

Neue Rohstoffe – geboren aus der Theorie

Belastbarkeit beim 3D-Drucken
Bauteile aus Pflanzenöl

Konventionelle Kraftwerke durch erneuerbare Energien gefordert

1 • 2013

Werkstoffsubstitution und Werkstoffqualifizierung – Mehr aus Werkstoffen und Bauteilen herausholen



Liebe Leserinnen und Leser,

die Europäische Union hat sich beim Primärrohstoffverbrauch ehrgeizige Ziel gesetzt: Diesen senken, außereuropäische Quellen sichern und gleichzeitig verstärkt heimische Rohstoffpotenziale nutzen. Die deutsche Bundesregierung hat die Rohstoffversorgung der Industrie zur nationalen Aufgabe erklärt.

Warum? Die deutsche Industrie hängt sehr stark von Importen ab. Der Bedarf an Mineralien und Metallen wächst stetig. Waren früher Massenrohstoffe wie Eisen gefragt, sind es heute chemische Elemente wie Ruthenium oder Edelmetalle wie Palladium, die mit der Mikroelektronik Einzug hielten. Sie kommen teilweise aus Krisenregionen oder werden künstlich verknappert. Bei Seltenen Erden etwa kontrolliert China 97 Prozent der Weltproduktion und ist selbst einer der größten Verbraucher.

Weltweit steigt die Nachfrage nach diesen Technologierohstoffen. Das führt zu großen Preissprüngen, 2010 waren es bei Silber und Palladium 74 bzw. 39 Prozent. Andere Stoffe sind zwar nicht rar, aber giftig.

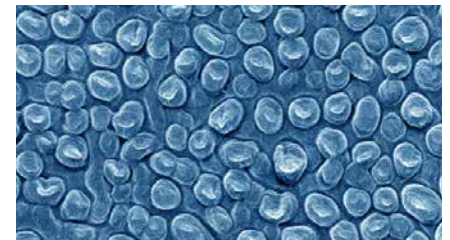
Ohne diese Materialien und ihre funktionalen Eigenschaften würde aber die wirtschaftliche Basis der Industrienationen wegbrechen. Und nicht nur das: Auch um im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung künftig noch mehr Energie zu sparen oder die Produktivität zu erhöhen, sind neue Materialkombinationen und intelligente Werkstofflösungen unerlässlich.

Wo liegen die rettenden Alternativen? Der Einsatz geeigneter Substitutionsstoffe setzt tiefgreifende werkstoffmechanische Kenntnisse voraus. Nur auf materialwissenschaftlicher Grundlage wird aus der Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen ein effektives Ausscheidungsrennen zwischen verschiedenen interessanten Lösungsoptionen.

Damit die Suche nach der Stecknadel wettbewerbsfähig ablaufen kann, kommt in vielen Projekten die Expertise des Fraunhofer IWM zum Einsatz. Je nach Fragestellung nehmen wir die atomare, die Mikroskala oder die Makroskala in den Fokus und suchen und bewerten Substitutionslösungen. Themenfelder, die so angegangen werden, sind beispielsweise die Substitution fossiler durch nachwachsende Rohstoffe, der Ersatz toxischer Materialien oder Substitutionslösungen für strategische Rohstoffe wie seltene Erden.

Was betriebswirtschaftlich sinnvoll erscheint, ist aus Sicht von David JC MacKay auch global ein Muss. Material und seine Funktion, die Art seiner Herstellung und sein Einsatz spielen eine ganz entschei-

dende Rolle für die Zukunft unserer Erde, meint der Professor an der Universität Cambridge, Mitglied des Club of Rome, in seinem Buch »Nachhaltige Energie – ohne die heiße Luft«. Darin beschäftigt er sich mit der Verantwortung der Großverbraucher an Energie und Rohstoffen in den westlichen Industrieländern und deren Handlungsspielraum.



Ein Schlüssel ist das Material. Wir am Fraunhofer IWM entdecken für unsere Industriepartner die richtigen Schlüssellöcher und schließen gemeinsam die Türen auf – für eine materialeffiziente Zukunft optimierter Produkte, hergestellt aus verfügbaren Rohstoffen.

Mehr dazu lesen Sie aus unterschiedlichen Blickwinkeln in diesem IWM Report.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Ihr

Ralf Wehrspohn
Sprecher der Institutsleitung

Werkstoffsubstitution – damit Material mehr leistet



Im Auftrag der Industrie identifiziert das Fraunhofer IWM effizient und effektiv Ersatzmaterialien. Dabei wird zunächst die Suche eingegrenzt: »Welche äußeren Bedingungen sind zu erfüllen, welche Eigenschaften muss der Werkstoff mitbringen?«, so Gruppenleiter Dr. Andreas Kailer. Das Zusammenspiel von Beanspruchung und Funktionalität wird genau erfasst.

Auf dieser Basis entwickeln die IWM-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verschiedene Lösungen, die sie in maßgeschneiderten Versuchen und Simulationen gegeneinander abwägen. Je nach Anwendungsfall kommen andere Methoden zum Einsatz: Mikrostrukturdiagnostik und Simulation, Werkstoffqualifizierung und Bauteilprüfung, tribologische oder Korrosionstests. Mittels High-Throughput-Screening werden schnell viele Daten aus vielen Proben gewonnen. Die Prämisse ist stets, Methoden intelligent zu kombinieren, um so den Aufwand zu minimieren und ein Optimum an Leistungsfähigkeit und Funktionalität herauszuholen. So erhält der Auftraggeber eine fundierte Entscheidungsgrundlage.

Ein Substitutionsbeispiel sind Wälzlager: früher aus Stahl, heute auch als Vollkeramiklager oder als Hybridlager aus Stahlringen und Wälzkörpern aus Keramik im Einsatz. Spröde Keramik für mechanisch hoch belastete Komponenten? »Die Kontaktbelastungen im Einsatz sind zwar hoch, aber sie führen nur in geringem Maß zu Zugspannungen in der Keramik. Druckbelastungen sind unproblematisch«, erläutert Andreas Kailer. Dies zeigten Modellexperimente, die numerische Simulation der Belastung, die Analyse der Ermüdungsphänomene und hochauflösende Aufnahmen der Rissentwicklung.

Für Einsätze bei Temperaturen bis 800 Grad Celsius, mit Korrosionsbeständigkeit oder Mediensmierung bis zum Trockenlauf haben sich Vollkeramiklager durchgesetzt. Hybridlager werden in der Produktionstechnik eingesetzt, zum Beispiel in Spindeln. Die höhere Lebensdauer macht den mehrfach höheren Stückpreis schnell wett: Größere Wartungsintervalle bringen wertvolle Zeit für die Produktion.

andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de

Neue Rohstoffe – geboren aus der Theorie

Mit einem zehnköpfigen Team arbeitet Prof. Dr. Christian Elsässer daran, knappe oder teure Materialien zu ersetzen. Im Gespräch gibt er Einblick in den unternehmerischen Nutzen theoretischer Methoden der Physik.



■ Professor Elsässer, warum werden heute viele Rohstoffe knapp?

Qualität und Quantität spielen gleichermaßen eine Rolle. Nehmen wir den steigenden Anteil der erneuerbaren Energien: Mehr Windkraftanlagen erfordern mehr Elektromotoren und somit mehr Seltene-Erden-Elemente für deren Magnetbauteile. Das heißt: Die Qualität, die Magnetisierbarkeit, macht den Stoff interessant, aber auch der quantitative Bedarf wächst. So stößt man an Grenzen des Verfügbaren. Diese Grenze kann eine geologische sein. Oft sind es auch geopolitische Gründe: Ein Rohstoff wird knapp, weil er nur in einer Krisenregion gefördert wird oder von Lieferantenländern – wie China im Fall der Seltenen Erden – künstlich verknappt wird.

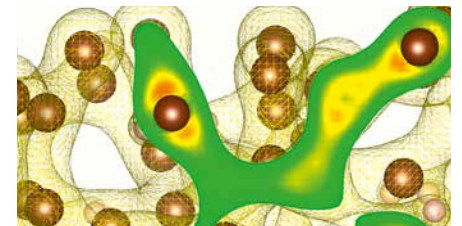
■ Um welche Materialien geht es?

Magnete, oxidische Elektronikmaterialien, Hartstoffe aller Art – für massive Bauteile genauso wie für dünne Schichten. Unsere Methodik können wir auf fast alle Stoffe anwenden. Wir konzentrieren uns auf jene, die unsere Auftraggeber interessieren, und beobachten außerdem den Markt: Metallische und anorganische Werkstoffe, Oxide, Nitride, Carbide – wir arbeiten uns quer durchs Periodensystem der Elemente vor.

■ Nutzt die Industrie bereits Ersatzmaterialien, die Sie ausfindig gemacht haben?

Ja, ein Beispiel ist Blei – auch wenn die EU der Industrie mehr Zeit eingeräumt und so die mögliche Substitution verzögert hat.

Blei ist zwar problemlos verfügbar, aber toxisch. Für elektromechanische Bauteile wie Sensoren, Aktuatoren und Datenspeicher ist Bleizirkonattitanat sehr wichtig. Ein Aktuator, zum Beispiel, reagiert mechanisch auf eine äußere elektrische Spannung, indem er sich verlängert oder verkürzt. Diese elektromechanische Kopplung basiert auf Materialparametern in oxidischen Blei-Verbindungen. Genau diese Kopplung sucht man auch beim Ersatzmaterial. Wir haben nach ungiftigen Alternativen gesucht, etwa bei oxidischen Alkalimetallverbindungen. Die Kunst ist, mit den Substitutionsmaterialien – hier Kaliumnatriumniobat – möglichst nah an das bisher erreichte Optimum heranzukommen.



■ Wie gehen Sie vor?

Mit unserer Materialtheorie sagen wir etwas über die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen eines Stoffes aus. Wir untersuchen, wie eine bestimmte Eigenschaft – zum Beispiel die elektromechanische Kopplung – mit einer bestimmten Kristallstruktur zusammenhängt und was passiert, wenn man im Periodensystem beispielsweise zu Nachbar-elementen geht. Da gibt es viele empirische Beziehungen, um die man weiß, aber bislang ohne sie auszunützen.

Dadurch, dass ich ein weiteres Element in ein Kristallgitter einbaue, hat ein Stoff dann plötzlich einen höheren Grad elektromechanischer Reaktion oder Magnetisierung. Manchmal sind die Wege dahin sehr einfach. Ein Beispiel für eine solche Beladung mit Elementen ist schon Tausende von Jahren alt: Legen Sie ein Stück Eisen unter großer Hitze in eine kohlenstoffreiche Umgebung, diffundiert der Kohlenstoff in das Eisen hinein. So entsteht harter Stahl.

Wir nehmen uns heute zwei, drei Zielgrößen und schauen, ob ein anderes Element ähnliche Eigenschaften zeigen kann wie jenes, das wir ersetzen wollen. Dafür entwickelt unsere Gruppe die Codes, in denen wir die ►►

► Theorien über Bindungskräfte zwischen Atomen und in Kristallstrukturen umsetzen in berechenbares Materialverhalten.

■ **Tragen diese Modelle wirklich bis zum komplexen Bauteil?**

Ja, hier kommt die zweite Kunst dazu, die Kunst der Abstraktion. Man kann nicht das ganze Bauteil beschreiben, selbst ein mikrosystemtechnischer Nanoaktuator wäre zu groß. Wir müssen überlegen, welche Hauptfaktoren, welche Materialparameter über viele Skalen hinweg seine Funktionsfähigkeit ausmacht. Dafür bauen wir atomistische Modelle, stellen mit Hilfe unserer theoretischen Methoden Fragen an diese Modelle und koppeln die Antworten nachher in höhere Größenskalen ein.

■ **Wer sind Ihre Auftraggeber?**

Wir arbeiten sowohl in Industrieprojekten als auch in öffentlich geförderten Projekten. Firmen sind stets als Partner dabei. Meist sind es größere Unternehmen, die längerfristig planen können. In großen Konsortien sind aber auch kleine Firmen dabei, die dort einen eher konventionellen Beitrag leisten, durch die Zusammenarbeit aber ebenfalls profitieren.

So arbeiten wir mit einer Firma zusammen, die kunststoffgebundene Magnete her-

stellt. Sie bettet kleine Magneteilchen in eine Kunststoffmatrix ein, die sich dann in fast jede Form spritzen lässt. Wir können abschätzen, wie klein ein solches Magnetpulverteilchen sein darf und wie die Materialzusammensetzung aussieht, mit der das Material gut magnetisierbar bleibt. In einem anderen Fall haben wir für Aluminiumkontaktierungen auf Telefonbauteilen untersucht, wie diese langlebiger werden.

■ **Wie lange dauert die Suche nach Ersatzstoffen?**

Nun, bei Blei-Verbindungen waren es drei Jahre bis zur Lösung. Bei Indium-Verbindungen läuft es ähnlich: Indium benötigt man für transparente leitfähige Oberflächen, etwa von Bildschirmen und Displays. Aus einer Fraunhofer-Vorlauforschung entstand ein großes EU-Projekt. Um Indiumzinnoxid zu ersetzen, zogen wir Vergleiche zu zink- und zinnhaltigen Verbindungen. Noch erreichen diese Stoffe, die problemlos verfügbar sind, die erforderlichen Kennwerte nicht ganz, aber sie sind nah dran. Bei kostengünstigen Massenprodukten wie Displays in Mobiltelefonen sind sie bereits im Einsatz.

■ **Sind Entwicklungen neuer Stoffe geschützt?**

Wir streben natürlich Schutzrechte an, das

ist aber nicht so einfach. Bei der Substitution von Magnetwerkstoffen bemühen wir uns gerade gemeinsam mit Unternehmen um eine Patentanmeldung.

■ **Brauchen Sie trotz der theoretischen Methoden auch experimentelle Unterstützung?**

Ja, denn für die Industrie ist es wichtig, dass wir die Vorschläge für neue Materialien auch mit experimentellen Validierungen untermauern können. Bei den bleifreien Ferroelektrika haben unsere Partner beispielsweise piezoelektrische Materialien aufgebaut und vermessen. Gerade weil wir mit der Theorie extrapolieren, brauchen wir die Rückkopplung mit dem Experiment: Lässt sich ein theoretisch gutes Material überhaupt herstellen? Ein Material mit guter Funktionseigenschaft, für das es keinen sinnvollen Syntheseweg gibt, bleibt Fantasie.

■ **Die Industrie lässt sich von Ihrer Fantasie dennoch inspirieren – warum?**

Der Bedarf an Materialien mit komplexen Funktionen wächst – hier ist viel Raum für unsere Theorie. Die bisherige Materialentwicklung war sehr erfolgreich darin, Produkte zu verbessern. Jetzt stößt die empirische Optimierung zunehmend an Grenzen, über die wir hinaus schauen.

christian.elsaesser@iwf.fraunhofer.de

Individuell ausgelegte Produkte – Software sichert Belastbarkeit beim 3D-Drucken

Aus dem »rapid prototyping«, einer Technik zur Herstellung von Prototypen, hat sich inzwischen eine eigene Fertigungsmethodik entwickelt. Umgangssprachlich: das 3D-Drucken. Für Einzelfertigungen lohnt sich die 3D-Technik besonders. Doch die individuell hergestellten Produkte müssen auch stabil sein. Ein Softwaretool des Fraunhofer IWM soll jedem Hersteller erlauben, dies vorab zu prüfen.

Ob aus geschmolzenem Metall, aus Polymeren wie Nylon oder – das älteste Verfahren – mit lichterhärtenden Harzen: Die generative Fertigung legt Schicht um Schicht eines Bauteils übereinander, die Form lässt sich jedes Mal neu individuell gestalten. Beispiel Orthopädie: Hier lassen sich Orthesen und Prothesen individuell auf die Maße, das Körpergewicht und die Krankheit eines Patienten ausrichten.

»Wichtig ist nur, dass das Bauteil ausreichend fest und belastungsgerecht ausgelegt ist«, betont Dr. Raimund Jaeger vom

Fraunhofer IWM. Sein Team entwickelt Rechenmodelle, mit denen beispielsweise jeder Orthopädietechniker prüfen kann, ob und wie seine Prothese, die genau auf ein Individuum ausgelegt ist, den Belastungen



standhält. Die Fertigung selber können so genannte Lohnfertiger übernehmen. »Gedruckt« wird dort, was die Konstruktionsdatei vorgibt.

Veranschaulicht haben die IWM-Wissenschaftler das Vorgehen an einem Designerstuhl, der gemeinsam mit der Folkwang-Universität der Künste in Essen entwickelt wurde. Er ist generativ, also Schicht um Schicht, aus Kunststoff gefertigt – und materialsparend. Denn nur dort, wo notwendig, wurde er mit Hilfe der rechnerischen Vorhersagen des Fraunhofer IWM verstärkt, anderswo wurde Material ganz weggelassen. Damit wollen die IWM-Forscher veranschaulichen, wie die 3D-Fertigung mit Hilfe der Simulation materialsparend, belastungssicher und damit wirtschaftlich eingesetzt werden kann. IWM-Wissenschaftler Tobias Ziegler: »Der 3D-Druck hat für Mittelständler, die Produkte individuell auslegen wollen, großes Potenzial. Unser Vorhersagemodell sichert die Produktqualität.«

tobias.ziegler@iwf.fraunhofer.de

Bauteile aus Pflanzenöl – energiesparend hergestellt



Gute Nachrichten: Leichte, trittfeste Fliesen für die Bauwirtschaft, Sandwichbauteile für den Fahrzeugbau: Die Anwendungen für ein vom Fraunhofer IWM in Halle entwickeltes Verarbeitungsverfahren, für Naturstoffe, sind vielfältig. Die zweite gute Nachricht: Dadurch, dass es sich um ein besonders energiesparendes Herstellungsverfahren handelt, können Additive zugegeben werden, die den Produktionsprozess bei bislang verfügbaren Hochtemperatur- oder Hochdruckverfahren nicht unbeschädigt überstanden hätten. Voraussetzung ist: »Die Pflanzenöle – etwa Leinöle – müssen einen hohen Anteil ungesättigter Fettsäuren enthalten«, erläutert Andreas Krombholz, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IWM in Halle. Heute geht der Großteil dieser Öle in die Tierfuttermittelproduktion, aber auch in die Farbherstellung und in geringen Mengen in die Lebensmittelproduktion.

Am Fraunhofer IWM wird das von einem Partner epoxidierte Öl weiter verarbeitet. Mit Hilfe eines synthetischen Härterers (ca. 25 Masseprozent des Endmaterials) wird eine dreidimensionale Struktur gebildet und ausgehärtet – und zwar in weniger als einer Stunde bei unter 80 Grad Celsius. Sowohl Oberfläche als auch Form sind gestaltbar – bei niedrigem Druck. Weiterer Vorteil: Das Material ist sehr leicht. Allein die Gewichtsreduzierung bei den Bodenfließen, im Vergleich zum Beispiel zu Keramik, spart beim Transport viel Energie ein.

Der Clou ist die Funktionalisierung der so hergestellten Bauteile: Sensoren können genauso integriert werden wie fluoreszierende Leuchtmittel oder Additive für eine abriebfeste Oberfläche. »Denkbar sind zum Beispiel Stühle, die bei hohem Gewicht die Farbe wechseln – und das alles bei recycelbarer Nutzung«, erläutert Krombholz. Die Funktionalisierung erfolgt nach den Kriterien des Kunden, der mit dem Biomaterial bisherige Stoffe ersetzen will. Realisiert haben die Forscher gemeinsam mit Industriepartnern bereits Prototypen von Fliesen, die mit Kieselalgen angereichert wurden und individuelle, teils großformatige Formen haben, sowie naturfaserverstärkte Sandwichbauteile.

andreas.krombholz@iwmh.fraunhofer.de

Konventionelle Kraftwerke durch erneuerbare Energien gefordert

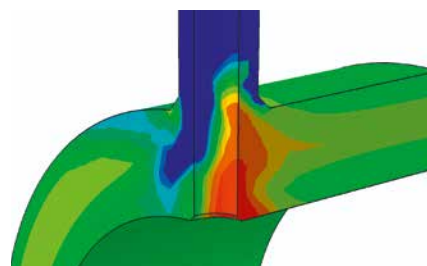
Mit Wind lässt sich heute bereits der größte Teil des Strombedarfs in Deutschland decken – wenn er weht. Doch die Stromversorgung bleibt nur bei relativ gleichmäßiger Netzauslastung stabil. Das hat Konsequenzen für konventionelle Kraftwerke und deren Materialbelastung.

Bei Windstille müssen die Netze konventionell mit Strom gespeist werden. In so einem Fall sind die sogenannten Spitzenlastkraftwerke in Deutschland besonders wichtig. Mit Gasturbinen erzeugen sie innerhalb weniger Minuten Strom. Mit den heißen Abgasen wird meist noch Wasserdampf erhitzt, der anschließend auf Dampfturbinen geleitet wird. Für die Komponenten des Dampfkreislaufs bedeutet das bei einem Kaltstart: in wenigen Stunden von unter 50 Grad rauf auf über 500 Grad Celsius. »Für das Material sind die Temperaturwechsel eine ernstzunehmende Belastung«, erläutert Gerhard Maier vom Fraunhofer IWM in Freiburg.

Während ein Kaltstart eher selten vorkommt, sind Warmstarts – von rund 200 auf über 500 Grad Celsius – zweimal monatlich und Heißstarts alle zwei Tage üblich. Darunter versteht man Temperaturschwankungen zwischen ca. 380 und mehr als 500 Grad Celsius. Zum Vergleich: Ein Grundlastkraftwerk läuft immer mit der gleichen Betriebstemperatur und produziert gleichmäßig viel Strom, zum Beispiel aus Braunkohle. Mittellastkraftwerke für Steinkohle können die Stromerzeugung zwar stärker variieren, aber nur, indem sie einem vorher festgelegten Tagesplan folgen, der nicht mehr veränderbar ist.

»Die Lebensdauer eines Kraftwerks liegt heute bei rund 40 Jahren. Doch für die

Wechselbelastung, die jetzt aufgrund der Einspeisung regenerativer Energien notwendig wird, fehlen Langzeituntersuchungen und Simulationsmodelle«, beschreibt Maier die Ausgangslage der kraftwerkserfahrenen Werkstoffwissenschaftler.



Beides – Experiment und Rechenmodell zur Simulation – entwickelt nun das Fraunhofer IWM. Außerdem arbeitet es an einer Teststrecke mit, die im Großkraftwerk Mannheim eingerichtet wurde, um Extrembelastungen ohne Gefahr für den Gesamtbetrieb zu schaffen. Bis Ende 2014 sollen dort über 2000 Lastwechsel bis auf Temperaturen von 720 Grad Celsius erfolgen.

Die Ergebnisse werden mit den IWM-Vorhersagen abgeglichen. »Regelmäßige Wartungsstillstände in Kraftwerken sind üblich, aber eben auch sehr teuer. Deshalb ist es wichtig, die notwendigen Wartungsintervalle und Prüfungen genau vorherzusagen – ohne das Risiko eines Schadens einzugehen«, betont IWM-Wissenschaftler Maier gerhard.maier@iwm.fraunhofer.de

IWM-Highlights in der Presse

Fitnessstest für Korrosionsschutzschichten: IWM-Forscher analysieren anhand vergleichender Tests Innenbeschichtungen in Erdölaufbereitungsanlagen.

matthias.gurr@iwm.fraunhofer.de

Photovoltaik-Module schneller ummanteln: Innovativer Laminationsprozess hilft Solarzellen bestmöglich zu schützen.

stefan.schulze@csp.fraunhofer.de

Prof. Peter Gumbsch ausgezeichnet: Der Institutsleiter des Fraunhofer IWM erhielt für seine herausragenden wissenschaftlichen Leistungen in der Materialwissenschaft den DGM-Preis der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde.

Fraunhofer IWM

Als Forschungspartner der Industrie und öffentlicher Auftraggeber entwickelt das Fraunhofer IWM Lösungen, mit denen der Energieverbrauch und der Materialeinsatz bei der Herstellung sowie im Einsatz von Werkstoffen und Bauteilen reduziert werden können.

Impressum

Text: Doris Banzhaf, Grafik: Erika Hellstab, Fotos: Nicole Eversmann, Alex Jung, Natalie Richter, Christian Rokosch, Michael Spiegelhalter, Fraunhofer IWM
Verantwortlich: Thomas Götz
thomas.goetz@iwm.fraunhofer.de
© Fraunhofer IWM, www.iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM Freiburg

Wöhlerstraße 11, 79108 Freiburg

Fraunhofer IWM Halle

Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle