

epnp.de

Verkapselung von Elektronik mit reaktivem Duroplast-Spritzpressen

WHITEPAPER

Verkapselung von Elektronik mit reaktivem Duroplast- Spritzpressen

ZUSAMMENFASSUNG

HERAUSFORDERUNG

Moderne elektronische Systeme, insbesondere in der Medizintechnik und im industriellen IoT, müssen zunehmend extremen Umwelteinflüssen standhalten: Hitze, Chemikalien, Vibrationen, Sterilisation. Herkömmliche Schutzmechanismen stoßen in diesen Szenarien schnell an ihre Grenzen.

EPnP TECHNOLOGIES-LÖSUNG

EPnP Technologies hat ein Hochleistungsverfahren für die reaktive Duroplast-Verkapselung entwickelt. Basierend auf Reactive Transfer Molding (RTM) bietet diese Technologie:

- Langlebigen Schutz für Elektronik in rauen Umgebungen
- Sterilisierbarkeit (z. B. für chirurgische Instrumente)
- Vibrations- und Stoßfestigkeit bis zu 40 g / 1000 Zyklen
- Miniaturisierung und Wireless-Kompatibilität für Edge-Geräte

EINZIGARTIGE MERKMALE

- Virtuelle Materialsimulation (Diffusion, Erwärmung, Trocknung) ermöglicht Design ohne langwierige Tests
- Materialdatenbank zur gezielten Auswahl widerstandsfähiger Duroplaste
- Netzwerk zur Validierung mit realen Testdaten (Vibrations-, Temperatur-, Falltests)

ANWENDUNGSGEBIETE

- Medizintechnik: Geräteverkapselung für die Autoklavensterilisation, langlebige Elektronik für Implantate
- Industrielles IoT: Sensorplattformen für die Schwerindustrie, den Bergbau, die Schifffahrt und die Landwirtschaft
- Luft- und Raumfahrt & Mobilität: Elektronikschutz in sicherheitskritischen Systemen

IHR VORTEIL

Mit der Lösung von EPnP erhöhen Sie die Lebensdauer, Betriebssicherheit und Zulassungsbereitschaft Ihrer Produkte – ohne Kompromisse bei Miniaturisierung oder Leistung.

Verkapselung von Elektronik mit reaktivem Duroplast-Spritzpressen

EINE ROBUSTE LÖSUNG FÜR RAUE UMGEBUNGEN

Dr. Mario Gschwandl, Leiter Forschung und Entwicklung, EPnP Technologies

EINLEITUNG

EPnP ist auf die Entwicklung und Industrialisierung fortschrittlicher Elektronik und Hochleistungsantriebe für raue Umgebungen spezialisiert.

Mit der zunehmenden Verbreitung miniaturisierter Elektronik in allen Branchen, einschließlich des **industriellen IoT** und **medizinischer Geräte**, steigt auch der Bedarf an robusten und langlebigen Schutzstrategien.



ABB. 1. Repräsentative Darstellung eines gekapselten und eines ungekapselten PCB-A-Designs und seines Gehäuses.

EPnP bringt dabei seine Expertise in den Bereichen Materialwissenschaft, virtuelles Produktdesign und Entwicklung, Verkapselung sowie deren Fertigung ein. Dank dieser fortschrittlichen Fertigungsverfahren werden PCB-A-Bauteile oder Antriebe sicher gekapselt und gewährleisten langfristige Zuverlässigkeit, Funktionssicherheit und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften. Dieses Whitepaper reflektiert die wichtigsten technischen Erkenntnisse dieser Entwicklungs- und Fertigungsdienstleistungen und dient branchenübergreifend als Innovationsunterstützung.

Daher befasst sich dieses Whitepaper mit der Verkapselung von Elektronik mit duroplastischen Materialien und konzentriert sich dabei auf:

- **Einsetzbare Duroplaste**
- **Medienbeständigkeit**
- **Raue Umgebungen**
- **Relevanz für industrielle IoT- und medizinische Anwendungen**

DUROPLASTE – EIN HOCHINTEGRIERTES VERKAPSELUNGSVERFAHREN

Dieses Whitepaper konzentriert sich auf duroplastische Verkapselungen auf Basis von Reactive Transfer Molding (RTM) oder Reactive Injection Molding (RIM). Beide Verfahren bieten erhebliche Vorteile gegenüber dem klassischen Duroplast-Verguss- oder Niederdruckgussverfahren. Bei einem RTM- oder RIM-Verfahren wird eine reaktive Duroplastformmasse in eine beheizte Form gepresst, wo sie unter Hitze und Druck chemisch vernetzt und eine starre, hitze- und chemikalienbeständige Hülle bildet.

Am häufigsten werden Epoxidharze für die Verkapselung mechatronischer Systeme wie Leiterplatten oder Hochleistungsantriebe verwendet.

Die **wichtigsten Vorteile** dieser Verkapselungstechnik sind:

- **Hohe Temperaturbeständigkeit** (bis 200 °C), ausgezeichnete Dimensionsstabilität und geringe Feuchtigkeitsaufnahme.
- Hervorragende **Chemikalien- und Flüssigkeitsbeständigkeit** dank eines engmaschigen chemischen Vernetzungsnetzwerks, das nur durch Hitze und Druck während der Herstellung erreicht werden kann.
- Schonender **Verkapselungsprozess** mit **optimaler Prozessgestaltung.** Bei korrekter Prozessauslegung wird das Duroplastmaterial in einem niedrigen Vernetzungsgrad in die Form eingespritzt. Dadurch können keine Kräfte auf sensible Bereiche, wie Bauteile oder Lötstellen, übertragen werden. Dieses Phänomen wird als **Vitrifikation** bezeichnet.
- Verbesserte **Durchschlagfestigkeit** und **Flammbeständigkeit.**

VIRTUELLE DESIGNOPTIMIERUNG DURCH DIFFUSIONSSIMULATION FÜR VERBESSERTE MEDIENBESTÄNDIGKEIT.

Die Auswahl des geeigneten Vergussmaterials erfordert ein tiefes Verständnis seines Verhaltens bei Exposition zu Lösungsmitteln.

EPnP verfügt hierzu über eine umfangreiche Materialdatenbank mit unterschiedlichen Duroplasten und deren Verhalten gegenüber spezifischen Lösungsmitteln. Darüber hinaus wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches die Lösungsmitteldiffusion im Duroplast präzise modelliert. Dabei kann auch die Trocknung des Materials durch Wärmequellen – etwa PowerFETs – berücksichtigt werden.

So lässt sich die Diffusion von Lösungsmitteln und die entgegenwirkende Trocknung exakt berechnen. Auf Grundlage dieses Modellierungsansatzes können Gestaltung, Anpassung und Modifikation von Polymerverkapselungen ohne langwierige Experimente optimiert werden – für höchste Leistungsfähigkeit von Elektronik, Sensoren und elektrischen Antrieben.

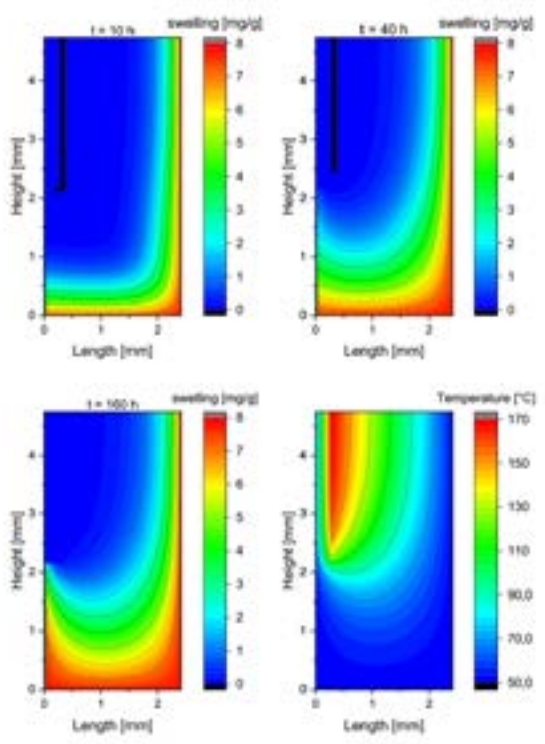


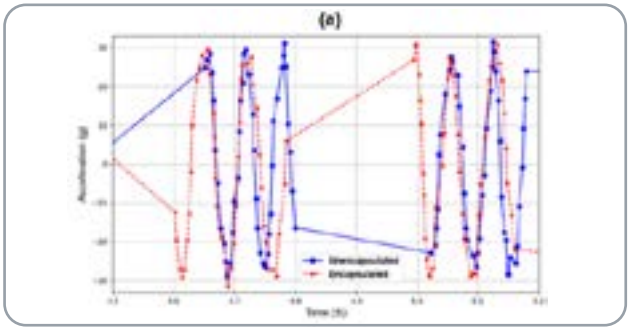
ABB. 2. Quellung eines elektronischen Bauteils in 2D. Die Heizleistung beträgt 7,71 W/m², die reine Lösungsmitteltemperatur 50 °C. [1]

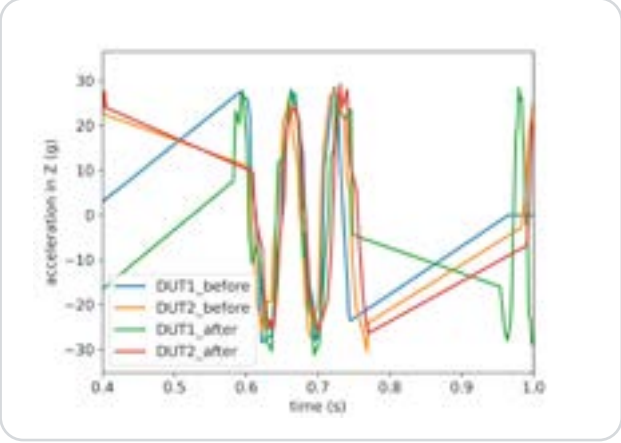
BEWÄHRTE UND GETESTETE LEISTUNG IN RAUEN UMGEBUNGEN

Einer der Hauptvorteile von Duroplasten gegenüber Thermoplasten ist ihre überlegene Beständigkeit gegenüber aggressiven Umgebungen aufgrund ihrer **hochvernetzten Molekularstruktur,** insbesondere bei der Herstellung durch RTM oder RIM. Die daraus entstehenden Produkte erbringen herausragende Leistung in anspruchsvollen Umgebungen, wie zum Beispiel::

- **Hohe Vibrations-/Schocktoleranz** (z. B. in elektrischen Antrieben oder in der Luft- und Raumfahrt)
- **Betrieb bei extremen Temperaturen** von -55°C bis +200°C
- **Schutzarten** IP69x und höher
- **Langfristige Witterungs- und UV-Beständigkeit**

ABB. 4. Sinusförmige Vibrationsmessung ohne erkennbare Beeinträchtigung durch die Kapselung. [2]





Um die Leistung dieser Geräte zu validieren, wurde ein vollständig gekapselter IoT-Sensor gründlich getestet. Darüber hinaus wurde in sinusförmigen Vibrationstests nachgewiesen, dass die Verkapselung keinen Einfluss auf die Genauigkeit eines Sensorsystems im Vergleich zu einem ungekapselten System hat – siehe Abbildung 3 und Abbildung 4.

ABB. 3. IoT-Testgerät (DuT) im Shaker-Testaufbau. [2]

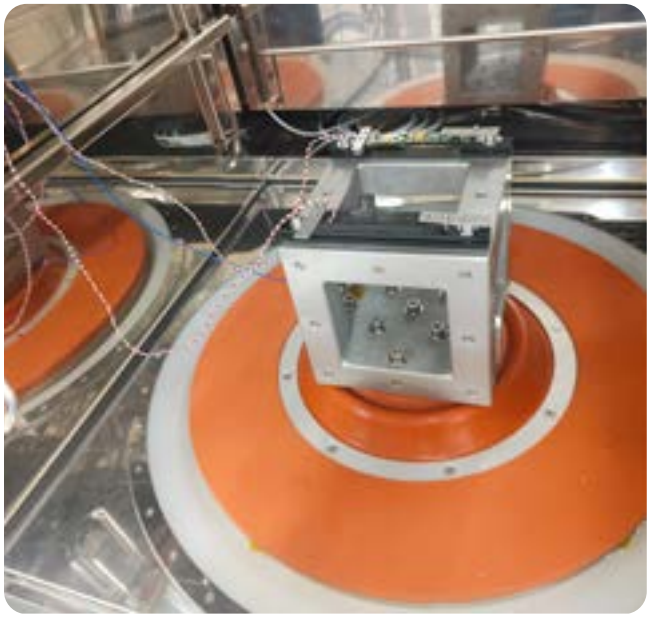


ABB. 5. Sinusförmige Schwingungsmessung nach Belastungstest an den Prüflingen. [2]

Auf Grundlage dieser Verifizierung wurde das Prüflingsexemplar (DuT) thermischen zyklischen Tests unterzogen. Ebenso wurden Falltests aus variablen Höhen bis zu einem Sturz aus 7 Metern sowie mehrere Schocktests mit 40 g über mehr als 1000 Zyklen durchgeführt, ohne dass eine Beeinträchtigung des Produkts festgestellt wurde.

IoT IN DEN HÄRTESTEN UMGEBUNGEN:

Duroplastverkapselung unterstützt die Miniaturisierung und die erforderliche hermetische Abdichtung von Edge-Geräten, insbesondere in Bergbau-, Landwirtschafts-, Schifffahrts- oder Industrieumgebungen. Dabei muss jedoch eine stabile drahtlose Leistung durch die gezielte Materialauswahl gewährleistet sein.

Bei EPnP wurde eine vollständig drahtlose Sensorplattform entwickelt, die auf einem speziellen Verfahren basiert, um die Antenne sowohl auf das verwendete Vergussmaterial als auch auf die Dicke der Vergussschicht abzustimmen. Dadurch wird eine Verkapselung ermöglicht, die nahezu keinen Verlust an Antennengewinn und drahtloser Leistungsfähigkeit verursacht.



ABB. 6. IoT-Sensorplattform für raue Umgebungen. [3]

MEDIZINISCHE GERÄTE – DAS WENIGER OFFENSICHTLICHE RAUE UMFELD

Medizinische Geräte erfordern höchste Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Auch wenn dies auf den ersten Blick nicht sofort erkennbar ist, müssen diese Geräte harten Umgebungs- und Betriebsbedingungen standhalten. Ein chirurgisches Operationsinstrument muss beispielsweise in der Lage sein:

- Sterilisationsverfahren (Autoklaven, Gamma- oder EtO-Verfahren) zu bewältigen
- hohe Leistungsdichten aufzuweisen
- starken Vibrationen standzuhalten
- über 1000 Einsatzzyklen (Beladung, Sterilisation usw.) zu absolvieren

Die vorgeschlagene Verkapselung kann so eine benutzerfreundliche Sterilisation ermöglichen – nahezu ohne Demontageaufwand –, Schutz vor Vibrationen bieten und zugleich die thermische Leistungsfähigkeit optimieren.

Referenzen

[1] Wagner, S., Gschwandl, M., Nagl, R., Fischlschweiger, M., & Zeiner, T. (2024). Simultane Modellierung von Quellung und Wärmeübertragung in Polymeren. NordPac 2024 – 60. IEEE-Jahreskonferenz und -Ausstellung für Mikroelektronik und Verpackung.
[2] Poushi, S., Mazelle, A., Plescher, W., Gschwandl, M., Unger, K. (2025) Industrielles Internet der Dinge-Sensorsystem: Kapselung für robuste Leistung in rauen Umgebungen. Smart Systems Integration Conference & Exhibition – SSI 2025
[3] Gschwandl, M. et al. (2024) Auf dem Weg zur Digitalisierung rauer Umgebungen durch eine neuartige, robuste und zuverlässige IIoT-Sensorplattform. Smart Systems Integration Conference / SSI2024, 16.–18. April 2024, Hamburg

FAZIT

EPnP deckt ein breites Spektrum an Duroplast-Verkapselungsslösungen ab. Der vorgestellte Ansatz stellt eine vielseitige, leistungsstarke Lösung zum Schutz von Elektronik in Anwendungen dar, die vom **industriellen IoT** bis zu **medizinischen Implantaten** reichen.

Durch die Integration von **fortschrittlicher Diffusionsmodellierung, gezielter thermischer Leistungsoptimierung** und **Materialwissenschaft** können Entwickler robuste, kompakte und langlebige Systeme für die anspruchsvollsten Einsatzbedingungen konstruieren.

LASSEN SIE UNS GEMEINSAM STARTEN

Ob erste Idee, offenes Problem oder konkretes Projekt – wir hören zu, stellen die richtigen Fragen und zeigen Ihnen den Weg.

Vereinbaren Sie gleich einen Termin mit unseren Kundenberatern.

Jetzt Gespräch vereinbaren

Geschäftsanschrift:

EPnP GmbH
Londonstraße 2
97424 Schweinfurt

e-mail: sales@epnp.de

www.epnp.de
company/epnp-gmbh

