

*Entwicklung eines Modells zur Ermittlung der Ökobilanz und des
Carbon Footprints von Edelmetallen*

Zusammenfassung

von

Prof. Dr. Mario Schmidt und Benjamin Fritz, M.Sc.,
Institut für Industrial Ecology (INEC) der Hochschule Pforzheim

Im Auftrag von

C.HAFNER GmbH + Co. KG

Pforzheim, Mai 2022

Unternehmen

Die Firma C.Hafner ist eine Goldscheideanstalt mit Sitz im Enzkreis bei Pforzheim. Sie recycelt Edelmetall-Schrott (Traditioneller Name: Scheidgut) der bereits eine Nutzungsphase hinter sich hat (End-Of-Life Scrap) und edelmetallhaltige Abfälle (Traditioneller Name : Gekrätz). Zu Reinstoffen aufbereitet werden dabei neben Gold auch Silber, Platin und Palladium. Diese vier Edelmetalle werden aus den *hochkarätigen Schrotten* und den *niederhaltigen Gekräzten* zurückgewonnen. Die hochkarätigen Schrotte werden hydrometallurgisch aufbereitet. Das wichtigste Verfahren stellt dabei der Königswasser-Prozess dar. Das Gekrätz besteht neben dem Edelmetallanteil aus nicht werthaltigem Material wie z.B. Polierlappen oder Kehrlicht. Es wird bei C.Hafner verascht und der Großteil der zurückbleibenden edelmetallhaltigen Asche wird von einem externen Dienstleister aufbereitet. Die Edelmetalle gehen in verschiedener Form, z.B. als Barren oder Granalien, insbesondere an industrielle Kunden, die die Metalle weiterverarbeiten.

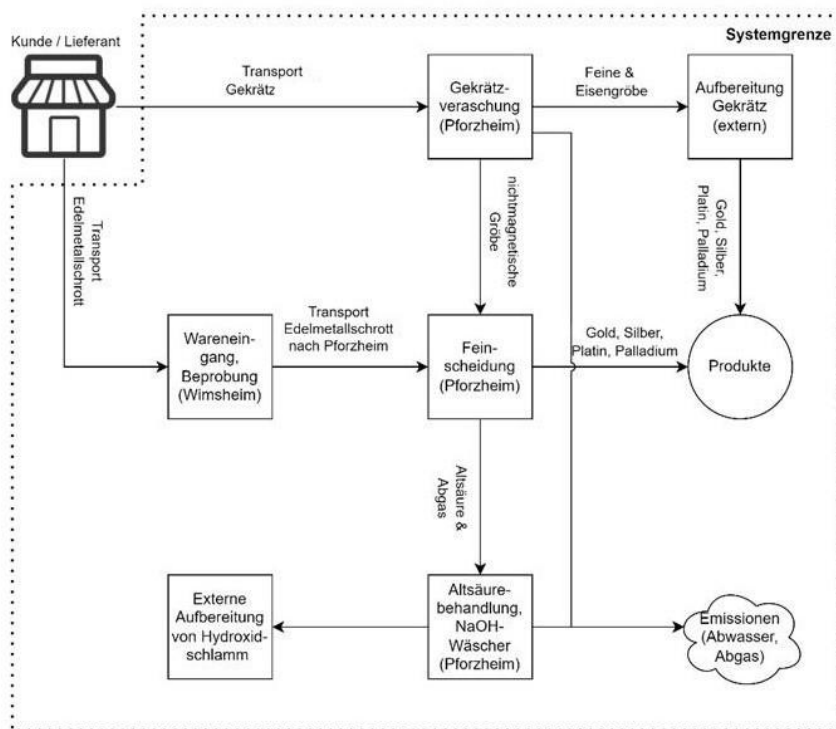
Studie

Bereits 2018 hat C.Hafner im Rahmen eines BMBF-geförderten Forschungsprojektes zusammen mit dem INEC den ökologischen Fußabdruck seiner Gold-Rückgewinnung berechnet. Diese Zahlen gingen in Fachveröffentlichungen ein (Fritz et al. 2020). 2021 wurde die Hochschule Pforzheim beauftragt, diese Studie um die Bilanzierung der Rückgewinnung der anderen Edelmetalle zu erweitern sowie die Prozesse in noch höherem Detaillierungsgrad zu modellieren. Es wurde eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment = LCA), einschließlich eines CO₂-Fußabdruckes, für die Aufbereitung von Edelmetallen durch C.Hafner in Übereinstimmung mit den Regeln der ISO EN DIN 14040, 14044 und 14067 erstellt. Der interne Bericht wurde einer kritischen Prüfung gemäß der o.g. ISO-Normen unterzogen, die von Dr. Rolf Frischknecht, treeze Ltd. (CH), durchgeführt wurde.

Ziel und Untersuchungsrahmen

Im Gegensatz zur Primärgewinnung von Edelmetallen aus dem Bergbau ist der ökologische Aufwand beim Recycling von Edelmetallen deutlich geringer, insbesondere dann, wenn hochwertiger Schrott z.B. aus Schmuck, Dentalprodukten oder hochwertigen Industrieprodukten recycelt wird. Das Ziel dieser Studie war, diesen Aufwand beim Recycling von Edelmetallen aufgrund direkter und gemessener Daten genau zu beziffern. Die funktionelle Einheit, also die Bezugsgröße, auf die die Mengenströme sowie der ökologische Aufwand bezogen wurde, sind die produzierten Edelmetallmengen der Firma C.Hafner, also Feingold (Au 99,99 %) in verschiedenen Verarbeitungsformen sowie Silber (Ag 99,9 %), Platin (Pt 99,95 %) und Palladium (Pd 99,95 %). Die Ergebnisse werden in dieser Zusammenfassung pro kg Feinmetall angegeben.

Der Bilanzraum umfasst einerseits alle internen Prozesse bei der Firma C.Hafner, die zur Produktion der Edelmetalle notwendig sind (Foreground-System). Die Datenerhebung erfolgte auf der Basis der konkreten Produktions- und Verbrauchszahlen des Jahres 2020. Dazu kommen alle Prozesse, die zur externen Produktion aller Energie-, Chemikalien- und sonstiger Materialaufwendungen bzw. zur externen Behandlung von Emissionen, Abfälle und Abwasser erforderlich sind. Dazu gehören u.a. die Bereitstellung von elektrischer Energie aus dem deutschen Stromnetz (deutscher Strommix), aber auch die Entsorgung von z. B. Hydroxidschlämmen oder die teilweise externe Veraschung von Gekrätz. Hierfür wurden generische Datensätze aus der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent v.3.7.1 verwendet. Die Berechnung erfolgte mit der Ökobilanz-Software Umberto (Version 11). Es handelt sich also um eine cradle-to-gate-Bilanz.



A1: Untersucht System der Scheideanstalt C.Hafner mit Systemgrenze

Methodische Festlegungen

Da das Eingangsmaterial mehrere Edelmetalle enthält, die im Verlauf der Prozessroute voneinander getrennt werden, treten sogenannte Kuppelprozesse auf. Deshalb muss eine Zurechnung („Allokation“) des Aufwands auf die verschiedenen Produkte erfolgen. Diese Zurechnung erfolgte bei jedem Prozess gesondert und wurde meistens nach ökonomischem Wert der Kuppelprodukte vorgenommen. Ausnahmen waren Prozesse, bei denen eindeutig die Masse die bestimmende Größe für den Aufwand darstellen (z.B. Transporte).

Weitere Festlegungen zu Allokationen sind notwendig, wenn Produkte mehrere Nutzungsphasen haben, was hier infolge des Recyclings der Fall ist. Dann stellt sich die Frage, wie die Primärgewinnung und das Recycling auf die verschiedenen Nutzungsphasen verrechnet werden. Es wurde entschieden, einen sogenannten Cut-off-Ansatz zu verwenden, d.h. das Eingangsmaterial ist nicht mit einem ökologischen Rucksack bzw. Carbon Footprint belastet. Wesentlicher Grund hierfür ist, dass für das Recycling bei C.Hafner entweder End-of-Life-Schrott oder Industrieabfälle (z.B. Stanzabfälle) von eigenen Kunden eingesetzt wird. Letztere erhalten in diesem Fall keine ökologischen Gutschriften für ihren Schrott. Dies muss auch bei Bilanzierung weiterer Verarbeitungsschritte der Edelmetalle berücksichtigt werden: Reststoffe, die an C.Hafner oder andere Scheideanstalten zurückgeliefert werden, erhalten keine Gutschriften. Sie gehen bei C.Hafner „burden free“, d.h. ohne Belastungen in die Bilanz ein.

Bei der ökologischen Wirkungsabschätzung wurde die Methode *Environmental Footprint 2.0* auf midpoint-Basis (<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>) angewendet, wie sie

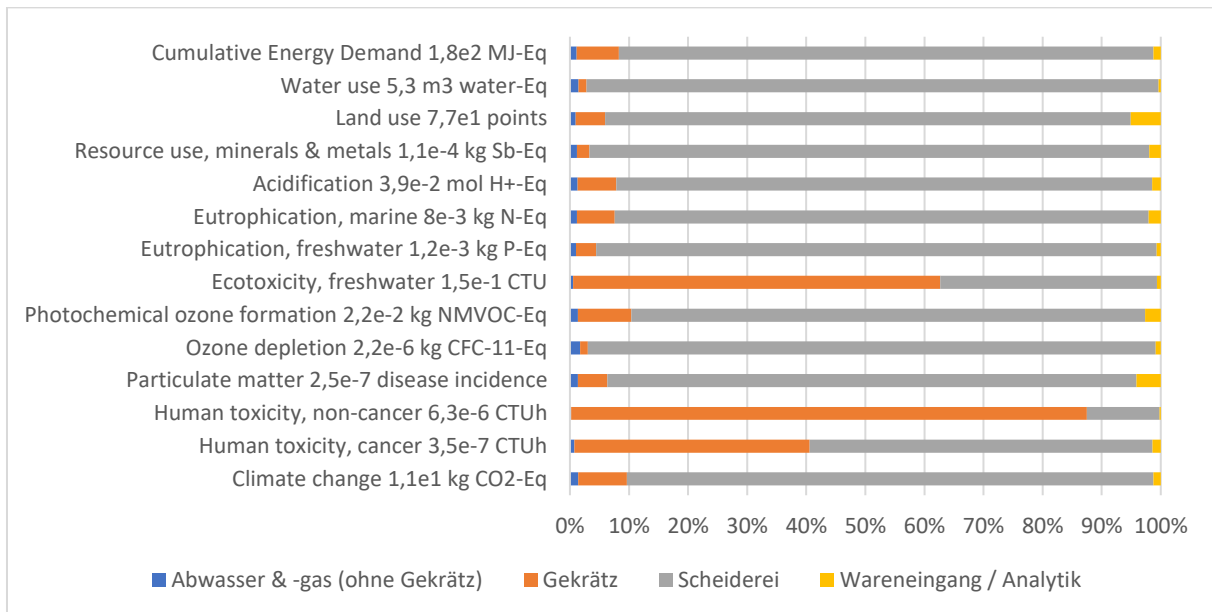
von ecoinvent v3.7.1 und Umberto 11 bereitgestellt wird. Dabei werden die wichtigsten 14 Umweltkategorien berücksichtigt. Der Carbon Footprint basiert auf dem GWP100-Modell nach IPCC 2014.

Ergebnisse

Der Klimafußabdruck pro Kilogramm Edelmetall (Product Carbon Footprint, PCF) beträgt für Silber ca. 11, für Gold ca. 40, für Platin ca. 60 und für Palladium ca. 180 kg CO₂-Äquivalent (siehe Tabelle T1). Dabei werden für alle Edelmetalle etwa 80-90 % des PCF durch den Einsatz von Chemikalien und elektrischer Energie verursacht.

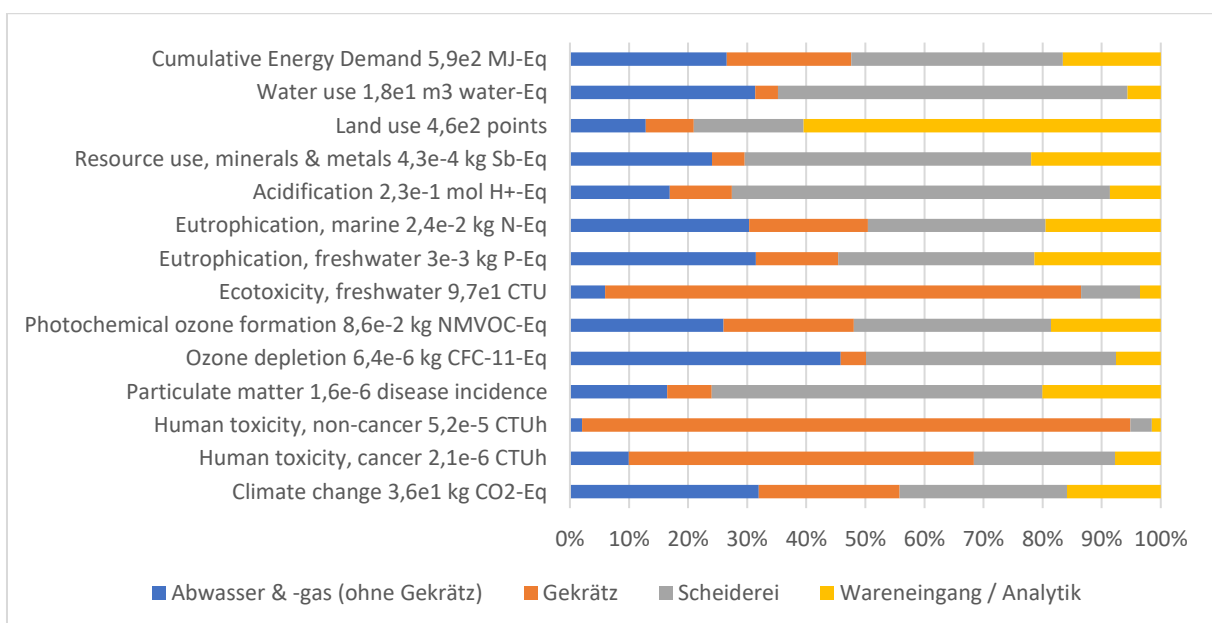
T1: Umweltauswirkungen für die Rückgewinnung der Metalle bei C. Hafner in Einheiten pro kg Feinmetall

Wirkungsindikator	pro kg Metall		Gold			Palladium-plättchen	Platin-plättchen	Einheit
	Silbergranulat	Gußbarren	Prägebarren	Granalien	Granalien			
Climate change	1,10E+01	3,79E+01	4,28E+01	3,63E+01	1,83E+02	5,96E+01	kg CO ₂ -Eq	
Human toxicity, cancer	3,50E-07	2,11E-06	2,20E-06	2,09E-06	7,35E-06	3,64E-06	CTUh	
Human toxicity, non-cancer	6,34E-06	5,21E-05	5,25E-05	5,19E-05	1,46E-04	1,01E-04	CTUh	
Particulate matter	2,50E-07	1,57E-06	1,61E-06	1,56E-06	5,50E-06	1,92E-06	disease incidence	
Ozone depletion	2,24E-06	6,47E-06	6,61E-06	6,43E-06	4,28E-05	1,08E-05	kg CFC-11-Eq	
Photochemical ozone formation	2,20E-02	8,83E-02	9,49E-02	8,62E-02	4,08E-01	1,40E-01	kg NMVOC-Eq	
Ecotoxicity, freshwater	1,45E+01	9,78E+01	9,95E+01	9,73E+01	3,69E+03	6,97E+02	CTU	
Eutrophication, freshwater	1,17E-03	3,19E-03	3,96E-03	2,95E-03	1,36E-02	4,99E-03	kg P-Eq	
Eutrophication, marine	8,02E-03	2,51E-02	2,72E-02	2,44E-02	1,58E-01	4,64E-02	kg N-Eq	
Acidification	3,90E-02	2,35E-01	2,46E-01	2,31E-01	8,57E-01	2,91E-01	mol H ⁺ -Eq	
Resource use, minerals & metals	1,10E-04	4,40E-04	4,82E-04	4,27E-04	2,46E-03	7,16E-04	kg Sb-Eq	
Land use	7,70E+01	4,63E+02	4,86E+02	4,56E+02	1,36E+03	5,22E+02	points	
Water use	5,25E+00	1,87E+01	1,96E+01	1,84E+01	1,27E+02	2,85E+01	m ³ water-Eq	
Cumulative Energy Demand	1,77E+02	6,17E+02	7,03E+02	5,90E+02	3,21E+03	9,98E+02	MJ-Eq	

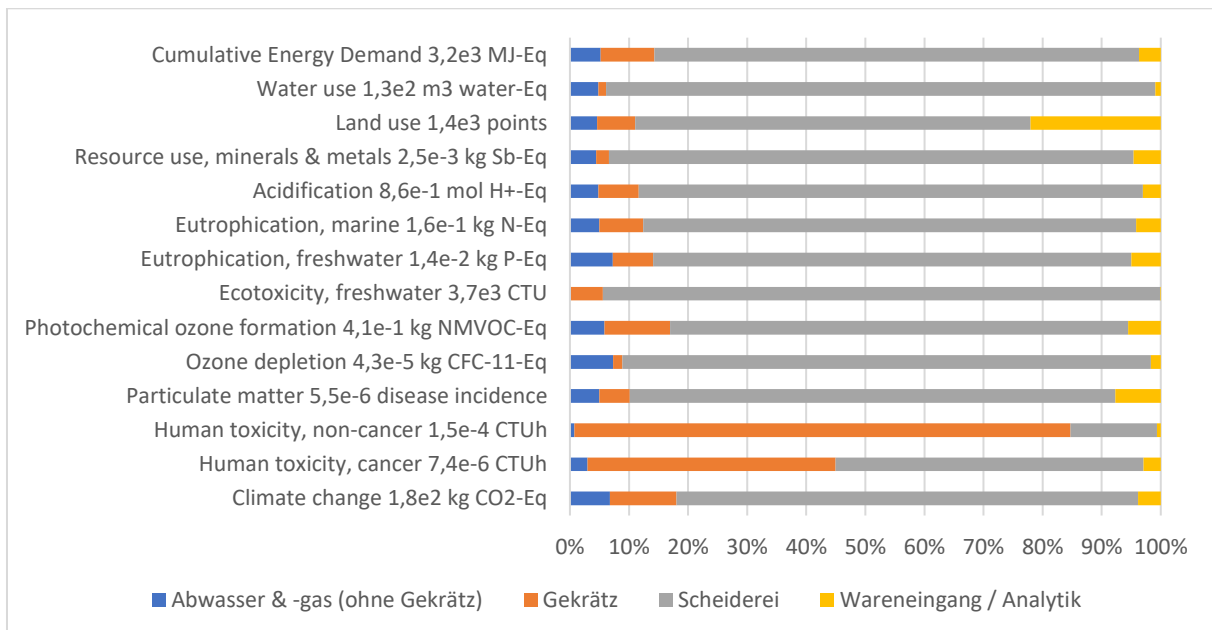


A2: Umweltauswirkungen für die Rückgewinnung von Silber bei C. Hafner (pro kg), unterteilt nach den beitragenden Prozessbereichen

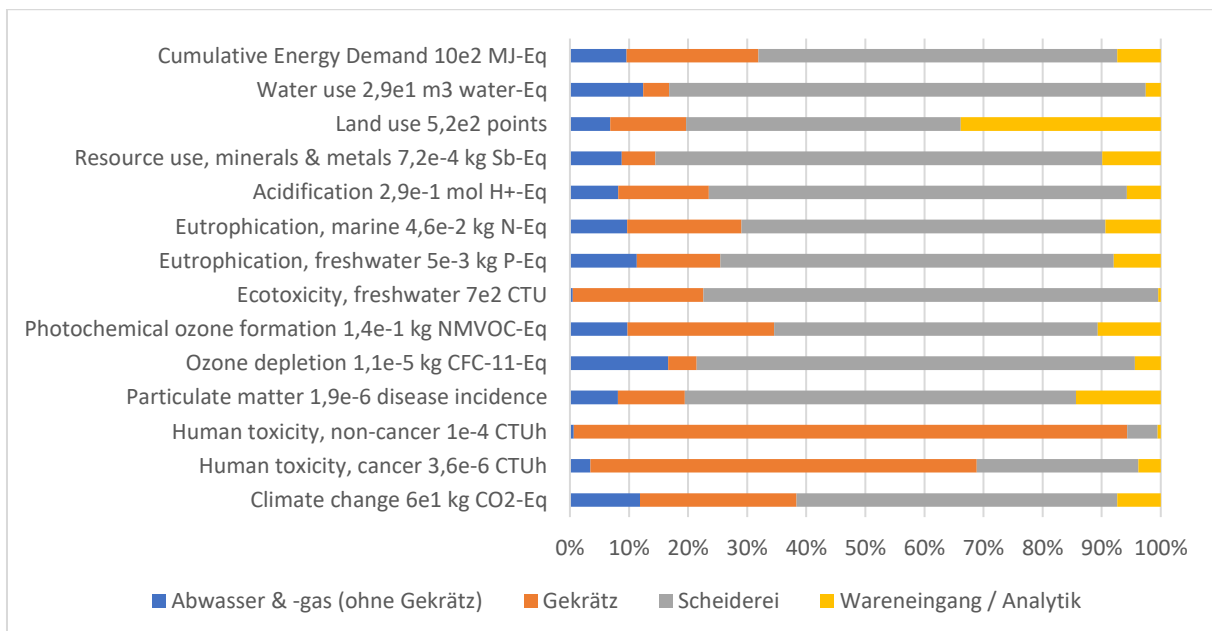
Die Einzelergebnisse für die vier Edelmetalle, nach Prozessbereich unterteilt, sind in den Abbildungen A2-A5 dargestellt. Die Ergebnisse der LCA zeigen, dass in fast allen der 14 untersuchten Umweltkategorien bis auf „Humantoxizität, nicht cancerogen“ die Scheiderei mit ihrer hydrometallurgischen Aufbereitung der Edelmetalle die größten Umweltwirkungen verursachen. Für die meisten Umweltkategorien (elf aus 14) sind dabei die *elektrische Energie* und die *Chemikalien* dominierend. Der hohe Beitrag zur Toxizität resultiert aus der externen Veraschung und Aufbereitung des Gekrätzes, für das konservativ ein generischer Prozess aus der ecoinvent-Datenbank verwendet wurde.



A3: Umweltauswirkungen für die Herstellung von Gold-Granalien aus Schrott und Gekrätz bei C.Hafner (pro kg), unterteilt nach den beitragenden Prozessbereichen



A4: Umweltauswirkungen für Palladium (pro kg), unterteilt nach den beitragenden Prozessbereichen



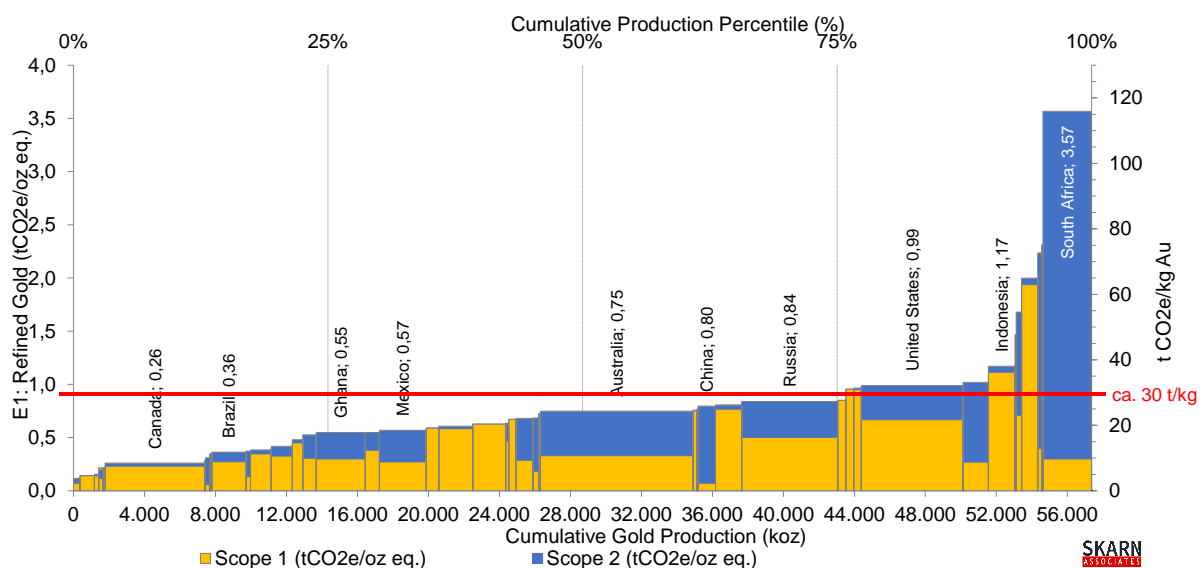
A5: Umweltauswirkungen für Platin (pro kg), unterteilt nach den beitragenden Prozessbereichen

Für vier exemplarische Wirkungskategorien wurde ein weiterer Vergleich mit anderen Ökobilanz-Datensätzen (aus ecoinvent v.3.7.1) für Gold durchgeführt, das aus Elektroschrott-Recycling beziehungsweise aus Minen stammt (siehe Tabelle T2). Der Vergleich der Werte zeigt, dass die Umweltauswirkungen der Aufbereitung bei C.Hafner um mehrere Zehnerpotenzen niedriger sind als die Gewinnung aus dem Bergbau. Auch im Vergleich zum Elektroschrott-Recycling liegen die Umweltwirkungen des von C.Hafner rückgewonnenen Goldes überall deutlich niedriger, beim CO₂-Fußabdruck um einen Faktor von ca. 40. Noch deutlicher fällt der Unterschied aus, wenn man aktuelle

Auswertungen aus Bergwerken heranzieht (siehe Abbildung A6). Hier liegt der Durchschnittswert pro kg Gold sogar bei ca. 30 t CO₂-Äq., allerdings mit großer Streubreite in Abhängigkeit vom Herkunftsland.

T2: Gegenüberstellung ausgewählter Umweltwirkungen der Goldproduktion von C.Hafner mit der Goldproduktion (generische Werte) aus Elektroschrott (WEEE) bzw. aus dem Bergbau.

Indikator (engl.)	Wert je kg Gold Granalien			Einheit
	C.Hafner	WEEE (ecoinvent)	Bergbau (ecoinvent)	
Cumulative Energy Demand (total)	590	11616	476990	MJ-Eq
Climate change	36	1496	10988	kg CO ₂ -Eq
Particulate matter	1,56E-06	2,85E-05	2,97E-03	disease incidence
Eutrophication, freshwater	2,95E-03	1,54E-02	4,68E-01	kg P-Eq



A6: Verteilung des Carbon Footprints der Goldproduktion aus verschiedenen Ländern. Nach Skarn Associates Limited (2022).

Kritische Prüfung

Der Reviewer Dr. Rolf Frischknecht von treeze Ltd. (CH) fasste am 29. April 2022 seine kritische Prüfung mit dem folgenden Fazit zusammen:

Der Reviewer kommt zum Schluss, dass

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden, Modelle und Grundlagen mit den internationalen Normen ISO 14040 und 14044 übereinstimmen;

- die bei der Durchführung der Studie verwendeten Methoden "wissenschaftlich begründet „sind und einen für die Aussagen der Studie soliden "Stand der Ökobilanz-Technik" aufweisen;
- die Qualität der verwendeten Vordergrunddaten in Bezug auf das Ziel der Studie sehr gut ist und die Daten zweckmäßig sind;
- die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz geeignet berücksichtigen;
- der technische Bericht in sich stimmig und transparent ist;

und zieht das folgende Fazit:

Unter Würdigung der Tatsachen, dass

- die Aktivitäten und Prozesse der C. Hafner komplex sind;
- C. Hafner in umfassendem Maß und detailliert Primärdaten zur Verfügung gestellt hat;
- die Verfügbarkeit von aktuellen und repräsentativen Sachbilanzdaten zu einzelnen Chemikalien und zur Gekrätz-Aufbereitung, teilweise aus Gründen des Aufwands, limitiert ist;
- das Ökobilanzmodell die Aktivitäten und Prozesse der C. Hafner detailliert und angemessen modelliert und beschreibt;
- die adressierten Umweltthemen dem Ziel und dem Untersuchungsgegenstand der Studie entsprechend sinnvoll und zweckdienlich sind;

bestätigt der Reviewer, dass der vorliegende Schlussbericht den Anforderungen und Vorgaben der Normen ISO 14044 und 14044 entspricht.

Literatur

Fritz, Benjamin; Michele, Carin; Schmidt, Mario (2020): Environmental impact of high-value gold scrap recycling. In: *The international journal of life cycle assessment*, S. 1–12. DOI: 10.1007/s11367-020-01809-6.

Skarn Associates Limited (2022): Mining-ESG Bulletin #14. Lichfield, England: Skarn Associates Limited. Online verfügbar unter <https://www.skarnassociates.com/news>