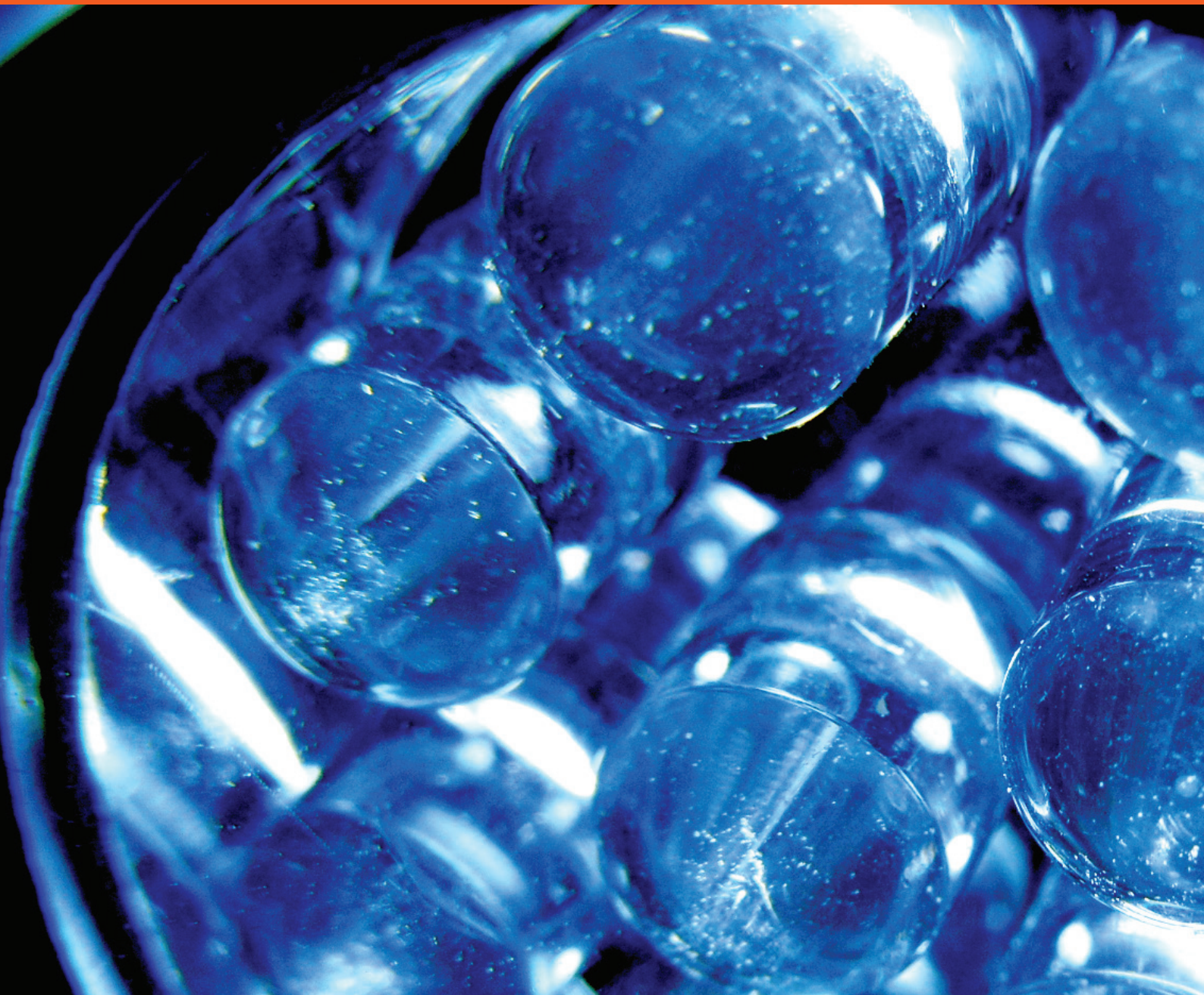
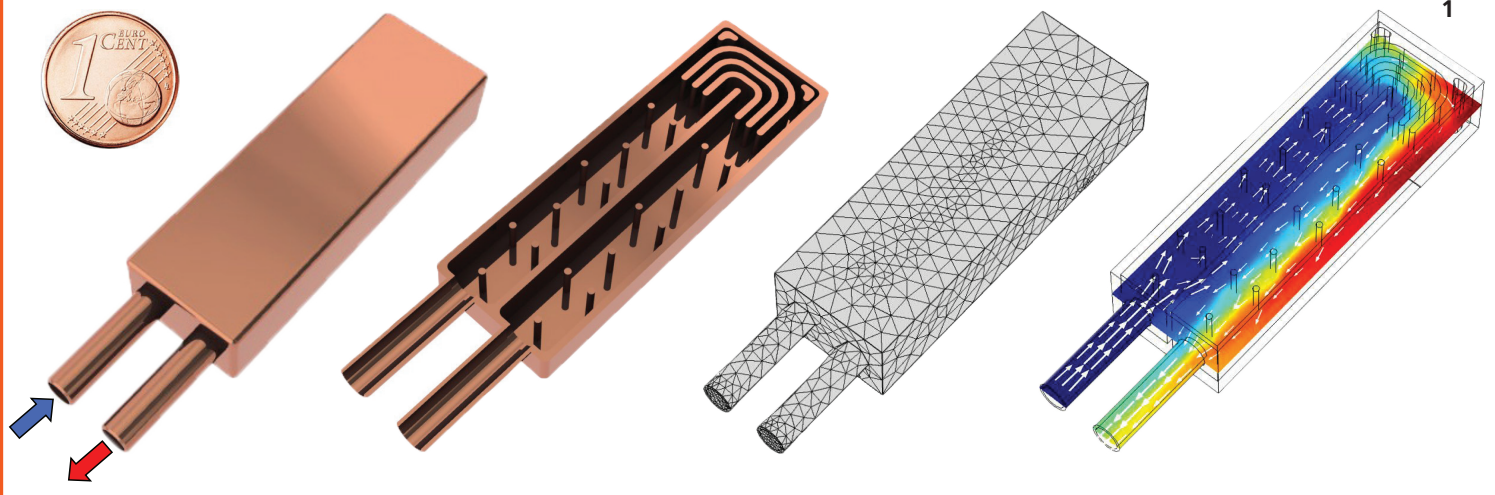


**STRUKTUROPTIMIERTE  
MIKWÄRMEÜBERTRAGER**





**Motivation**

Miniaturisierte elektronische Baugruppen finden eine immer breitere Anwendung in der Unterhaltungs- und Fahrzeug-elektronik sowie der Beleuchtungstechnik. Dabei führt die Verringerung des Bauraumes bei gleichzeitiger Erhöhung der elektrischen Leistung zu einer fortlaufenden Steigerung der Anforderungen an ein effizientes thermisches Management.

Dazu müssen relativ große Wärmeströme – bis zu 80 % der aufgenommenen elektrischen Leistung – auf kleinsten Flächen durch Wärmeleitung abgeführt werden. Hochleistungs-LEDs oder Laserdioden für die trennende bzw. fügende Bearbeitung erreichen heute bereits Wärmestromdichten bis zu 200 W/cm<sup>2</sup> und mehr.

Bei der Kühlung derartiger Baugruppen stoßen klassische Strategien der Temperierung (passive Kühlkörper) immer häufiger an thermodynamische und wirtschaftliche Grenzen. Daraus ergibt sich ein wachsender Bedarf an innovativen Kühlkonzepten in Form aktiver, flüssigkeitsbasierter Mikrowärmeübertrager.

Das Fraunhofer IFAM Dresden bietet deren wärme- und strömungstechnische Auslegung, pulvermetallurgische Fertigung und labortechnische Validierung aus einer Hand.

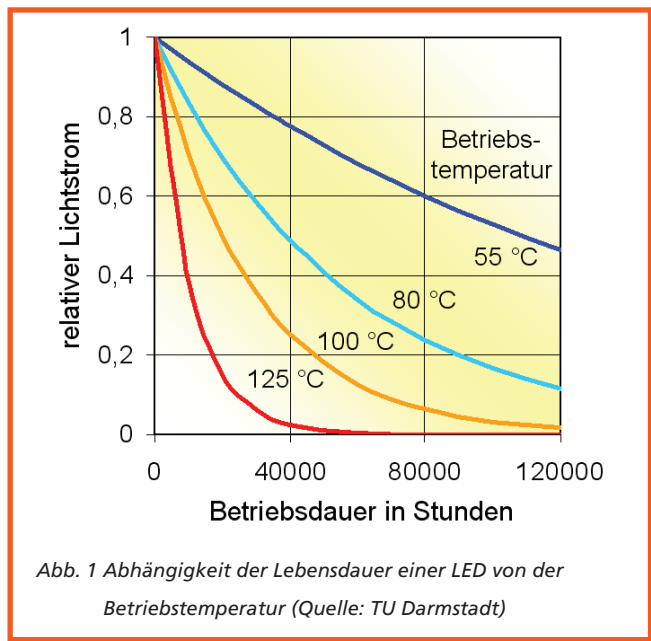


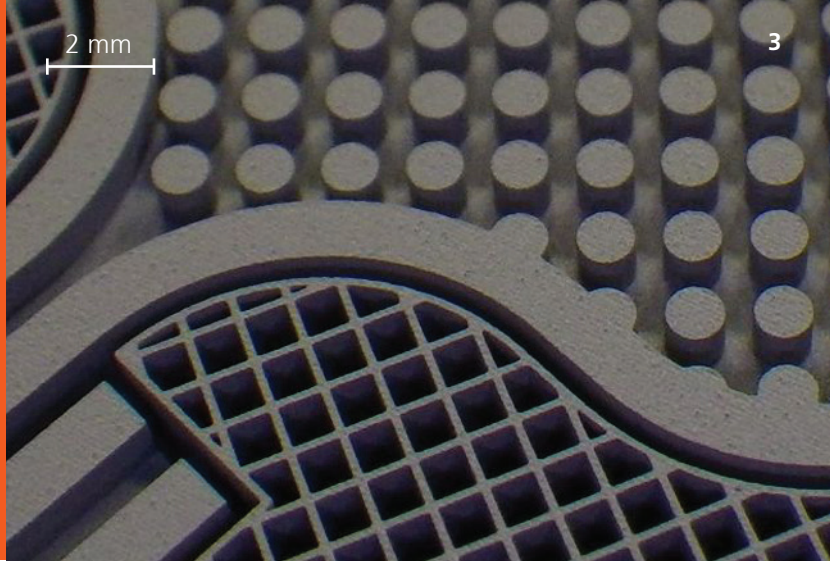
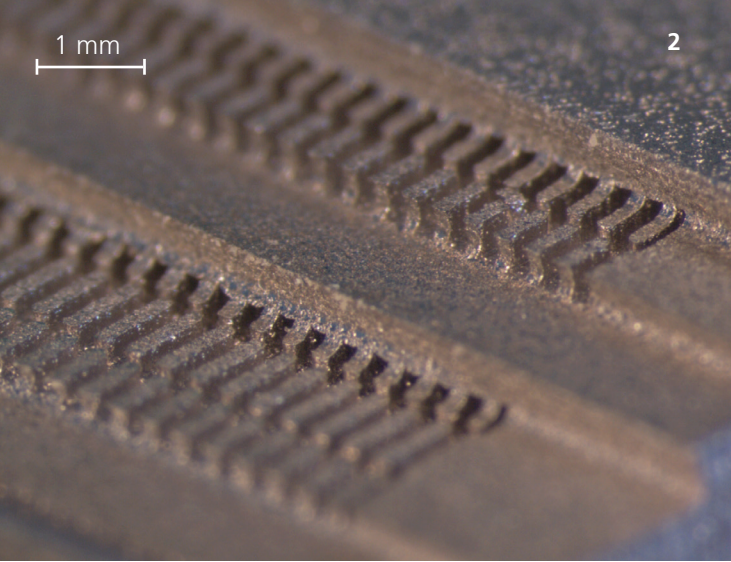
Abb. 1 Abhängigkeit der Lebensdauer einer LED von der Betriebstemperatur (Quelle: TU Darmstadt)

**Ziel**

Die Optimierung der Strömung und des Wärmetransportes in einem Mikrowärmeübertrager (Einphasenströmung, Flüssigkeit) oder in einem Mikroverdampfer (Zweiphasenströmung) führt zu komplexen 3D-Mikrostrukturen. Diese sind mit herkömmlichen spanenden Fertigungsverfahren nicht oder nur zu extrem hohen Kosten herstellbar. Das Ziel besteht darin, mit Hilfe des neuartigen metallischen 3D-Siebdruckes Mikrowärmeübertrager zu fertigen, die eine maximale Kühlleistung mit moderaten Druckverlusten und geringen Herstellungskosten kombinieren.

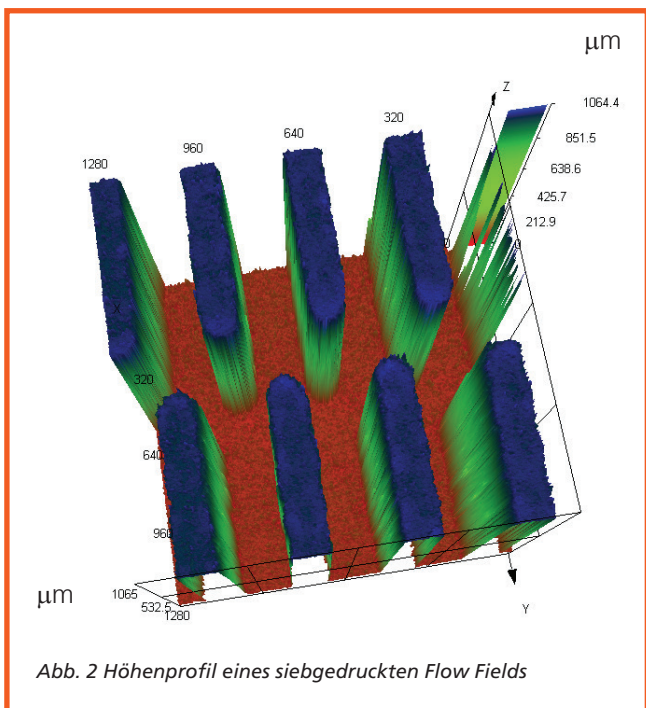
Der 3D-Siebdruck als pulvertechnologisches Verfahren ermöglicht die kosteneffiziente Fertigung komplexer Bauteilstrukturen, wobei eine große Vielfalt metallischer Werkstoffe und Legierungen eingesetzt werden kann. Zudem erlaubt der Siebdruck als klassisches Massenfertigungsverfahren prinzipiell die Übertragung der entwickelten Bauteile in eine kosteneffektive Serienfertigung.

Ein typisches Beispiel ist die LED-Technologie, die sowohl im Bereich der Wohnraum- und Fahrzeug- als auch der Straßenbeleuchtung auf dem Vormarsch ist. Deren Vorteile liegen in der Effizienz der Lichterzeugung sowie ihrer Langlebigkeit und Zuverlässigkeit. Abbildung 1 zeigt jedoch, dass Leistung und Lebensdauer einer LED entscheidend von der Sicherstellung einer optimalen Betriebstemperatur und damit einer zuverlässigen Kühlung abhängen.



Das Leistungsspektrum des Fraunhofer IFAM Dresden bei der Entwicklung strukturoptimierter Mikrowärmeübertrager umfasst:

- die thermische Grundauslegung der Strukturen mit Hilfe empirischer Methoden,
- die CAD-basierte Konstruktion der Baugruppen sowie deren strömungs- und wärmetechnische Optimierung mittels numerischer Algorithmen,
- die pulvermetallurgische Herstellung der Wärmeübertrager im innovativen 3D-Siebdruckverfahren,
- die Validierung der erreichbaren Wärmeleistung und der Druckverluste im Laborexperiment.



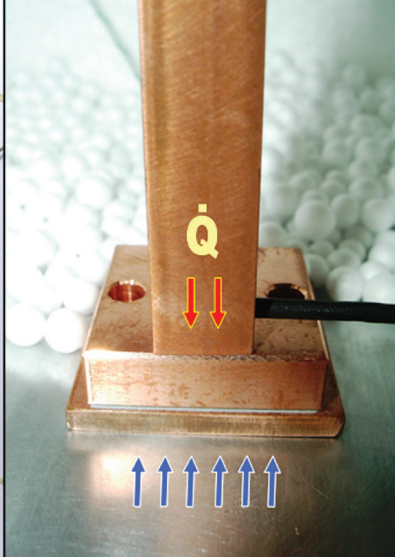
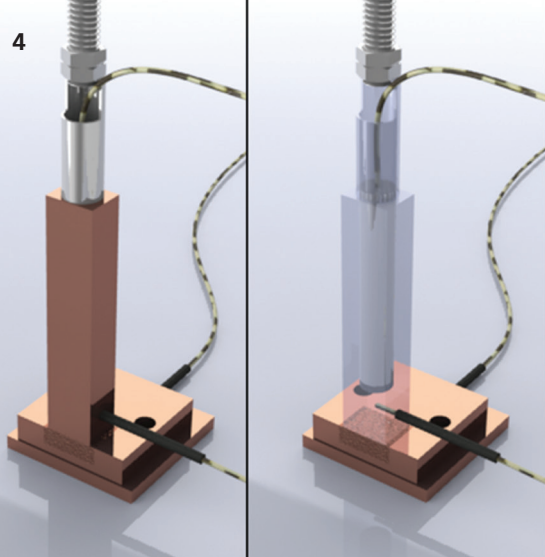
### Metallischer 3D-Siebdruck

Im metallischen 3D-Siebdruck werden die Vorteile des klassischen 2D-Siebdruckes mit den urformenden Gestaltungsmöglichkeiten der Pulvertechnologie für die Herstellung von komplexen Bauteilen kombiniert. Der dreidimensionale Siebdruck ermöglicht Strukturfeinheiten bis herunter zu 60 µm bei Bauteilhöhen im Zentimeterbereich. Hinterschnidungen mit integrierten Kühlkanälen ohne Stützstrukturen in klassischer Stapelbauweise (siehe Abbildung 2) können ebenso realisiert werden wie viele andere Geometrien, die mit klassischen Verfahren nicht gefertigt werden können.

Auf Grund des endkonturnahen Verfahrens wird die Materialauswahl durch die Vielzahl an verarbeitbaren Werkstoffen (Metalle und Nichtmetalle, nicht umformbare Legierungen) gegenüber der klassischen Herstellungsrute deutlich erweitert. Mit diesen Eigenschaften ist der dreidimensionale Siebdruck das geeignete Verfahren, um die Beschränkungen des derzeitigen Stands der Technik bei der Herstellung von Mikrowärmeübertragern aufzubrechen.

Bezogen auf die Fertigung von Wärmeübertragern ergeben sich zahlreiche Vorteile:

- Realisierung komplexer Bauteilgeometrien, die Stromführung und Wärmeübertragung (Rippen) optimal kombinieren,
- Verwendung vielfältiger Werkstoffsysteme, um auch speziellen Anforderungen gerecht zu werden (Korrosion, Anpassung der thermischen Dehnung),
- Entwicklung einer kosteneffizienten Fertigungsroute zur Gewährleistung einer hohen Wirtschaftlichkeit der Mikrokühlsysteme.



### Thermodynamische Auslegung

Die Entwicklung eines Mikrokühlsystems für ein Wärme erzeugendes elektronisches Bauteil beginnt mit der Festlegung der Randbedingungen aus einer energetischen Gesamtbilanz. Dies schließt die Wahl des Kühlmediums (mit/ohne Verdampfung), des Massestromes und des Temperaturniveaus ebenso ein wie die Grobdimensionierung des Systems. Dazu können empirische Ansätze verwendet werden.

Der nächste Schritt erfordert die 3D-Betrachtung der Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder im Kühlsystem, um Strömung und Wärmetransport zu optimieren. Ziele sind:

- die Vermeidung von Totgebieten im Strömungsfeld und die Minimierung der entstehenden Druckverluste,
- die Maximierung der Wärme übertragenden Fläche und die Homogenisierung der Temperaturverteilung.

Das für den 3D-Siebdruck zu erstellende CAD-Modell (Solid Works) wird durch eine direkte Übertragung und Diskretisierung im Programmsystem COMSOL Multiphysics für die numerischen Berechnungen genutzt. Mit Hilfe der Userprogrammierung lassen sich die Randbedingungen variabel anpassen. Das Geschäftsfeld Energie und Thermisches Management am Fraunhofer IFAM Dresden verfügt über langjährige Kompetenzen bei der numerischen Simulation von Wärme- und Stofftransportproblemen.

Beim Postprocessing analysierte Unregelmäßigkeiten in den Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung können dann

durch konstruktive Umgestaltung unter Beachtung fertigungstechnischer Aspekte beseitigt werden.

Das finale CAD-Modell bildet die Grundlage für die Fertigung der Siebdruckvorlagen.

### Experimentelle Validierung

Gerade die Mikrostruktur der entwickelten Wärmeübertrager sorgt dafür, dass die Vorauslegung der Bauteile mit Unsicherheiten behaftet ist. Aus diesem Grund müssen jeweils prototypische Wärmeübertrager im Experiment validiert werden. Dazu werden praxisrelevante Bedingungen durch Simulation der Wärmequelle und der Eintrittsparameter des Kühlmediums erzeugt.

Aus dem Monitoring der Wärmequellentemperatur, die im Realfall der Betriebstemperatur der LED entspricht, kann die Funktionsfähigkeit des Mikrokühlsystems abgeleitet werden. Weitere Informationen bezüglich der Wärmeleistung und des Druckverlustes lassen sich aus entsprechenden Messungen ermitteln.

Das wärmetechnische Labor am Fraunhofer IFAM Dresden verfügt über eine exzellente Ausstattung zur Simulation praxisnaher Einsatzbedingungen für Mikrowärmeübertrager und zur messtechnischen Erfassung aller relevanten Größen.

Im Ergebnis der Validierung der Systeme im Labor wird ein Höchstmaß an Funktionalität, Effizienz und Betriebssicherheit für die entwickelten Kühlsysteme sichergestellt.

#### KONTAKT

#### Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Institutsteil Dresden

Winterbergstraße 28 | 01277 Dresden

<http://www.ifam-dd.fraunhofer.de>

Dr.-Ing. André Schlott

André.Schlott@ifam-dd.fraunhofer.de

Telefon: +49 351 2537 435

Dr.-Ing. Thomas Studnitzky

Thomas.Studnitzky@ifam-dd.fraunhofer.de

Telefon: +49 351 2537 339