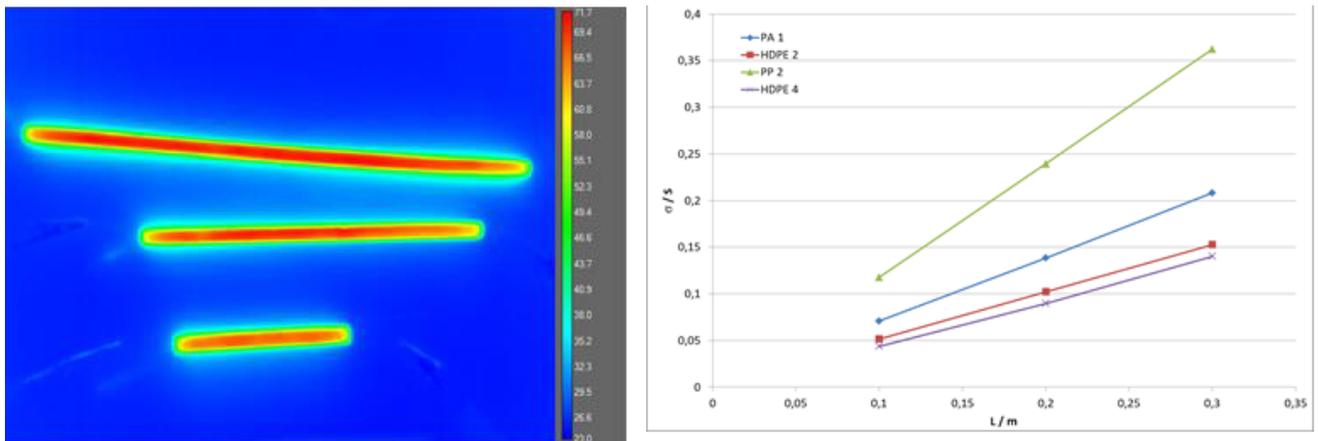


**Bild 7:** Typische Strom-Zeit-Kurven eines zyklischen Heizexperiments, aufgenommen über 100 Zyklen zu je 5 Minuten (Material: PP1, zuvor 8 Tage getempert bei 100°C; U = 10 V)

## 2.5 Extrusion von Rohrleitungen aus leitfähigen Polymerkompositen sowie Bestimmung der elektrischen Eigenschaften und Aufheizcharakteristiken

Im AP 8 wurden Rohre im Extrusionsverfahren auf einer Anlage von SKETmatik mit einem Außendurchmesser von 10 mm und einem Innendurchmesser von 8 mm hergestellt. Auf Grund ihrer hohen Leitfähigkeit wurden die Kunststoffe HDPE2, HDPE4, PP1, PP2 und PA1 ausgewählt. Diese ließen sich unterschiedlich gut extrudieren, so dass Rohre unterschiedlicher Qualität erhalten wurden, was sich z.B. an der Rauheit der Oberflächen zeigte. Optimal lief das Verfahren mit dem Kunststoff PP2. Für die Widerstandsbestimmung wurden Stücke mit einer Länge von 10 cm, 20 cm und 30 cm abgeschnitten und seitlich an der Rohrwand mit Kupferdraht kontaktiert. Der an den Rohrstücken ermittelte Leitwert nimmt linear mit der Rohrlänge zu. Bezogen auf die Länge liegt der Leitwert je nach Material in einem Wertebereich zwischen 0,5 S/m und 1,2 S/m (Bild 8).

Das AP 9 umfasst Aufheizversuche an Rohren verschiedener Länge, die mit einer Heizleistung von 25 W/m durchgeführt wurden. Die Rohre zeigen eine gleichmäßige Erwärmung auf ca. 70 °C (Bild 8). Je nach Material beträgt die hierfür erforderliche Betriebsspannung zwischen 6,4 V und 10 V. In einem weiteren Versuch wurde in einem 80 cm langen Rohr Wasser erwärmt, welches mit einer Geschwindigkeit von 0,88 l/min hindurchströmte. Auf Grund der erhöhten Wärmeableitung im Vergleich zum nicht durchströmten Rohr wurde eine höhere Heizleistung von 165 W (206 W/m) mit einer Spannung von 14 V realisiert. Damit erhält man eine Temperaturerhöhung des Wassers um 2,4 K. Eine stärkere Erwärmung mit höheren Spannungen ist möglich.



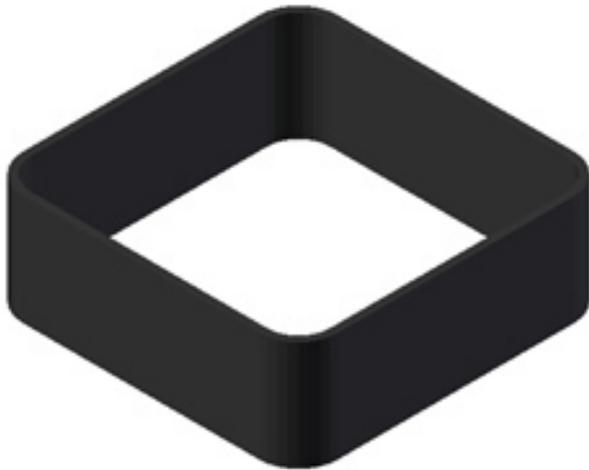
**Bild 8:** Wärmebildaufnahme von beheizten Rohren ( $U = 10$  V,  $P = 25$  W/m) aus Kunststoff HDPE4 (links) und Leitwerte als Funktion der Rohrlänge für vier Materialien (rechts)

## 2.6 Herstellen eines Fluidbehälters mittels 3D-Druck

In AP 10 wurde der Versuch unternommen, einen Fluid-Behälter im 3D-Druck herzustellen, mit dem im Anschluss erste Versuche zum Erwärmen bzw. Auftauen von Fluiden durchgeführt werden sollten. Hierfür wurde das Material PA1 ausgewählt, da sich PE und PP im 3D-Druck erfahrungsgemäß schwierig verarbeiten lassen. Als Teststruktur wurde ein nahezu quaderförmiges Gebilde mit 8 cm x 8 cm Grundfläche konstruiert und als CAD-File für den 3D-Druck bereitgestellt (Bild 9).

Für die praktische Umsetzung wurde zunächst ein Filament aus PA1-Granulat mit einem Durchmesser von 1,75 mm auf einer Monofilamentanlage extrudiert. Der elektrische Widerstand des Filaments beträgt 1,63 k $\Omega$ /cm. Mit diesem wurden Druckversuche im FDM-Verfahren (Fused Deposition Molding) auf einem Drucker von ANYCUBIC durchgeführt. Dabei wird das Filament in der Düse aufgeschmolzen und einzelne Tröpfchen der Schmelze definiert an bestimmten Stellen auf einer Unterlage (hier eine Platte ebenfalls aus PA1, die als Behälterboden dienen sollte) abgesetzt, sodass die gewünschte Struktur Schicht für Schicht allmählich in die Höhe wächst. Der Druckprozess selbst funktionierte gut. Leider kam es durch

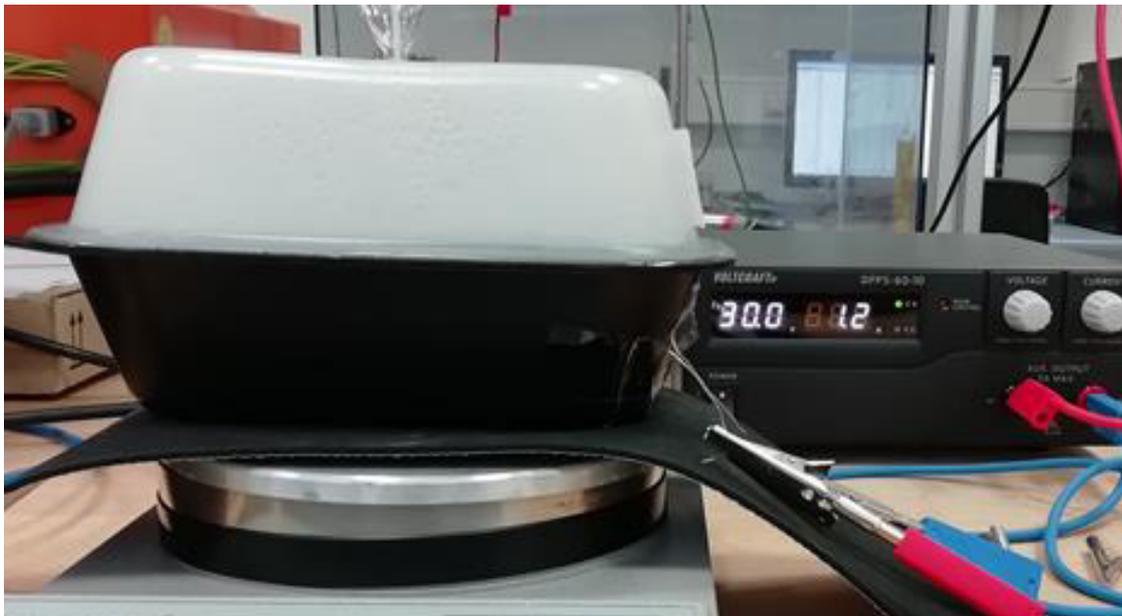
schrumpfinduzierte Spannungen beim Abkühlen zum Verzug der entstehenden Struktur und zu Rissen in der Behälterwand bzw. zum Abheben von der Unterlage, sodass letztlich keine zielführenden Druckversuche bis zum fertigen Behältnis möglich waren. Dieses Problem ließe sich überwinden, wenn man einen Drucker mit beheiztem Bauraum verwendet, der aber hier nicht zur Verfügung stand. Die geplanten Versuche zum Erwärmen bzw. Auftauen von Fluiden wurden deshalb mit Behältern durchgeführt, die im Spritzgussverfahren hergestellt werden.



**Bild 9:** CAD-Modell einer Behälterwand für die Fertigung im 3D-Druck

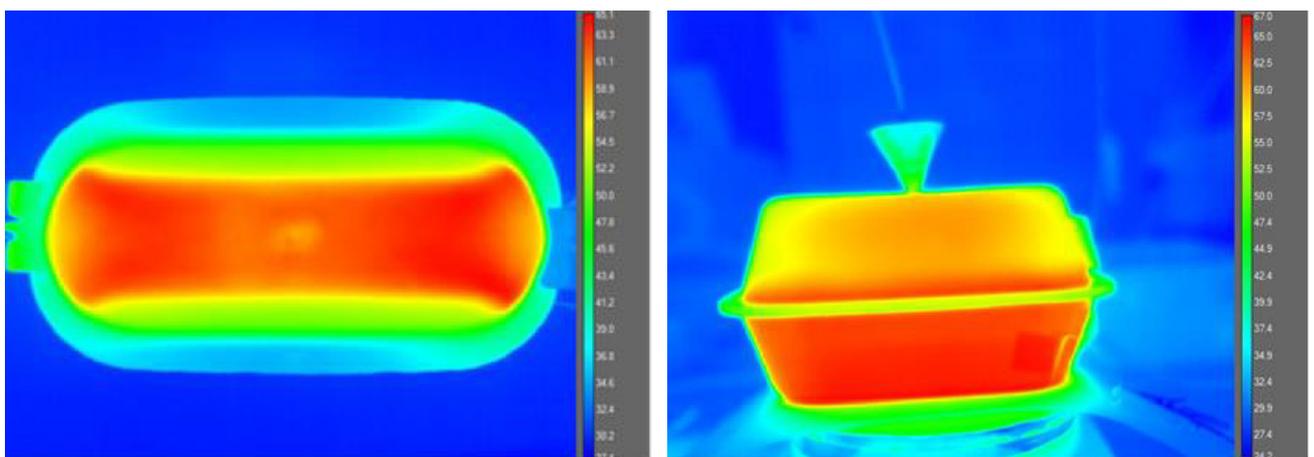
## **2.7 Bestimmung der elektrischen Eigenschaften und der Aufheiz- und Auftaucharakteristik des Behälters mit Fluid bzw. Eis**

Für die Untersuchungen des Aufheizverhaltens eines beheizten Fluidbehälters wurde in AP 11 ein wannenförmiger Hohlkörper konzipiert, der aus einem beheizbaren leitfähigen Unterteil und einem elektrisch nichtleitenden Oberteil bestehen sollte (Bild 10). Zunächst wurde ein entsprechendes Spritzgußwerkzeug konstruiert und in Auftrag gegeben. Mit diesem Werkzeug wurden auf einer Spritzgußmaschine (Arburg Allrounder 320) wannenförmige Halbschalen aus den leitfähigen Kunststoffen HDPE2, HDPE3 und PP1 sowie aus einem nichtleitenden HDPE (Dowtex) gespritzt und dann mit einem Kleber zu einem geschlossenen Behälter zusammengefügt. Die Abmessungen der gespritzten Teile betragen 179 mm x 93 mm x 46 mm (L x B x H), woraus ein maximal nutzbares Füllvolumen der Halbschale von 360 cm<sup>3</sup> resultiert. Mit einer Wandstärke von 2 mm ergibt sich, abhängig von der Dichte der Materialien, schließlich ein Gewicht von 50 g für die naturbelassene HDPE-Oberschale sowie von 59 g für die leitfähigen HDPE-Unterschalen und von 65 g für die PP1-Unterschale.



**Bild 10:** Experimenteller Aufbau für die Aufheizversuche mit elektrisch beheizbarem Behälter mit leitfähiger Unterschale auf einem Magnetrührer; Stromversorgung im Hintergrund

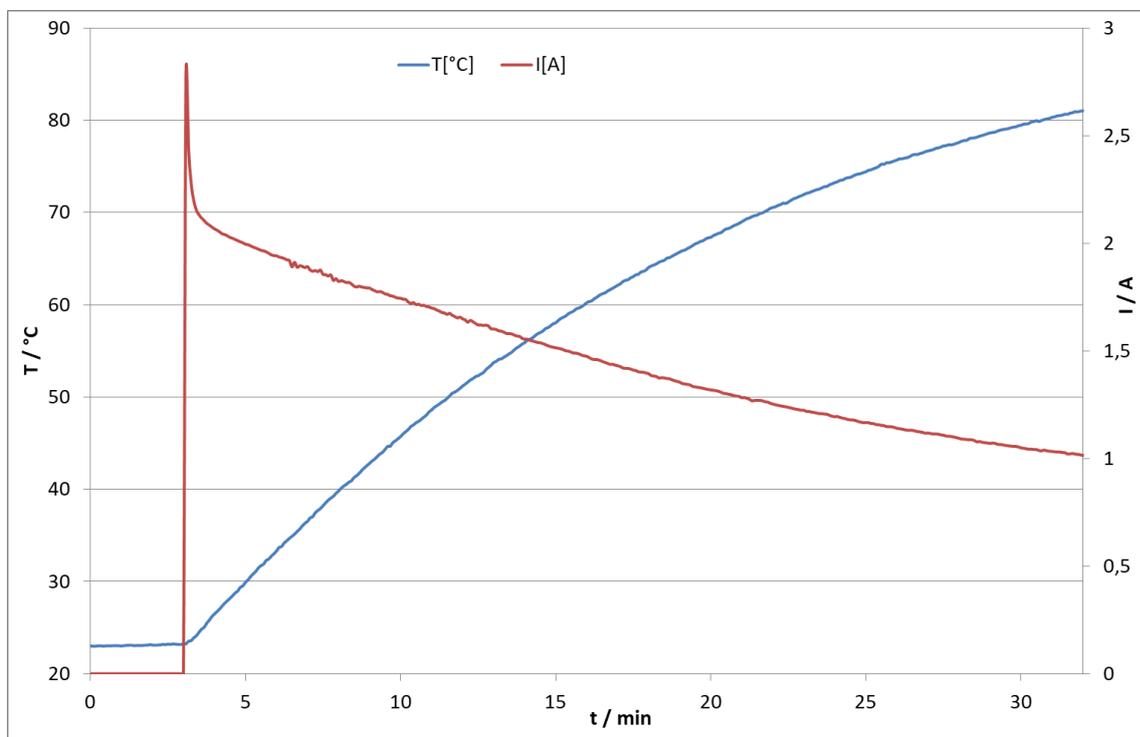
Für Aufheizversuche wurden in die leitfähigen Unterschalen je zwei Drähte zur Kontaktierung eingeschmolzen. Um eine möglichst gleichmäßige Erwärmung zu erhalten, ist es wichtig, den Abstand zwischen den beiden Drähten möglichst konstant zu halten. Es wurden diesbezüglich verschiedene Elektrodenanordnungen getestet, z.B. im Wannenboden und im Wannenrand. Eine Variante mit sehr gleichmäßiger Erwärmung bei niedrigem Widerstand wurde mit zwei parallelen Drähten im Wannenboden erreicht (Bild 11).



**Bild 11:** Thermografieaufnahmen eines beheizten Wannenbodens (links) und einer teilweise mit Wasser gefüllten Wanne nach Erwärmung (rechts)

Die Aufheizversuche wurden mit einer Unterschale aus PP1 durchgeführt. Der Behälter wurde mit 360 ml Wasser befüllt. Für die Temperaturmessung wurde ein Thermoelement eingefügt und für die bessere Fluid-Durchmischung wurde die Wanne auf einem Magnetrührer platziert

(Bild 10), der einen im Inneren befindlichen Rührfisch rotieren lässt. Das Wasser und damit auch der gesamte Fluidbehälter werden durch die im Wannenboden befindliche Heizung erwärmt (Bild 11, rechts.). Der Temperatur-Zeit-Verlauf und der Strom-Zeit-Verlauf wurden mit einem Datenlogger (Sefram DAS 220) bei verschiedenen Heizspannungen aufgezeichnet. Einen typischen Zeitverlauf zeigt Bild 12 für eine Heizspannung von 50 V. Der anfänglich rasche Temperaturanstieg flacht mit der Zeit auf Grund der zunehmenden Wärmeverluste infolge von Wärmeleitung und -strahlung und auf Grund des mit höherer Temperatur einsetzenden PTC-Effekts deutlich ab. Dieser bewirkt durch den zunehmenden Widerstand zunächst eine schnelle und dann eine allmähliche Reduktion der Stromzufuhr und damit der Leistungsaufnahme von anfänglich 2,8 A (140 W) bei 23°C auf ca. 1 A (50 W) bei 81°C.

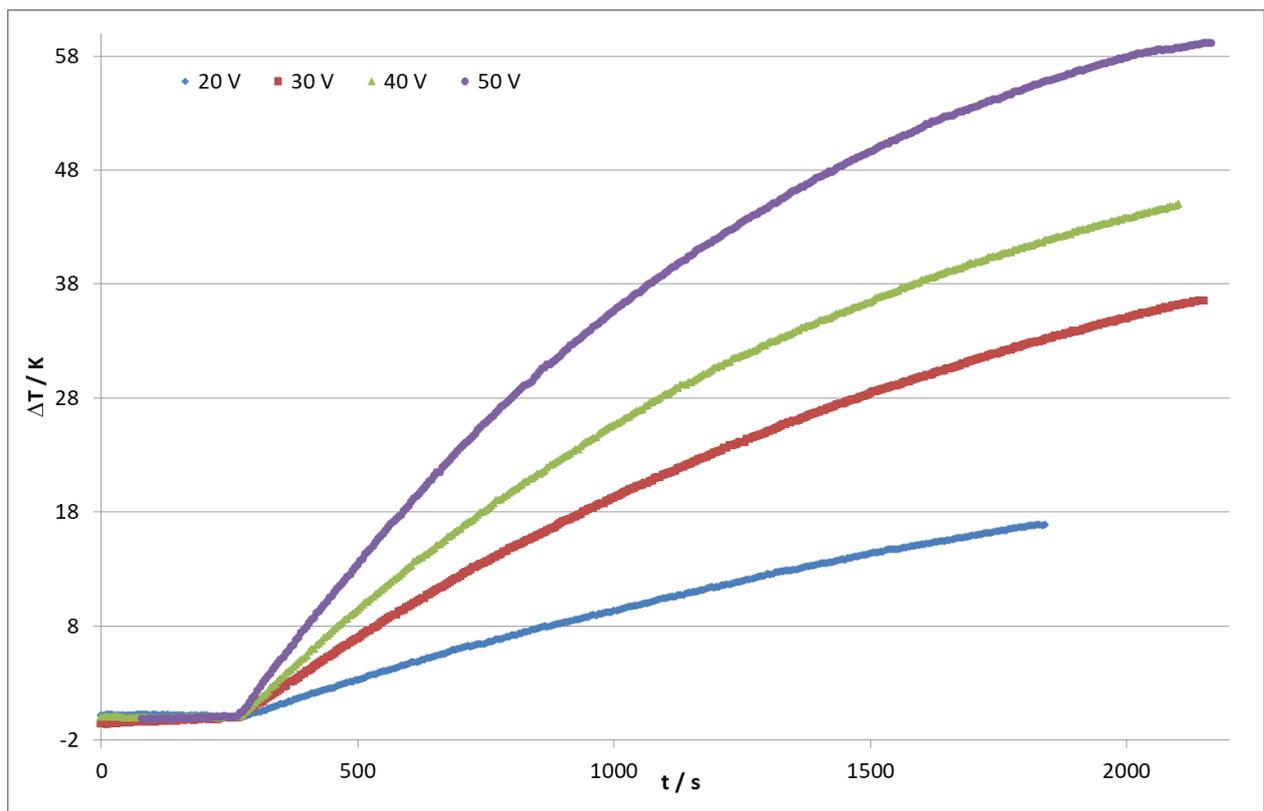


**Bild 12:** Temperatur-Zeit-Verlauf (blau) und Strom-Zeit-Verlauf (rot) des mit 360 ml Wasser gefüllten Behälters aus Bild 10 bei einer Heizspannung von 50 V

Die Heizleistung und damit die anfängliche Heizrate hängen quadratisch von der Heizspannung ab. Bei Vernachlässigung der Wärmeverluste an die Umgebung berechnet sich die Heizrate  $\Delta T/\Delta t$  aus der Spannung  $U$ , dem Widerstand  $R$  des Heizers, der Masse  $m$  des Fluids und der spezifischen Wärmekapazität  $c$  des Fluids wie folgt:

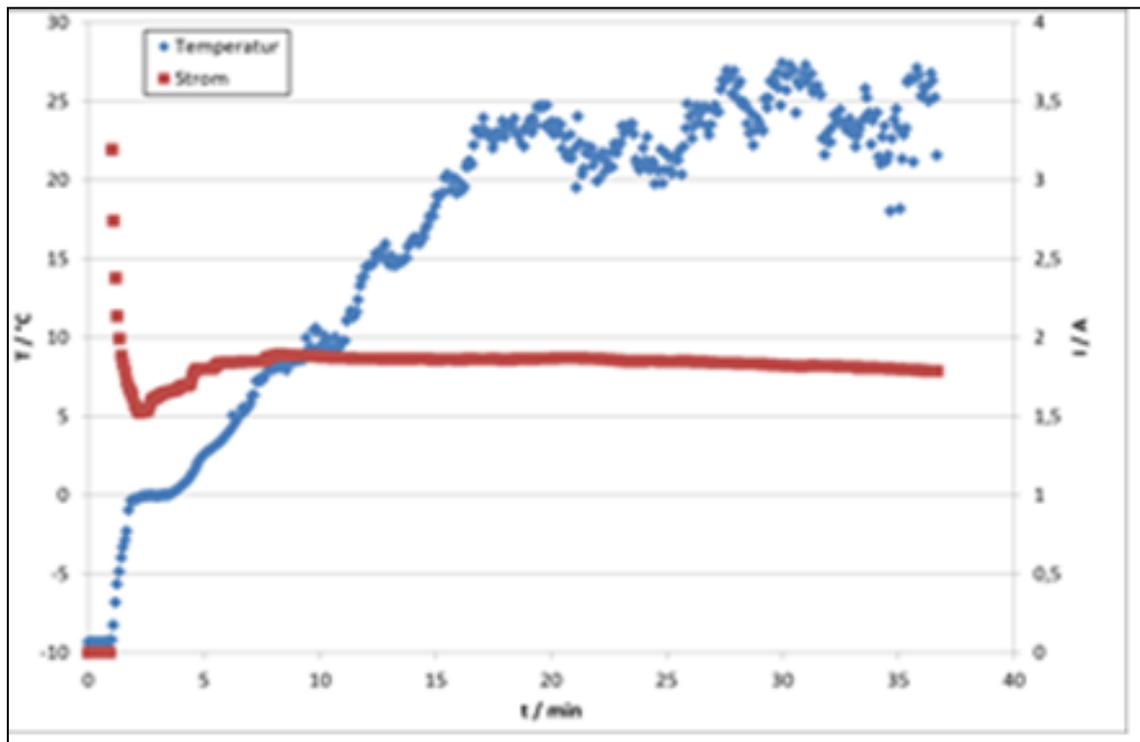
$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{U^2}{m c R}$$

Mit steigender Temperatur nehmen jedoch die Wärmeverluste und der Widerstand zu, so dass sich die Heizrate verringert (zu erkennen am Abflachen der  $T(t)$ -Kurven) und schließlich bei Erreichen des thermischen Gleichgewichts zu Null wird. Dieser Zustand ist bei den dargestellten Messungen nach ca. 30 Minuten noch nicht erreicht. Bild 13 zeigt die Temperaturänderung als Funktion der Zeit für Spannungen von 20 V bis 50 V resultierend in Anfangsheizleistungen von 28 W bis 140 W. Daraus ergeben sich für das hier untersuchte System Anfangsheizraten von 0,65 K/min (20 V) bis 3,62 K/min (50 V) und Temperaturerhöhungen nach 30 Minuten Heizen von 18 K bis 58 K.

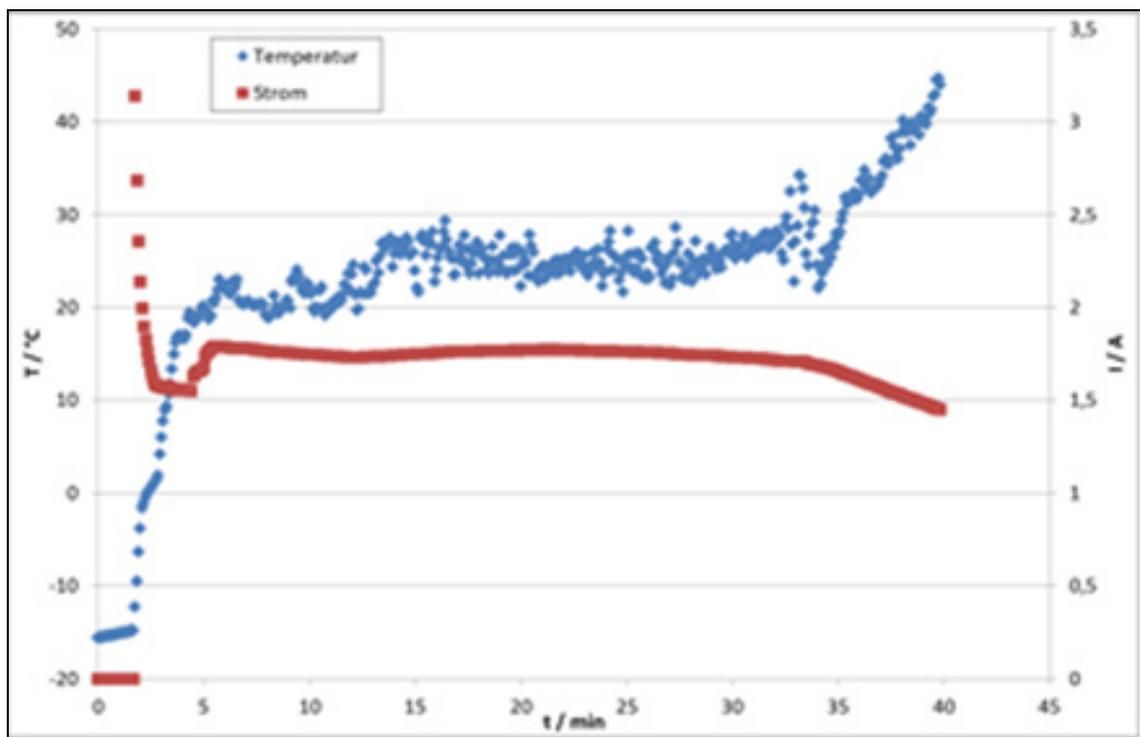


**Bild 13:** Temperaturänderung von Wasser in einem beheizten Behälter bei Heizspannungen von 20 V bis 50 V

Neben den Untersuchungen zum Erwärmen von Wasser wurden auch Versuche zum Auftauen von Eis durchgeführt. Das ist vor allem relevant für Außenanwendungen im Winter. Für diese Experimente wurden 300 g bzw. 360 g Wasser gemeinsam mit einem Thermoelement in der Heizwanne im Tiefkühlfach eingefroren. In einem der Experimente wurde der Behälter mit dem Eis in einem Klimaschrank bei  $-10^{\circ}\text{C}$  platziert. Nachdem sich die Eistemperatur an die Umgebungstemperatur angeglichen hat, wurde eine Spannung von 40 V angelegt und der zeitliche Verlauf von Temperatur und Strom aufgezeichnet (Bild 14). Innerhalb von ca. 45 s steigt die Temperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  auf  $0^{\circ}\text{C}$  und verharrt dann für ca. 2 Minuten auf diesem Niveau. In dieser Periode wird offensichtlich erstes Eis verflüssigt, wobei die Heizenergie im



**Bild 14:** Strom- und Temperatur-Zeit-Verlauf beim Auftauen von 360 g Eis ( $U = 40 \text{ V}$ ) im Klimaschrank ( $-10^\circ\text{C}$ )



**Bild 15:** Strom- und Temperatur-Zeit-Verlauf beim Auftauen von 300 g Eis ( $U = 40 \text{ V}$ ) bei Raumtemperatur

Wesentlichen zunächst für die Phasenumwandlung genutzt wird. Erst nachdem sich eine ausreichend dicke Wasserschicht am Boden gebildet hat und das Eis keinen direkten Kontakt mehr mit dem beheizten Wannenboden hat, beginnt die Temperatur des Wassers kontinuierlich

bis auf ca. 22°C zu steigen und bleibt dann, von kleineren Schwankungen abgesehen, stabil bis das gesamte Eis geschmolzen ist. Diese Temperatur ergibt sich offensichtlich als Gleichgewichtszustand aus Wärmeerzeugung (elektrische Heizleistung ca. 72 W) und Wärmeabfuhr (Schmelzwärme und Wärmeverluste an die Umgebung (-10°C)). Während des Versuchs fällt die Heizleistung durch den PTC-Effekt von anfänglich 128 W bis auf 70 W ab.

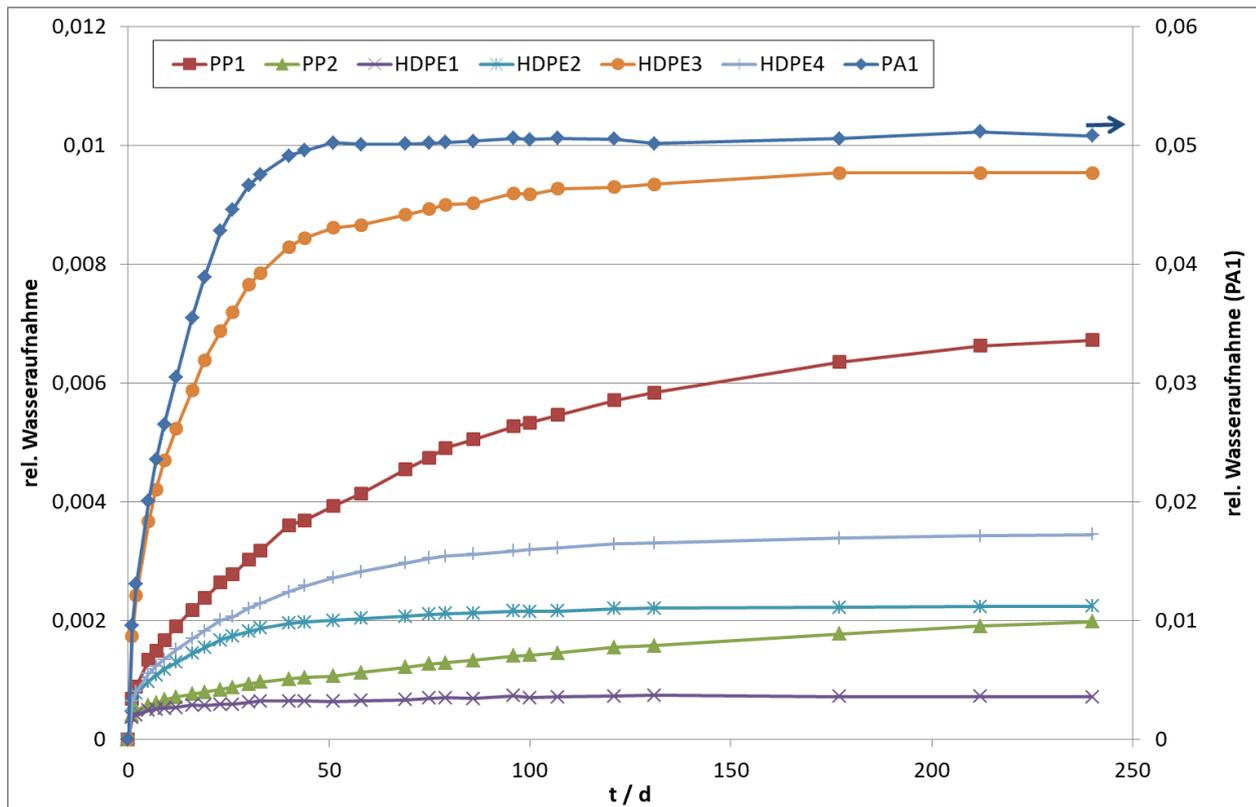
In einem zweiten Experiment wurde der Auftauversuch bei Raumtemperatur durchgeführt mit einer Temperatur des Eises von -15°C bei Anschalten der Heizung. Im Unterschied zu dem ersten Experiment, bei dem immer ein Teil der erzeugten Wärme an die Umgebung abgegeben wird, wird hier in der ersten Phase Wärme aus der Umgebung aufgenommen, was zu einem deutlich schnelleren Aufheizen führen sollte und letztlich auch so beobachtet wurde. Nach einer schnellen Aufheizphase verharrt auch hier die Temperatur kurzzeitig für ca. 40 s bei Werten um 0°C (Bild 15). Danach steigt sie wiederum rasch auf Werte von ca. 21°C bis 23°C an und verbleibt dort für ca. 30 Minuten bis das gesamte Eis geschmolzen ist. Erst danach beginnt die Wassertemperatur weiter zu steigen. Auch hier fällt die Heizleistung durch den PTC-Effekt von anfänglich 126 W bis auf weniger als 60 W bei einer Wassertemperatur von 45°C ab.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass unsere PTC-Heiztechnik in der Lage ist, bei kleinen Spannungen genügend Heizleistung bereit zu stellen, um innerhalb kurzer Zeit von ca. einer Minute flüssiges Wasser z.B. für einen Scheibenwaschvorgang verfügbar zu machen.

## **2.8 Untersuchungen zur Fluidbeständigkeit (Wasseraufnahme)**

Untersuchungen zur Wasseraufnahme wurden mit den in AP 7 hergestellten Spritzgussplatten durchgeführt. Die Platten wurden zunächst in einem Trockenschrank bei 80°C getrocknet, mit einer Feinwaage (Anzeigegenauigkeit 0,1 mg) gewogen, dann in einem Gefäß in destilliertem Wasser gelagert und in bestimmten Abständen erneut gewogen. Die Wassertemperatur betrug  $23 \pm 3$  °C. Vor jeder Wägung wurden die Platten mit Zellstofftüchern gründlich abgetrocknet und unmittelbar nach der Wägung wieder in das Wasserbad gegeben.

Die Messungen wurden über einen Zeitraum von 240 Tagen (ca. 8 Monate) durchgeführt. Nach einer anfänglich schnellen Massezunahme tritt bei den meisten Proben nach einigen Wochen Sättigung ein (Bild 16). Die höchste Wasseraufnahme von 5,1% zeigt wie erwartet das Polyamidkomposit. Dieser Wert wird nach ca. 50 Tagen erreicht. Im Gegensatz dazu liegt die Wasseraufnahme der HDPE- und PP-Komposite unter 1%, im Fall von HDPE1 und PP2 sogar unter 0,2%. Insbesondere bei den PP-Typen ist auch nach 240 Tagen noch keine Sättigung eingetreten.



**Bild 16:** Relative Massezunahme der Kunststoffplatten bei Wasserlagerung bei 23°C. Die Messwerte von PA1 beziehen sich auf die rechte Achse.

## 2.9 Herstellen eines Demonstrators

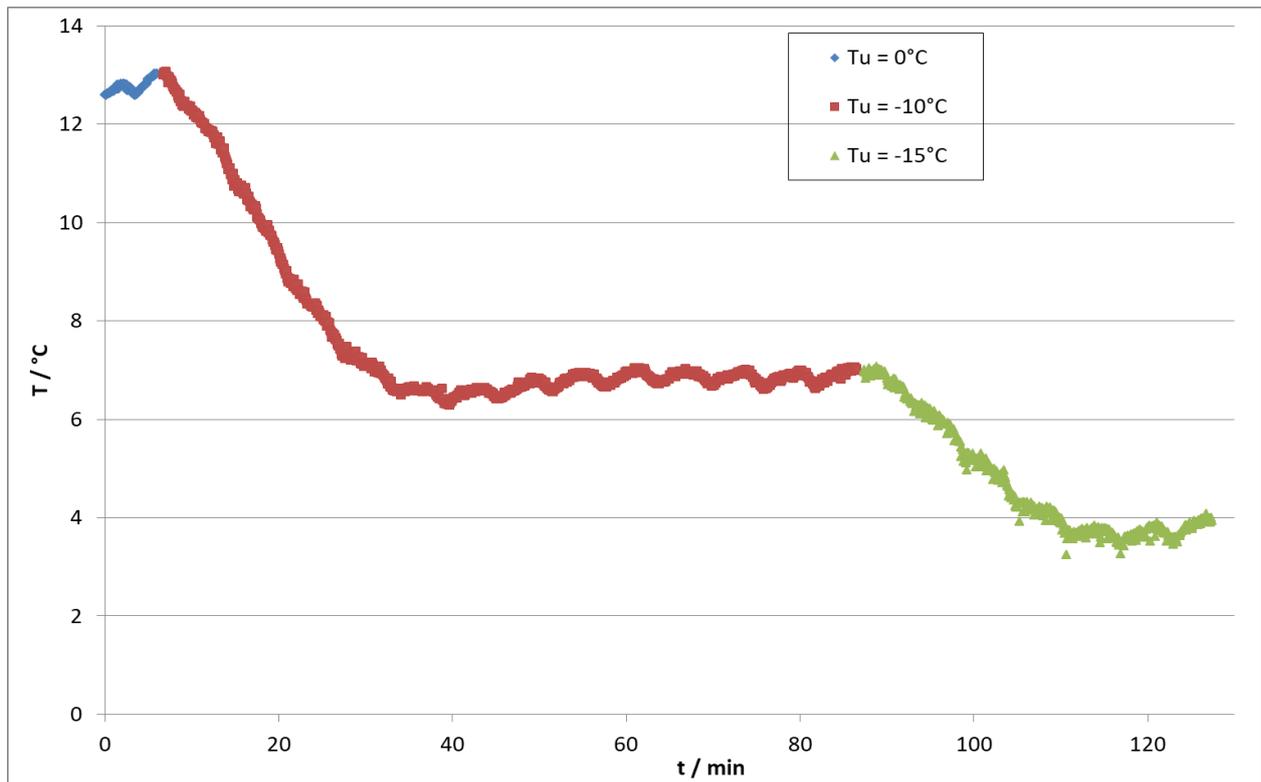
Aufbauend auf den Ergebnissen der vorhergehenden Arbeitspakete wurde ein Fluidsystem bestehend aus einem beheizten Fluidbehälter und einem beheizten Rohr zur Demonstration des Anwendungspotenzials aufgebaut und getestet. Der Aufbau umfasst den in 2.7 beschriebenen Fluidbehälter mit beheiztem Boden sowie ein 35 cm langes Rohr, das aufrecht stehend im Behälter angebracht ist (Bild 17) und auf einer Länge von 27 cm beheizt wird (s. 2.5). Eine ebenfalls in den Fluidbehälter eingebaute Brunnenpumpe drückt Flüssigkeit im Rohr nach oben, welche außen an der Rohraußenwand wieder in den Behälter zurück laufen kann.

Für Messungen wurde der Demonstrator mit 300 ml Wasser befüllt und in einem Klimaschrank (Vötsch VC 4020) platziert. Zusätzlich wurde für die Temperaturmessung ein Thermoelement eingebaut. Nachfolgend wurden in der Klimakammer verschiedene Umgebungstemperaturen von 0°C bis -15°C eingestellt. Der Demonstrator wurde mit einer Spannung von 12 V kontinuierlich beheizt, woraus sich Heizleistungen zwischen 21 W ( $T_U = 0^\circ\text{C}$ ) und 22,5 W ( $T_U = -15^\circ\text{C}$ ) ergaben. Die Temperatur und der Strom wurden mit einem Datenlogger aufgezeichnet. Die sich im Gleichgewichtszustand einstellenden Temperaturen lagen jeweils zwischen 13 K und 19 K über der vom Klimaschrank erzeugten Umgebungstemperatur (Bild

18). Selbst bei  $-15^{\circ}\text{C}$  konnte ein Einfrieren des Systems, das thermisch schlecht bis wenig isoliert ist, somit zuverlässig verhindert werden.



**Bild 17:** Beheiztes Fluidsystem im Klimaschrank bestehend aus beheiztem Gefäß, beheiztem Rohr und einer Pumpe



**Bild 18:** Wassertemperatur in dem mit 12 V elektrisch beheizten Demonstrator bei schrittweise von 0°C auf -15°C fallender Umgebungstemperatur  $T_U$  im Klimaschrank

### 3. Bewertung der Ergebnisse in Gegenüberstellung mit den Zielsetzungen des Antrags

Im Projektverlauf wurden verschiedene hochleitfähige Polymerkomposite mit Ruß als Leitfähigkeitsadditiv und Polyethylen (HDPE), Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) als Matrixpolymere realisiert und untersucht. Bezüglich des spezifischen Widerstands kann ein Bereich von 4  $\Omega$  cm bis 1000  $\Omega$  cm abgedeckt werden. Die Zunahme des Widerstands mit steigender Temperatur (PTC-Effekt) beträgt bei den HDPE-Kompositen bei Erwärmung von 20°C auf 80°C zwischen 240 % und 520 %, bei den Polypropylen-Kompositen zwischen 250 % und 500 % und bei den Polyamid-Kompositen bei Erwärmung von 20°C auf 160°C zwischen 110 % und 280 %. Das heißt, die angestrebten Zielparameter wurden erreicht bzw. übertroffen. In der Folge sind damit, insbesondere mit den höher leitfähigen Kompositen, verschiedene Heizanwendungen mit kleinen elektrischen Spannungen gut darstellbar. Die Materialien besitzen überdies für die meisten Anwendungen ausreichend gute mechanische Eigenschaften (E-Modul, Reißkraft, Schlagzähigkeit). Sie sind thermoplastisch gut verarbeitbar mittels Extrusion und Spritzguss. Eine nach der Herstellung noch vorhandene zeitliche Drift der Leitfähigkeit kann durch Temperung stabilisiert werden, sodass Heizungen aus den so behandelten Kompositen eine hohe Zyklenfestigkeit aufweisen. Die Wasseraufnahme bei Raumtemperatur liegt bei den HDPE- und PP-Kompositen deutlich unter 1%, zum Teil unter 0,1 %. Lediglich das Polyamidmaterial hat eine Wasseraufnahme von 5%, was aber zu

erwarten war.

Für die Anwendungsuntersuchungen wurden jeweils geeignete PTC-Komposite ausgewählt und zu Rohren extrudiert bzw. zu Spritzgussbehältern verarbeitet. Mit diesen Halbzeugen konnten nach elektrischer Kontaktierung Heizanwendungen mit kleinen Spannungen zwischen 6 V und 50 V realisiert werden, woraus Heizleistungen bis zu 140 W bei den Behältern bzw. bis zu 200 W/m bei den Rohren resultierten. Das sind aber keine generellen Grenzen. Im Bedarfsfall können auch noch höhere Leistungen realisiert werden. In Auftauversuchen konnte gezeigt werden, dass innerhalb kurzer Zeit flüssiges Wasser verfügbar gemacht werden kann.

Mit einem Heizsystem bestehend aus einem wannenförmigen beheizten Behälter und einem beheizten Rohr, in dem Wasser im Kreislauf gepumpt wurde, konnte das Einfrieren des Wassers bei  $-15^{\circ}\text{C}$  mit einer Heizleistung von 22,5 W, erzeugt mit einer Spannung von 12 V, sicher verhindert werden, obwohl das System weitgehend offen und somit kaum thermisch isoliert ist.

Der realisierte Bearbeitungsstand zum Projektende entspricht den im Antrag formulierten Zielstellungen. Im Ergebnis können mehrere leitfähige PTC-Polymere für verschiedenartige technische Heizanwendungen in Form von Rohren oder Spritzgusskörpern zur Verfügung gestellt werden, die es ermöglichen, mit kleinen Spannungen Flüssigkeiten aufzuheizen, aufzutauen oder vor dem Einfrieren zu bewahren.

#### **4. Wirtschaftliche Verwertung der Vorhabensergebnisse, aktualisierter Verwertungsplan**

##### **4.1. Zielgruppen für die Wirtschaftliche Verwertung, Anwendungsbereiche**

Die wesentlichen Vorteile der polymeren PTC-Materialien für Heizanwendungen im Vergleich zu konventionellen elektrischen Heizungen resultieren aus der Möglichkeit der thermoplastischen Verarbeitung und damit der freien Formgebung, der Selbstregulierung der Temperatur auf Grund des PTC-Effekts einschließlich des Schutzes vor Überhitzung, dem geringen Gewicht und der potenziell kostengünstigen Herstellung. Bei den Fluidtanks gibt es im Vergleich zu existierenden Systemen weiterhin potenzielle Kostenvorteile durch

- Einsparung des keramischen Heizers sowie metallischer Komponenten zur Halterung und Wärmeverteilung im Tank (Rahmen, Tentakeln)
- verringerten Montageaufwand, da die Heizung bereits im Fertigungsprozess des Behälters (Spritzguss) praktisch im gleichen Arbeitsschritt mit hergestellt wird.

Bei den beheizten Rohren ergeben sich Kostenvorteile vor allem durch eine Reduktion von Fertigungsschritten, da die Heizung bereits bei der Extrusion des Rohrs mit entsteht und nicht erst im Nachgang durch Umwinden des Rohrs mit einem Draht hinzugefügt wird.

Primäre Anwender der PTC-Materialien sind Automobilzulieferer, die Komponenten für das thermische Management im Fahrzeug herstellen. Insbesondere im Winter müssen Fluidsysteme, die Betriebsstoffe in flüssiger Form bereitstellen, aufgetaut bzw. vor dem Einfrieren bewahrt werden. Das betrifft z. B. Scheibenwaschwasser, AdBlue (Harnstofflösung) und Kühlwasser. Beim SCR-System (selective catalytic reduction) zum katalytischen Abbau der Stickoxide im Zuge der Abgasnachbehandlung müssen z.B. neben dem Flüssigkeitsbehälter mehrere Meter Leitung beheizt werden, da die Harnstofflösung bei  $-11^{\circ}\text{C}$  einfriert. Darüber hinaus können leitfähige Kunststoffteile z.B. für beheizbare Außenspiegel oder beheizbares Interieur, wie Lenkrad oder Mittelkonsole Verwendung finden. Effizient elektrisch beheizbare Innenräume sind insbesondere bei Automobilen mit Elektroantrieb eine zunehmende Herausforderung, da die üblicherweise hierfür genutzte Abwärme des Verbrennungsmotors nicht mehr zur Verfügung steht. Das geht jedoch zu Lasten von Batterie und Reichweite. An kalten Tagen ist es auch beim Laden oder vor dem Start sinnvoll, die Batterie zu beheizen, um eine höhere Lade- bzw. Fahrleistung zu erzielen und die garantierte Batterielebensdauer sicher zu stellen. Das wird bei einigen E-Autos bereits umgesetzt. Auch hier können unsere PTC-Materialien Teil der Lösung sein.

Darüber hinaus ist die Anwendung der polymeren PTC-Materialien auch in vielen anderen Branchen wie Zweiradtechnik (Sitz- und Griffheizungen), Reha-Technik (beheizbare Rollstühle), Gebäudetechnik (Fußboden- und Wandheizung), Landwirtschaft und Gartenbau (Gewächshaus, Stall, Wasserleitungen) denkbar.

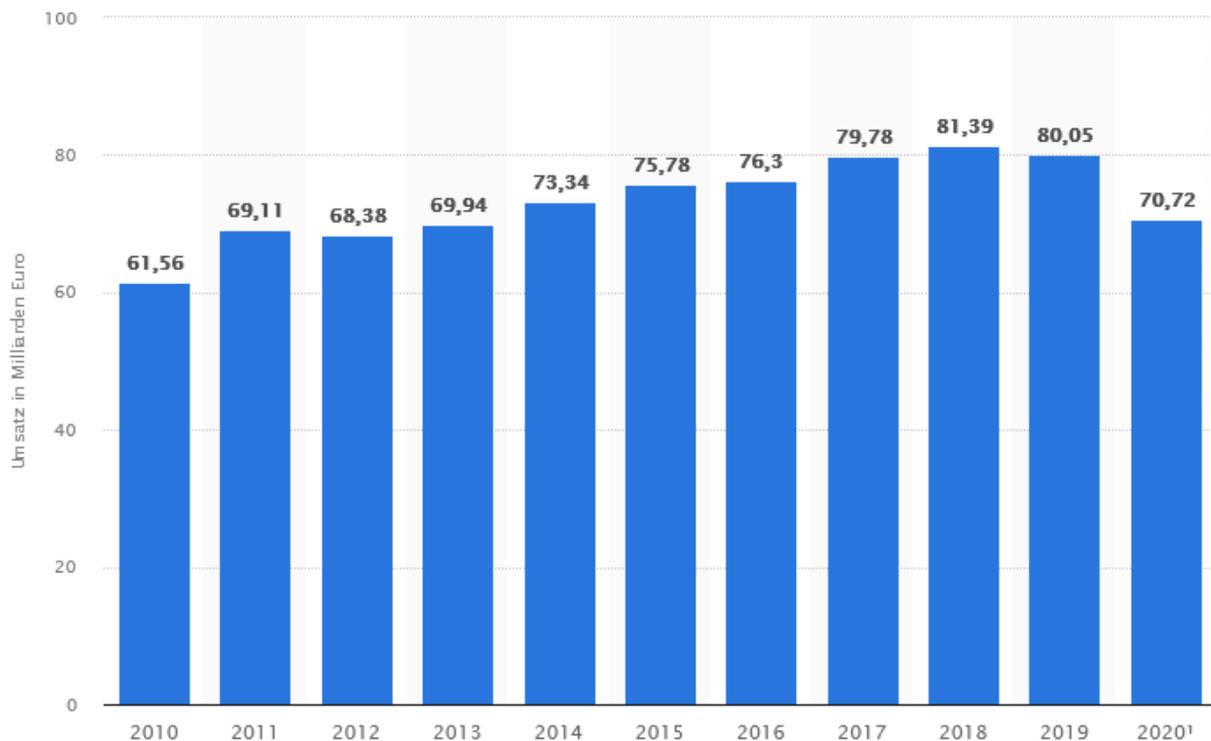
#### **4.2 Markt- und Wettbewerbssituation**

Der deutsche Automobilzuliefermarkt ist ein Milliarden-Euro-Markt (Bild 19), der sich mit dem Übergang zu alternativen Antrieben (E-Mobilität) in einer Phase der Umstrukturierung befindet. Durch den zu erwartenden schrittweisen Wegfall der Verbrennungsmotoren werden verschiedene Komponenten des Antriebsstrangs künftig nicht mehr benötigt und auch die technischen Anforderungen an die Kunststoffbauteile werden sich ändern. Dagegen gibt es in Automobilen mit Elektroantrieb andere Herausforderungen zu meistern, wie z.B. die effiziente Klimatisierung der Fahrgastzelle mittels elektrischer Heizungen, da die üblicherweise genutzte Abwärme des Verbrennungsmotors nicht mehr zur Verfügung steht. Entzieht man dem Energievorrat der Batterie nur 2 kW Leistung für die Innenraumklimatisierung, so reduziert sich die Reichweite des Autos um fast 30%<sup>1</sup>. Hierfür sind flächige IR-Strahler, die direkt auf die Insassen abstrahlen, besonders prädestiniert, da sie schnell und effizient Wärme dort liefern, wo sie gebraucht wird.

---

<sup>1</sup> Strukturstudie BW<sup>e</sup> mobil 2015 der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg GmbH

Die elektrisch leitfähigen polymeren PTC-Materialien können, wie oben beschrieben, also sowohl im schwindenden Markt der konventionell angetriebenen als auch im wachsenden Markt der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge in unterschiedlicher Form zum Einsatz kommen.



© Statista 2022

**Bild 19:** Umsatz der Automobilzulieferindustrie in Deutschland von 2010 bis 2020

#### 4.3 Charakterisierung der Marktgröße, der Marktentwicklung und des angestrebten Anteils

Für eine Abschätzung der Marktgröße der leitfähigen PTC-Polymeren ist der Markt der Automobilzulieferindustrie zu komplex und uneinheitlich. Besser geeignete Daten liefert eine aktuelle Marktstudie zu leitfähigen Polymeren, die ein Wachstum in diesem Segment von 3,46 Mrd. \$ (2020) auf 5,76 Mrd. \$ bis 2027 prognostiziert (Bild 20). Das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 8,3%. Das europäische Marktvolumen wird in 2027 voraussichtlich 1,55 Mrd. \$ betragen. Ein (derzeit) nicht genau zu beziffernder Anteil betrifft Kunststoffe für Heizanwendungen.

Bei einem angenommenen Marktanteil von jährlich 100000 Heizkomponenten im Automobilbau auf Basis von leitfähigen PTC-Polymeren mit einem mittleren Materialeinsatz von 1 kg pro System erhält man einen Kunststoffbedarf von 100000 kg pro Jahr. Mit einem Materialpreis von 8 bis 10 Euro je Kilogramm ergibt sich daraus ein Marktvolumen von 0,8-1 Mio. €.



**Bild 20:** Marktprognose für leitfähige Polymere bis 2027

#### 4.4 Marketing- und Vertriebskonzeption für das neue Erzeugnis/Verfahren

Erste Marketingmaßnahmen zur Ankurbelung des Vertriebs der PTC-Materialien umfassen den Besuch von Firmen, Messen (IZB Wolfsburg, Hannover Messe Industrie, Rapid.Tech Erfurt) und Innovationsveranstaltungen (Innovationstag Mittelstand des BMWi (Berlin), Rudolstädter Kunststofftage), auf denen die Projektergebnisse und die Anwendungsmöglichkeiten einem potenziellen Nutzerkreis zugänglich gemacht werden. Hierzu soll auch ein Produkt-Flyer überarbeitet und aktualisiert werden. Auf Grund der derzeitigen Pandemiesituation (Covid-19) sind genannte Aktivitäten im Moment jedoch nur eingeschränkt möglich. Trotzdem konnten bereits Firmenkontakte geknüpft und erste Tests, Materiallieferungen und Entwicklungsprojekte vereinbart werden. Im Rahmen dieser Aktivitäten kann die Musterherstellung, z.B. für die Vorserienfertigung zunächst am TITK im Massstab von einigen Hundert Kilogramm auf vorhandenen Extrusionsanlagen erfolgen. Bei steigendem Bedarf müssten dann entweder die Fertigungskapazitäten erweitert oder Partner gefunden werden, die die Herstellung übernehmen.

Für die weitere Partner- und Kundengewinnung sollen Publikationen in Fachzeitschriften, Vorträge auf Konferenzen und Workshops sowie die Kommunikationskanäle von Branchenverbänden (z.B. Polymermat e.V., Polykum e.V., Automotive Thüringen e.V. oder Automotive Cluster Ostdeutschland e.V. (ACOD)) genutzt werden.

#### 4.5. Umsatzerwartung aus der Verwertung der FuE-Ergebnisse

Ausgehend von den vorstehend genannten Produkten und Märkten für PTC-Heizfolien z.B. in Elektromobilen, im Haushalt oder in Landwirtschaft und Gartenbau sind zunächst weitere F&E-Aktivitäten gemeinsam mit interessierten Unternehmen zur Realisierung konkreter Produkte entsprechend der jeweiligen technischen Anforderungen bezüglich Heizleistung, erreichbarer Temperatur, Formgestaltung usw. erforderlich. Dementsprechend werden zunächst Mustermengen von einigen Tonnen PTC-Material (Granulat und/oder Rohre) benötigt, die Umsätze von einigen Zehntausend Euro erwarten lassen. Weiterhin werden begleitend Beratungs- und F&E-Leistungen angeboten um die Überführung in die Praxis zu forcieren und weiterführende Anwendungen zu ermöglichen. Nach abgeschlossener Produktentwicklung und Vorserienfertigung werden die oben genannten Kunststoffmengen von bis zu 100 Tonnen/Jahr angestrebt. Dementsprechend müssen Fertigungskapazitäten erweitert (up-scaling) und/oder Partner gefunden werden, die bestimmte Herstellungsschritte übernehmen.

**Tabelle 4:** Umsatzprognose für PTC-Heizfolien nach Projektende

Aktivitäten	erwartete wirtschaftlichen Effekte [€] im Jahr nach Projektende				
	1	2	3	4	5
Umsätze aus Granulatherstellung und Rohrextusion	40.000	90.000	180.000	350.000	700.000
F&E-Leistungen	50.000	50.000	40.000	20.000	20.000
Lizeneinnahmen	derzeit nicht abschätzbar				
Kosteneinsparung	derzeit nicht abschätzbar				
Umsätze bei Anwendern	-	120.000	250.000	700.000	1.500.000

Die zu erwartenden Umsätze bei Dritten aus der Weiterverarbeitung der PTC-Polymere entlang der Wertschöpfungskette zu Halbzeugen und Endprodukten werden noch einmal um ein Vielfaches höher sein. Mit einigen potenziellen Anwendern gibt es konkrete Produktideen, die gemeinsam umgesetzt werden sollen. Dabei sollen vor allem die spezifischen Vorteile der PTC-Polymere im Vergleich zu der etablierten Heiztechnik mit metallischen Leitern, wie großflächiger Wärmeeintrag, selbstregulierende Reduktion und Begrenzung der Heizleistung bei höheren Temperaturen sowie geringe Kosten durch preiswerte Kunststoff-Materialien und geringen Montageaufwand zum Tragen kommen. Abhängig davon, wie es gelingt, diese Produkte zu realisieren, ergeben sich Märkte verschiedener Größen in den jeweiligen Segmenten.

## **5. Bewertung des aktualisierten Verwertungsplans im Vergleich zum ursprünglichen Verwertungskonzept**

Ausgehend von den positiven Projektergebnissen ist eine Verwertung möglich und bereits angeschoben. Der aktuelle Verwertungsplan entspricht im Wesentlichen dem ursprünglichen Verwertungskonzept bei Antragstellung.

## **6. Angaben zu erworbenen bzw. angemeldeten Schutzrechten für Vorhabensergebnisse**

Es wurden keine Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen.

## **7. Veröffentlichungen**

- Internet: [https://www.titk.de/titkde/fileadmin/documents/downloads/Flyer\\_PTC\\_Heizfolien\\_web.pdf](https://www.titk.de/titkde/fileadmin/documents/downloads/Flyer_PTC_Heizfolien_web.pdf)
- Produktpräsentation bei Rudolstädter Kunststofftage, Workshop 3D-Druck, Rudolstadt, 4.03.2020
- Produktpräsentation zur Woche der Umwelt, 10.-11.6.2021, online-Präsentation
- Produktpräsentation auf Netzwerktreffen des Innovationsclusters „IZZI- Interieur der Zukunft aus der Zulieferindustrie“, Rudolstadt 29.7.2021
- Produktpräsentation auf der Internationalen Automobilausstellung (IAA), München, 7.-12.9.2021
- Produktpräsentation bei Rudolstädter Kunststofftage, Workshop 3D-Druck, Rudolstadt, 4.11.2021
- Produktpräsentation auf Forum Produktion und IT, Lingen, 16.-17.11.2021

## **Danksagung**

Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens im Rahmen des Förderprogramms „FuE-Förderung gemeinnütziger externer Industrieforschungseinrichtungen in Ostdeutschland – Innovationskompetenz“ (INNO-KOM, Modul – Marktorientierte Forschung und Entwicklung).