

All Metals Age: Die postfossile Gesellschaft braucht alle Elemente des Periodensystems

Reaktion auf zwei Beiträge zum Thema
Rohstoffversorgung für die Energiewende in GAIA

The Age of All Metals: The Post-Fossil Society Needs
All Elements of the Periodic Table | GAIA 26/4 (2017): 305–308

Keywords: dissipation, energy transition, metals, mining, rare earths

Martin Held, Jörg Schindler

Ein Verbund deutscher Wissenschafts- und Technikakademien ist der Frage nach der grundlegenden Bedeutung der Rohstoffe für die zukünftige Energieversorgung nachgegangen und hat die Ergebnisse in der Studie *Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft: Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse* veröffentlicht (Angerer et al. 2016, im Folgenden kurz „Analyse“). Die Analyse des Akademieverbunds geht davon aus, dass insbesondere Metalle eine wichtige Rolle für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende spielen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die Versorgungssicherheit mit Metallen bis 2050 grundsätzlich gesichert sei. Die Analyse widmet bergbaulichen Fragen sowie Mechanismen der Metallmärkte einen breiten Raum und bietet Interessierten die Möglichkeit, sich damit kritisch auseinanderzusetzen (zur Einführung in die Thematik von Gleich et al. 2006).¹ Darauf aufbauend hat der Akademieverbund die Stellungnahme *Rohstoffe für die Energiewende – Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung* vorgelegt (acatech 2017, kurz „Stellungnahme“).

Angesichts der Tragweite der stofflichen Voraussetzungen der Energiewende ist es erfreulich, dass in GAIA zu beiden Veröffentlichungen eine Diskussion geführt wird (David et al. 2017, Wellmer et al. 2017). Mit unserem Beitrag wollen wir die Diskussion vertiefen und die Thematik in einen größeren Kontext stellen.

Kritische Metalle: Energiewende und digitale Transformation

Die digitale Transformation und die Mobilitätswende in Richtung Elektrifizierung hat eine starke Nachfrage nach allen Metallen in großen Mengen ausgelöst. Während die Menge der eingesetzten Metalle in vielen Anwendungen je Produkteinheit kleiner wird (Miniaturisierung), werden sie zunehmend stofflich vermischt,

werden immer mehr Elemente des Periodensystems eingesetzt und diese immer vielfältiger in Produkten verwendet. Diese Aspekte werden zwar in der Analyse von Angerer et al. (2016) thematisiert, jedoch nicht entsprechend ihrer Tragweite umfassend behandelt. So wird die Frage der Versorgungssicherheit – selbst über die relativ kurze Periode von nur wenigen Jahrzehnten – kaum beantwortet werden können.

Die Transformation in Richtung Nachhaltigkeit – mit der Energiewende als einem Baustein – und die digitale Transformation sind die Treiber einer ständig steigenden Nachfrage nach Metallen aller Art (verschiedene Beiträge in Exner et al. 2016). Hinzu kommt ein weiterer Effekt: Metalle werden bei ihrer technischen Nutzung nicht verbraucht, da sie nach ihrer Nutzung materiell noch vorhanden sind. Metalle können dennoch im praktischen Sinn „verbraucht“ werden, wenn sie so weit zerstreut werden, dass Recycling aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist. Dies nennt man Dissipation (Kümmerer 2016).

Je mehr einzelne Metalle als Stoffgemische in den Produkten eingesetzt werden, desto schwieriger wird es, sie am Ende des Produktlebenszyklus für erneute Verwendungen wiederzugewinnen – in energetischer, technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht (Hagelücken 2017). Eine höhere Ressourceneffizienz kann – noch gesteigert durch die Tendenz zu immer komplexeren Stoffgemischen – die Dissipation sogar verstärken, da die Rückholbarkeit der gebrauchten Metalle zunehmend an ihre Grenzen stößt. Vor allem in der synoptischen Art der Verwendung der Analyseergebnisse verkennt die Stellungnahme des Akademieverbunds diese dramatische Entwicklung.

>

Kontakt: Dr. Martin Held | Grubenweg 10a | 82337 Tutzing | Deutschland |
Tel.: +49 8158 2685 | E-Mail: transformations-held@gmx.de

Jörg Schindler | Neubiberg | Deutschland | E-Mail: schindler@lbst.de

¹ Die Studie ist vorrangig aus der Perspektive der deutschen Wirtschaft geschrieben – dies wird etwa daran deutlich, dass die Kritikalität von Metallen begrifflich mit „wirtschaftsstrategischen Metallen“ gleichgesetzt wird.

© 2017 M. Held, J. Schindler; licensee oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Folgen des Framing der Akademienanalyse und das All Metals Age

Die Analyse geht auf viele relevante Fragen ein, zum Beispiel zu technologischen Entwicklungen, zum Umgang mit tendenziell abnehmenden Erzgehalten und zunehmendem Energieaufwand sowie zur Vergesellschaftung von Mineralen. Das Verständnis der Ausgangsfragestellung der Analyse wird jedoch durch das als Grundlage verwendete *framing* erschwert, wenn es dort heißt (Angerer et al. 2016, S. 30): „Da sich durch wirtschaftliche und technische Entwicklungen kontinuierlich Ressourcen und Geopotenziale in Reserven wandeln, gibt es auch heute noch ausreichende Rohstoffmengen, obwohl der Verbrauch vieler Rohstoffe nach wie vor zunimmt. Die Reserven wachsen mit dem Verbrauch mit, zum Teil wachsen sie sogar stärker als der weltweite Verbrauch“.

Durch dieses *framing* legen die Autoren das Gesamtergebnis der Analyse vorab fest (zum Verständnis und zur Bedeutung von *framing* vergleiche Wehling 2016, Held 2016). Bemerkenswert ist dies insbesondere auch deshalb, weil in den nachfolgenden Teilen der Analyse wichtige Trends benannt werden, die ihrer Annahme entgegenstehen: „Denn es ist anzunehmen, dass die abgebauten Metallgehalte wohl weiter sinken, Lagerstätten tiefer liegen sowie die Erze komplexer und damit schwieriger aufbereitbar sein werden“ (S. 47 f.). Ebenso heben sie auf den hohen und zunehmenden Wasser- und Energiebedarf ab.²

Darüber hinaus greift die Analyse einen weiteren, grundlegenden Trend auf: Die Zahl der genutzten Metalle nimmt seit der Industrialisierung deutlich zu, mit einem zusätzlichen Schub in den beiden letzten Jahrzehnten (Angerer et al. 2016, S. 27 ff., 57 ff.). Dies ist eine wichtige Fährte zum Grundverständnis der Tragweite der Entwicklungen. Inzwischen werden alle stabilen Elemente des Periodensystems technisch genutzt. Damit ist nunmehr die Entwicklung – innerhalb von nur etwa zwei Menschengenerationen – an einem naturgesetzlich vorgegebenen Ende angelangt. In anderen Worten: Die Menschheit hat inzwischen ein neues Metallzeitalter betreten – das *All Metals Age*.

Die anthropogene Metallgeschichte

Ein Exkurs in die anthropogene „Metallgeschichte“ zeigt (ausführlich in verschiedenen Beiträgen in Held et al. im Erscheinen): Unsere Vorfahren lernten in unterschiedlichen Regionen der Welt unabhängig voneinander, dass es eine besondere Art von „Steinen“ gibt, die sich erhitzen lassen und dabei verwandeln, wieder eingeschmolzen und neu verwendet werden können. Sie lernten, dass es sich um etwas Eigenständiges handelt: Metalle. Entwicklungen im Bergbau, in der Metallurgie, etwa die Herstellung von

Legierungen, unterschiedliche Einsatzgebiete und weitere führten zur gezielten Nutzung einer kleineren Zahl von Metallen, vor allem Kupfer, Gold, Silber, Zinn, Blei, später Eisen, Quecksilber und einigen wenigen anderen sowie von Legierungen wie Bronze und Messing.

Ab der Industrialisierung nahm die Zahl der genutzten Metalle signifikant zu, wenn auch zunächst noch auf quantitativ niedrigem Niveau. Im Jahr 1869 wurde das Periodensystem aufgestellt – allerdings dauerte es noch rund 80 bis 90 Jahre, bis die Elemente genauer analysiert und verstanden waren. Beispielsweise fand man heraus, dass die stabilen Elemente des Periodensystems zu rund 75 Prozent Metalle sowie zu etwa fünf Prozent Halbmetalle sind. Außerdem wurde zunehmend klar, wozu die unterschiedlichen Metalle des Periodensystems genutzt werden können – Armin Reller (2013) hat dafür den Begriff „Funktionalisierung“ geprägt (siehe auch Achzet et al. 2011). Die Funktionalisierung von immer mehr Elementen war die Voraussetzung für den Entwicklungsschub in der Elektronik, bei Waffensystemen, Beleuchtungstechniken und vielen anderen Technologien.

Der heute zu beobachtende Megatrend der Digitalisierung wird durch die Nutzung der Metalle, die die Menschheit schon lange verwendet, zusammen mit den „neuen“ Metallen des Periodensystems erst möglich. Die digitale Transformation treibt ihrerseits die Nutzung aller Metalle in immer größeren Mengen an, die dabei immer mehr vermischt werden und damit die Dissipation verstärken. Diese Entwicklung führte in den letzten beiden Jahrzehnten zu einer Metallnutzung, die eine völlig neue Größenordnung gegenüber früheren Zeiten des Bergbaus und der Metallurgie (die bis in die Zeit direkt nach dem Zweiten Weltkrieg reichte) aufweist. In der Analyse des Akademieverbands wird an einigen Stellen auf die fulminante Bedeutung der Metalle verwiesen, in der Stellungnahme ist die Dimension dagegen nicht mehr erkennbar. Auch im Diskussionsbeitrag von David et al. (2017) und der Replik von Wellmer et al. (2017) fehlt dieser systemische Blick auf die Bedeutung der Metalle.

Chinas Rohstoffpolitik

In ihrem Diskussionsbeitrag gehen David et al. (2017) auf die Rolle Chinas bei globalen Rohstofffragen ein. Sie sehen dabei einen Konflikt zwischen internationalem Handels- und chinesischem Umweltrecht. In ihrer Replik antworten Wellmer et al. (2017, S. 235 f.) darauf, dass die chinesischen Exportbestimmungen ökonomisch und strategisch motiviert waren. Sie führen dazu aus ihrer Sicht die längere Vorgeschichte an, bei der China auf den Schutz strategisch wichtiger Rohstoffe setzte.

Vermutlich ist die Interessenlage Chinas und der dort bestimmenden Akteure tatsächlich vielschichtig und eine eindeutige Zuordnung zu Umweltregulierung und „Rohstoffnationalismus“ (Wellmer et al. 2017, S. 236) nicht ohne weiteres möglich. China ist nicht nur im Hinblick auf den globalen Handel und die Umweltschutzgesetzgebung relevant. Das Land bestimmt zugleich die ab-

² In unserem kurzen Diskussionsbeitrag können wir nicht detailliert auf die Zusammenhänge eingehen. Der Zugang zum Verständnis liegt in der Analyse der Erzgehalten in dem zugänglichen Teil der Erdkruste, deren Verteilung und Zugänglichkeit (zum Einstieg Zittel 2016).

solute Höhe des globalen Metallverbrauchs und ist, was den Anteil an der weltweiten Produktion strategischer und anderer Metalle angeht, führend. Damit dominiert China die weitere Entwicklung der Metallnutzung hinsichtlich der Energiewende in Richtung erneuerbarer Energien sowie bezogen auf die Dynamik der Elektrifizierung der Automobile und der Digitalisierung insgesamt.

Darüber hinaus hat China für das Verständnis des *All Metals Age* eine Schlüsselposition inne: „Der Nahe Osten hat Öl, China hat Seltene Erden“, sagte der damals in China bestimmende Politiker, Deng Xiaoping, bei einer Rede im Januar 1992 auf einer Reise nach Südchina zum Auftakt des wirtschaftlichen Reformprozesses (zitiert nach Vogel 2012). In anderen Ländern wurden in den 1990er/2000er Jahren Minen zur Gewinnung von Metallen der Seltenen Erden geschlossen – in vielen Fällen nicht zuletzt wegen umweltpolitischer Auflagen. Der Bedarf für diese und andere Metalle stieg in den 2000er Jahren mit der Massenproduktion von Smartphones, Laptops, digital gesteuerten Automaten oder Haushaltsgeräten sehr stark an. Dies brachte China zu Beginn des 21. Jahrhunderts in die komfortable Situation, Oligopol für Metalle der Seltenen Erden zu werden, wodurch Kritische Metalle in den westlichen Industriestaaten überhaupt erst auf die wirt-

etwas Grundlegendes verstehen. Es gilt heute, ein vergleichbar tiefgehendes Verständnis der Metallisierung herauszubilden und ein entsprechendes Metallbewusstsein zu fördern. Dies hilft auch den Unternehmen, die auf Metalle aller Art angewiesen sind.

Erweiterte Perspektiven: Metallisierung und Metallbewusstsein

In unserem Beitrag stellen wir die Argumentationslinien in einen größeren Kontext: Wenn es um die Frage der Nachhaltigkeit geht – dies legt der Untertitel *Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung* der Stellungnahme nahe –, ist eine Perspektive mit einem Zeitraum bis 2050 nur ein kleiner Ausschnitt. Zugleich ermöglicht eine Studie, die auf deutsche Unternehmen ausgerichtet ist, in einer globalisierten Weltwirtschaft nur einen eingeschränkten Blick (vergleiche SRU 2012).

Nimmt man die Ausdifferenzierungen der Analyse (Angerer et al. 2016) in ihren Konsequenzen qualitativ und quantitativ ernst, stellt sich die Antwort auf die Ausgangsfrage anders dar, als es die Vorabfestlegung auf steigende Reserven vermuten ließe. Wesentlich ist ein Verständnis der geologischen Zusammenhänge

Ein nachhaltiger Umgang mit Metallen ergibt sich nicht von selbst aus ihrer Unvergänglichkeit in geologischen Zeitskalen. Vielmehr müssen wir einen klugen Umgang mit Metallen lernen, damit wir sie besser wertschätzen.

schaftspolitische Agenda kamen. Da jedoch die kurzfristige Entwicklung der Preise noch oft als Indikator für Knappheit und Kritikalität der Metalle missverstanden wird, ließ ab 2013 – mit sinkenden Weltmarktpreisen – die Aufmerksamkeit wieder nach.

Ein Blick in die chinesische Kultur hilft dabei zu verstehen, dass wir in einer grundlegend neuen Metallzeit angekommen sind. Im daoistischen Strang der chinesischen Kultur stellen Metalle eines der fünf grundlegenden Elemente neben Holz, Feuer, Wasser und Erde dar. Bronze war identitätsstiftend und ist bis zum heutigen Tag kulturell prägend.

Sind derartige Ausführungen nicht weit hergeholt, wenn es um die Debatte der *acatech*-Studie und der darauf aufbauenden Stellungnahme geht – um Energiewende, digitale Transformation und Metalle? Im Gegenteil: Die Entdeckung des Periodensystems sowie die Erkenntnisse zur Funktionalisierbarkeit der Metalle und Halbmetalle des Periodensystems machten die nun beginnenden Transformationen erst möglich. Es ist nicht mit einer rein kognitiven Informationsvermittlung zum Recycling, zur Ressourceneffizienz und dergleichen getan. Es reicht noch nicht einmal das weiter reichende Verständnis für Dissipation aus. Vielmehr ist ein grundlegendes Verständnis der kulturellen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, technologischen, ökologischen und politischen Bedeutung der Metalle Voraussetzung dafür, dass wir Metalle als

in Verbindung mit Fragen des Bergbaus und dem damit einhergehenden Aufwand an Energie und Stoffen sowie der Umwelteffekte der Mobilisierung von Erzen und Metallen in großem Maßstab. Hinzu kommen die ökonomischen Bedingungen im Hinblick auf Miniaturisierung, Recyclingpotenziale sowie Dissipation infolge von Ressourceneffizienzstrategien. Dieser umfassenden Blick verweist auf viele ungelöste Probleme.

Die Fragestellungen am Beginn der „Großen Transformation“ (WBGU 2011, 2016) und der beginnenden digitalen Transformation sind grundsätzlicher und herausfordernd: Es gilt zu verstehen, dass die Menschheit im *All Metals Age* angekommen ist, und was dies für die anstehenden Transformationen bedeutet. Dazu ist eine Spurensuche in den großen Übergängen der Menschheit hilfreich, beispielsweise zu den Anfängen der Kupferzeit sowie zu späteren Umbrüchen der Metallzeiten. Dies schärft den Blick für größere Zusammenhänge ebenso wie für transformative Phasen und deren Bedingungen (zur Metallarchäologie siehe Roberts und Thornton 2015, Stöllner und Oeggi 2015). Gleichermassen gilt es die Geschichte der Entdeckung des Periodensystems und der anschließenden Entwicklung des Verständnisses der Funktionalisierbarkeit der Elemente in seiner Tragweite zu verstehen.³

Die Elemente sind die Bausteine der Welt, die in der kosmologischen Evolution verfügbar gemacht wurden (zum Einstieg



Langmuir und Broecker 2012). Es gilt die Erkenntnisse zur Dissipation, zur Entwicklung der Konzentration der Erzgehalte und der Zugänglichkeit von Lagerstätten sowie zur Entwicklung des Energiefaktors (*Energy Returned on Energy Invested*, Maß für den Energieaufwand zur Metallgewinnung; vergleiche Schindler 2016) zu verstehen und zu beherrzigen.

Das Verständnis, dass die Menschheit in einem neuen Metallzeitalter lebt, bedarf eines Metallbewusstseins, damit wir uns neu auf die Materialität einlassen können.⁴ Metallbewusstsein umfasst die Faszination der Metalle und deren Wertschätzung, die sich unter anderem im Begriff „Bodenschätze“ ausdrückt. Und es umfasst das Verständnis der Herausforderungen, die der Erzbau sowie die Metallverarbeitung und die Metallnutzung bis heute mit sich bringen: die gesundheitlichen Gefahren, ökologischen Belastungen, Arbeitsbedingungen und viele andere wichtige Aspekte wie die Verteilungsgerechtigkeit. Es gilt den Raubbau und die Plünderung sowie die Verschwendung dieser Schätze zu beenden (Bardi 2013). Ein nachhaltiger Umgang mit Metallen ergibt sich nicht von selbst aus ihrer Unvergänglichkeit in geologischen Zeitskalen. Vielmehr müssen wir einen klugen Umgang mit Metallen lernen, damit wir sie besser wertschätzen.

Unsere Sichtweise hat sich in enger Zusammenarbeit mit Maximilian Hempel (Osnabrück), Klaus Kümmerer (Lüneburg), Armin Reller (Augsburg) und Werner Zittel (Ottobrunn) herausgebildet. Wir danken ihnen für die gute Zusammenarbeit. Ebenso danken wir allen Teilnehmenden der *Tiroler Spurensuche* zum Thema *Metallisierung* (Bozen/Schwaz/Hall, 18. bis 21. Mai 2017) für ihre Ideen. Etwaige Fehler in unserer Argumentation sind allein uns zuzurechnen.

Literatur

acatech – Deutsche Akademie der Wissenschaften, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Hrsg.). 2017. *Rohstoffe für die Energiewende: Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung*. Berlin: acatech.

Achzet, B. et al. 2011. *Materials critical to the energy industry. An introduction*. Augsburg: Universität Augsburg.

Angerer, G. et al. 2016. *Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft, Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse*. München: acatech – Deutsche Akademie der Wissenschaften.

Bardi, U. 2013. *Der geplünderte Planet. Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen*. München: oekom.

Capurro, R. 2017. *Homo digitalis. Beiträge zur Ontologie, Anthropologie und Ethik der digitalen Technik*. Wiesbaden: Springer VS.

David, M., M. Wallkamm, A. Bleicher. 2017. Die Rohstoffversorgung für die Energiewende: Nicht nur auf technologische Lösungen setzen! *GAIA* 26/2: 84–88.

3 Einen ästhetischen Einstieg in das Periodensystem und dessen Elemente bietet Gray (2010). Das Plakat der Infografik in der Zeitschrift *movum – Briefe zur Transformation* mit dem Titel *Periodensystem der kritischen Elemente* (13/2016 *Ressourcen und Macht*) veranschaulicht die Nutzung aller Elemente des Periodensystems: www.movum.info/images/ausgaben/heft13/heft13-infografik.pdf. Ähnlich vertreibt die *Süddeutsche Zeitung* ein Plakat *Elemente des Lebens*: <https://szshop.sueddeutsche.de/Kunst-Design/Poster-Geschenkpapiere/Poster-Periodensystem/Poster-Periodensystem-Die-Elemente-des-Lebens.html>.

4 Entgegen einer vielfach verbreiteten Vorstellung, dass Digitalisierung und virtuelle Welten zu einer Entmaterialisierung führen, werden Metalle noch wichtiger (zur *Zwei-Welten-Lehre* siehe Capurro 2017).

Exner, A., M. Held, K. Kümmerer (Hrsg.). 2016. *Kritische Metalle in der Großen Transformation*. Berlin: Springer.

Gray, T. 2010. *Die Elemente. Bausteine unserer Welt*. Köln: Fackelträger.

Hagelüken, C. 2017. Bedeutung des EU-Kreislaufwirtschaftspakets für das Metallrecycling. *Chemie Ingenieur Technik* 89/1–2: 17–28.

Held, M. 2016. Framing als Analysemodell und Gestaltungsfrage. *Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau* März: 60–63.

Held, M., R. Jenny, M. Hempel (Hrsg.). Im Erscheinen. *Materielle Voraussetzungen unserer Zivilisation. Von Ötzi's Kupferbeil zum Smartphone im All Metals Age*. München: oekom.

Kümmerer, K. 2016. Konzentration, Funktionalität und Dissipation – Grundkategorien zum Verständnis der Verfügbarkeit metallischer Rohstoffe. In: *Kritische Metalle in der Großen Transformation*. Herausgegeben von A. Exner, M. Held, K. Kümmerer. Berlin: Springer. 53–86.

Langmuir, C. H., W. Broecker. 2012. *How to build a habitable planet. The story of Earth from the big bang to humankind*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Reller, A. 2013. Ressourcenstrategie oder die Suche nach der tellurischen Balance. In: *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*. Herausgegeben von A. Reller et al. Darmstadt: WBG. 211–219.

Roberts, B. W., C. P. Thornton (Hrsg.). 2015. *Archaeometallurgy in global perspective. Methods and syntheses*. New York: Springer.

Schindler, J. 2016. Die energetischen Voraussetzungen der Stoffwende und das Konzept des EROEI. In: *Kritische Metalle in der Großen Transformation*. Herausgegeben von A. Exner, M. Held, K. Kümmerer. Berlin: Springer. 317–334.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen). 2012. *Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt*. Berlin: Erich Schmidt.

Stöllner, T., K. Oeggel (Hrsg.). 2015. *Bergauf bergab. 10.000 Jahre Bergbau in den Ostalpen*. Bochum: Verlag Marie Leidorf.

Vogel, M. 2012. *Lange Nase für die Chinesen*. www.wissenschaft.de/archiv/-/journal_content/56/12054/1606061/Lange-Nase-f%C3%BCr-die-Chinesen (abgerufen 16.10.2017).

von Gleich, A., R. U. Ayres, S. Gößling-Reisemann (Hrsg.). 2006. *Sustainable metals management. Securing our future – Steps towards a closed loop economy*. Dordrecht: Springer.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). 2011. *Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten*. Berlin: WBGU.

WBGU. 2016. *Der Umzug der Menschheit. Die transformative Kraft der Städte. Hauptgutachten*. Berlin: WBGU.

Wehling, E. 2016. *Politisches Framing. Wie eine Nation sich ihr Denken einredet – und daraus Politik macht*. Köln: Herbert von Hellem.

Wellmer, F.-W., J. Gutzmer, J. Kullik, B. Erlach. 2017. Die Energiewende braucht verlässliche Rahmenbedingungen für den Metallergbergbau. *GAIA* 26/3: 233–236.

Zittel, W. 2016. Die geologische Verfügbarkeit von Metallen am Beispiel Kupfer. In: *Kritische Metalle in der Großen Transformation*. Herausgegeben von A. Exner, M. Held, K. Kümmerer. Berlin: Springer. 87–108.

Martin Held

Geboren 1950 in Nördlingen. Studium der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften an der Universität Augsburg. Ehemals Studienleiter für Wirtschaft und nachhaltige Entwicklung an der Evangelischen Akademie Tutzing. Koordinator Gesprächskreis *Die Transformateure*.



Jörg Schindler

Geboren 1943 in Augsburg. Studium der Wirtschaftswissenschaften. Ehemals Geschäftsführer der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. Mitglied Gesprächskreis *Die Transformateure*.

