

Neue Prozesse für
neue Leichtbauteile

Passgenaue Prozessschritte

Damit Reifen effizient
und rund laufen

Mit Körnern polieren

Simulationswerkzeuge
integrieren

Reibung: kaum noch messbar

2 • 2014

Weltsprache fürs Material

Effizienztreiber ICME integriert Vorhersagen zu extrem genauen Simulationsmodellen



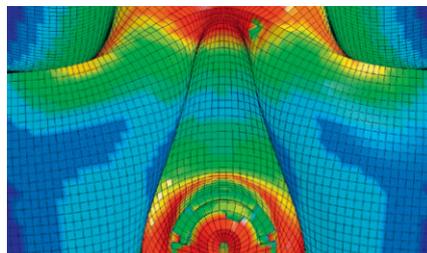
Prof. Dr. Peter Gumbsch

Liebe Leserinnen und Leser,

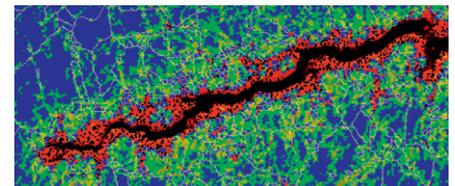
US-Präsident Barack Obama hofft, dass neue Materialien bald doppelt so schnell entwickelt und eingesetzt werden wie bisher. Das sagte er zum Start der »Materials Genome Initiative« vor gut zwei Jahren. Der Begriff lehnt sich an die Initiative zur Entzifferung des menschlichen Genoms an. Und tatsächlich gibt uns die Kombination von Mathematik, Werkstoffwissenschaft und Computertechnik heute die Möglichkeit immer tiefer in das Material hineinzuschauen, seine Grundbestandteile und -verbindungen zu entziffern und zu beschreiben, was dort geschieht.

Ein riesiges Potenzial für die Industrie, in das das Fraunhofer IWM schon seit Jahren mit Erfolg investiert: Mathematische Beschreibungen sagen heute nicht mehr nur vorher, wie sich ein Werkstoff bei hoher Temperatur, unter Druck oder Zug verhält. Inzwischen hat die Forschung die Blickwinkel und die Erkenntnisse vervielfacht.

Warum? Weil genau das den Mehrwert bringt: Die Mikrostruktur hat erheblichen Einfluss auf das Bauteilverhalten – und andersherum wirkt das Geschehen auf der makroskopischen Ebene wieder zurück. Mechanische, thermodynamische, chemische und elektronische Eigenschaften auf unterschiedlichen Größenskalen zu untersuchen, verringert die Entwicklungszeiten für neue Materialien, und vor allem lässt sich die individuelle Geometrie und Belastung eines Bauteils gezielt optimieren. Mal werden atomare Reaktionen beschrieben, mal die Versetzungen von Kristallkörnern, mal das Crash-Verhalten eines Fahrzeugs.



Makroskopische Simulationsmodelle sind zwar fest im industriellen Prozess etabliert, doch das Potenzial ist längst viel größer: Das Material im kleinen wie im großen Maßstab zu erkunden, seine innere Struktur durchgängig zu berücksichtigen und alle diese Informationen zu integrieren, birgt ungleich größere Spielräume. Auch das Verfolgen der Werkstoffbiographie über die gesamte Prozesskette der Herstellung hinweg erlaubt es, Eigenschaften gezielt zu schaffen oder zu vermeiden.



Diese Simulation setzt hohe werkstoffwissenschaftliche Kenntnisse voraus und eben jenes Verzahnen der vielfältigen Modelle. Genau das verbirgt sich hinter dem etwas sperrigen Begriff ICME – Integrated Computational Materials Engineering, das nicht nur die Vorhersagbarkeit von Werkstoffeigenschaften verspricht sondern gar davon träumen lässt, Werkstoffe gezielt für gewünschte Funktionalitäten zu entwickeln und bei der Bauteilherstellung so zu manipulieren, dass an jeder Stelle im Bauteil die dort geforderte Beanspruchbarkeit erreicht wird.

In diesem IWM Report stellen wir Ihnen eine Vielzahl an Beispielen dafür vor, wie das Fraunhofer IWM anhand von ICME für die Industrie bereits heute Material und Bauteile optimiert, die Effizienz steigert und Kosten senkt.

Ich wünsche eine entdeckungsreiche Lektüre.

Peter Gumbsch
(Institutsleiter und Sprecher
der Institutsleitung)

Prozesskettensimulation für Blechwerkstoffe



Passgenaue Prozessschritte

Sichere Fertigungsrouten und eine hohe Produktqualität sind bei der Herstellung und Verarbeitung von Metallen die Basis des wirtschaftlichen Erfolgs. Nur so entstehen Werkstoffe mit klar definierten Eigenschaften. Die Produktion verschlingt zudem viel Energie. »Jeder Prozessschritt baut auf dem vorherigen auf, chemische Zusammensetzung und Herstellungsrouten prägen die Eigenschaften des Materials. Die Industrie will wissen, wie«, erläutert Dr. Dirk Helm, Leiter des Geschäftsfeldes Fertigungsprozesse am Fraunhofer IWM in Freiburg. Sein Team macht genau dies berechenbar.

In der Prozesskettensimulation verzahnt das Fraunhofer IWM werkstoffwissenschaftliche Erkenntnisse in einer Art Werkstoffbiographie und macht so das Ergebnis des Herstellungsprozesses berechenbar – für Hersteller von Halbzeugen wie Blechen, Drähten und Bändern aus Stählen, Kupfer und Legierungen, für Produzenten von Karosserieteilen oder auch von Steckern für elektrische Verbindungen mit einer hohen Klemmkraft.

Der Schlüssel zur Modellierung liegt oftmals in der Mikrostruktur: Form und Ausrichtung der einzelnen Kristallkörner, zum Beispiel, ändern sich bei jedem Schritt. Beim Kaltwalzen entstehen plastische Deformationen, beim Glühen rekristallisieren die Körner und wachsen. Die Mikrostruktur entscheidet unter anderem über Verformbarkeit und Festigkeit. »Modelle, die derartig komplexe Vorgänge beschreiben, sind sowohl für die Prozessauslegung als auch für das Werkstoffdesign von großem Nutzen,« betont Dirk Helm.

Oft heißt es abwägen, weil jeder Prozessschritt einige Eigenschaften stärkt, andere schwächt. Mit Hilfe der Simulation kann das IWM-Team wichtige Prozessparameter im komplexen Geschehen variieren und deren Auswirkungen analysieren. dirk.helm@iwm.fraunhofer.de

Neue Prozesse für neue Leichtbauteile

Leicht, crashtolerant und in Serie kostengünstig: Ein rund 15köpfiges Team um Prof. Dr. Peter Michel, Leiter des Geschäftsfeldes Polymeranwendungen, im Fraunhofer IWM in Halle entwickelt derzeit einen Herstellungsprozess für neue thermoplastische, mit Endlosfasern verstärkte Bauteile für die Automobilindustrie. Am Ende soll dieser in die industrielle Fertigung transferiert werden. Im Gespräch erläutert Michel den aktuellen Stand und die Perspektiven.



Prof. Dr. Peter Michel kam im April 2013 von einem Automobilzulieferer ans Fraunhofer IWM in Halle.

■ Thermoplastische Leichtbauteile fürs Auto – warum?

Nun, die Kunden interessiert vor allem das niedrigere Gewicht, und natürlich spielen auch die Kosten eine Rolle. Wir hatten auf der K 2013 einen prototypischen Auto-Frontendträger aus so genannten UD-Tapes verstärkten Thermoplasten ausgestellt: Das Gewicht dieses Bauteils liegt fahrzeugabhängig bei 4 bis 6 Kilogramm, unseres ist 2 Kilogramm leichter.

■ Was genau heißt endlosfaserverstärkte Thermoplaste, und was ist ihr Vorteil?

Das ist eine Polymermatrix, also Kunststoff, in die eine mineralische Endlosfaser eingebettet wird. Im Gegensatz zu duroplastischen Bauteilen haben Thermoplaste den riesigen Vorteil, dass sie sehr schnell verarbeitbar sind. Das Erhitzen, das Handling oberhalb der Schmelztemperatur und das Abkühlen dauern jeweils nur weit weniger als 1 Minute. Dadurch schafft man es Bauteile in circa einer Minute herzustellen. Duroplastische Systeme brauchen knapp 10 Minuten, kleinere Bauteile etwa 3 Minuten. Die Investitionskosten beider Verfahren sind vergleichbar. Über die höheren Stückzahlen werden thermoplastische Verfahren viel attraktiver.

■ **Wie groß ist das Interesse der Industrie?** Wir erfahren deutliches Interesse. In der Automobilindustrie schreitet die Hybridisie-

rung, also die Kombination verschiedener Materialien, immer weiter voran. Wir arbeiten in öffentlichen Projekten als auch direkt mit Automobilfirmen und Zulieferern zusammen.

■ Was ist nötig, um den Herstellungsprozess zu etablieren?

Nun, in der Luft- und Raumfahrt sind die Prozessstufen zumindest für trockene Gewebe und Gelege, also duroplastische Bauteile, bereits Stand der Technik. Wir müssen jetzt den Übertrag auf die thermoplastischen Systeme leisten.

Denn mit den etablierten Techniken im Flugzeugbau wären wir um den Faktor 5 zu teuer. Dort gleicht sich jedes Kilogramm Gewichtersparnis über den gesenkten Treibstoffverbrauch sofort aus. Das eingesparte Kilogramm im Automobilbau ist je nach Einbaulage »nur« 5 bis 10 Euro wert.

■ Sie müssen kostengünstiger werden?

Ja. Unser Ziel ist daher eine hohe Automatisierung. Das ist eine riesige Herausforderung, aber die hohen Stückzahlen in der Automobilindustrie bieten auch eine große Chance. Zum Vergleich: Im Flugzeugbau ist die Losgröße 1 bis 10, im Automobilbau haben wir häufig Losgrößen von über 100.000. Selbst eine Mercedes S-Klasse kommt auf 50.000 Fahrzeuge im Jahr. Über Großserien lassen sich die Kosten senken – ohne Qualitätsverluste.

■ Wie genau gehen Sie die Prozessentwicklung an?

Zunächst bilden wir die Prozesskette Schritt für Schritt virtuell ab, um zu sehen, wie sich Schritte gegenseitig beeinflussen. So erkennen wir die jeweils kritischen Parameter für die Bauteileigenschaften. Am Ende führen wir die Schritte zusammen.

Ausschlaggebend zu Beginn ist das Anforderungsprofil des Bauteils, es bestimmt das Design. Sowohl die normalen Betriebslasten als auch die Missbrauchslasten muss das Bauteil, etwa eine Autotür, aufnehmen können. Das berechnen wir und wählen auf dieser Basis Faser und Matrix. Daraus ergibt sich, wie die Einzellagen der endlosfaserverstärkten UD-Tapes aufgebaut sein müssen und wie viele Lagen Tape wir brau-

► chen, um die berechneten Lasten aufzunehmen. Bei Zugbelastung bringen die Fasern ihr Potenzial am besten zur Geltung. Bei der Autotür kreuzen wir die Faserschichten. Jede Schicht bekommt ihre eigene optimale Ausrichtung. Zweite Simulationsstufe ist die Prozesssimulation der Herstellung: Die Tapes sind zweidimensional und müssen im Presswerkzeug in die dritte Dimension drapiert werden, damit am Ende auch die Autotür entsteht, die im Design geplant war.



■ Wie ermitteln Sie die nötigen Kennwerte?

Wir charakterisieren Einzellagen und machen für unterschiedliche Faserausrichtungen Druck-, Zug-, und Schubversuche. Berücksichtigen müssen wir auch, dass Kunststoff stets viskoelastisch, viskoplastisch, temperaturabhängig und dehnratenabhängig ist. Alle diese Phänomene werden im Modell mathematisch beschrieben,

denn im Automobilbau müssen wir den Schadensverlauf im Crashfall exakt vorhersagen können.

■ Wie genau sieht der Fertigungsprozess aus?

Wir produzieren im PAZ, dem Pilotanlagenzentrum, das aus den Fraunhofer-Instituten IAP und IWM betrieben wird. Das Syntheseknowhow für Polymere, gepaart mit dem Knowhow für Fasern, kommt vom IAP.

Die Verarbeitungsanlagen betreibt das Fraunhofer IWM: eine UD-Tape-Linie ist im Aufbau, mit dem Injection Moulding Compounder IMC machen wir erste Technologieuntersuchungen, die Spritzgießtechnik nutzen wir zum endgültigen Verpressen der Bauteile. Um auch die Zwischenstufen – Zuschnitt und Aufheizen der UD-Tapes – aufzubauen, werden wir das PAZ demnächst erweitern.

Die gefertigten UD-Tapes werden zugeschnitten. Auf den Zuschnitt folgt das Stacken, wie es im Fachjargon heißt, das Aufeinanderlegen. Im Spritzpresswerkzeug werden die Tapes in der ersten Pressstufe konsolidiert. Luftpneinschlüsse würden sonst

die Steifigkeit mindern, übrigens genauso wie eine Abweichung der Idealfaserlage um nur wenige Grad. In der zweiten Phase wird das Spritzgießwerkzeug geschlossen und eine Spritzgießmasse dazu gegeben. So entsteht ein homogenes Bauteil: Endlosfasern bilden die Lastpfade ab, das Restvolumen wird in einem One-Shot-Verfahren gefertigt. Im Werkzeug wird das Bauteil außerdem gleich noch mit Anschraub- und Haltepunkten versehen.

■ Wie ist Ihre zeitliche Perspektive?

Mit einfachen Bauteilen will das Fraunhofer IWM in den nächsten ein bis zwei Jahren entwicklungsreif sein. Berücksichtigt man den Produktentwicklungszyklus der Automobilindustrie, heißt das: Einfache Teile sähe man in vier bis fünf Jahren an Fahrzeugen.

Dazu passen die neuen EU-Vorgaben zu CO₂-Einsparungen: maximal 95 Gramm CO₂-Ausstoß pro gefahrenem Kilometer im Jahr 2021. Sammelt man mit den thermoplastischen Bauteilen bald erste Erfahrungen, könnte man bei den Fahrzeugen 2021 gut aufgestellt sein und den CO₂-Ausstoß wirklich vermindern.

peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

Damit Reifen effizient und rund laufen

Reifen beeinflussen den Kraftstoffverbrauch, die Bremsleistung und das Fahrzeugverhalten bei Nässe. Reifen sind ein Kostenfaktor – und sie müssen seit November 2012 ein europäisches Label tragen, das ihren Rollwiderstand, Geräuschpegel und Nassgriff beziffert.



Dynamisch-mechanische Messungen zur Bewertung von Reifenlaufflächen sind also gefragt. Das Fraunhofer IWM in Halle bietet diese der Industrie vorrangig für die Entwicklung neuer und runderneuerter Reifen an. Beim Recycling werden die Laufflächen von LKW-Reifen zunächst abgetragen, es entsteht Gummimehl. Danach werden neue Laufstreifen auf die Reifenkarkassen aufgebracht. Geforscht wird an Verfahren Gummimehle in neuen Laufstreifen wiederzuverwenden. Etwa 40 Prozent der LKWs, berichtet der Leiter des IWM-Bereichs Polymerbasiertes Materialdesign, Prof. Mario Beiner, fahren mit runderneuerter Reifen: »Diese

sollen optimal laufen, also kraftstoffsparend, haltbar und griffig sein«.

Ziel seines Teams ist es, die für Rollwiderstand, Nassgriff und Abrieb optimale Reifenmischung samt Gummimehlkomponente zu ermitteln. Wie sich die Zusammensetzung und die Herstellungsparameter der recycelten Laufflächen auswirken, ermittelt das Fraunhofer IWM mit vorhersagekräftigen Laborversuchen bei verschiedenen Belastungsfrequenzen und Temperaturen. Zu den Partnern zählen Hersteller von Gummimehlen, von Reifen und Laufflächen für LKW und Großraummuldenkipper sowie mehrere Reifenrunderneuerer. Demnächst wird das Verhalten der anhand von Fraunhofer-Vorhersagen optimierten LKW-Reifen im Einsatz geprüft.

Dynamisch-mechanische Messungen an synthetischem oder Natur-Kautschuk bietet das Fraunhofer IWM aber nicht nur der Reifenbranche. »Temperaturabhängiges Erweichen oder auch Dämpfungsverhalten können wir für elastomerbasierte Materialien für verschiedenste Anwendungen ermitteln«, betont Mario Beiner.

mario.beiner@iwmh.fraunhofer.de

Berechenbar: Mit Körnern polieren

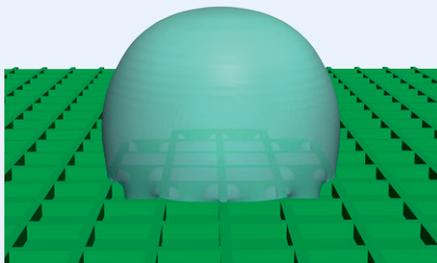
Innenliegende Oberflächen wie Bohrlöcher oder komplexe Formen polieren – das erledigen heute abrasive Flüssigkeiten. Diese Fluide enthalten kleine Partikel und werden mit hohem Druck durch die komplexen Geometrien gespült. Das Fraunhofer IWM ist in der Lage gleich dreierlei zu berechnen: wie sich die Flüssigkeit verhält, welche expliziten Wechselwirkungen zwischen Abrasivpartikel, Flüssigkeit und Werkstoff entstehen und schließlich, wie die abrasive Suspension den behandelten Werkstoff plastisch verformt, also glättet oder poliert.

Alle Einflüsse können fortlaufend für den gesamten Prozess berechnet werden, das kann gut und gerne zwei Tage Rechenzeit bedeuten. Doch nachher weiß die Industrie, welche Flüssigkeit mit welchen Partikeln sie bei welchem Druck einsetzen muss, um genau den Oberflächeneffekt zu erzielen, den das Produkt braucht. Eingesetzt wird diese Modellierung beispielsweise für die kostspielige Herstellung von Einspritzdüsen von Dieselmotoren in der Automobilindustrie oder Turbinenschaufeln für die Luftfahrt.

christian.nutto@iwm.fraunhofer.de

EU-Projekt »SimPhoNy«

Simulationswerkzeuge integrieren



Sehr tief in einen Werkstoff hineinschauen und dennoch vor lauter Details das Bauteil nicht aus dem Blick verlieren – das will die Multiskalenmodellierung ermöglichen. Das Materialverhalten auf der atomaren Ebene hat erheblichen Einfluss auf das Verhalten auf der Mikro- und auf der Makroebene und andersherum. Diese Erkenntnis hat die mathematische Beschreibung über mehrere Skalen hinweg zu einer eigenen Sparte wachsen lassen. Doch nach wie vor sind die Hürden hoch, wenn es gilt, die Erkenntnisse im Kleinen und im Großen zusammenzuführen. Das soll SimPhoNy, ein im Januar 2014 gestartetes EU-Projekt, ändern.

»Forscherinnen und Forscher weltweit entwickeln sehr gute Software-Tools, die sich aber meist auf ein Phänomen, sei es physikalisch, chemisch oder biologisch, und auf eine Größenskala fokussieren, und die in einer eigenen IT-Sprache sprechen«, beschreibt Dr. Adham Hashibon die Ausgangslage. Die elf Partner aus Deutschland, Spanien, Finnland, Großbritannien und Israel des SimPhoNy-Konsortiums wollen deshalb in drei Jahren eine gemeinsame Plattform entwickeln, die alle Simulationswerkzeuge über standardisierte Schnittstellen integrieren kann, so dass sie am Ende in einer gemeinsamen Sprache miteinander verknüpft sind. Damit würden die Informationen verschiedener Größenskalen oder Phänomene zusammengeführt.

Das SimPhoNy-Konsortium konzentriert sich dabei auf die Beschreibung mikro- und nanofluidischer Systeme, etwa Lab-on-chip für Diagnostik, Sensorik und Biochemie. Unter dem Dach des »EU Multiscale Modelling Cluster« arbeiten neben dem Fraunhofer IWM rund 40 weitere Institutionen und Unternehmen aus ganz Europa an der Standardisierung und Integration von Simulationsmodellen für verschiedene Größenskalen.
adham.hashibon@iwm.fraunhofer.de

Wenn Reibung kaum noch messbar ist

Flüssigkristalle sind heute in der Display-technik so selbstverständlich, dass kaum jemand weiß, dass LCD übersetzt »Flüssigkristall-Display« heißt. Doch nun schicken sie sich an, eine neue Marktkarriere zu starten – als flüssigkristalline Schmierstoffe, besonders für kleine Gleitlager aus Stahl. Das hat das Fraunhofer IWM in Freiburg gemeinsam mit dem Hersteller von Flüssigkristallen, der Nematel GmbH, und dem Schmierstoffhersteller Dr. Twillich GmbH Werner Stehr untersucht und dabei super-niedrige Reibungskoeffizienten gemessen, welche bis zu einem Faktor 100 niedriger als bei konventionellen Mineralölen liegen.



Bislang ging der Einsatz niedrigviskoser Spezialschmierstoffe auf Kosten der Lebensdauer von Motoren, Getrieben und Lagerungen. Bei flüssigkristallinen Schmierstoffen ist dies kein Thema, im Gegenteil: Bei der hydrodynamischen Schmierung werden die gegeneinander laufenden Oberflächen durch den Flüssigkeitsfilm komplett getrennt. Noch bei minus 20 Grad Celsius funktioniert die Schmierung.

Entscheidenden Einfluss hat dagegen die Geometrie: Herrschen hohe, punktuelle Kontaktdrücke, kann sich die flüssigkristalline Struktur – die Ausrichtung der Moleküle in eine Richtung – nicht bilden. Erst bei flächigem Kontakt kann die flüssigkristalline Schmierung ihre volle Reibminderung entfalten. »Auch, dass mindestens ein Kontaktpartner aus Stahl besteht, ist förderlich, da die Flüssigkristalle mit der Stahloberfläche stark wechselwirken«, erläutert IWM-Projektleiter Andreas Kailer. Die erforderliche Lebensdauer der Öle lässt sich mit Additiven gewährleisten.

Noch ist ihre Herstellung aufwändig, deshalb wurden zunächst nur Anwendungen mit geringem Schmierstoffbedarf getestet. Doch die Eigenschaften der so genannten Mesogene sind vielversprechend, zum Beispiel auch für die Schmierung von Sinterlagern.
andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de

Wissenschaftspreis
des Stifterverbandes
2014

Forschung im Verbund



Die Preisträger: Dr. Holger Kretzschmann (Nematel), Werner Stehr und Susanne Beyer-Faiß (Dr. Tillwisch GmbH), Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann (Fraunhofer IWM) (v.l.n.r.).

Für die Entwicklung flüssigkristalliner Schmierstoffe wurden Dr. Andreas Kailer und Dr. Tobias Amann gemeinsam mit ihren Projektpartnern am 21.4.2014 mit dem »Wissenschaftspreis des Stifterverbandes 2014 – Forschung im Verbund« ausgezeichnet.

Hochleistungskeramik
optimal einsetzen

Maximalen Nutzen aus dem Einsatz von Hochleistungskeramik im Maschinenbau, der Antriebstechnik oder im Lagerbereich ziehen. Darum geht es im Workshop von Fraunhofer AdvanCer am 13. und 14.11.2014 im Fraunhofer IWM. Infos unter:
[Veranstaltungen auf www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de/veranstaltungen)

Polymer-Tribologie

Um den Einsatz von Polymeren in tribologischen Systemen geht es im Workshop am 25. und 26.11.2014 im Fraunhofer IWM. Behandelt werden u.a. polymere Tribowerkstoffe, der Einfluss von Schmierstoffen und Verschleißschutz für Polymere. Infos bei
christof.koplin@iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM

Das Fraunhofer IWM ist Impulsgeber, Innovator und Problemlöser für die Industrie und für öffentliche Auftraggeber zur Zuverlässigkeit, Sicherheit, Lebensdauer und Funktionalität von Bauteilen und Systemen. Wir erarbeiten nachhaltige und ressourceneffiziente Lösungen für die optimierte Nutzung von Werkstoffeigenschaften, für neue Bauteilfunktionen und innovative Fertigungsverfahren.

Impressum

Text: Doris Banzhaf, Grafik: Erika Hellstab
Fotos: © Felix Abraham, S.K.U.B. Fotostudio,
© Dirk Mahler/Fraunhofer, 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