



HAL
open science

Integration of Technologies for Greater Transparency in Supply Chains

Paulina Fernández Muñoz, Michael Tost, Valentina Dietrich, Frank Melcher, Wolfram Kloppmann

► **To cite this version:**

Paulina Fernández Muñoz, Michael Tost, Valentina Dietrich, Frank Melcher, Wolfram Kloppmann. Integration of Technologies for Greater Transparency in Supply Chains. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 2024, 10.1007/s00501-024-01448-6 . hal-04509974

HAL Id: hal-04509974

<https://brgm.hal.science/hal-04509974>

Submitted on 18 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Berg Huettenmaenn Monatsh
<https://doi.org/10.1007/s00501-024-01448-6>
© The Author(s) 2024

BHM Berg- und
Hüttenmännische
Monatshefte

Integration von Technologien für mehr Transparenz in Lieferketten

Paulina Fernández Muñoz¹, Michael Tost¹, Valentina Dietrich², Frank Melcher² und Wolfram Kloppmann³

¹Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

²Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

³BRGM, French Geological Survey, Orléans, Frankreich

Eingegangen 6. Februar 2024; angenommen 16. Februar 2024

Zusammenfassung: In den vergangenen Jahren hat das wachsende globale Bewusstsein über die Bedeutung ethischer und nachhaltiger Praktiken in der Lieferkette zur Schaffung von Gesetzen geführt, die Unternehmen, auch in der Bergbauindustrie, dazu bringen sollen, ihre Transparenz zu erhöhen und mit gebührender Sorgfalt zu handeln. Ein Fokus liegt dabei insbesondere auf jenen Firmen, die zu den Lieferketten kritischer Rohstoffe gehören, welche für verschiedene Industriezweige wie Energie und Hochtechnologie unerlässlich sind. Mit Blick auf unternehmerische Verantwortung und Forderungen nach nachhaltigen Praktiken entstand das EU-Projekt MaDiTraCe, das darauf abzielt, fortschrittliche Rückverfolgbarkeitslösungen zu implementieren. Durch einen multidisziplinären Ansatz sucht dieses Projekt, Technologien für die effektive Zertifizierung und Nachverfolgung von Mineralien von ihrem Ursprung bis zum Recycling zu entwickeln. Der Ansatz von MaDiTraCe beinhaltet die Kombination fortgeschrittener Technologien zur Materialrückverfolgbarkeit, wie einen mineralogisch-(isotopen)chemischen Material-Fingerabdruck und künstliche Kennzeichnung, sowie die Schaffung eines Zertifizierungssystems, das in einen digitalen Produkt-Pass mündet. Das Projekt konzentriert sich einerseits auf die Lieferketten von Magneten, Batterien, insbesondere in der Automobilindustrie und der nachhaltigen Stromerzeugung, und andererseits auf bestimmte kritische Rohstoffe: Lithium, Kobalt, natürlichen Graphit und Seltene Erden, mit einem besonderen Fokus auf Neodym. Es wird erwartet, dass MaDiTraCe eine signifikante Verbesserung in der Transparenz der Lieferketten bringen kann, was eine ethische und nachhaltige Beschaffung von Rohstoffen erleichtert.

Schlüsselwörter: Rückverfolgbarkeit, Lieferketten, Sorgfaltspflichten, Kritische Rohstoffe

Integration of Technologies for Greater Transparency in Supply Chains

Abstract: In today's context, the growing global awareness of the importance of ethical and sustainable practices in the mining industry has motivated the creation of laws, pushing companies to increase transparency and act with due diligence, particularly those within the supply chains of critical minerals essential for various technological and energy industries. With this focus on corporate social responsibility and demands for sustainable practices, the EU project MaDiTraCe emerged, aiming to implement advanced traceability solutions. Through a multidisciplinary approach, this project seeks to develop technologies for effective certification and tracking of minerals from their origin to recycling. MaDiTraCe's approach is being developed by investigating advanced material traceability technologies, such as mineralogical-chemical and isotopic material fingerprinting and artificial labeling, as well as creating a certification system to form a digital product passport. The project focuses on the supply chains of magnets, batteries, particularly in the automotive industry and sustainable power generation, and on certain critical raw materials: lithium, cobalt, natural graphite, and rare earths, with a special focus on neodymium. MaDiTraCe's approach is expected to represent a significant improvement in supply chain transparency, facilitating ethical and sustainable sourcing of raw materials.

Keywords: Traceability, Supply Chains, Due diligence, Critical raw materials

Mag. P. Fernández Muñoz (✉)
Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft,
Montanuniversität Leoben,
Leoben, Österreich
paulina.fernandez-munoz@unileoben.ac.at

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurden global und in der EU gesetzliche Maßnahmen getroffen bzw. eingeleitet, um die Transparenz der globalen Lieferketten für mineralische Rohstoffe zu erhöhen und die Betriebe in diesen Lieferketten dazu zu bringen, gebührende Sorgfalt („due dilligence“) walten zu lassen [1]. Diese Veränderung wurde durch ein wachsendes globales Bewusstsein der Bedeutung ethischer und nachhaltiger Praktiken verstärkt. Die zunehmend informierten, umwelt- und sozialbewussten Verbraucher fordern Aufklärung über die Herkunft der von ihnen erworbenen Produkte. Sie suchen nach Garantien, dass die in ihren Produkten verwendeten Rohstoffe nicht mit bewaffneten Konflikten, Kinderarbeit, Arbeitsausbeutung oder unsicheren Arbeitsbedingungen in Verbindung stehen. Die Rückverfolgbarkeit, definiert als die Fähigkeit, den Herkunftsort, den Transport, den Herstellungsprozess oder die Nutzung eines Produkts durch dokumentierte und registrierte Identifikation zu authentifizieren [2, 3], wird in diesem Kontext zu einem Schlüsselaspekt. Die Sicherung der Lieferkette eines Produktes ist eine grundlegende Anforderung an Unternehmen, die das Vertrauen der Verbraucher bewahren und eine immer strengere Gesetzgebung erfüllen wollen. Dies beinhaltet eine enge Zusammenarbeit mit verantwortungsbewussten Lieferanten, um faire Arbeitspraktiken und ein umweltbewusstes Management zu gewährleisten. Indem die Unternehmen ihre Lieferanten und deren Arbeitsmethoden genau kennen, schaffen sie nicht nur nachhaltigere Produkte, sondern können auch die damit verbundenen höheren Preise rechtfertigen und eine informierte Entscheidungsfindung unter den Verbrauchern fördern [4].

Trotz Fortschritten und bestehenden Ansätzen, die individuelle Firmenlösungen (z.B. Apple mit seiner Initiative „Blockchain Traceability“ [5]), Zertifizierungssysteme (z.B. RJC [6], IRMA [7] und ASI [8, 9]) und Methoden zur Demonstration von Transparenz (z.B. Analysemethoden [10, 11] und technologische Instrumente wie die Blockchain [12]) umfassen, präsentieren sich viele dieser Initiativen als fragmentierte Lösungen ohne ganzheitlichen Ansatz. Dies wird durch die Komplexität der Lieferketten verschärft, die oft mehrere Mineralien unterschiedlicher Herkunft und deren nachfolgende Verarbeitung umfassen. Diese Komplexität stellt eine bedeutende Herausforderung für die Digitalisierung und effektive Nachverfolgung dar. MaDiTraCe zielt darauf ab, diese Herausforderungen zu lösen, indem es die Zuverlässigkeit der Rückverfolgung kritischer Rohstoffe (CRM) von ihrer Gewinnung bis zum Recycling stärkt.

2. Das MaDiTraCe-Projekt – Materielle und digitale Rückverfolgbarkeit in der Europäischen Union

Das Projekt MaDiTraCe (Material and Digital Traceability for the Certification of Critical Raw Materials), ein von HORIZON EUROPE finanziertes Forschungsprojekt, wurde 2023 gestartet. Ziel ist es, das Portfolio an technologischen Lösungen für die Rückverfolgbarkeit und Zertifizierung der komplexen Lieferketten kritischer Rohstoffe, wie Kobalt, Lithium, Naturgraphit und Seltene Erden, zu erweitern und zu integrieren, um einen digitalen Produkt-Pass (DPP) zu entwickeln, in Übereinstimmung mit dem digitalen Produkt-Pass der Europäischen Union. Zur Erreichung dieser Ziele konzentriert sich das Projekt auf fünf Schlüsselziele [13]:

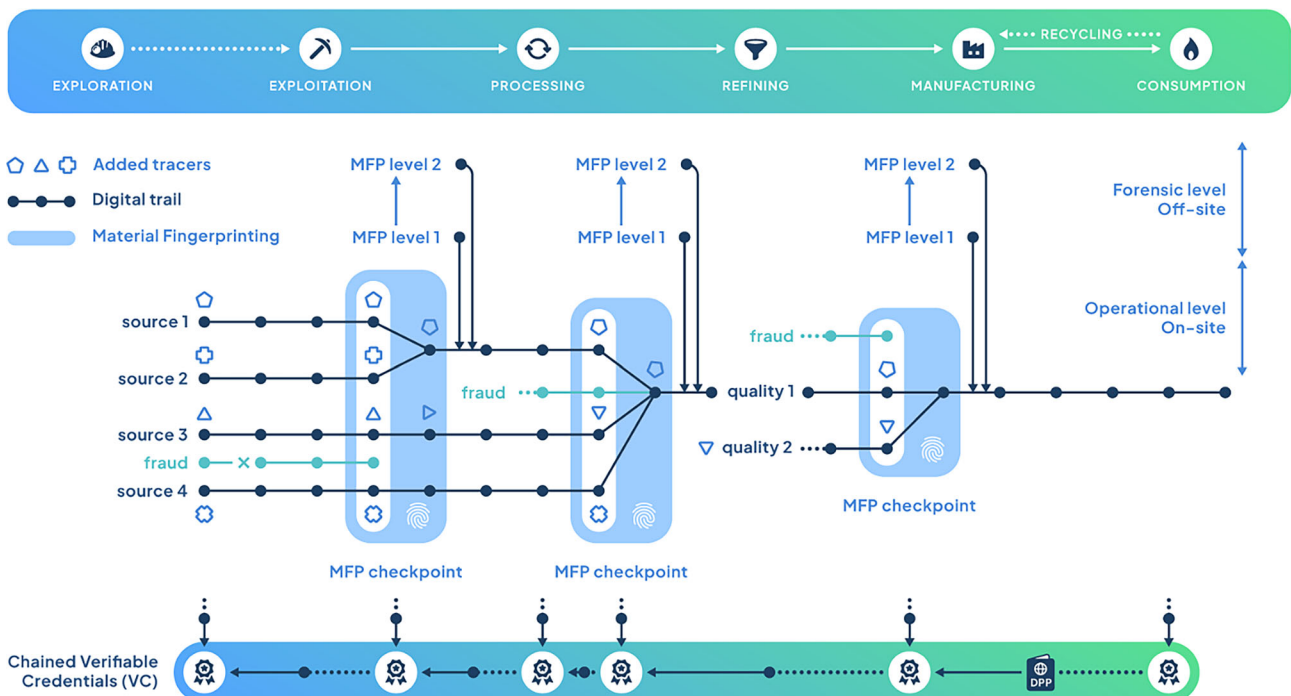


Abb. 1: Konzeptioneller Überblick über das MaDiTraCe-Projekt. (Quelle: MaDiTraCe)

1. Identifikation von Lücken in den aktuellen Sorgfaltspflichten und Bewertung der Bedürfnisse der Fertigungsindustrie in Bezug auf die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards und gesetzlichen Regelungen.
2. Entwicklung und Test eines Portfolios digitaler, mineralogischer und geochemischer technologischer Lösungen zur Stärkung der Transparenz und Rückverfolgbarkeit komplexer CRM-Lieferketten.
3. Integration dieser Lösungen in ein generisches Zertifizierungsschema für CRM-Lieferketten vom Bergbau bis zu den hergestellten und recycelten Produkten.
4. Integration technologischer Lösungen in einen digitalen Produkt-Pass unter Verwendung eines dezentralisierten Ansatzes.
5. Förderung der Übernahme, Implementierung und Nutzung der Projekttechnologien und des Zertifizierungsschemas durch Industrie und Endnutzer.

Abb. 1 bietet eine grafische Übersicht des Projekts und seiner Interventionen in allen Phasen der Lieferkette, von der Exploration bis zum Recycling, durch die Implementierung analytischer sowie digitaler Ansätze zur Zertifizierung der verschiedenen Abschnitte der Lieferketten.

Die folgenden Abschnitte beschreiben den allgemeinen Kontext der Projektentwicklung, mit einem Fokus auf Sorgfaltspflicht und Transparenz in der Lieferkette. Zudem werden die verwendeten Methoden erläutert.

3. Sorgfaltspflicht und Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette

Im aktuellen Umfeld ist das Bedürfnis nach Transparenz und Verantwortlichkeit in den Lieferketten relevanter denn je. Die Sorgfaltspflicht hat sich zu einem kritischen Bestandteil entwickelt, um die Integrität und Nachhaltigkeit der Geschäftstätigkeiten von Firmen zu sichern. Die Sorgfaltspflicht wird definiert als die Prozesse, durch die Unternehmen ihre tatsächlichen und potenziellen negativen Auswirkungen identifizieren, verhindern, minimieren und Rechenschaft darüber ablegen können [14]. Die Rückverfolgbarkeit ergänzt die Sorgfaltspflicht, indem sie ein detailliertes System zur Nachverfolgung des Ursprungs, der Transformationen und des Transports eines Produktes entlang der Lieferkette bereitstellt. Dies ermöglicht es Unternehmen und Interessengruppen, die Einhaltung von Vorschriften und Standards zu überprüfen und sicherzustellen, dass die Produkte verantwortungsvoll beschafft und verarbeitet werden.

Die Implementierung verschiedenster Regelungen und die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure waren entscheidend für die Stärkung der Sorgfaltspflicht in den letzten Jahren. Herausragend ist dabei die „Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains“ [15] der OECD. Diese Richtlinie bietet Unternehmen Anleitungen, wie Menschenrechte respektiert werden können und wie zur Vermeidung von Konflikten und Missbrauch im Zusammenhang mit ihrem Rohstoffbezug beigetragen werden kann. Weitere Initiativen und Projekte, die in diesem Bereich in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen haben, sind die „Global Battery

Alliance“ [16], die das Ziel verfolgt, bis 2030 ein Batterienetz zu etablieren, sowie die „Extractive Industries Transparency Initiative“ (EITI) [17], die darauf abzielt, die Verwaltung („governance“) natürlicher Ressourcen zu verbessern und sowohl in der öffentlichen Verwaltung als auch in Unternehmen Transparenz und Sorgfaltspflichten zu stärken.

Auch im legislativen Bereich wurden in jüngster Zeit Vorschriften vorangetrieben, die Unternehmen betreffen. Darunter stehen die „Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries“ [18] hervor, die darauf abzielt, die Effizienz und Nachhaltigkeit von Batterien über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg zu verbessern, sowie der Entwurf „Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Corporate Sustainability Due Diligence“ [19], der darauf abzielt, Menschenrechte und Umweltbelange in Betriebsabläufe und Unternehmensführung zu integrieren, um nachhaltige und verantwortungsvolle Geschäftspraktiken zu fördern, hervor. Parallel dazu repräsentieren der Entwurf „Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials“ [20] (CRM Act) und der Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act [21] bedeutende Anstrengungen zur Verbesserung der Transparenz und Verantwortlichkeit bei der Beschaffung von mineralischen Rohstoffen.

Insbesondere im Bereich der Rückverfolgbarkeit konzentrieren sich aktuelle Interventionen darauf, die Fähigkeit zur Nachverfolgung und Überprüfung entlang der Lieferketten zu verbessern. Diese Initiativen reichen von der Nutzung fortschrittlicher Technologien bis hin zur Implementierung von Standards und Zertifizierungen, die die ethische Herkunft der Materialien garantieren. Obwohl kürzlich Lösungen eher für die Rückverfolgbarkeit von kritischen mineralischen Rohstoffen entwickelt wurden, gibt es auch Beispiele in anderen Sektoren wie Forstwirtschaft, Textilindustrie und Lebensmittel. Diese Sektoren wenden Standards und fortschrittliche Methodologien an, um Transparenz entlang ihrer jeweiligen Lieferketten zu gewährleisten. Beispiele hierfür sind „Forest Stewardship Council“ [22], TextileGenesis™ [23] und „Oritain“ [24]. Diese Beispiele werden auch in MaDiTraCe als mögliche Lösungsansätze für mineralische Rohstoffe berücksichtigt.

4. Ansätze zur Rückverfolgbarkeit

Um die Transparenz in der gesamten Lieferkette zu verbessern, ist die Implementierung ganzheitlicher Lösungen, die sowohl die digitale und sichere Dokumentenverfolgung als auch die physische Rückverfolgung der Materialien umfassen, unerlässlich. Die Integration dieser Strategien im Rahmen des Projekts MaDiTraCe, im Einklang mit den digitalen Produkt-Pässen der Europäischen Union, wird einen Präzedenzfall in der Rückverfolgbarkeit und Zertifizierung wesentlicher Materialien schaffen. Diese Methodenkombination soll eine zuverlässige und transparente Lösung bieten und einen bedeutenden Fortschritt in der Rückverfolgbarkeit und Authentifizierung kritischer Rohstoffe darstellen.

In den folgenden Abschnitten werden weitere detaillierte Informationen über diese Ansätze dargestellt.

4.1 Chemische und analytische Methoden

Im Projekt MaDiTraCe werden chemische und analytische Methoden mit etablierten und neuen Verfahren kombiniert. Wichtig ist dabei die Entwicklung von Material-Fingerabdrücken (MFP), ein Konzept, das die inhärenten Eigenschaften der Materialien nutzt, einschließlich mineralogischer, geochemischer, optischer und textueller Merkmale. Ergänzend zu diesem Ansatz wird MaDiTraCe auch künstliche Kennzeichnung mit codierten mikroskopischen Partikeln erforschen. Diese Methodik, in Kombination mit MFP, soll einen doppelten Schutz für die Rückverfolgbarkeit bieten und Herausforderungen wie den Verlust oder die Vermischung von Informationen in den Lieferketten überwinden. Um die Validierung und Konformitätskontrolle jener Methoden zu gewährleisten, wird das Projekt auf maschinelles Lernen und statistische Analysen zurückgreifen, um die Integrität und Authentizität der Informationen entlang der Lieferketten sicherzustellen.

4.2 Digitale Zertifizierungsansätze

Das Projekt MaDiTraCe entwickelt und vervollständigt das CERA 4in1-Zertifizierungssystem [25], das einen umfassenden Rahmen für die Rückverfolgbarkeit von Rohstoffen von der Exploration bis zur endgültigen Kennzeichnung bietet und für Betriebe unterschiedlicher Größe anwendbar ist. Diese Zertifizierung umfasst Aspekte der sozialen und ökologischen Verantwortung, welche durch einen Auditprozess extern bewertet werden.

In MaDiTraCe ist geplant, die in solchen Zertifizierungssystemen traditionell manuell und mit Papierdokumentation durchgeführten Aktivitäten zu digitalisieren. Dazu sollen Online-Plattformen, smarte Sensoren, „Internet of Things“, künstliche Intelligenz und Blockchain-Technologie getestet und gegebenenfalls integriert werden. All diese Informationen sollen letztendlich in einem digitalen Pass, vergleichbar mit dem EU-Batteriepass, zusammengeführt werden. Somit werden in diesem digitalen Pass die zertifizierten Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts gesammelt. Die Erstellung dieses Passes wird durch die Verwendung von Blockchain-Technologien erleichtert, die den Austausch von zertifizierten Daten zwischen den einzelnen Akteuren der Lieferkette ermöglichen.

5. Rolle der Montanuniversität Leoben im MaDiTraCe-Projekt

Die für die angeführten Ansätze zur Rückverfolgbarkeit notwendigen Analysen werden vom Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenkunde für Grafit durchgeführt. Im Falle des Rohstoffs Grafit enthalten diese Datenbanken georeferenzierte Informationen, wie Kohlenstoffisotopiewerte,

Spurenelementgehalte und Struktureigenschaften sowie Bildungstemperaturen der jeweiligen Lagerstätte.

Der analytische Herkunftsnachweis bezieht sich stets auf den Vergleich einer unbekannt Probe eines Rohstoffs mit den in der Datenbank vorhandenen Informationen. Material unbekannter Herkunft kann mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten einer anderen Probe und somit einer geografischen Herkunft zugeordnet werden. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Datenbank kontinuierlich zu aktualisieren und neue Materialien in diese Datenbank einfließen zu lassen. Der analytische Herkunftsnachweis stellt die einzige Methodik in diesem Projekt dar, die sich direkt auf die inhärenten Eigenschaften des Rohstoffs bezieht.

Der Beitrag des Lehrstuhls für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft ist weiterhin die Entwicklung einer Wissensbasis über den aktuellen Stand der Sorgfaltspflicht in der Lieferkette von primären und sekundären mineralischen Rohstoffen in der Industrie, der Zivilgesellschaft und der Politik, einschließlich einer Analyse der Stärken und Schwächen der wichtigsten Standards und Zertifizierungsmethoden und einer abschließenden vergleichenden Analyse der Standards, insbesondere des CERA 4in1-Standardsystems, mit den gesetzlichen Anforderungen.

6. Schlussfolgerungen

Das Projekt MaDiTraCe wird bedeutende Fortschritte in der Verbesserung der Rückverfolgbarkeit und Zertifizierung kritischer Rohstoffe wie Kobalt, Lithium, Naturgraphit und Seltenen Erden erzielen. Lücken in den Sorgfaltspflichtpraktiken werden durch die Entwicklung fortschrittlicher technologischer Lösungen geschlossen und somit wird eine transparente und nachhaltige Lieferkette gewährleistet. Ein Hauptpunkt zur Verbesserung der Transparenz und Rückverfolgbarkeit in den Lieferketten ist dabei der Wechsel von manuellen Prozessen auf ein vollständig digitalisiertes System. Dieser Übergang wird eine bessere Überprüfung der Einhaltung diverser Vorgaben erleichtern und das Vertrauen von Geschäftspartnern und Verbrauchern stärken.

Darüber hinaus wird das Projekt fortschrittliche Technologien zur Materialrückverfolgbarkeit entwickeln, wie den Material-Fingerabdruck und die Kennzeichnung mit künstlichen Markierungsstoffen, und diese in ein Zertifizierungssystem zur Erstellung eines digitalen Produkt-Passes implementieren. Dies wird die Authentizität und Integrität der Informationen entlang der Lieferketten besser absichern. MaDiTraCe kann damit einen bedeutenden Beitrag zu Nachhaltigkeit und unternehmerischer Verantwortung leisten – im Einklang mit internationalen Initiativen und Vorschriften und als Antwort auf die wachsende Forderung nach Transparenz in der Verwaltung mineralischer Rohstoffe.

Danksagung. Dieser Artikel basiert auf Projektberichten des Projekts MaDiTraCe, das durch das Horizon Research and Innovation Program der Europäischen Union finanziert wird [Grant number 101091502/Topic: HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01].

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namens-

nennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Ooms, M.E.A.A.M.: Risk-based due diligence reporting in global mineral supply chains and the rule through transparency. *Theory Pract. Legislation* **10**, 48–66 (2022). <https://doi.org/10.1080/20508840.2022.2033943>
- ISEAL Alliance: Chain of custody models and definitions (2016). https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL_Chain_of_Custody_Models_Guidance_September_2016.pdf. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- IRMA: Chain of custody standard for responsibly mined materials (2020). <https://responsiblemining.net/wp-content/uploads/2020/11/IRMA-Chain-of-Custody-Standard-DRAFTv1.0-October2020.pdf>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- Dietrich, V., Melcher, F.: Mineral raw material supply chain transparency and traceability: does provenance matter in the supply chain? *Berg Huettenmaenn Monatsh* **167**, 594–597 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00501-022-01274-8>
- Apple: Form SD: specialized disclosure report. Washington (2022)
- RJC: Standards. <https://www.responsiblejewellery.com/standards/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- IRMA: Standard. <https://responsiblemining.net/what-we-do/standards/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- ASI: ASI Chain of Custody (CoC) (2023). <https://aluminium-stewardship.org/asi-standards/chain-of-custody-standard>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- ASI: ASI performance standard. <https://aluminium-stewardship.org/asi-standards/performance-standard>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- Melcher, F., Dietrich, V., Gäbler, H.-E.: Analytical proof of origin for raw materials. *Minerals* **11**, 461 (2021). <https://doi.org/10.3390/min11050461>
- Desautly, A.-M., Monfort Climent, D., Lefebvre, G., Cristiano-Tassi, A., Peralta, D., Perret, S., Urban, A., Guerrot, C.: Tracing the origin of lithium in Li-ion batteries using lithium isotopes. *Nat Commun* **13**, 4172 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31850-y>
- TraceMet: Project: TraceMet—Traceable metals for a sustainable future. <https://www.svemin.se/en/project-traceable-metals-for-a-sustainable-future/#:~:text=The%20purpose%20of%20TraceMet%20is,report%20from%20the%20pilot%20study>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- MaDiTraCe: Material & digital traceability for CRM certification. <https://www.maditrace.eu/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- European Commission: Due diligence explained. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/due-diligence-report/due-diligence-explained_en. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- OECD: OECD due diligence guidance for responsible supply chains of minerals from conflict-affected and high-risk areas. OECD Publishing, Paris (2016)
- GBA: Establishing a sustainable and responsible battery value chain. <https://www.globalbattery.org/>. Zugegriffen: 27. Jan. 2024
- EITI: Extractive industries transparency initiative (EITI). <https://eiti.org/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- European Commission: Regulation (EU) 2023/ of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. (2023).
- European Commission: Proposal for a directive of the European parliament and of the council on corporate sustainability due diligence and amending directive (Eu) 2019/1937. European Commission, Brussels (2022)
- European Commission: Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/102. European Commission, Brussels (2023)
- U.S. Congress: Dodd-Frank wall street reform and consumer protection act (2010)
- FSC: What is FSC?. <https://uk.fsc.org/what-is-fsc>. Zugegriffen: 27. Jan. 2024
- TextileGenesis: Creating traceable, transparent, sustainable, digital supply chains. <https://textilegenesis.com/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- ORITAIN: ORITAIN. <https://oritain.com/>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024
- CERA4in1: The Certification of raw materials. <https://www.maditrace.eu/cera4in1>. Zugegriffen: 26. Jan. 2024

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.