MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR NACHHALTIGE MATERIALIEN GMBH

Pressemeldung

30. Oktober 2026

Künstliche Intelligenz entwickelt leistungsfähige Legierungen aus Metallschrott

Verunreinigungen im Metallschrott werden gezielt genutzt und verbessern Dehnbarkeit und Bruchfestigkeit. Internationales Forschungsteam veröffentlicht Ergebnisse in Fachzeitschrift *Science Advances*

Auf einen Blick:

- **Herausforderung:** Konventionelle Metallproduktion verbraucht 10% der weltweiten Energie und verursacht etwa 8% aller CO_2-Emissionen. Recycling verringert diese Umweltbelastungen um bis zu 95%, indem Metalle möglichst lange im Wertstoffkreislauf bleiben und dadurch weniger Neumaterial aus Erzen gewonnen werden muss. Allerdings können schwankende Schrottzusammensetzungen und unerwünschte Verunreinigungen die Qualität recycelter Legierungen und damit ihren Einsatz beeinträchtigen.
- **Neuer Ansatz:** Mit künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen finden wir Lösungen, um ungewollte Verunreinigungen im Metallschrott gezielt als Legierungselemente einzusetzen: die Basis für neue leistungsfähigere, recycelte Legierungen.
- **Ergebnis:** 14 neue Gusseisen-Legierungen aus Metallschrott mit verbesserter Zugfestigkeit und Bruchdehnung bei gleichzeitig geringeren Umweltbelastungen und Produktionskosten.

Weltweit werden jährlich rund zwei Milliarden Tonnen Metall produziert, um den Bedarf von Industrie, Infrastruktur und Energiewirtschaft zu decken. Ein großer Teil davon wird nach wie vor aus Erzen gewonnen. Die konventionelle Metallproduktion verursacht zirka 40% der industriellen Treibhausgasemissionen und ist für etwa 10% des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich. Ein verstärkter Einsatz recycelter Metalle könnte die Umweltbelastung aus der Primärsynthese erheblich reduzieren, indem Metalle länger im Wertstoffkreislauf gehalten werden, und gleichzeitig die Abhängigkeit von Importen knapper und strategisch wichtiger Erze verringern.

Das Recycling von Metallen zu verwertbaren Legierungen ist jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbunden: die chemische Zusammensetzung von Metallschrott schwankt häufig und enthält unerwünschte Verunreinigungen. Diese können die Qualität recycelter Legierungen verschlechtern und sie so für industrielle Anwendungen mit hohen Anforderungen unbrauchbar machen.

Ein internationales Forschungsteam hat nun eine Strategie auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellen Lernens entwickelt, um Verunreinigungen im Metallschrott gezielt als Legierungselemente zu nutzen. Die daraus entstehenden sogenannten *Dirty Alloys* tolerieren nicht nur Schwankungen in der Schrottzusammensetzung, sondern weisen auch verbesserte mechanische Eigenschaften und geringere Produktionskosten auf. Die Ergebnisse wurden in der Fachzeitschrift *Science Advances* veröffentlicht.

Künstliche Intelligenz verknüpft Legierungszusammensetzung direkt mit Werkstoffeigenschaften

„Bisher werden Verunreinigungen im Metallschrott üblicherweise durch die Zugabe von Primärmetall verdünnt. Das schmälert jedoch die Umweltvorteile des Recyclings, denn die Herstellung von Primärmetallen benötigt große Mengen an Energie und verursacht erhebliche CO_2-Emissionen. Unser neuer Workflow nutzt KI und maschinelles Lernen, um passende Verunreinigungen zu erkennen und mit ihnen Legierungen zu entwickeln, die Verunreinigungen nicht nur tolerieren, sondern sogar von ihnen profitieren“, erklärt Dr. Liuliu Han, Leiter einer Partnerguppe des Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien und eine der korrespondierenden Autoren der Veröffentlichung.

Das Besondere an dem neuen Workflow ist, dass er die chemische Zusammensetzung einer Legierung und die Herstellungsbedingungen direkt mit den gewünschten Werkstoffeigenschaften verknüpft, ohne dafür umfangreiche Informationen über die Mikrostruktur der Legierung zu benötigen, sondern die aus dem Schrott vorhandene Bandbreite an Elementen gezielt zur Produktverbesserung einsetzt. Ausgehend von bereits bekannten Legierungen erzeugt ein Suchalgorithmus neue Legierungskandidaten. Dazu variiert er innerhalb vorgegebener Grenzen sowohl die chemische Zusammensetzung als auch Prozessparameter wie Temperatur und Dauer der Wärmebehandlung.

Künstliche neuronale Netze sagen anschließend die Zugfestigkeit und Bruchdehnung der jeweiligen Legierungskandidaten voraus. So kann der Algorithmus gezielt nach Zusammensetzungen suchen, die ein besseres Verhältnis zwischen Festigkeit und Verformbarkeit ermöglichen als bisher bekannte Werkstoffe. Dabei optimiert er einerseits besonders vielversprechende Legierungen und untersucht andererseits bislang wenig erforschte Zusammensetzungen. Ein zweites Modell, das mit einem größeren Datensatz zu Legierungszusammensetzungen und Werkstoffeigenschaften trainiert wurde, überprüft die vorausgewählten Kandidaten. Anschließend stellen die Wissenschaftler die vielversprechendsten Legierungen her und testen sie.

Die Ergebnisse dieser Versuche fließen wiederum in die Datenbank ein. Dadurch wird das Vorhersagemodell aktualisiert und die nächste Optimierungsrunde gesteuert. Durch diesen wiederholten Abgleich zwischen computergestützten Vorhersagen und experimentellen Ergebnissen verbessert sich die Auswahl geeigneter Legierungen schrittweise und beschleunigt die Entwicklung neuer Werkstoffe aus recycelten Metallen.

Verunreinigungen verbessern die mechanischen Eigenschaften

Als Modellwerkstoff verwendeten die Forschenden Gusseisen mit Kugelgraphit, auch Sphäroguss genannt. Dieser Werkstoff ist für seine hohe Toleranz gegenüber Verunreinigungen bekannt und besitzt große industrielle Bedeutung: Weltweit werden jährlich rund 120 Millionen Tonnen davon produziert.

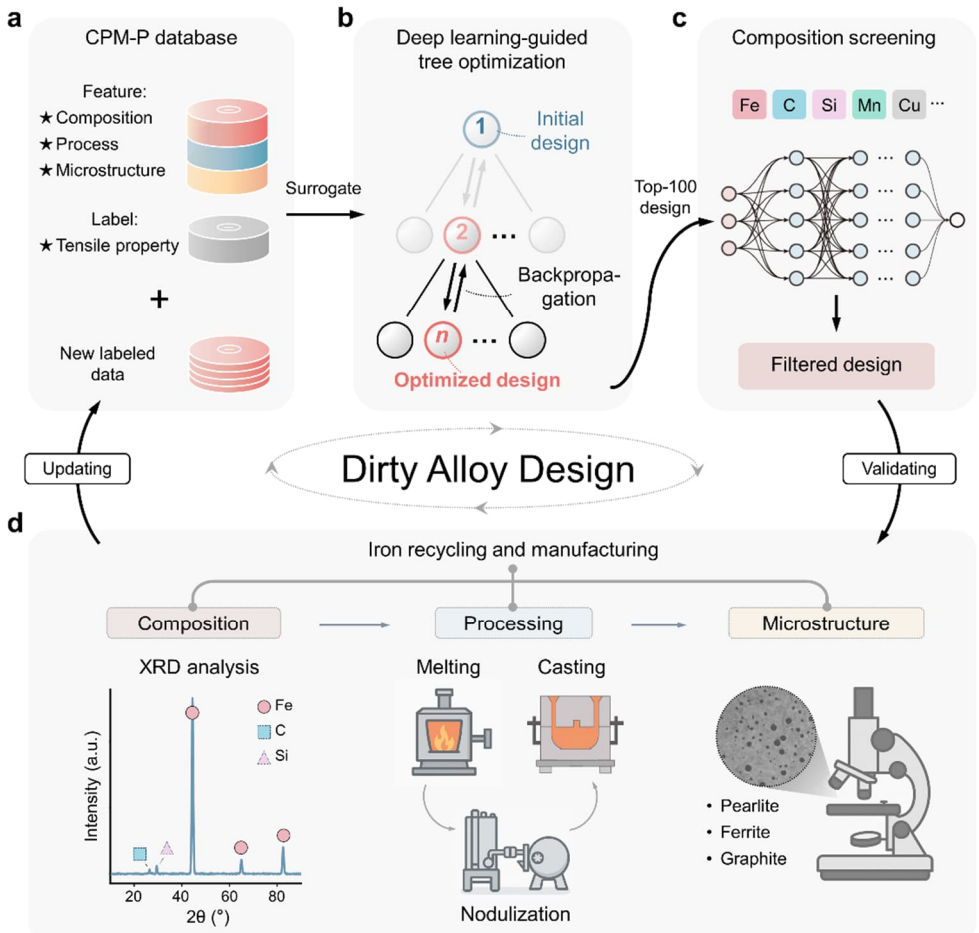
Das Forschungsteam untersuchte 17 Legierungsvarianten, die das KI-Modell vorgeschlagen hatte. Davon erreichten 14 besonders gute Kombinationen aus Festigkeit und Verformbarkeit im Vergleich zu den bislang in der Datenbank erfassten recycelten Eisenwerkstoffen.

Bei vergleichbarer Bruchdehnung ließ sich die Zugfestigkeit um bis zu 15,2% steigern. Bei vergleichbarer Zugfestigkeit erhöhte sich die Bruchdehnung sogar um bis zu 73,2%. Gleichzeitig lagen die Herstellungskosten um rund 8% unter denen des konventionellen Verfahrens, bei dem Metallschrott mit Primäreisen vermischt wird.

Die Wissenschaftler planen ihre KI-Strategie auch auf andere Werkstoffgruppen, wie recycelte Stähle sowie Aluminium- und Kupferlegierungen, zu übertragen. Zudem sollen mehrere KI-Agenten unterschiedliche Aufgaben übernehmen und aufeinander abstimmen – von der Entwicklung neuer Legierungszusammensetzungen und der Versuchsplanung bis zur Prozesssteuerung und Auswertung der Ergebnisse. Dies würde die Entwicklung neuer Legierungen beschleunigen und zugleich eine flexible Anpassung an schwankende Schrottzusammensetzungen ermöglichen.

An der Arbeit waren Forschende der Shanghai Jiao Tong University, der City University of Hong Kong, der East China University of Science and Technology und der Central South University in China sowie des Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien in Deutschland beteiligt.

Schwankende Schrottzusammensetzungen und unerwünschte Verunreinigungen erschweren das Metallrecycling. Die Verunreinigungen können die Qualität recycelter Legierungen und damit ihren Einsatz beeinträchtigen. Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz gelingt es nun diese Verunreinigungen gezielt zu nutzen, um bessere Legierungen zu entwickeln. Copyright: Adobe Stock 102472568



Entwicklung verunreinigungstoleranter Legierungen aus recyceltem Metall (*Dirty Alloys*): (a) Datensatz mit Parametern zur chemischen Zusammensetzung, Verarbeitung und zum Mikrogefüge (CPM-P). (b) Neuronale Netzwerke, die mit dem CPM-P-Datensatz trainiert wurden. (c) Auswahl geeigneter Legierungen anhand ihrer chemischen Zusammensetzung. (d) Prozesskette für das Recycling und die Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss), aus der umfassende Informationen über die chemische Zusammensetzung, die Herstellungsprozesse und die Mikrostruktur gewonnen werden. Aus: Science Advances DOI: 10.1126/sciadv.aeg9183

Originalpublikation

C. Yang, B. Peng, B. Sun, Q. Tao, Y. Zeng, L. Zhang, D. Shu, J. Lu, D. Raabe, L. Han, Y. Wie: From scrap to prime: designing high-performance alloys from dirty feedstock with machine learning. Science Advances 12 (2026), 42. DOI: 10.1126/sciadv.aeg9183

Am Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien (MPI-SusMat) entwickeln wir neue Wege, Materialien für eine klimaneutrale Zukunft zu gestalten, herzustellen und zu recyceln. Von grünem Stahl und recycelbarem Aluminium bis hin zu langlebigen Batterien – unsere Forschung adressiert zentrale Herausforderungen in den Bereichen Energie, Mobilität, Infrastruktur und Ressourceneffizienz. Durch die Kombination von Materialwissenschaft und Künstlicher Intelligenz treiben wir nachhaltige Innovationen voran. Bis 2024 war das Institut unter dem Namen Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH tätig.

Mehr Neuigkeiten aus dem MPI-SusMat gibt es bei LinkedIn und YouTube.

Kontakt:

Yasmin Ahmed Salem, M.A.
Referentin für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: y.ahmedsalem@mpi-susmat.de
Tel.: +49 (0) 211 6792 722
https://www.mpi-susmat.de