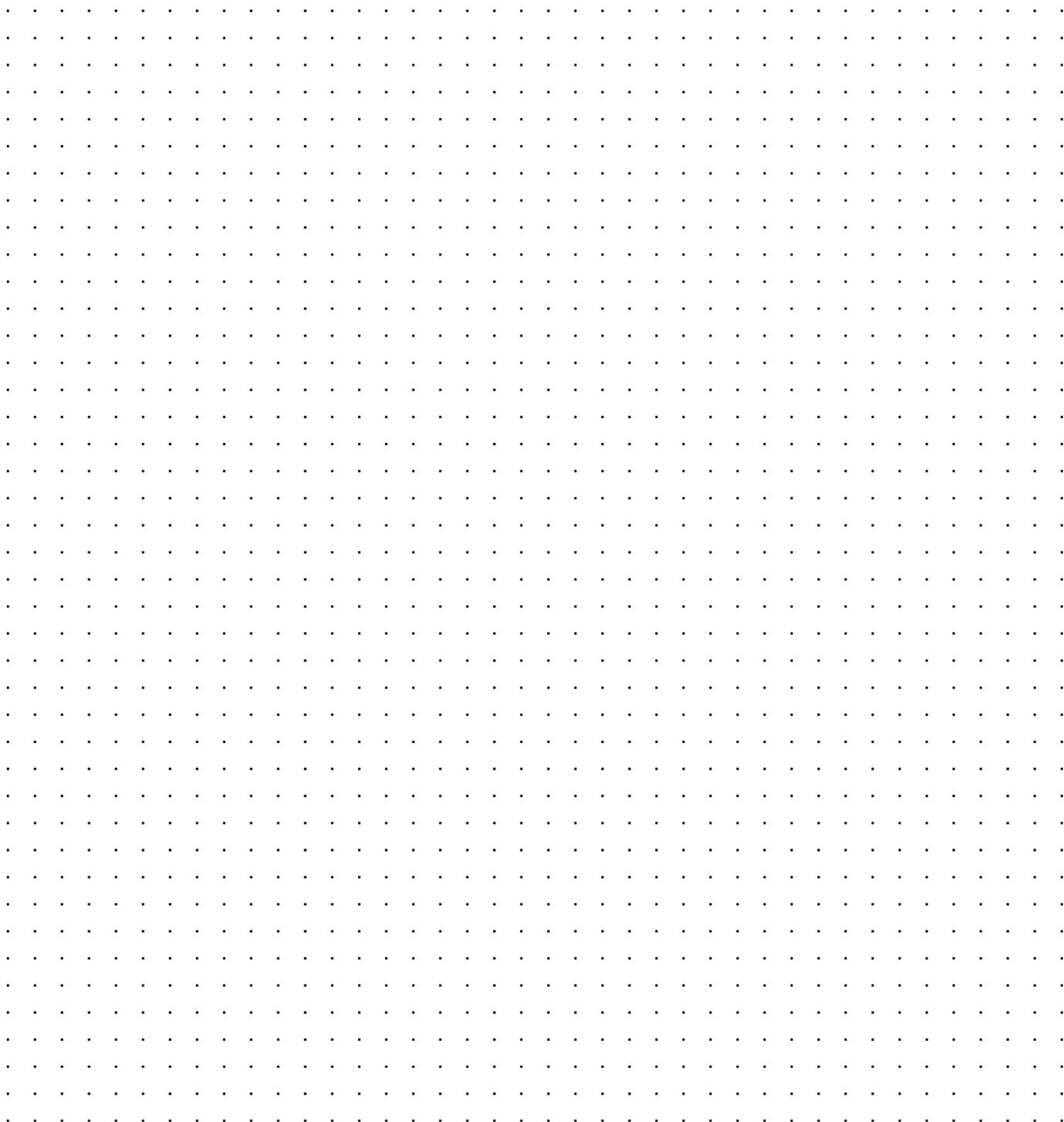


RESourcenCHECK für KMUs

RESourcenCHECK und Handlungsoptionen seltene Metalle für kleinere und mittlere Unternehmen
(RESCHECK)

28.11.2017



Projektteam

Andy Spörri
Ingrid Kissling-Näf
Christina Seyler
Katrín Bernath
Patrick Wäger (Empa)
Xiaoyue Du (Empa)

Ernst Basler + Partner AG
(neu EBP Schweiz AG)
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzungen der Arbeit	4
1.3	Untersuchungsrahmen.....	5
1.4	Projektbearbeitung und Aufbau des Berichts	7
2	Ressourcen-Check in Pilot-KMU.....	8
2.1	Erfassung der eingesetzten kritischen Metalle	8
2.2	Kritische Metalle in Pilot-KMU	11
3	Kritikalitätsbewertung.....	27
3.1	Methode zur Kritikalitätsbewertung	28
3.2	Anwendung auf Pilot-KMU.....	38
4	Handlungsoptionen.....	47
4.1	Grundlagen für KMU-Ressourcenstrategie	47
5	Elektronisches Tool „RESCHECK BASIC“	51
5.1	Ergänzende Grundlagen.....	51
5.2	Technische Spezifikation	51
5.3	Aufbau und Funktionsweise.....	52
6	Fazit und weiterer Untersuchungsbedarf.....	65
6.1	Zusammenfassung & Diskussion	65
6.2	Weiterer Untersuchungsbedarf.....	67
7	Literatur.....	69

Anhänge

- A1 Interviewleitfaden
- A2 Risikokategorien für alle Metalle

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Seltene Metalle sind für die produzierende Industrie essentielle Produktionsfaktoren. In den vergangenen Jahren wurden diese Rohstoffe immer häufiger eingesetzt. Insbesondere mit dem Übergang ins Zeitalter der Informations- und Kommunikationstechnologie, aber auch der zunehmenden Bedeutung der erneuerbaren Energieproduktion ist der Bedarf nach ausgewählten Metallen (z.B. Indium, Platingruppenmetalle, Seltene Erden) regelrecht explodiert.

Die sichere Versorgung mit Metallen ist eine zentrale Voraussetzung für einen funktionierenden und prosperierenden Wirtschaftsstandort. Insbesondere die Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie ist aufgrund ihrer hoch funktionalen und spezialisierten Ausrichtung auf die sichere und wirtschaftlich tragbare Versorgung mit seltenen Metallen bzw. diese enthaltenden Halbfabrikate (Komponenten, Bauteile) angewiesen.

Während das Thema der Versorgungssicherheit von Energiesystemen schon lange prominent diskutiert wird, wurde diesem Thema bezogen auf nicht-energetische Ressourcen lange Zeit nur wenig Beachtung geschenkt. In den vergangenen Jahren jedoch rückte die Versorgungssicherheit und Abhängigkeit von nicht-energetischen Rohstoffen immer stärker in den unternehmensstrategischen und bundespolitischen Blickwinkel, insbesondere was die metallischen Rohstoffe anbelangt. Dies ist auf verschiedene Entwicklungen zurückzuführen, welche sich in den vergangenen Jahren akzentuiert, zum Beispiel:

Zunehmende Verknappung: Vergleichsweise viele Metalle sind geochemisch vergleichsweise knapp und deren förderbare Mengen limitiert.

Koppelproduktion: Viele seltene Metalle, die in Hochtechnologie-Anwendungen und Zukunftstechnologien verwendet werden, sind sogenannte Koppelprodukte bei der Förderung und Veredelung der mengenmässig dominierenden Industriemetalle wie Kupfer oder Aluminium. Daher ist deren Marktverfügbarkeit von der Nachfrage nach den „Hauptmetallen“ abhängig, da diese festlegt, wie viel eines «Koppelmetalls» zu welchem Preis gewonnen wird.

Geographische Konzentration: Die Förderung und Produktion von nicht-metallischen Rohstoffen ist relativ häufig auf wenige Länder konzentriert (siehe auch Abbildung 1, was bedeutende Abhängigkeiten von diesen – mindestens teilweise politisch-institutionell instabilen – Ländern mit sich bringt (z.B. Metalle der seltenen Erden aus China).

Preisvolatilität: Die Metallpreise sind insbesondere seit den letzten Jahren starken Schwankungen unterworfen. Dies kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden, z.B. „Mismatch“ zwischen Förderkapazitäten und Nachfrage, Exportsteuern von fördernden Ländern, Spekulation in Rohstoffmärkten.

Steigende Nachfrage: Aufgrund des steigenden Bedarfs in bestehenden Anwendungen (z.B. Photovoltaik), des zunehmenden Einsatzes in neuen Anwendungen und dem wirtschaftlichen Aufschwung in Schwellenländern (z.B. China) steigt die Nachfrage nach Metallen global stetig an. Entsprechend steigt die Konkurrenz um diese Rohstoffe auf dem Markt mit potenziell negativen Auswirkungen auf deren lückenlose und preisgünstige Versorgung.

Hinzukommt, dass der Abbau und die Veredelung von metallischen Rohstoffen aufgrund der abnehmenden mittleren Metallmassenanteile in den Lagerstätten (Erzen) mit immer umfangreicheren Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt verbunden sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die Gewinnung einer bestimmten Menge eines Metalls immer grössere Erzmengen gefördert und aufwändig raffiniert werden müssen. Aus gesellschaftlicher Perspektive rückt auch immer mehr in den Mittelpunkt, dass gewisse Metalle in Konfliktregionen gefördert werden (z.B. Tantal) und die Förderung dieser Rohstoffe häufig in Ländern mit vergleichsweise hoher Korruption stattfindet. Neben dem betriebs- bzw. volkswirtschaftlichen Risiko einer potenziellen Unterversorgung mit seltenen Metallen sind demnach auch die immer stärker ins gesellschaftliche Bewusstsein rückenden negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt als kritisch für die Unternehmen einzustufen.

Bis anhin sind sich insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen ihrer Abhängigkeit nach seltenen Metallen bzw. entsprechenden betriebswirtschaftlichen Risiken und den Auswirkungen auf Mensch und Welt, die mit Abbau und Veredelung der Metalle einhergehen, nur wenig bewusst. Mit dem hier präsentierten Projekt Ressourcencheck (kurz: RESCHECK) soll diese Lücke – mindestens teilweise – geschlossen werden, indem für KMU ein Tool entwickelt wird, mit dem sie ihre Ressourcenabhängigkeit einschätzen und Vorsorge- und Innovationsstrategien bezogen auf seltene Metalle entwickeln können.

1.2 Zielsetzungen der Arbeit

Das RESCHECK-Projekt verfolgt prinzipiell zwei Hauptstossrichtungen. Einerseits soll eine Methodik zur Erfassung von Risiken und Auswirkungen des Einsatzes von seltenen Metallen in KMU inkl. Handlungsempfehlungen entwickelt und im Rahmen eines Pilots mit ausgewählten KMU angewendet werden. Andererseits sollen die gewonnenen Erkenntnisse mit der Entwicklung eines elektronischen Tools synthetisiert und für die Anwendung verallgemeinert werden.

Die damit in Verbindung stehenden Zielsetzungen sind die Folgenden:

- Analyse, wie ein Ressourcen-Footprint für KMU erstellt werden kann und Anwendung in ausgewählten Pilot-KMU. Dabei soll:
 - Eine Methodik erarbeitet werden, welche den Ressourcen-Footprint unter Berücksichtigung von Versorgungsrisiken, Anfälligkeit von Betrieben gegenüber Versorgungsengpässen sowie ökologischen und sozialen Auswirkungen mit überschaubarem Aufwand erlaubt.
 - Ein Fragebogen entwickelt werden, welcher für die Erhebung der notwendigen Daten und Informationen bei den MEM-Betrieben verwendet werden kann.
 - Der Ressourcen-Footprint für die ausgewählten Pilot-KMU quantifiziert werden.
- Erarbeitung von Handlungsoptionen für KMU zum Umgang mit potentiellen Versorgungsengpässen bzw. zur Verbesserung der Versorgungssituation als Grundlage für die Entwicklung einer Ressourcenstrategie KMU.
- Entwicklung eines elektronischen KMU-Tools, das für eine grobe Analyse der Kritikalität der betrieblichen Abhängigkeiten von seltenen Metallen und entsprechende Handlungsempfehlungen zur Verringerung der Kritikalität konsultiert werden kann.

1.3 Untersuchungsrahmen

1.3.1 Metalle

Da die Berücksichtigung aller Metalle im Periodensystem weder zielführend noch zeitlich zu bewältigen ist, fokussiert das vorliegende Projekt auf eine Auswahl von Metallen. Die Auswahl orientierte sich dabei an den folgenden vorhandenen Grundlagen:

- Es wurden all diejenigen Metalle berücksichtigt, welche aufgrund einer für die EU-Mitgliedsländer durchgeführten Studie als kritisch eingestuft wurden (European Commission, 2014).
- Diese Liste wurde spezifisch ergänzt um diejenigen Metalle, welcher in einer Erhebung durch den Branchenverband Swissmem bei den Unternehmen als besonders bedeutend eingestuft wurden (Roth, 2013).

Das in Abbildung 2 dargestellte Periodensystem illustriert die ausgewählten 35 Metalle im RESCHECK-Projekt.

H	Aus MEM-Umfrage																He						
Li	Be	Aus EU-Studie																B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	57-71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	89-103	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo						
		Seltene Erden																					
Lanthanoide		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
Actinoide		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

Abbildung 1: Metalle für die Kritikalitätsbetrachtung im RESCHECK-Projekt.

1.3.2 Pilot-KMU

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte auf Grundlage eines Fallstudien-Ansatzes. Das heisst, dass die Entwicklung der Methodik zur Beurteilung von Risiken und Auswirkungen des Einsatzes von seltenen Metallen und Grundlagen für strategische Ansätze unter Berücksichtigung der Situation und Erfahrungen in ausgewählten Pilot-KMU erfolgt und auf diese Pilot-KMU angewandt und getestet wird.

Dazu wurden zu Beginn des Projekts in Zusammenarbeit mit dem Branchenverband Swissmem drei exemplarische Pilot-KMU ausgewählt (vgl. Tabelle 1).

UNTERNEHMEN	PRODUKTE	HALBFABRIKATE	METALLE
Pilot-KMU 1	Elektrische Antriebs- und Steuerungselemente	Motor (Magnet)	Neodym, Dysprosium
		Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	Niob, Antimon, Tantal, Indium,
		Human-Machine-Interface (HMI)	Gallium, Molybdän
Pilot-KMU 2	Lagerlose Pumpen	Motor (Magnet)	Neodym, Dysprosium, Samarium, Kobalt
Pilot-KMU 3	Flexible Dünnschicht-Solarmodule	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Modul (CIGS-Modul)	Gallium, Indium

Tabelle 1: Übersicht über die betrachteten Produkte, Halbfabrikate und darin enthaltenen seltenen Metalle.

1.4 Projektbearbeitung und Aufbau des Berichts

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte in vier Modulen und entsprechenden Arbeitspaketen (vgl. Abbildung 3). In Modul wird der Einsatz und die betriebliche Situation rund um die ausgewählten seltenen Metalle in den drei Pilot-KMU erhoben. Dies dient einerseits als Grundlage für die Entwicklung einer Methode zur groben Bewertung der Risiken und Tragweite (Kritikalitätsbewertung) des Einsatzes von seltenen Metallen in Unternehmen (Modul 2). Andererseits werden in Modul 1 auch Grundlagen für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen als Bausteine für die Entwicklung einer Ressourcenstrategie zur Reduktion der Kritikalität erhoben. Die in den ersten drei Modulen erarbeiteten Erkenntnisse und Outputs werden schliesslich im vierten Modul in einem praxistauglichen elektronischen Tool zusammengefasst, welches Unternehmen mit geringem Aufwand ein «Kritikalitäts-Screening» zu seltenen Metallen ermöglicht.

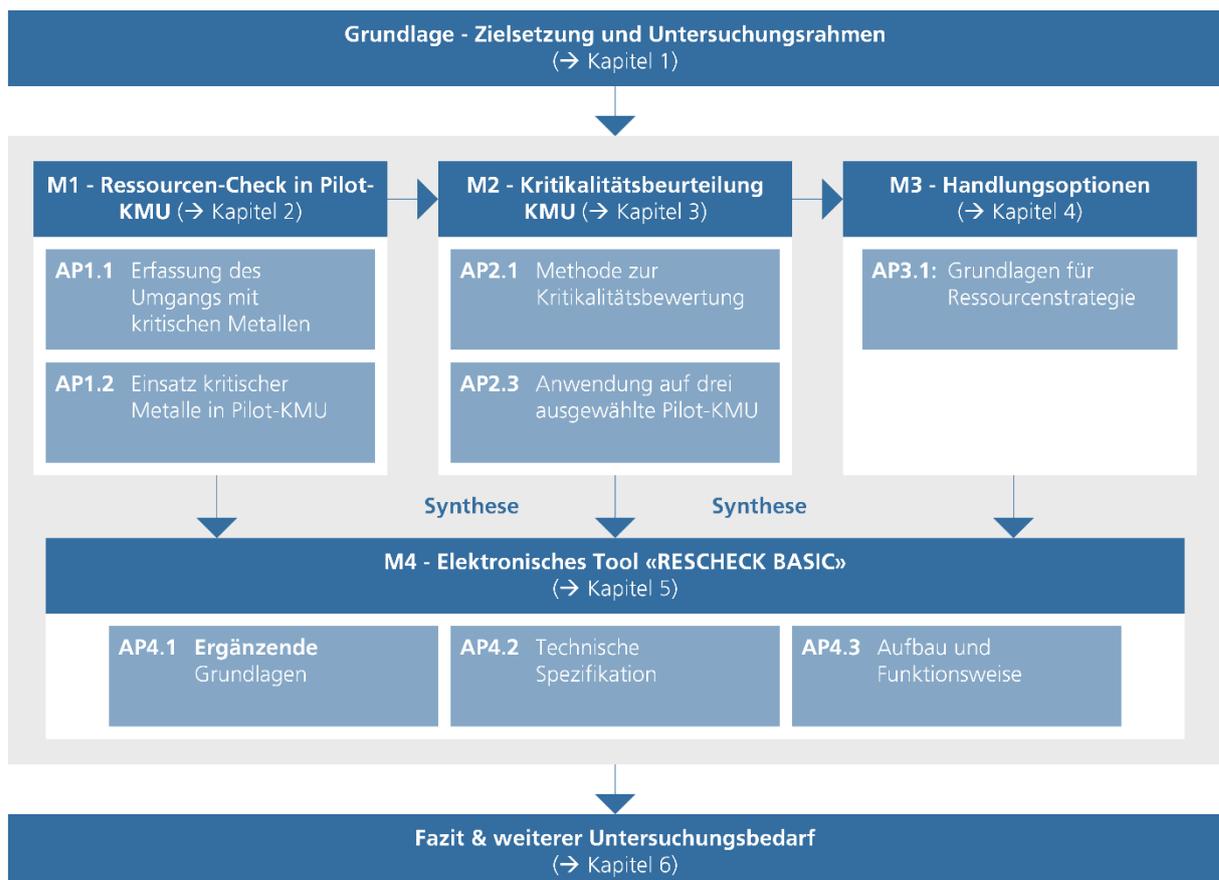


Abbildung 2: Struktur der Projektbearbeitung und des vorliegenden Berichts.

2 Ressourcen-Check in Pilot-KMU

In diesem Kapitel werden die konzeptionellen bzw. inhaltlichen Grundlagen für die Entwicklung bzw. Anwendung einer Methodik zur Beurteilung von Risiken und Tragweite des Einsatzes von seltenen Metallen in KMU (d.h. KMU-Ressourcen-Footprint) entwickelt. Dies beinhaltet erstens die Festlegung der Perspektiven, welche in die Beurteilung einfließen sollen (Beurteilungsrahmen, vgl. 2.1.1). Auf dieser Grundlage werden standardisierte Fragebogen erarbeitet, um die zur Beurteilung dieser Perspektiven notwendigen Informationen in ausgewählten Pilot-KMU gezielt zu erheben (vgl. 2.1.2). Die Idee besteht einerseits darin, über diese Informationen massgeschneiderte, das heisst auf die betrieblichen Situationen abgestimmte Kriterien für die Entwicklung der Risk- und Impact-Assessment-Methodik ableiten zu können. Andererseits werden dabei auch gleich die Angaben erhoben, welche für die spätere Anwendung der entwickelten Methodik zur Beurteilung der Risiken und Tragweite des Einsatzes von seltenen Metallen in den Pilot-KMU gebraucht werden.

2.1 Erfassung der eingesetzten kritischen Metalle

2.1.1 Beurteilungsrahmen

Die dem Projekt zu Grunde liegende Perspektive zur Beurteilung von Risiken und Tragweite des Einsatzes von seltenen Metallen in KMU (Ressourcencheck) orientiert sich an unterschiedlichen, in Wissenschaft und Praxis verbreiteten Konzepten und Ansätzen, welche jeweils unterschiedliche Aspekte zur Beurteilung von betrieblichen (aber auch volkswirtschaftlichen) Versorgungsketten beleuchten.

Einerseits wird auf das **Vulnerabilitätskonzept** zurückgegriffen, welches die Perspektive der Versorgungssicherheit einbringt. Versorgungssicherheit ist dann gegeben, wenn die betrieblichen Produktionstätigkeiten durch die physisch ununterbrochene Verfügbarkeit von betriebsnotwendigen Produktionsfaktoren zu tragbaren Preisen jederzeit gewährleistet sind. In Anlehnung an das vom Intergovernmental Panel on Climate Change im Rahmen der Klimafolgenabschätzung entwickelte, risiko-orientierte Konzept (IPCC, 2007, vgl. Box 1) werden daraus die Dimensionen „Versorgungsrisiko“ und „Sensitivität gegenüber Versorgungsengpässen“ für den Ressourcen-Check übernommen und für den vorliegenden Fall operationalisiert.

Erstere beschreibt diejenigen Charakteristiken in der Wertschöpfungskette, welche die Metallversorgung in den KMU vorgelagerten Lebenszyklusphasen potenziell beeinträchtigen. Deshalb wird im RESCHECK-Projekt angestrebt, die gesamte Versorgungskette von der Rohstoffextraktion über die Veredelung und Halbfabrikate-Herstellung bis zur Lieferung an die KMU betrachtet. Im Sinne einer umfassenden Versorgungsrisiko-Perspektive werden geologisch/physikalische, geopolitische, ökonomische sowie politisch-regulative Aspekte analysiert. Die zweite Vulnerabilitäts-Dimension ergänzt das Versorgungsrisiko um die Sensitivität der KMU gegenüber Versorgungsbeeinträchtigungen, die sich aus dem Eintreten eines Risikos in den Versorgungsketten ergeben, das heisst wie anfällig ist ein Betrieb gegenüber physischen bzw. preislichen Versorgungseinschränkungen. Dabei werden innerbetriebliche Strukturen und Eigenschaften der KMU erfasst, welche die Auswirkungen von Versorgungsbeeinträchtigungen auf die betriebliche Produktionstätigkeit und Wertschöpfung bestimmen. So ist beispielsweise die kurzfristige Nichtverfügbarkeit eines bestimmten Metalls nur dann ein Problem, wenn dieses nicht ersetzbar ist bzw. die Materiallager für die Überbrückung des Engpasses fehlen.

Im Sinne einer umfassenden Betrachtung von Risiken und Tragweite des Einsatzes von seltenen Metallen werden die beiden betriebswirtschaftlich orientierten Versorgungssicherheit-bezogenen Dimensionen ergänzt um weitere Nachhaltigkeitsdimensionen. Dazu werden zusätzlich die dem Betrieb vorgelagerten ökologischen und sozialen Auswirkungen bzw. Risiken betrachtet, welche insbesondere mit dem Abbau der seltenen Metalle einhergehen und für Unternehmen im Rahmen des Nachhaltigkeitsmanagements zunehmend Bedeutung erlangen.

2.1.2 Fragebogen und Eintragsformulare

Auf der Grundlage des vorgängig umrissenen Beurteilungsrahmens wird hier eine Vorgehensweise entwickelt, anhand welcher die relevanten Informationen und Daten rund um die Versorgungssituation und den Einsatz der seltenen Metalle in KMU standardisiert erhoben werden können. Dazu wurde Fragebogen erarbeitet, welcher eine detaillierte, und auf die vorgängig beschriebenen Beurteilungsdimensionen ausgerichtete Analyse und Erfassung der betrieblichen Situation auf einfache Art und Weise ermöglicht (vgl. Interviewleitfaden und Fragebogen in A1). Im Folgenden werden die Struktur und die verschiedenen inhaltlichen Blöcke zusammenfassend beschrieben und jeweils der Hintergrund für die Aufnahme in die Erhebung erläutert:

Teil A Allgemeine Firmeninformationen: Enthält allgemeine Fragen zur KMU wie beispielsweise Anzahl der Mitarbeiter, Anteil an Produktionskosten an den betrieblichen Gesamtkosten, oder Firmenstruktur (Eigentumsverhältnisse, Grösse, Standorte, Tätigkeitsbereiche, etc.).

Teil B Einsatz und Umgang mit seltenen Metallen bzw. Versorgungsketten: Informationen zum Einsatz bzw. Bedarf und betrieblichen Umgang mit seltenen Metallen bilden die zentrale Grundlage für die Beurteilung der drei Dimensionen „Versorgungsrisiko“, „Auswirkungen auf die Umwelt“ und „soziale Auswirkungen“.

- **B1 Einsatz und Umgang mit kritischen Metallen:** Die grundlegendsten
- Verständnis darüber, welche Tätigkeiten bzw. Produkte der KMU auf seltene Metalle angewiesen sind. Dabei wird unterschieden zwischen direkter Verwendung (z.B. Neodym in Hochleistungsmagneten von Elektromotoren) und indirekter Verwendung (z.B. in Hilfsmitteln oder Werkzeugen). Zusätzlich werden Informationen zur Wiederverwertung dieser seltenen Metalle aus Produktionsabfällen bzw. nach Gebrauch der Produkte gesammelt.
- **B2 Versorgungskette:** Als Grundlage für die Beurteilung von Risiken rund um die Versorgung mit seltenen Metallen werden mit diesem Frageblock die betrieblichen Versorgungsketten ausgeleuchtet. Dabei steht die räumliche Verortung der Versorgungsphasen (von der Rohstoffextraktion bis zum Endlieferant) für die identifizierten Metalle im Vordergrund.

Teil C Schadensanfälligkeit/Vulnerabilität: Diese Frageblöcke zielen auf ein umfassendes Verständnis der betrieblichen Vulnerabilität gegenüber Versorgungsengpässen ab, das heißt sie versuchen herauszufinden, wie stark eine KMU durch eine eingeschränkte Versorgung als Unternehmen betroffen ist.

- **C1 Strategische Bedeutung bzw. Markt:** Mit diesen Fragen wird analysiert, welche Produkte, deren Herstellung direkt oder indirekt auf seltene Metalle angewiesen ist, wie wichtig für die Unternehmensstrategie bzw. den Umsatz der KMU sind.
- **C2 Substituierbarkeit:** Die betriebliche Vulnerabilität hängt auch stark von den Möglichkeiten zur Substituierbarkeit ab. Je besser ein seltenes Metall in der Produktion durch Alternativen ersetzt werden kann, desto geringer ist die Vulnerabilität der KMU gegenüber Versorgungseinschränkungen.
- **C3 Innovationsfähigkeit:** Dieser Frageblock eruiert die Fähigkeit von KMU, durch Produktveränderungen bzw. Anpassungen im Produktionsprozess die Versorgungsrisiken sowie die Vulnerabilität der KMU gegenüber Versorgungseinschränkungen zu reduzieren.

Teil D Massnahmen zur Rohstoffsicherung (Anpassungsfähigkeit): Als Grundlage für die Entwicklung einer Ressourcenstrategie und Handlungsempfehlungen (auch für das elektronische RESCHECK-Tool) werden in diesem Frageblock nach bisher gesammelten Erfahrungen mit Rohstoffverknappungen und entsprechenden strategischen Ansätze sowie konkreten Massnahmen erfragt.

2.2 Kritische Metalle in Pilot-KMU

2.2.1 Pilot-KMU 1

Allgemeine Informationen

Die Firma wurde 1964 gegründet und ist Teil einer Unternehmensgruppe. Die Firma ist ein Schweizer Familienunternehmen mit insgesamt 110 Mitarbeitern und ist weltweit in der grafischen Industrie tätig. Das Produkteportfolio reicht von Rollenoffsetmaschinen für den Druck verschiedenster Produkte bis hin zu Versandraumlösungen für den Zeitungsmarkt.

Das Unternehmen ist ein Produktions- und Zulieferbetrieb von elektrischen Ausrüstungen und Elektronikprodukten für die Unternehmensgruppe sowie für einen geringen Teil externer Kunden (3-5%). Die Firma ist in den folgenden Bereichen tätig:

- Engineering
- Industrieautomation
- Verdrahtungstechnologie
- Elektronik
- Dienstleistungen

Dabei macht die Konstruktions- und Produktionsberatung sowie Schulungen rund zwei Drittel des operativen Geschäfts aus und ein Drittel fällt auf die effektive Herstellung von Elektronik. Die Herstellung der elektronischen Ausrüstungen besteht einerseits aus der Herstellung von Bauteilen, die auf dem Markt in dieser Form sonst nicht erhältlich sind, und andererseits aus der Funktionszusammensetzung von eingekauften Bauteilen zu.

Innovationsfähigkeit

Das Unternehmen setzt 20-30% des Umsatzes für Engineering ein. Die Innovationsfähigkeit ist dementsprechend relativ hoch einzuschätzen (60 Punkte, auf einer Skala von 0-100). Eine Stabstelle ist für die Forschung und Entwicklung zuständig, wobei die Anzahl angemeldeter Patente als eher gering einzustufen ist.

Eine regelmässige Betreuung von Diplomarbeiten in Zusammenarbeit mit Hochschulen besteht und wird auch geschätzt. Die Zusammenarbeit wird jedoch eher mit praxisorientierten Fachhochschulen gesucht, als mit Universitäten oder der ETH.

Rohstoffsituation und Wertschöpfungskette

Die Rohstoffsituation des Unternehmens ist komplex (ca. 32'000 Materialien an Lager) und in der Lieferkette befindet sich die Firma eher weit hinten, bzw. weit weg vom eigentlichen Rohstoff Metall. Aus diesem Grund muss die Einschätzung des Unternehmensrisikos für einzelne Bauteile vorgenommen werden.

Die Materialkosten machen 60-70% an den Gesamtkosten aus. Da die Firma eine Zulieferfirma des Konzerns ist, können Preiserhöhungen theoretisch an den Konzern weitergegeben werden. Die grafische Industrie steht jedoch stark unter Druck, weshalb die Firma nicht die Möglichkeit hat, höhere Preise an den Kunden abzuwälzen. Tendenziell ist nicht der Preis das Risiko, sondern die verfügbare Menge.

Aufgrund der Komplexität der Rohstoffsituation muss das Unternehmensrisiko für einzelne Bauteile ermittelt werden. Ausgewählt wurden drei Bauteile, die von hoher Bedeutung für die Firma sind:

Bauteil 1: Motor

Der Motor wird eingekauft und in einem bestimmten Geschäftsbereich des Konzerns zusammen mit der Steuerung in elektronische Ausrüstungen eingebaut (vgl. Abbildung 4). Insgesamt werden 200-300 verschiedene Motoren eingesetzt. Dabei wird zwischen Haupt- und Nebentmotoren unterschieden.

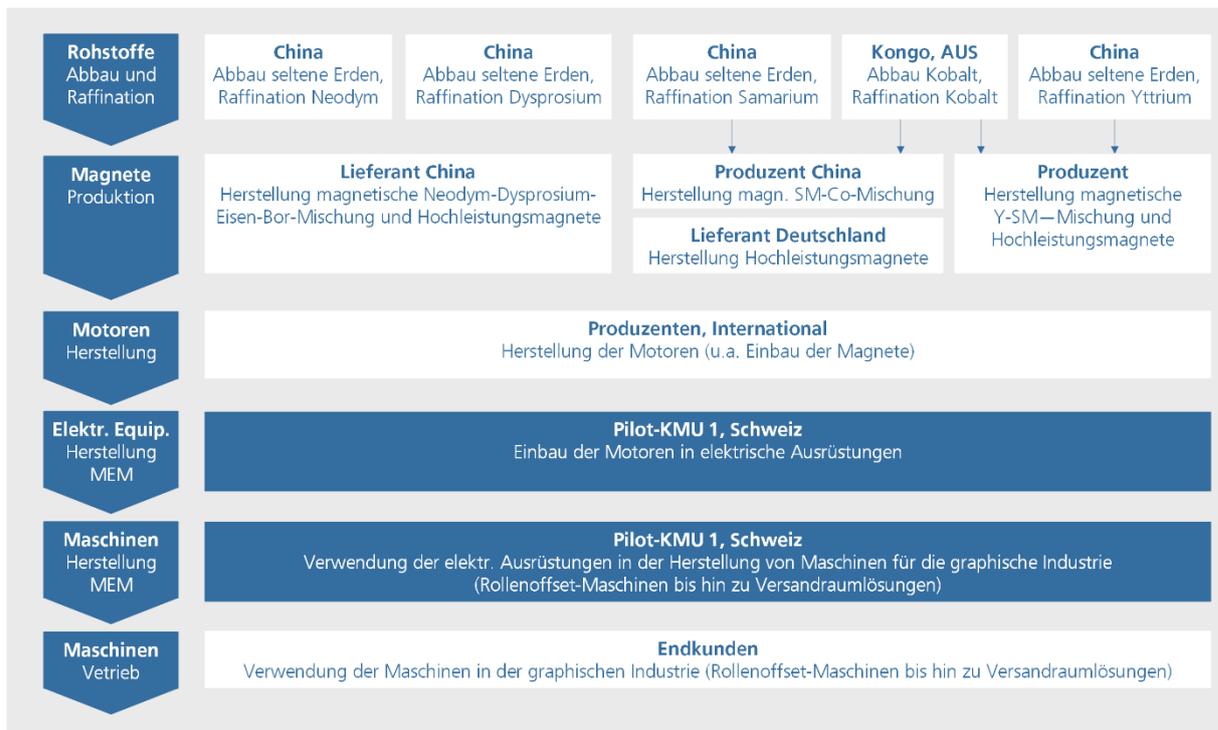


Abbildung 3: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Produktkomponente „Motor“.

Die Motoren sind essentiell für den Konzern, da sie für den Antrieb der Maschinen sorgen (80 Punkte, auf einer Skala von 0-100). Bei einer Lieferschwierigkeit besteht die Möglichkeit, alte Motoren als Ersatz zu verwenden.

Die Motoren werden von mehreren Lieferanten bezogen (z.B. Bosch Rexroth). Einerseits werden Standardmotoren eingekauft und andererseits speziell mit CAD gezeichnete Motoren. Ein Lieferantenwechsel bei Knappheit von seltenen Erden ist nicht sinnvoll, da alle Lieferanten betroffen sind. Die Motoren selber herzustellen ist keine Option. Die Substituierbarkeit, hängt von der Art des Motors und der Funktionalität ab und ist insbesondere eine Frage des Preises.

Bauteil 2: SPS – Speicher Programmierbare Steuerung (SPS)

Die SPS ist die Steuerbox und damit die Verbindung zum Motor. Sie gibt Impulse an die Antriebsboxen und kann als „Hirn“ des Antriebs bezeichnet werden. Das Unternehmen kauft die SPS bei verschiedenen Herstellern und baut sie in die elektronischen Ausrüstungen ein (vgl. Abbildung 5). Die Rohstoffsituation der SPS ist vergleichbar mit der des HMI.



Abbildung 4: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Produktkomponente „Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)“.

Bauteil 3: HMI – Human Machine Interface (HMI)

Das HMI ist ein Bauteil, das das Unternehmen selber herstellt und in die elektronischen Ausrüstungen einbaut. Es ermöglicht die Interaktion des Benutzers mit der Antriebssteuerung und setzt sich grob aus einem LC-Display mit Touchscreen und aus zwei Prints zusammen. Pro Jahr werden ca. 2'500 HMI hergestellt und der Anteil am Umsatz beläuft sich auf ca. 15%, wobei dieser je nach Grösse des HMI variiert. Die Wichtigkeit des HMI für die Unternehmensstrategie ist sehr hoch (80 Punkte, auf einer Skala von 0-100).

Die für die Herstellung des HMI benötigten Teile werden nach Standard- und Zeichnungsteilen unterschieden. Die Standardteile werden über verschiedene ausländische Distributoren bezogen, während die Zeichnungsteile speziell für das Unternehmen angefertigt sind. Die Hersteller der Zeichnungsteile befinden sich in der Schweiz und in Deutschland vgl. (Abbildung 6).

Ein Lieferantenwechsel für Zeichnungsteile ist mit hohen Kosten verbunden. Die Substituierbarkeit ist sehr stark vom jeweiligen Bauteil abhängig.

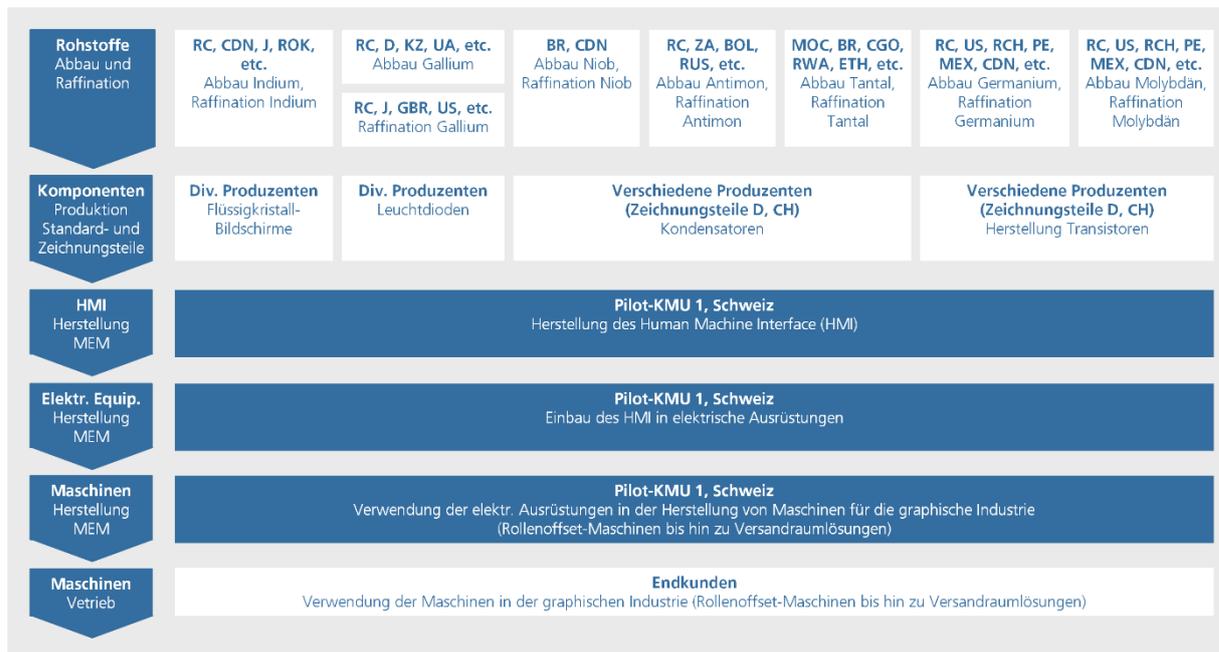


Abbildung 5: Vereinfachte Wertschöpfungskette für Produktkomponente „Human Machine Interface (HMI)“.

Erfahrungen mit Verknappung von Rohstoffen

Die Firma hat bereits Verknappungen von Rohstoffen und daraus resultierende Beschaffungsschwierigkeiten bestimmter Bauteile erfahren. Drei Ereignisse sind hervorzuheben:

- Preisaufschläge der Bosch Rexroth für Motoren aufgrund seltener Erden
- Ein Erdbeben hat zur Verknappung von Tantal-Lieferungen geführt (betroffener Lieferant mit Marktanteil 70-80% ist ausgefallen) woraufhin IC-Hersteller mit weniger Rohstoffeinsatz in der Produktion reagiert haben.
- Das Erdbeben in Fukushima hat Probleme mit der Reinheit von Metallen ausgelöst, wodurch Einschränkungen bei der Lieferung gewisser Bauteile entstanden sind. Das Unternehmen hat sich darauf umgehend den Jahresbedarf gesichert.

Jedes Ereignis hat Anpassungen ausgelöst, die vorher in dieser Form nicht erwartet wurden. Die Art der Reaktion ist deshalb immer schwierig abzuschätzen und stark davon abhängig, welches Bauteil von den Beschaffungsschwierigkeiten betroffen ist.

Strategien zur Rohstoff- oder Bauteilsicherung

Die Strategien zur Reduktion des Beschaffungsrisikos sind vom betroffenen Bauteil abhängig. Folgende Strategien spielen im Unternehmen eine zentrale Rolle:

- Langfristiges Vorausplanen (Planungshorizont: ca. 1 Jahr)
- Langfristige Lieferantenverträge (z.T. über zwei Jahre)

- Erfahrungen und Informationen sammeln
- Bei unvorhersehbaren Ereignissen: Schnell reagieren und Lieferung sichern
- Lagerhaltung (spezielles Problem bei Lötzinn HMI: haben ein Ablaufdatum und können deshalb nicht unbeschränkt gelagert werden)

Sehr zentral sind dabei das Sammeln von Erfahrungen und das Entwickeln eines „Bauchgefühls“, welche Bauteile kritisch sind und wie bei einem akuten Beschaffungseingpass zu reagieren ist. Lieferantenwechsel sind oft nicht möglich, da die Bauteile z.T. sehr spezifische Funktionen aufweisen und sicherheitsrelevante Normen einhalten müssen. Zudem sind von einer Rohstoffknappheit meist alle Lieferanten betroffen, was einen Wechsel zusätzlich erschwert.

Rahmenbedingungen

Die Verwendung von gewissen gefährlichen Stoffen in Elektro- und Elektronikgeräten wird durch die RoHS-Richtlinie (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances) der EU eingeschränkt. In der Schweiz wird zudem die Umsetzung der REACH-Verordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) verfolgt. REACH regelt die sichere Herstellung und Verwendung chemischer Stoffe in der EU und in den EWR-Staaten.

Materialeffizienz und Recycling

Das Unternehmen ist bestrebt, immer auf dem neusten Stand der Technologie zu sein. Die Materialeffizienz hängt jedoch stark vom betrachteten Bauteil ab. Grundsätzlich besteht ein Einsparpotenzial. Beispielsweise können einfachere Teile zu einem komplexeren Bauteil zusammengenommen werden, wodurch insgesamt weniger Material eingesetzt wird. Teilweise besteht jedoch ein Trade-off zwischen mehr Effizienz und weniger Risiko.

Der elektronische Produktionsabfall (hauptsächlich Kabelabfälle) sowie Maschinen, die von Kunden zurückgebracht werden, werden an ein Unternehmen abgegeben, das die Abfälle sortiert und entsorgt. Einzelne Komponenten werden dabei wiedergewonnen.

2.2.2 Pilot-KMU 2

Firmenbeschreibung

Die Firma mit Hauptsitzen in Zürich und den USA ist ein weltweit tätiges Unternehmen in der lagerlosen Motoren-Technologie. Das grundlegende Prinzip eines lagerlosen Elektromotors ist zwischen 1987 und 1994 durch ein Forschungsprojekt der ETH Zürich entstanden. Daraus resultierend wurde im Jahr 2001 die Firma als Spin-off gegründet. Basierend auf dem Prinzip der magnetischen Levitation hat das Unternehmen eine lagerlose Zentrifugalpumpe entwickelt für

- die Halbleiterindustrie, zum Pumpen von sehr reinen, z.T. aggressiven Flüssigkeiten (Halbleiterpumpen);
- die Medizin und Pharmaindustrie (Disposable-Pumpen)

Insgesamt beschäftigt das Unternehmen rund 80 Mitarbeiter, u.a. aus den Bereichen Elektrotechnik, Physik und Mechatronik, wobei rund 50 in Zürich arbeiten. Mehr als 50% der Mitarbeitenden wird in der Forschung und Entwicklung eingesetzt, gefolgt von 20% in der Produktion, 10% im Verkauf und der Rest ist in der Logistik und Administration tätig.

Innovationsfähigkeit

Aufgrund des hohen Einsatzes für Forschung und Entwicklung (23% des Umsatzes), weist das Unternehmen eine hohe Innovationsfähigkeit aus (80-100 Punkte, auf einer Skala von 0-100). In den letzten fünf Jahren hat die Firma 14 Patentfamilien mit 50-60 Einzelpatenten erstellt. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen ist dabei sehr zentral und geht über die Schweizer Grenzen hinaus. Insgesamt wird mit sechs Hochschulen zusammengearbeitet (z.B. ETH Zürich, ZHW, Uni Linz), wobei die meisten Projekte in Zusammenhang mit einer Doktorarbeit entstehen. Diese Verbindung mit der Forschung ist für die Firma von hoher Bedeutung, da dadurch der Kontakt zu den Studenten und potenziellen Mitarbeitern gehalten werden kann und die Hochschulen zudem über wichtige Infrastrukturen (Labor, Geräte, usw.) verfügen.

Wertschöpfungskette und Rohstoffsituation

Die Firma stellt zwei Hauptklassen von Pumpen her – Halbleiter- und Disposable-Pumpen. Die Materialkosten machen im Schnitt 30-40% aus, wobei dies je nach Produkt variiert. Der Wert einer Pumpe ist ebenfalls sehr unterschiedlich und beläuft sich auf 2'000 bis 15'000 CHF. Die Halbleiter-Pumpen machen ca. 85% des Umsatzes aus und sind deshalb von grösserer Wichtigkeit für die Firma, als die Life Science Pumpen (Halbleiter: 100 Punkte; Life Science: 50 Punkte, auf einer Skala von 0-100).

Wertschöpfungskette

Abbildung 7 illustriert die vereinfachte Wertschöpfungskette des Unternehmens.



Abbildung 6: Vereinfachte Wertschöpfungskette der Pilot-KMU 2.

In den für die Herstellung der Pumpen importierten Magneten werden die Metalle Neodym, Dysprosium, Samarium und Kobalt eingesetzt. Die Zusammensetzung unterscheidet sich je nach Temperatur der Flüssigkeiten, für die die Pumpen eingesetzt werden. Der übliche Anteil eines Magnetes ist 32% Neodym, 3% Dysprosium, 0.5% Bor und der Rest besteht aus Eisen. Insgesamt werden pro Jahr 2.2 t Neodym, 200 kg Dysprosium, 20 kg Samarium und 15 kg Kobalt verwendet.

Die Magnete werden von zwei Lieferanten mit Standort in Deutschland und China eingekauft. China hat als Lieferant von Magneten einen Marktanteil von ca. 90%, was dem Land eine grosse Marktmacht zuspricht. Andere Bauteile, wie z.B. der Motor und Kunststoff werden von Schweizer Firmen geliefert, die jedoch ihre Materialien ebenfalls grösstenteils von China beziehen.

Die Pilot-KMU 2 stellt die Flügelräder der Pumpen her, entwickelt die notwendige Software, baut schlussendlich die Pumpen zusammen und prüft sie. Die Herstellung der Pumpen erfolgt ausschliesslich in der Schweiz. Die Pumpen werden dann, als Standardprodukt oder kundenspezifisch designt, in der Halbleiterindustrie sowie in der Medizin und Pharmaindustrie eingesetzt.

Erfahrungen mit Verknappung von Rohstoffen

Die hohe Marktmacht von China stellt für die Firma ein Versorgungsrisiko dar. Im Jahr 2011 hat China die Monopolstellung ausgenutzt, was zu einer starken Preiserhöhung von Neodym geführt hat. Der Preis für einen Magneten hat sich innerhalb eines halben Jahres versechsfacht. Danach kam es zum Zusammenbruch der Preisblase und der Magnetpreis ist wieder auf ein normales Niveau gesunken. Neodym macht normalerweise nur ca. 1-2% der Kosten des Unternehmens aus. In der Peak-Phase stiegen diese jedoch bis auf rund 6%.

Dieses Beispiel zeigt, dass das Problem der Verknappung nicht nur auf eine physische Knappheit der Metalle zurückzuführen, sondern zu einem grossen Teil politisch und ökonomisch bedingt ist. Das Unternehmen schätzt das Risiko durch geopolitische und ökonomische Rahmenbedingungen viel höher ein als das Risiko einer ressourcenbedingten Knappheit. Halbleiter-Pumpen sind dabei weniger sensitiv für Schwankungen des Magnetpreises im Vergleich zu Disposable-Pumpen.

Strategien zur Rohstoffsicherung

Die Firma ist sehr innovativ und kann auf veränderte Rahmenbedingungen gut reagieren. Ein Problem tritt hauptsächlich dann auf, wenn die Veränderung der Rohstoffsituation sehr schnell zustande kommt und Anpassungsmöglichkeiten zeitlich nicht möglich sind. Die Firma setzt wesentlich drei Strategien zur Sicherung des Magnetbestandes ein:

- Lagerhaltung (mit ca. 1.5 Jahren Reichweite)
- Laufende Abklärungen und Beschaffung von Informationen über die Rohstoffsituation
- Forschung zur Optimierung und Umgestaltung der Pumpen: Zurzeit läuft ein Projekt zusammen mit einer Universität, bei dem versucht wird, die Disposable-Pumpen ohne Magnete herzustellen.

Rahmenbedingungen

Es bestehen zwei wesentliche Probleme mit den derzeitigen Rahmenbedingungen:

- Die Schweiz liefert wenige Hilfestellungen für die Rohstoffsicherung der Industrie im Vergleich zu anderen Ländern. Die Richtung ist vorhanden, jedoch mangelt es an konkreten Handlungen. Das Unternehmen zieht langfristig einen Standortwechsel der Produktion in Erwägung, um die Rohstoffsituation für die Firma zu verbessern.
- Ein zweites Problem besteht in der gesetzlichen Pflicht zur Ausweisung von Herkunftsnachweisen in Form von Zertifikaten, die bestätigen, wo und unter welchen Bedingungen die eingesetzten Rohstoffe abgebaut werden. Dieser politische Druck ist für ein Kleinunternehmen wie die Pilot-KMU 2 sehr schwer auf ihre Lieferanten übertragbar und der Zugang zu

diesen Informationen ist mit einem hohen Aufwand verbunden. Diese Problematik besteht insbesondere für Kobalt.

Materialeffizienz und Recycling

Fehlerhafte und alte Pumpen können von den Kunden ans Unternehmen zurückgeschickt werden. Dort werden sie geprüft und danach zusammen mit dem Produktionsausschuss entsorgt. Ein Recyclingsystem ist zurzeit aus zwei Gründen kein Thema. Einerseits weil der Rohstoffpreis zu tief ist und sich ein Recycling ökonomisch nicht lohnt, und andererseits, weil die Wiedergewinnung der Rohstoffe aus den Pumpen industriell sehr aufwändig ist. Life-Science-Pumpen können aus Hygienegründen nur einmal eingesetzt werden und müssen danach entsorgt werden. Die Reinigung dieser Pumpen wäre mit einem hohen Aufwand verbunden und die Angst vor «Biohazards» ist zu gross.

Materialeinsparung bei der Herstellung ist jedoch ein laufendes Thema, das insbesondere Gegenstand der Zusammenarbeit mit Hochschulen ist.

Besonderheiten im Zusammenhang mit dem Unternehmensrisiko

Da die Firma keiner direkten Konkurrenz gegenübersteht, hat sie den Vorteil, dass kurzfristige Preisschwankungen der Magnete an die Kunden weitergegeben werden können (80 Punkte, auf einer Skala von 0-100). Langfristig besteht jedoch die Gefahr, dass die Kunden auf andere Technologien umsteigen und damit ganz verloren gehen. Zudem weist das Unternehmen zwei weitere Besonderheiten auf, die das Unternehmensrisiko aufgrund von Rohstoffknappheit erhöhen:

- Das Unternehmen ist auf die Herstellung der lagerlosen Pumpen und damit auf den Einsatz von Magneten angewiesen (Bedeutung von 100 Punkten, auf einer Skala von 0-100). Der Verlust eines Lieferausfalls am Umsatz wäre langfristig somit bei 100% und die Firma könnte in der jetzigen Form nicht bestehen bleiben. Kosten in Höhe wie dies 2011 der Fall war, wären langfristig nicht tragbar.
- Die eingesetzten Magnete können nur schwer substituiert werden (5 Punkte, auf einer Skala von 0-100), da andere Magnete eine geringere Energiedichte aufweisen und damit für den Einsatz in den lagerlosen Pumpen nicht geeignet sind.

2.2.3 Pilot-KMU 3

Firmenbeschrieb

Die Pilot-KMU 3, mit Hauptsitz in Dübendorf, wurde 2005 als Spin-off-Unternehmen des Laboratoriums für Festkörperphysik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH

Zürich) gegründet. Sie stellt flexible Dünnschicht-Solarmodule mittels CIGS Dünnschicht-Technologie her und beschäftigt 20 Mitarbeitende.

Der Produktionsprozess ermöglicht ein maßgeschneidertes Design der Photovoltaik-Module in verschiedenen Größen und elektrische Leistungsmerkmalen für die folgenden Anwendungsgebiete:

- Gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) für Dächer und Fassaden
- Mobile Geräte wie Mobiletelefone, Laptops, Taschen und weitere Apparate
- Fahrzeuge wie Autos und Schiffe

Die Solarmodule werden mittels eines Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsprozesses hergestellt. Die Abscheidung des lichtabsorbierenden CIGS-Verbindungshalbleiters (CIGS: Kupfer-Gallium-Indium-Diselenid) ist dabei ein Schlüsselkriterium der Beschichtungstechnologie.

Innovationsfähigkeit

Die Innovationsfähigkeit des Unternehmens wird mit ca. 90 Punkten (auf einer Skala von 0-100) relativ hoch eingeschätzt. Da das Unternehmen in Entwicklung ist, wird auch 100% des Umsatzes in die Forschung und Entwicklung eingesetzt. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen wirkt dabei unterstützend.

Wertschöpfungskette und Rohstoffsituation

Die Wertschöpfungskette der Pilot-KMU 3 ist in vereinfachter Form in Abbildung 8 illustriert.



Abbildung 7: Vereinfachte Wertschöpfungskette der Pilot-KMU 3.

In der Herstellung von flexiblen Solarmodulen werden die kritischen Metalle Indium und Gallium eingesetzt. Der jährliche Bedarf dieser Metalle beläuft sich auf ca. 3000 kg pro Jahr. Diese Metalle werden direkt in der Produktion eingesetzt. Indirekt (z.B. in Hilfsmitteln enthalten), werden keine seltenen Metalle verwendet.

Die Zulieferer der Firma kommen aus der ganzen Welt. Gemäss USGS (2010) ist derzeit China mit rund 300 Tonnen bzw. 51 Prozent des Weltmarktes der weltgrösste Anbieter von primär raffiniertem Indium, gefolgt von Südkorea, Japan, Kanada, Belgien, Peru, Russland und weiteren Ländern wie die USA, Deutschland, den Niederlanden oder Grossbritannien.

Die Herstellung von flexiblen Solarmodulen ist das Kerngeschäft des Unternehmens und hat deshalb eine sehr hohe Bedeutung für die Unternehmensstrategie (100 Punkte auf einer Skala von 0-100). Der Verlust bei Produktionsausfällen liegt bei 100%.

Die Materialkosten machen ca. 75% der Produktionskosten aus (bei Massenproduktion).

Die Firma beliefert international Grosshändler von Solarpanels (B2B-Geschäfte, OEM). Endkunden liegen in den Bereichen Gebäudebau, Elektronik und Transport. Der Solarenergie-Markt ist seit 2011 aufgrund weltweiter Überkapazitäten in einer schwierigen Situation. Die direkten Konkurrenten des Unternehmens (hauptsächlich aus USA und Deutschland) versuchen Nischenmärkte abzudecken oder gehen Bankrott.

Ein Recycling-System besteht aktuell nicht. Technisch gesehen, können die Produkte in das Recyclingsystem von Flachbildschirmen eingeführt werden.

Besonderheiten im Zusammenhang mit dem Unternehmensrisiko

Im Zusammenhang mit dem Unternehmensrisiko aufgrund Versorgungsknappheit von seltenen Metallen bestehen für die Pilot-KMU 3 folgende Besonderheiten:

- Die Möglichkeit der Substitution des hergestellten Produkts oder einzelner Elemente ist kaum vorhanden (2 Punkte auf einer Skala von 0-100) und eignen sich kaum (auch 2 Punkte). Unmittelbar zur Verfügung stehen keine Substitute.
- Preiserhöhungen von seltenen Metallen können vollständig auf den Kunden überwältzt werden (100 Punkte, auf einer Skala von 0-100). Die verwendeten seltenen Metalle machen nur einen geringen Anteil von ca. 5% an den Produktkosten von flexiblen Solarmodulen aus bzw. ca. 2.5% bezogen auf die installierten Produktkosten.
- Bisher hat das Unternehmen keine Erfahrungen mit Verknappungen von Metallen gemacht. Dementsprechend werden aktuell auch keine Strategien zur Rohstoffsicherung verfolgt (auch keine Lagerhaltung). Besondere gesetzliche Rahmenbedingungen bestehen keine.

- Ebenfalls wurden bisher keine Massnahmen zur Materialeinsparung umgesetzt. Zur Materialeffizienz besteht noch Potenzial.
- Falls die Kritikalität für ein bestimmtes Jahr beurteilt würde, wäre dies für das Jahr 2017 durchzuführen.

2.2.4 Zusammenfassung und Implikation für das elektronische Tool

Im Anschluss an die Beschreibung der drei Case Studies erfolgt eine Übersicht über die erhobenen Dateninventare, welche die Grundlage für die folgende Kritikalitäts-Beurteilung bilden (vgl. Tabelle 2). Im Weiteren fassen wir die wesentlichen Erkenntnisse für die spätere Entwicklung des elektronischen Tools in einem Zwischenfazit zusammen. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die gewonnene Wissensbasis (Datengrundlage), aber auch auf Anregungen seitens der Betriebe zu Aufbau und Inhalt des Tools.

WAS**METALLEINSATZ IN KMU**

PILOT-KMU 1		PILOT-KMU 2		PILOT-KMU 3	
Metall	Menge (kg/a)	Metall	Menge (kg/a)	Metall	Menge (kg/a)
Neodym	-	Neodym	2'200	Indium	1'500
Dysprosium	-	Dysprosium	200	Gallium	1'500
Samarium	-	Samarium	20		
Kobalt	-	Kobalt	15		
Niob	-				
Antimon	-				
Tantal	-				
Indium	-				
Gallium	-				

VERSORGUNGSRISIKO

Die Informationen zu Versorgungsketten zu den eingesetzten Metallen (Länder/Regionen/Betriebe von der Extraktion bis zur Anlieferung von Rohstoffen und Halbfabrikaten) sind in den Unternehmen kaum vorhanden. Entsprechend wird sich die Methodik auf diejenigen Bereiche beschränken, zu welchen aufgrund robuster verfügbarer Datenquellen eine Aussage möglich ist.

ANFÄLLIGKEIT KMU

Strategische Bedeutung	Umsatzbeeinträchtigung	80/100	100/100 85/100 (HL-Pumpe) 15/100 (Einweg-Pumpe)	100/100
------------------------	------------------------	--------	---	---------

	Überwälzbarkeit von Mehrkosten auf Kunden	0/100 (grosser Wettbewerb und Kostendruck)	80/100	100/100
	Wichtigkeit Betrieb	80/100	HL-Pumpen: 100/100 Einweg-Pumpen: 50/100	100/100
Substituierbarkeit	Verfügbarkeit Substitute	100/100	100/100	2/100
	Funktionalität Substitute	50/100	5/100	2/100
	Beschaffungskosten Substitute			
Innovationsfähigkeit	Massnahmen Materialeinsparungen	60/100	80/100	90/100
	Potenzial Materialeinsparungen	0/100	5/100	20/100

Tabelle 2: Ressourceninventare für die drei Pilot-KMU (dargestellt sind diejenigen Daten und Angaben der Unternehmen, welche als Inputwerte in die Kritikalitätsbeurteilung einfliessen.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse der Pilot-KMU für das zu entwickelnde elektronische Tool sind im Folgenden kurz zusammengefasst:

Wissen über Einsatz von seltenen Metallen

Das Wissen innerhalb der KMU zu den eingesetzten seltenen Metallen ist beschränkt. Sobald die Metalle nicht in der elementaren Form (z.B. Gallium und Indium in Pilot-KMU 3) sondern als Bestandteil von Halbfabrikaten bzw. Produkten eingekauft werden, können die Unternehmen keine bzw. kaum mehr Angaben machen zu Typ und Menge der seltenen Metalle (vgl. Pilot-KMU 1).

IMPLIKATION FÜR ELEKTRONISCHES TOOL: Damit ein Ressourcen-Check-Tool für die Unternehmenslandschaft breit und ziel führend anwendbar ist, muss eine Aussage zu den eingesetzten seltenen Metallen auf Grundlage von Betriebsangaben zu bezogenen Halbfabrikaten (Bauteile, Komponenten, Teilkomponenten) bzw. Produkten abgeleitet werden können.

Transparenz Wertschöpfungskette

Wie insbesondere die Analysen der Pilot-KMU 1 und 2 gezeigt haben, sind die Wertschöpfungsketten nicht bis wenig transparent:

- Ort der Rohstoffgewinnung: Der Rückschluss auf das Land und Region der Ausgrabungsstätte zur Rohstoffförderung ist nicht oder nur sehr schwer möglich.
- Geographische und firmenspezifische Informationen zu den Zwischenstufen (Rohstoffveredelung, Herstellung von Teilkomponenten, Komponenten, Bauteilen; Handel/Zwischenhandel) sind, wenn überhaupt, nur lückenhaft vorhanden (d.h. meistens nur für den direkten Zulieferer).

IMPLIKATIONEN FÜR ELEKTRONISCHES TOOL: Die Integration von Charakteristiken der Versorgungs- bzw. Wertschöpfungsketten in den Ressourcen-Check scheint aufgrund vieler fehlender Informationen in den Firmen sowie fehlenden Datengrundlagen schwierig. Teilweise, z.B. für die Rohstoffgewinnung, existieren jedoch verlässliche Daten, welche für das elektronische Tool verwendet werden können (z.B. Angaben zur Weltjahresproduktion in verschiedenen Ländern, zu natürlichen Häufigkeiten, zu Koppelprodukten im Bergbau, zur Nachfrageentwicklung).

3 Kritikalitätsbewertung

Metalle sind lebensnotwendig für die moderne Gesellschaft. Die Anzahl der in Produkten und Dienstleistungen verwendeten Metalle hat in den vergangenen infolge technologischer Innovationen laufend zugenommen. Viele (geochemisch) seltene Metalle¹⁾ sind unabdingbar für Zukunftstechnologien wie die Informations- und Kommunikationstechnologie oder die erneuerbare Energieproduktion, weshalb mit einer deutlichen Zunahme des Abbaus, der Verarbeitung und der Nutzung dieser Metalle gerechnet wird. Entsprechend sind Fragen zur Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit im Umgang mit diesen Metallen in den Vordergrund gerückt.

Im Jahr 2006 hat der U.S. National Research Council eine Studie zur Identifikation von "kritischen" Mineralien durchgeführt und die Bedeutung dieser Mineralien für die U.S.A. hervorgehoben (National Research Council 2008). Seither wurden viele weitere Studien zur Kritikalität²⁾ von Rohstoffen durchgeführt, welche sich sowohl im Untersuchungsbereich und in der Methodologie voneinander unterscheiden (Erdmann and Graedel 2011). Eine Studie im Auftrag der Europäischen Kommission "Unternehmen und Umwelt" hat 14 von 41 untersuchten Rohstoff(grupp)en als kritisch für die Europäische Volkswirtschaft identifiziert (European Commission 2010). In der 2014 aktualisierten Studie wurden 20 von 54 untersuchten Rohstoff(grupp)en als kritisch identifiziert (European Commission 2014).

Nur einige wenige dieser Studien haben sich bisher auf die Unternehmensebene bezogen. Eine davon ist die Studie von General Electric (GE) (Duclos, Otto et al. 2010), deren Hauptziel es war, Materialien zu identifizieren, für die das Risiko von Versorgungsengpässen oder Preiserhöhungen besteht. Dazu wurde die Methode zur Beurteilung der Kritikalität, welche vom National Research Council entwickelt worden war, für den spezifischen Fall konkretisiert. Die GE Studie deckt eine nach dem Einkaufswert ausgewählte Teilmenge von 11 aus insgesamt 24 Elementen ab; die spezifischen Risiken (in der Studie Sub-risiken) werden sowohl quantitativ als auch qualitativ bestimmt.

In der Forschungsgruppe von Tom Graedel an der Yale University wird derzeit eine generische, vorwiegend quantitative Methode zur Beurteilung der Kritikalität auf drei Ebenen entwickelt: global, national und Unternehmen. Die Methode für die Beurteilung der Kritikalität auf Unternehmensebene beinhaltet eine Vielzahl von Indikatoren, welche jedoch bisher noch für keinen

1) Metalle, deren durchschnittlicher Massenanteil in der Erdkruste weniger als 0.01 Massen-% beträgt (Skinner, 1979).

2) gemäss EC (2010) gilt ein Rohstoff als "kritisch", wenn das Versorgungsrisiko und die potentiellen Auswirkungen eines Versorgungsengpässes höher als diejenigen für andere Rohstoffe sind.

spezifischen Fall ausgetestet worden sind. Sie ist datenaufwendig und erfordert ausge dehnte Hintergrundrecherchen.

3.1 Methode zur Kritikalitätsbewertung

Die Entwicklung der Methode zur Beurteilung von Risiken und Tragweite des Einsatzes (Kritikalität) von seltenen Metallen in Unternehmen beruhte – neben den Erkenntnissen aus der Analyse der Pilot-KMU (vgl. Kapitel 0) – auf bereits vorhandenen Ansätzen zur Kritikalitätsbewertung von Rohstoffen in Unternehmen, insbesondere Duclos et al. (2010). Die beiden Bewertungsansätze von General Electrics (Duclos et al., 2010) bzw. der erwähnten Forschungsgruppe an der Yale University (Graedel et al., 2012) wurden dabei so kombiniert, dass eine Bewertung mit für Unternehmen angemessenem Aufwand umsetz- und interpretierbar ist und gleichzeitig die Kritikalität möglichst umfassend und quantitativ erfasst wird.

Die resultierende Methode zur Kritikalitätsbewertung wird im Folgenden beschrieben. Unterkapitel 3.1.1 illustriert den Bewertungsrahmen, d.h. die Frage was bewertet wird, während Unterkapitel 3.1.2 die Operationalisierung für die Bewertung illustriert, d.h. die Frage wie bewertet wird.

3.1.1 Beurteilungsrahmen

Die Kritikalität wurde dabei über einen multi-kriteriellen Ansatz differenziert und für die Bewertung operationalisiert. Der resultierende Bewertungsrahmen bestehend aus Dimensionen, entsprechenden Aspekten und Indikatoren ist in Tabelle 3 dargestellt.

Insgesamt werden in der Bewertung vier Dimensionen unterschieden. In Anlehnung an alle gängigen Ansätze zur Beurteilung der Kritikalität von Rohstoffen (auf Unternehmens- und auch volkswirtschaftlicher Ebene) sind dies einerseits die beiden Dimensionen „Versorgungsrisiko“ und „Anfälligkeit des Betriebs gegenüber Versorgungsengpässen“. Erstere beschreibt das Risiko von physischen (d.h. mengenbezogenen) sowie Preis-bezogenen Versorgungseinschränkungen eines bestimmten Metalls, während Letztere die Empfindlichkeit bzw. Sensitivität des Betriebs gegenüber dem Eintreten von Versorgungseinschränkungen umfasst. Diese unmittelbar Betriebsumsatz-bezogenen Dimensionen werden ergänzt um die (Nachhaltigkeits-)Dimensionen „Umweltbelastung“ und „soziale Auswirkungen“, welche als „Reputationsrisiken“ auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht von Bedeutung sind. Während die Umweltauswirkungen in der Methode der Yale University als dritte Dimension berücksichtigt werden, wurde die sozialen

Auswirkungen als vierte Dimension aufgrund der Projektvorgaben, aber auch der Relevanz dieser Dimension im RESCHECK-Projekt zusätzlich aufgenommen.

Alle vier Dimensionen sind anhand von sogenannten Kritikalitätsaspekten differenziert und beschrieben, welche wiederum über Indikatoren operationalisiert bzw. bewertbar sind. Die Bewertungsmethode umfasst über alle vier Dimensionen insgesamt zehn unterschiedliche Kritikalitätsaspekte bzw. 19 Indikatoren zu Bewertung der Aspekte.

DIMENSION	ASPEKT	INDIKATOR
Versorgungsrisiko (D1)	Natürliche Häufigkeit (A1.1)	Massenanteil Erdkruste (I1.1.1)
	Länderabhängigkeit (A1.2)	Konzentration Abbau (I1.2.2)
		Policy Potential Index (I1.2.3)
		Haupt- vs. Ko-Produkt/Nebenprodukt (I1.3.4)
	Koppelproduktion (A1.3)	Wirtschaftl. Bedeutung Nebenprodukt (I1.3.5)
		Nachfrage (A1.4)
	Preisvolatilität (A1.5)	Relative Preisschwankungen (I1.5.7)
Anfälligkeit Betrieb (D2)	Strategische Bedeutung (A2.6)	Umsatzbeeinträchtigung (I2.6.8)
		Überwälzbarkeit Mehrkosten (I2.6.9)
		Wichtigkeit Betrieb (I2.6.10)
	Substituierbarkeit (A2.7)	Verfügbarkeit Substitute (I2.7.11)
		Funktionalität Substitute (I2.7.12)
		Beschaffungskosten Substitute (I2.7.13)
	Innovationsfähigkeit (A2.8)	Bedeutung Materialeinsparungen (I2.8.14)
		Potenzial Materialeinsparungen (I2.8.15)
Umweltbelastung (D3)	Umweltbelastung (A3.9)	Ökosysteme (I3.9.16)
		Menschliche Gesundheit (I3.9.17)
Soziale Auswirkungen (D4)	Gesellschaftliches Konfliktpotenzial (A4.10)	Konfliktmineral (I4.10.18)
		Korruption (I4.10.19)

Tabelle 3: Gerüst der multi-kriteriellen Methode zur Kritikalitätsbewertung in Unternehmen (Bewertungsdimensionen mit entsprechenden Aspekten und Indikatoren).

3.1.2 Beschreibung des Bewertungsansatzes

Bei der Bewertung eines Metalls werden für jeden Kritikalitätsaspekt die zu Grunde liegenden Indikatoren quantifiziert und anschliessend in eine fünf-stufige Ordinalskala übertragen, welche für unterschiedliche Risiko-Kategorien stehen. Dabei steht am einen Ende der Skala der Wert 1 für „unkritisch“ und am anderen Ende der Wert 5 für „hoch kritisch“. Die Risikobeurteilung basiert sowohl auf einer Einschätzung der betroffenen KMU (für kontextabhängige Grössen), als auch auf öffentlich zugänglichen Daten (für kontextunabhängige Grössen).

Detaillierte Ausführungen zu den Indikatoren und deren Überführung in die fünf Risiko-Kategorien des entsprechenden Kritikalitätsaspekts sind in den folgenden Unterkapiteln zu den einzelnen Kritikalitätsdimensionen zu finden.

Versorgungsrisiko (D1)

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, ist das Versorgungsrisiko über fünf Kritikalitätsaspekte abgebildet, welche über insgesamt sieben Indikatoren für die Bewertung operationalisiert sind. Diese sind ausschliesslich abhängig vom zu bewertenden Metall und nicht von Unternehmens-spezifischen Charakteristiken. Entsprechend basiert die Bestimmung der Risiko-Kategorien auf öffentlich zugänglichen Informationen und Datengrundlagen.

Natürliche Häufigkeit (A1.1)	Geologische Häufigkeit des Metalls in der Erdkruste				
INDIKATOREN					
Massenanteil Erdkruste (I1.1.1)	Durchschnittlicher Massenanteil des Metalls in der Erdkruste (in ppm)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	> 10'000	100–10'000	1–100	0.01–1	< 0.01
GRUNDLAGEN	Wedepohl (1995)				
KRITIKALITÄTS-BEZUG	Je seltener ein Metall in der Erdkruste vorhanden ist, desto höher ist das Risiko für Versorgungsrestriktionen ³ .				
Länderabhängigkeit (A1.2)	Abhängigkeit der Versorgung des Metalls von Förderländern				
INDIKATOREN					
Konzentration Abbau (I1.2.2)	Verteilung der Weltjahresproduktion auf einzelne Förderländer (in %)				

³ Die geologische Häufigkeit eines Metalls in der Erdkruste eignet sich nur bedingt als Indikator zur Beurteilung der Verfügbarkeit eines Metalls (s. z.B. Graedel & Reck, 2015), wurde jedoch mangels umsetzbarer Alternative vorläufig verwendet.

Policy Potential Index (I1.2.3)	Attraktivität von politischen Rahmenbedingungen in Abbauländern für Investitionen in die Förderung metallischer Rohstoffe (0-100)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	< 20% Abbau in Ländern mit PPI < 50	20–40% Abbau in Ländern mit PPI < 50	40–60% Abbau in Ländern mit PPI < 50	60–80% Abbau in Ländern mit PPI < 50	> 80% Abbau in Ländern mit PPI < 50
GRUNDLAGEN	Du et al. (2011), European Commission (2014), Nassar et al. (2015), United States Geological Survey (USGS, 2012a)				
	Annual Survey of Mining Companies des Fraser Institute (Fraser Institute, 2013)				
KRITIKALITÄTS-BEZUG	Je weniger Länder ein Metall fördern bzw. je instabiler die politischen Rahmenbedingungen in den Förderländern sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für physische und preisbezogene Versorgungseinschränkungen einzustufen.				
Koppelproduktion (A1.3)	Förderung des Metalls als Hauptprodukt, Koppelprodukt- oder Neben-Produkt bei der Förderung anderer Metalle				
INDIKATOREN					
Haupt- vs- Ko-Produkt (I1.3.4)	Abhängigkeit der Förderung des Metalls von der Förderung anderer Metalle (% Co-Produktion)				
Wirtsch. Bedeutung Ko-Produkt (I1.3.5)	Wirtschaftliche Bedeutung des co-geförderten Metalls im Vergleich zu den anderen, im Erz enthaltenen Metallen (Preisverhältnis Co- vs. Hauptprodukt)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Seltenes Metall als Hauptprodukt (0% Co-Produktion)	0–10% Co-Produktion	10–50% Co-Produktion	> 90% Co-Produktion und Preisverhältnis > 1 oder 50-90% Co-Produktion	> 90% Co-Produktion und Preisverhältnis < 1
GRUNDLAGEN	Nassar et al. (2015)				
	United States Geological Survey (USGS, 2010 und 2011)				
KRITIKALITÄTS-BEZUG	Je stärker die Förderung eines seltenen Metalls von der Förderung anderer Metalle als Hauptprodukt abhängt bzw. je marginaler die wirtschaftliche Bedeutung des co-geförderten Metalls ist, desto höher ist das Versorgungsrisiko für dieses aufgrund von ökonomischen Abhängigkeiten.				
Nachfrage (A1.4)	Entwicklung der globalen Nachfrage nach dem Metall				
INDIKATOREN					
Globale Nachfrageentwicklung (I1.4.6)	Erwartete Nachfrageveränderung nach dem Metall durch gesteigerte Produktion von bestehenden Anwendungen und/oder neuen Anwendungen (Zunahme der Produktion in den letzten 5 Jahren in %)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	< 0%	0–1%	1–5%	5–10%	> 10%

GRUNDLAGEN	Du et al. (2011), European Commission (2014), Nassar et al. (2015), United States Geological Survey (USGS, 2012b)				
KRITIKALITÄTS- BEZUG	Je höher die zukünftige Nachfrage nach einem seltenen Metall ist (in bestehenden und auch neuen Anwendungen), desto höher ist aufgrund des zunehmenden Wettbewerbs das Risiko einer physischen und/oder preislichen Versorgungseinschränkung für das Unternehmen.				
Preisvolatilität (A1.5)	Volatilität des Weltmarktpreises des Metalls				
INDIKATOREN	Relative Preisschwankungen des Metalls in den vergangenen 5 Jahren (in %)				
Globale Nachfrageentwicklung (I1.5.7)	Relative Preisschwankungen des Metalls in den vergangenen 5 Jahren (in %)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	< 50%	50–100%	100–200%	200–500%	> 500%
GRUNDLAGEN	United States Geological Survey (USGS, 2010, 2011)				
KRITIKALITÄTS- BEZUG	Je volatiler die Metallpreise sind, desto höher ist das Risiko für eine preisliche Versorgungseinschränkung für das Unternehmen.				

Sensitivität KMU (D2)

Die Sensitivität der KMU gegenüber Versorgungseinschränkungen wird über drei Kritikalitätsaspekte erfasst, welche über insgesamt acht Indikatoren für die Bewertung operationalisiert sind (vgl. Tabelle 3). Im Vergleich zu den anderen drei Dimensionen sind diese Kritikalitätsaspekte abhängig von den spezifischen betrieblichen Charakteristiken bzw. Strukturen. Entsprechend basiert die Bestimmung der Risiko-Kategorien auf Angaben und Einschätzungen des jeweiligen Unternehmens.

Strategische Bedeutung (A2.6)	Bedeutung der Verfügbarkeit des Metalls bezogen auf die Unternehmensstrategie				
INDIKATOREN	Umsatzbeeinträchtigung infolge einer Einschränkung der Versorgung des Metalls (in %)				
Umsatzbeeinträchtigung (I2.6.8)	Umsatzbeeinträchtigung infolge einer Einschränkung der Versorgung des Metalls (in %)				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Unbedeutend	Tragbar	Knapp tragbar	Bedeutend	Sehr bedeutend
Überwälzbarkeit Mehrkosten (I2.6.9)	Möglichkeit zur Überwälzung von erhöhten Beschaffungskosten des Metalls auf Kunden				
RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5

	Ja, auch mittelfristig	Ja, aber nur kurzfristig	Beschränkt, auch mittelfristig	Beschränkt, nur kurzfristig	Nein, auch nicht kurzfristig
Wichtigkeit Betrieb (I2.6.10)	Wichtigkeit des Metalls bezogen auf die Unternehmensstrategie				
RISKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Unbedeutend	Geringe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Bedeutend	Sehr bedeutend
GRUNDLAGEN	Angaben und Einschätzungen des jeweiligen Unternehmens				
KRITIKALITÄTS-BEZUG	Je wichtiger ein Metall für ein Unternehmen aus Umsatz-bezogener und strategischer Sicht ist, desto anfälliger ist das Unternehmen beim Eintreten von Versorgungsbeschränkungen.				
Substituierbarkeit (A2.7)	Möglichkeit, das kritische Metall bzw. dieses enthaltende Halbfabrikat durch einen alternativen Rohstoff bzw. Halbfabrikat zu ersetzen.				
INDIKATOREN					
Verfügbarkeit Substitute (I2.7.11)	Vorhandensein eines alternativen Rohstoffs bzw. Halbfabrikats zur Ersetzung des kritischen Metalls bzw. dieses enthaltenden Halbfabrikats				
RISKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Ja, kein Problem	Ja, im Normalfall	Ja, aber beschränkt	Nur in Ausnahmefällen	Nein, gar nicht
Funktionalität Substitute (I2.7.12)	Eignung des alternativen Metalls bzw. Halbfabrikats für die Produktherstellung				
RISKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Klar besser	Geringfügig besser	Vergleichbar	Geringfügig schlechter	Klar schlechter
Beschaffungskosten Substitute (I2.7.13)	Kosten zur Beschaffung des alternativen Metalls bzw. Halbfabrikats im Vergleich zum Original				
RISKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	Klar tiefer	Geringfügig tiefer	Vergleichbar	Geringfügig höher	Viel höher
GRUNDLAGEN	Angaben und Einschätzungen des jeweiligen Unternehmens				
KRITIKALITÄTS-BEZUG	Je schlechter ein seltenes Metall durch einen alternativen (metallischen) Rohstoff für eine Verwendung ersetzt werden kann, desto kritischer ist das Eintreten einer Versorgungsrestriktion für das Unternehmen bzw. desto umfangreicher sind die negativen Auswirkungen.				
Innovationsfähigkeit (A2.8)	Betriebliche Anpassungsfähigkeit zur Reduktion der Abhängigkeit des Metalls				

INDIKATOREN

Bedeutung Materialeinsparungen (I2.8.14) Bedeutung von Massnahmen zur Reduktion der Abhängigkeit des kritischen Metalls durch Materialeinsparungen (z.B. alternatives Produktdesign, Minimierung von Produktionsausschuss).

RISIKO-KATEGORIEN

1	2	3	4	5
Überaus zentral	Bedeutend	Ja, aber beschränkt	Untergeordnet	Gar keine Bedeutung

Potenzial Materialeinsparungen (I2.8.15) Betriebliches Potenzial für Einsparungen des Bedarfs nach kritischem Metall bzw. dieses enthaltende Halbfabrikat.

RISIKO-KATEGORIEN

1	2	3	4	5
Sehr umfangreich	Umfangreich	Bedeutend	Moderat	Sehr gering

GRUNDLAGEN

Angaben und Einschätzungen des jeweiligen Unternehmens

KRITIKALITÄTSBEZUG

Je innovativer sich ein Unternehmen mit Materialeinsparungen auseinandersetzt bzw. je grösser das Potenzial für Materialeinsparungen ist, desto geringer ist die Rohstoffabhängigkeit und damit die Anfälligkeit gegenüber dem Eintreten einer Versorgungseinschränkung.

Umweltbelastung (D3)

Die Umweltbelastung wird über einen Kritikalitätsaspekt beschrieben, dessen Risiko-Kategorie unter Berücksichtigung von zwei Indikatoren bestimmt wird (vgl. Tabelle 3). Dieser ist ausschliesslich abhängig vom zu bewertenden Metall und nicht von Unternehmens-spezifischen Charakteristiken. Entsprechend basiert die Bestimmung der Risiko-Kategorien auf öffentlich zugänglichen Informationen und Datengrundlagen.

Gesamtumweltbelastung (A3.9)

Umweltbelastung der Förderung von kritischen Metallen (cradle-to-gate-Perspektive), ohne die beiden Midpoints «Mineral resources» und «Fossil resources» bzw. den Endpoint «Damage to resource availability, weil diese in der Dimension «Versorgungsrisiko» berücksichtigt wird.

INDIKATOREN

Ökosysteme (I3.9.16) Beeinträchtigung von Ökosystemen durch die Förderung des Metalls (Endpoint der LCIA-Methode ReCiPe 2008, V1.10)

Menschliche Gesundheit (I3.9.17) Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit durch die Förderung des Metalls (Endpoint der LCIA-Methode ReCiPe 2008, V1.10)

RISIKO-KATEGORIEN

1	2	3	4	5
< 20 Punkte	20–39 Punkte	40–59 Punkte	60–79 Punkte	> 80

GRUNDLAGEN	Graedel et al. (2015) ⁴
KRITIKALITÄTS- BEZUG	Je grösser die mit der Metallgewinnung einhergehenden Umweltbeeinträchtigungen sind, desto höher ist das Reputationsrisiko für das Unternehmen.

Soziale Auswirkungen (D4)

Die sozialen Auswirkungen wird über einen Kritikalitätsaspekt beschrieben, dessen Risiko-Kategorie unter Berücksichtigung von zwei Indikatoren bestimmt wird (vgl. Tabelle 3). Dieser ist ausschliesslich abhängig vom zu bewertenden Metall und nicht von Unternehmens-spezifischen Charakteristiken. Entsprechend basiert die Bestimmung der Risiko-Kategorien auf öffentlich zugänglichen Informationen und Datengrundlagen.

Gesellschaftl. Konfliktpotenzial (A3.9) Beitrag zu gesellschaftlichen Konflikten durch die Förderung des Metalls

INDIKATOREN

Konfliktmineral (I4.10.18) Förderung des Metalls in Konfliktregionen bzw. nicht in Konfliktregionen

Korruption (I4.10.19) Wahrgenommene Korruption in Förderländern des Metalls (Corruption Perception Index)

RISIKO-KATEGORIEN	1	2	3	4	5
	0–20% in korrupten Ländern (CPI < 50)	20–40% in korrupten Ländern (CPI < 50)	40–60% in korrupten Ländern (CPI < 50)	60–80% in korrupten Ländern (CPI < 50)	> 80% in korrupten Ländern (CPI < 50) oder Konfliktmineral

GRUNDLAGEN Du et al. (2011), European Commission (2014), Nassar et al. (2015), United States Geological Survey (USGS, 2012a)
Corruption Perception Index (CPI) von Transparency International (2013)

KRITIKALITÄTS-
BEZUG Der Beitrag zu gesellschaftlichen Konflikten, die mit der Gewinnung von metallischen Rohstoffen verbunden sind, birgt bedeutende Reputationsrisiken für Unternehmen und ist somit als kritisch einzuordnen.

Aggregation der Resultate

Um eine Aussage zur Kritikalität auf Ebene der vier Dimensionen machen zu können, werden die Bewertungsergebnisse (d.h. Risiko-Kategorien) der einzelnen Kritikalitätsaspekte aggregiert. Dabei wurde die Risiko-Kategorie einer Dimension aus dem Mittelwert der gleichgewichteten Risiko-Kategorien der in dieser Dimension enthaltenen Kritikalitätsaspekte bestimmt. Im

⁴ Die in der Datenbank ecoinvent (www.ecoinvent.ch) enthaltenen Inventare für seltene Metalle, auf welche Graedel et al. (2015) Bezug nehmen, werden derzeit im Auftrag des BAFU durch die Empa einer umfassenden Revision unterzogen.

Sinne einer Weiterentwicklung wäre es denkbar, die Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Kritikalitätsaspekte durch das Unternehmen individuell festlegen zu lassen, um Unternehmensspezifische Priorisierungen der verschiedenen Aspekte in die Bewertung einfließen zu lassen.

Von Metallen zu Halbfabrikaten

Wie eingangs zu diesem Unterkapitel erwähnt, ist die Methode auf die Kritikalitätsbewertung eines einzelnen Metalls ausgelegt. Die Analyse der Pilot-KMU hat aber gezeigt, dass Schweizer Unternehmen die seltenen Metalle häufig als Bestandteil von Halbfabrikaten beziehen und die darin enthaltenen Metalle nicht bzw. nur teilweise kennen. Deshalb wurde im Rahmen des vorliegenden Projekts ein zusätzliches Modul erarbeitet, welches die Anwendung der entwickelten Bewertungsmethode für Halbfabrikate erlaubt, damit das zu entwickelnde Praxistool für die breite Unternehmenslandschaft anwendbar und nutzbar ist.

Dies beinhaltet einerseits eine vorgeschaltete Komponente, welche auf Grundlage von Angaben zu Halbfabrikaten eine Aussage zu den darin enthaltenen Metallen generiert. Dazu wurde für ausgewählte Halbfabrikate (insgesamt 42) über die Auswertung diverser Literaturgrundlagen die metallische Zusammensetzung spezifiziert. Für jedes in einem Halbfabrikat enthaltene Metall wird dann anschliessend über die Bewertungsmethode die Kritikalität berechnet. Eine zweite ergänzende Komponente zielte darauf ab, die Kritikalitätsbewertung von mehreren in einem Halbfabrikat enthaltenen Metallen in eine Kritikalitätsaussage zum gesamten Halbfabrikat überzuführen. Dazu wird für jeden Kritikalitätsaspekt jeweils die höchste Risiko-Kategorie unter allen im Halbfabrikat enthaltenen Metalle ausgewählt, d.h. das Halbfabrikat ist so kritisch wie das in den jeweiligen Aspekten am kritischsten bewertete Metall.

3.2 Anwendung auf Pilot-KMU

Die Erstanwendung der vorgestellten Methode zur Kritikalitätsbewertung in den drei Pilot-KMU beruht auf Angaben und Informationen, welche in drei Betrieben über den für die Situationsanalyse entwickelten Fragebogen spezifisch erhoben wurden (vgl. Kapitel 0). Die entsprechenden Ergebnisse für die insgesamt 10 Metalle bzw. 5 diese beinhaltenden Halbfabrikate bzw. Produkte werden in den folgenden Unterkapiteln für jede der vier Kritikalitätsdimensionen jeweils in einer Tabelle zusammengefasst.

3.2.1 Versorgungsrisiko

Tabelle 4 gibt das Versorgungsrisiko mit entsprechenden Kritikalitätsaspekten für die untersuchten Pilot-KMU wieder. Auf den ersten Blick ergibt sich ein relativ ähnliches Bewertungsmuster über die verschiedenen Aspekte des Versorgungsrisikos in den drei untersuchten Pilot-KMU. Weiter fällt auf, dass das Versorgungsrisiko insgesamt für keines der 10 Metalle als gering oder sehr gering eingestuft wurde. Zudem liegen die Risiko-Kategorien aller Aspekte bei allen Halbfabrikaten mindestens bei 3.

In allen drei Betrieben wurde die Abhängigkeit von Ländern, welche die für die Produktion erforderlichen Metalle fördern bzw. produzieren, durchgängig am kritischsten beurteilt. Acht der zehn Metalle und alle Halbfabrikate bzw. Produkte sind mit der höchsten Risiko-Kategorie 5 versehen. Mit Ausnahme von Indium und Molybdän, welche zu bedeutenden Anteilen in politisch stabilen Ländern gewonnen werden (Risiko-Kategorie 3), wird der überwiegende Anteil an der Weltjahresproduktion (> 80%) in politisch instabilen Ländern mit gleichzeitig hoher geographischer Konzentration gefördert. Beispielsweise stammten im Jahr 2012 rund 97% der für die Magnete erforderlichen seltenen Erdmetalle (Neodym, Dysprosium, Samarium in Pilot-KMU 1 und 2) aus Chinesischen Minen, rund 85% des Galliums aus China (Pilot-KMU 1 und 3) oder rund 90% des Tantals aus Brasilien, Burundi, China, Kongo, Äthiopien, Mozambique, Nigeria, Ruanda und Somalia (Pilot-KMU 1). Diese umfangreichen Abhängigkeiten von instabilen Förderländern bergen ein bedeutendes Klumpenrisiko, was sich negativ in der Kritikalitätsbewertung niederschlägt.

Ebenfalls insgesamt kritisch für die drei Pilot-KMU ist die prognostizierte Zunahme der Nachfrage, wodurch in Zukunft eine Verschärfung des Wettbewerbs- und Preisdrucks für die einkaufenden Unternehmen und eine entsprechende Abnahme der Versorgungssicherheit erwartet wird. Im Vergleich zur Länderabhängigkeit variieren die Risiko-Kategorien zwischen den einzelnen Elementen sehr stark. So wird bei den seltenen Erden und Kobalt bzw. Gallium ein jährliches Nachfragewachstum von annähernd 10% (Neodym, Samarium, Kobalt) bzw. mehr als

10% (Dysprosium) angenommen, weshalb diese mit den Risiko-Kategorien 4 bzw. 5 versehen sind. Demgegenüber wird bei anderen Metallen (Antimon, Tantal) von einer negativen Wachstumsrate ausgegangen (d.h. Risiko-Kategorie 1). Die Bewertungsergebnisse der übrigen Metalle liegen bei den Risiko-Kategorien 2 und 3. Aufgrund der Tatsache, dass die Bewertung der Halbfabrikate bzw. Produkte dem Maximum der Bewertung der darin enthaltenen Metalle entspricht, sind alle Halbfabrikate bzw. Produkte der drei Unternehmen aus Sicht der absehbaren Nachfrageentwicklungen als hoch kritisch bewertet.

HALBFABRIKATE UND METALLE	NATÜRL. HÄUFIGKEIT	LÄNDER-ABHÄNGIGKEIT	KOPPEL-PRODUKTION	NACH-FRAGE	PREIS-VOLATILITÄT	D1 AGGREGIERT
Pilot-KMU 1						
MAGNET (MOTOR)	3	5	4	5	4	4
Dysprosium	3	5	4	5	4	4
Neodym	3	5	4	4	4	4
SPS & HMI	4	5	4	5	3	4
Antimon	4	5	4	1	3	3
Gallium	3	5	4	5	3	4
Indium	4	3	4	3	2	3
Molybdän	3	3	3	3	2	3
Niob	3	5	2	2	3	3
Tantal	3	5	3	1	3	3
Pilot-KMU 2						
MAGNET (MOTOR)	3	5	4	5	4	4
Dysprosium	3	5	4	5	4	4
Kobalt	3	5	4	4	3	4
Neodym	3	5	4	4	4	4
Samarium	3	5	4	4	4	4
Pilot-KMU 3						
FLEXIBLE DÜNNESCHICHT-PV	4	5	4	5	3	4
Gallium	3	5	4	5	3	4
Indium	4	3	4	3	2	3

Tabelle 4: Kritikalitätsbewertung der drei Pilot-KMU für die Dimension „Versorgungsrisiko“.

Der Aspekt der Koppelproduktion ist in Bezug auf alle zehn in den Pilot-KMU analysierten Metalle mittel kritisch bis kritisch. Einzige Ausnahme bildet Niob (Risiko-Kategorie 2), welches in verschiedenen ökonomisch bedeutenden Oxidmineralien vorkommt. Gleichzeitig ist der Mengenanteil, welcher an die Extraktion von anderen Metallen gebunden ist, verschwindend klein, d.h. Niob wird weitestgehend als Hauptprodukt gewonnen. Obwohl viele der zehn Metalle (d.h. Gallium, Indium, Neodym, Dysprosium, Kobalt, Antimon, Samarium) zu sehr hohen Anteilen als Co-Produkt gefördert werden (mindestens 85% für Kobalt bis 100% beispielsweise für Indium oder Neodym), werden sie aufgrund ihrer im Vergleich zu den jeweiligen Wirtsmetallen hohen wirtschaftlichen Bedeutung mit der Risiko-Kategorie 4, und nicht mit der höchsten Risiko-Kategorie versehen. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass die Preise dieser Metalle aufgrund von stark zunehmenden Anwendungen seit 2000 gestiegen sind. Demgegenüber sind Molybdän und Tantal als mittel kritisch eingestuft (Risiko-Kategorie 3). Molybdän kommt sowohl als Hauptmetall in Lagerstätten als auch als assoziiertes Metallsulfid in Kupferlagerstätten vor (USGS 2012) mit entsprechend vergleichsweise geringem Co-Produktionsanteil, während Tantal aufgrund seiner ökonomischen Bedeutung der Treiber für den Abbau einer Reihe bedeutender Mineralien ist bzw. der Abbau von Tantal weniger vom Abbau anderer in den Erzen enthaltenen Metallen abhängig ist.

Von mittlerer Kritikalität sind beim Versorgungsrisiko die natürliche Häufigkeit bzw. der geologischen Knappheit und die Preisvolatilität. Keines der 10 Metalle ist mit der höchsten Risiko-Kategorie 5 versehen, d.h. keines der 10 in den drei KMU eingesetzten Metalle ist weder geologisch sehr selten noch umfangreich vorhanden. Die Risiko-Kategorien bewegen sich zwischen 3 und 4. Am unter Ende des Spektrums bewegen sich Metalle wie Antimon, Indium, Molybdän, Tantal und Dysprosium (0.1–5 ppm), während Elemente wie Kobalt, Neodym und Niob vergleichsweise häufig (19–27 ppm) und damit weniger kritisch sind. Die Preisvolatilität in den vergangenen fünf Jahren bewegt sich bei allen Metallen in den Bereichen von 50–100% (Risiko-Kategorie 2), 100–200% (Risiko-Kategorie 3) bzw. 200–500% (Risiko-Kategorie 4). Die geringsten Preisunterschiede zeigten sich bei Indium und Molybdän (57% und 53%), die bedeutendsten bei den Metallen der seltenen Erden (367% bei Neodym, 370% bei Dysprosium, 476 bei Samarium). Entsprechend sind beiden Unternehmen, welche in den elektrischen Antrieben auf hochleistungsfähige Permanentmagnete angewiesen sind, Preisrisiken gegenüber am stärksten exponiert.

3.2.2 Anfälligkeit Betrieb

Tabelle 5 stellt die Resultate aus der Kritikalitätsbewertung für die Dimension „Anfälligkeit Betrieb“ übersichtlich dar. Sie zeigt die Risiko-Kategorien für alle in den drei Pilot-KMU eingesetzten Metalle und diese Metalle beinhaltenden Halbfabrikate. Die Aspekte erfassen die Sensitivität des Betriebs bei Versorgungseinschränkungen und die Bewertungen basieren entsprechend auf Einschätzungen des Unternehmens (im Vergleich zu den anderen Dimensionen, bei denen die Bewertung der Aspekte rein von den eingesetzten Metallen abhängen).

HALBFABRIKATE UND METALLE	STRATEGISCHE BEDEUTUNG	SUBSTITUIERBARKEIT	INNOVATIONS-FÄHIGKEIT	D2 AGGREGIERT
Pilot-KMU 1				
MAGNET (MOTOR)	5	2	4	4
Dysprosium	5	2	4	3
Neodym	5	2	4	4
SPS & HMI (vgl. 0)	5	2	4	4
Antimon	5	2	4	4
Gallium	5	2	4	4
Indium	5	2	4	4
Molybdän	5	2	4	4
Niob	5	2	4	4
Tantal	5	2	4	4
Pilot-KMU 2				
MAGNET (MOTOR)	4	3	3	3
Dysprosium	4	3	3	3
Kobalt	4	3	3	3
Neodym	4	3	3	3
Samarium	4	3	3	3
Pilot-KMU 3				
FLEXIBLE DÜNNSCICHT-PV	4	5	3	4
Gallium	4	5	3	4
Indium	4	5	3	4

Tabelle 5: Kritikalitätsbewertung der drei Pilot-KMU für die Dimension „Anfälligkeit Betrieb“.

Die Bewertungen der drei Kritikalitätsaspekte unterscheiden sich auf den ersten Blick relativ stark zwischen den drei Pilot-KMU. In Pilot-KMU 1 ist die strategische Bedeutung der Metalle bzw. diese beinhaltenden Halbfabrikate als hoch kritisch eingeschätzt, während diese in den beiden anderen Unternehmen (Pilot-KMU 2 und 3) mit einer Risiko-Kategorie von 4 versehen sind. Bei Betrachtung der dem Aspekt zu Grunde liegenden Indikatoren fällt auf, dass der Hauptunterschied in den Bewertungen zwischen Pilot-KMU 1 und den beiden anderen Unternehmen auf unterschiedliche Produktnischen zurückzuführen ist. Die hergestellten technischen Lösungen für die grafische Industrie in Pilot-KMU 1 sind starker Konkurrenz ausgesetzt und entsprechend besteht keine Möglichkeit, Mehrkosten in der Rohstoff- bzw. Halbfabrikat-Beschaffung auf die Produktpreise zu überwälzen. Demgegenüber sind die Pilot-KMU 2 und 3 als Spin-offs aus Forschungseinrichtungen hoch spezialisiert und deren Produkte aufgrund des innovativen und hoch funktionalen Charakters auf dem Markt weitgehend einzigartig, wodurch Mehrkosten in der Rohstoffbeschaffung mindestens kurzfristig auf die Kunden überwälzt werden können. Bezogen auf die Umsatzbeeinträchtigung bei einer Nicht-Verfügbarkeit und die Wichtigkeit für die Unternehmensstrategie die alle Metalle bzw. diese beinhaltenden Halbfabrikate von allen drei Pilot-KMU als hoch kritisch eingestuft.

Bedeutende Unterschiede in den Bewertungen zeigen sich bei der Möglichkeit, die Metalle bzw. diese beinhaltenden Halbfabrikate zu substituieren (Risiko-Kategorie 2 bei Pilot-KMU 1, 3 bei Pilot-KMU 2 bzw. 5 bei Pilot-KMU 3). Das Pilot-KMU 3 hat keine Möglichkeit zur Substitution von Indium bzw. Gallium, die für die Herstellung der Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Module (CIGS-Module) benötigt werden. Zum heutigen Zeitpunkt sind keine alternativen Materialien für diese Anwendung bekannt. Demgegenüber sind für die Metalle bzw. Halbfabrikate der anderen beiden Unternehmen Substitute verfügbar, das heisst eine Substitution ist theoretisch denkbar. Allerdings weisen die heute bekannten Substitute (z.B. Magnete für elektrische Antriebe) nicht dieselben funktionalen Eigenschaften auf. Zum Beispiel können die mit seltenen Erden (Dysprosium, Neodym, Samarium) bestückten Permanentmagnete für die elektrischen Antriebe durch alternative Magnete ersetzt werden. Jedoch haben diese eine geringere magnetische Flussdichte und müssten für gleiche magnetische Eigenschaften entsprechend grösser sein, was – gerade bei miniaturisierten Anwendungen wie es Pilot-KMU 2 der Fall ist – häufig mit Anpassungen des Produkts bzw. der Produktion und der dafür erforderlichen Komponenten (z.B. Gehäuse) verbunden ist, was nicht von heute auf Morgen umsetzbar und für Unternehmen aufgrund der erforderlichen tiefgreifenden Anpassungen schwierig ist.

Weiter bezeichnen sich alle drei Unternehmen als mehr oder weniger innovativ, um die Abhängigkeit nach kritischen Metallen durch Einsparungen beim Materialbedarf zu reduzieren. Insbesondere in den beiden Pilot-KMU 2 und 3 kommt solchen Bestrebungen eine sehr hohe Bedeutung zu, während diese in Pilot-KMU 1 nur von mittlerer Bedeutung sind, was die Kritikalitätsbewertung in diesem Aspekt höher ausfallen lässt. Alle drei KMU schätzen jedoch das offenstehende Innovationspotenzial als sehr gering ein.

3.2.3 Umweltbelastung und soziale Auswirkungen

Tabelle 6 stellt die Resultate aus der Kritikalitätsbewertung für die beiden Dimensionen „Umweltbelastung“ und „soziale Auswirkungen“ übersichtlich dar. Sie zeigt die Risiko-Kategorien für alle in den drei Pilot-KMU eingesetzten Metalle und diese Metalle beinhaltenden Halbfabrikate.

HALBFABRIKATE UND METALLE	GESAMTUMWELTBELASTUNG	GESELLSCHAFTLICHES KONFLIKTPOTENZIAL
Pilot-KMU 1		
MAGNET (MOTOR)	1	5
Dysprosium	1	5
Neodym	1	5
SPS & HMI (vgl. 0)	2	5
Antimon	1	5
Gallium	1	5
Indium	2	3
Molybdän	2	3
Niob	1	5
Tantal	2	5
Pilot-KMU 2		
MAGNET (MOTOR)	1	5
Dysprosium	1	5
Kobalt	1	5
Neodym	1	5
Samarium	1	5
Pilot-KMU 3		
FLEXIBLE DÜNNSCICHT-PV	2	5
Gallium	1	5
Indium	2	3

Tabelle 6: Kritikalitätsbewertung der drei Pilot-KMU für die beiden Dimensionen „Umweltbelastung“ und „soziale Auswirkungen“.

In den Dimensionen „Umweltbelastung“ und „soziale Auswirkungen“ offenbart sich für alle in den drei Pilot-KMU eingesetzten Metalle bzw. beinhaltenden Halbfabrikate und Produkte ein grundsätzlich ähnliches Bild. Während sich die Gesamtumweltbelastung für alle Metalle als wenig kritisch herausstellt (d.h. Risiko-Kategorien 1 bis 2), sind in Bezug auf die bis auf wenige Ausnahmen (Indium, Molybdän) alle Metalle als hoch kritisch eingestuft.

Die Hauptursache für die tiefen Umweltbelastungen ist bei vielen der betrachteten Metalle darauf zurückzuführen, dass diese als Koppel- oder sogar Nebenprodukt beim Abbau von mengenmässig bedeutenden Industriemetallen gewonnen werden. Aufgrund der in den verwendeten Ökobilanz-Daten umgesetzten ökonomischen Allokation zur Aufteilung der Umweltbelastungen auf das Haupt- bzw. die Koppel- und Nebenprodukte, wird den in der Studie analysierten Metallen häufig nur ein vergleichsweise geringer Anteil angelastet.

Indium fällt als Koppelprodukt bei der Zinkproduktion an und der überwiegende Anteil der Umweltbelastungen wird aufgrund der ökonomischen Bedeutung dem Zink, und nicht dem Indium zugeteilt (Risiko-Kategorie 1).

Gallium wird als Nebenprodukt bei der Aluminiumherstellung aus Bauxit im Bayer-Verfahren gewonnen. Aufgrund seines Nebenprodukt-Status wird dem Gallium in der Ökobilanzbetrachtung keine Umweltbelastung aus dem Prozess zugeordnet (Risiko-Kategorie 1).

Kobalt wird aus der Reduktion von grauem und schwarzem Kobaltoxid gewonnen, welches bei der Nickelproduktion anfällt. Aufgrund seines Koppelprodukt-Charakters und dem im Vergleich zu Nickel geringen Umsatzbeitrag fallen die dem Kobalt allozierten Umweltbelastungen sehr gering und damit unkritisch aus (Risiko-Kategorie 1).

Der Abbau von Molybdän erfolgt zu 70% im Tagebau und zu 30% im Untertagebau und einer anschliessenden gemeinsamen Aufbereitung zur Gewinnung von Kupfer bzw. Molybdenit in einem Flotationsverfahren. Entsprechend ist Molybdän in den verwendeten Ökobilanzdaten als Koppelprodukt aus der Herstellung von Kupfer abgebildet und geht mit vergleichsweise geringen Umweltbeeinträchtigungen einher (Risiko-Kategorie 2).

Der Abbau von Antimon erfolgt industriell überwiegend aus dem Antimon-reichen Sulfid-Mineral Stibnit (Grauspiessglanz) als Hauptprodukt. Aufgrund des wenig aufwändigen Produktionsverfahrens, was v.a. auch auf den hohen Antimon-Gehalten der Erze (bis 72% im Stibnit bis 92% in Paradocrasit) zurückzuführen ist, wird die Umwelt vergleichsweise wenig beeinträchtigt (Risiko-Kategorie 1).

Tantal wird sowohl als Hauptprodukt aus Tantalit-Erzen sowie aus Schlacken aus der Zinnverhüttung als Koppelprodukt gewonnen. In der vorliegenden Studie wurde über die verfügbaren

Ökobilanzdaten die Produktion aus Tantalit-Erzen betrachtet. Entsprechend liegen die Umweltbeeinträchtigungen ein bisschen höher als bei den meisten bereits erwähnten Metallen, jedoch im Vergleich mit anderen Metallen (z.B. Rhodium oder Platin-Gruppen-Metalle) immer noch im unkritischen Bereich (Risiko-Kategorie 2).

Die Metalle der seltenen Erden (Neodym, Dysprosium, Samarium) werden als Koppelprodukte aus Bastnäsit-Erzen abgebaut und in Form von Oxiden extrahiert. Im anschließenden Aufbereitungsprozess werden die „Mischoxide“ (z.B. Samarium-Europium-Gadolinium-Oxid) voneinander getrennt und ausgefällt. Die vergleichsweise geringen Umweltbelastungen der Selten-erdmehalle (Risiko-Kategorie 1) sind hauptsächlich auf die Vielzahl der aus dem Erz gewonnenen Metalle zurückzuführen. Dadurch werden die Umweltauswirkungen aus dem Bergbau auf diverse Koppelprodukte verteilt.

Was die Dimension soziale Auswirkungen anbelangt, sind beinahe alle der in den Pilot-KMU eingesetzten Metalle mit der Risiko-Kategorie 5 bzw. hoch kritisch bewertet. Die einzigen Ausnahmen bilden die beiden Metalle Indium und Molybdän (Risiko-Kategorie 3). Der Grund liegt bei beiden Metallen darin, dass ein Anteil von 40–60% in politisch vergleichsweise stabilen Ländern gewonnen wird. So stammt bei Indium ein bedeutender Anteil der Weltjahresproduktion aus Ländern wie Südkorea, Belgien, Kanada, Frankreich und Japan; bei Molybdän aus Ländern wie der USA, Chile, oder Kanada. Bei den anderen in den Pilot-KMU eingesetzten Metallen (Antimon, Gallium, Kobalt, Niob, Dysprosium, Neodym, Samarium) wird die Weltjahresproduktion zum überwiegenden Anteil von mindestens 80% von Ländern dominiert (Risiko-Kategorie 5), in denen das Problem der Korruption relativ weit verbreitet ist (d.h. CPI < 50). So stammten beispielsweise im betrachteten Zeithorizont über 97% der seltenen Erden oder etwa 85% des weltweit geförderten Galliums aus China (75%), Kasachstan, Russland und der Ukraine (der bedeutende Rest 10%). Bei Tantal kommt zur Konzentration der Weltjahresproduktion in «korrupten» Ländern noch hinzu, dass es als Konfliktmineral klassifiziert ist, weil ein Anteil der Förderung aus Konfliktregionen in der Demokratischen Republik Kongo stammt (Risiko-Kategorie 5).

4 Handlungsoptionen

4.1 Grundlagen für KMU-Ressourcenstrategie

Neben der Entwicklung der Methodik zur Bewertung der Kritikalität von seltenen Metallen in Unternehmen, sollen in einem aufbauenden Schritt als naheliegendes Folgeelement Grundlagen für die Entwicklung einer KMU-Ressourcenstrategie erarbeitet werden. Dies soll ermöglichen, dass in Abhängigkeit der Bewertungsergebnisse zielgerichtete strategische Handlungsempfehlungen abgeleitet und so den Unternehmen im zu entwickelnden elektronischen Tool massgeschneiderte strategische Bausteine für ihre Ressourcenstrategie bzw. den Fokus für die vertiefte Prüfung von Strategien (z.B. Supply Chain Management, Steigerung der Ressourceneffizienz) aufgezeigt werden können.

Die Erarbeitung dieser Handlungsoptionen basierte auf diversen Grundlagen. Einerseits wurden bei der Situationsanalyse rund um den Einsatz und den Umgang mit seltenen Metallen in den Pilot-KMU auch nach betrieblichen Massnahmen zum Umgang mit Versorgungsrisiken und betrieblichen Abhängigkeiten gefragt. Die so entstandenen Ansatzpunkte wurden auf Basis einer Literaturrecherche und Einbezug von EBP-internen Fachleuten ergänzt. Anschliessend wurde diese strukturiert, abgeglichen und inhaltlich beschrieben und abgegrenzt.

Daraus resultierten 18 Handlungsoptionen, die an unterschiedlichen Punkten in der Wertschöpfungskette und auf verschiedene Kritikalitätsaspekte ausgerichtet sind. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt, beschrieben und auf die unterschiedlichen Kritikalitätsaspekte bezogen.

HANDLUNGS- OPTION	KURZBESCHREIBUNG	AN- GRIFFS- PUNKT
Preisabsicherung	Eingehen einer Absicherungsstrategie zum Schutz vor unsicheren Preisentwicklungen auf Rohstoffmärkten über einen prämien-basierten Risikotransfer, z.B. Termingeschäft.	A1.4–A1.5
Langfristige Lieferverträge	Abschluss von langfristigen Lieferverträgen idealerweise mit rohstoffproduzierenden Unternehmen zur langfristigen Absicherung der Beschaffung im Falle von unsicheren Entwicklungen auf Rohstoffmärkten.	A1.3–A1.5

Lagerbildung (Stock piling)	Ausbau der Lagerkapazitäten bzw. Erhöhung der Vorräte für kritische Rohstoffe zur Überbrückung von temporären Lieferengpässen bzw. nicht tragbaren Rohstoffkosten (vor allem bei just-in-time produzierenden Unternehmen).	A1.4–A1.5
Transparenz Versorgungskette	Ausbau der Transparenz über die Liefer- und Wertschöpfungsketten von versorgungsrelevanten, kritischen Rohstoffen, um potenzielle Lieferengpässe oder Preiserhöhungen besser antizipieren bzw. über Änderungen im Beschaffungswesen vermeiden zu können.	A1.1–A4.1
Diversifizierung Lieferanten	Diversifizierung von Lieferanten kritischer Materialien, um Lieferengpässe bzw. Preiserhöhungen zu umgehen.	A1.3–A1.5
Verkürzung Lieferketten	Beteiligungen an und Abschluss von Verträgen mit rohstoffproduzierenden Unternehmen, um sich einen direkteren Zugang zu kritischen Rohstoffen zu verschaffen.	A1.4–A1.5
Backward- Integration	Beteiligung an oder Übernahme einer oder mehrerer vorgelagerten Fertigungsstufen durch vertikale Unternehmenskonzentration (theoretisch bis hin zur Rohstoffgewinnung).	A1.2–A1.5, A3.1–A4.1
Horizontale Integration (Pooling)	Zusammenschluss mit anderen Unternehmen zur Bildung von Einkaufsgemeinschaften zur Stärkung der Verhandlungsposition beim Abschluss von Lieferverträgen und der Einflussnahme in politischen Prozessen.	A1.4–A1.5
Forward-Integration	Beteiligung an oder Aufbau von der Produktion nachgelagerten Recyclingbetrieben für Produktions- und Siedlungsabfälle, die kritische Rohstoffe enthalten.	A1.4–A1.5, A3.1–A4.1
F+E Entmaterialisierung	Prüfung von firmeninternen Möglichkeiten und/oder Beteiligung an Forschungsk Kooperationen bzw. Wissensnetzwerken zur Minimierung des Materialeinsatzes in Produkten, um langfristigen Lieferengpässen oder nicht tragbaren Preiserhöhungen zu begegnen.	A1.1–A2.1, A2.3–A4.1
F+E Substituierbarkeit	Prüfung von firmeninternen Möglichkeiten und/oder Beteiligung an Forschungsk Kooperationen bzw. Wissensnetzwerken zur Substituierbarkeit versorgungskritischer Metalle, um langfristigen Lieferengpässen oder nicht tragbaren Preiserhöhungen zu begegnen.	A1.1–A2.2, A3.1–A4.1

Massnahmen Substitution	Umsetzung von Massnahmen zur Substitution von kritischen Rohstoffen.	A1.1–A2.2, A3.1–A4.1
Reduktion Materialausschuss	Förderung von firmeninternen Bestrebungen zur Optimierung von Produktionssystemen, um den Ausschuss von langfristig versorgungskritischen Materialien in der Produktion zu minimieren.	A1.1–A2.1, A2.3–A4.1
Recycling Produktionsabfall	Förderung von betriebsinternen Optionen zur Wiederverwertung von kritischen Rohstoffe-enthaltenden Produktionsabfällen zur Reduktion der Versorgungsabhängigkeit.	A1.1–A1.5, A3.1–A4.1
Alternatives Produktdesign	Anpassungen von Produkten, so dass deren Herstellung nicht mehr bzw. weniger auf die Verfügbarkeit von kritischen Metallen angewiesen ist.	A1.1–A4.1
Design für Recycling	Anpassung von Produkten, so dass darin enthaltene kritische Metalle besser zurückgewonnen werden.	A1.1–A1.5, A3.1–A4.1
Produkt-Diversifizierung	Entwicklung neuer Geschäftsfelder durch Diversifizierung von Produkten, um betriebsstrategische Bedeutung von kritischen Materialien enthaltenden Produkten mittelfristig zu reduzieren.	A2.1
Recycling Siedlungsabfall	Unterstützung der Entwicklung und Umsetzung von Recyclinglösungen für Abfälle, die kritische Metalle beinhalten.	A1.1–A1.5, A3.1–A4.1

Tabelle 7: Handlungsoptionen für Unternehmen zur Reduktion der Kritikalität von Metallen.

Grundsätzlich können betriebliche Massnahmen an drei Punkten auf unterschiedliche Art ansetzen:

- Der Produktion vorgelagert in der Versorgungskette (d.h. von der Rohstoffförderung bis zur Anlieferung an den Betrieb), z.B. durch Diversifizierung von Lieferanten, vertikaler Integration von vorgelagerten Prozessen in den Betrieb, langfristige Lieferverträge, Lagerbildung bei tiefen Marktpreisen, usw.
- in der Produktion selber durch einen ressourceneffizienteren Umgang mit kritischen Rohstoffen, z.B. Ausschussreduktion, verbesserte Rezyklierbarkeit von Produkten, Substitution von kritischen Metallen durch weniger kritische Rohstoffe, Materialeinsparungen am Produkt, usw.
- der Produktion nachgelagert in der Aufbereitung von Produktionsabfällen oder in der Rücknahme und Aufbereitung von ausgedienten Geräten und Komponenten.

Während gewisse Massnahmen nur einen geringen Einfluss auf den Betrieb haben (z.B. Lagerbildung, langfristige Lieferverträge), so erfordern andere tiefgreifende betriebliche Anpassungen (z.B. Substitution geht aufgrund von funktionalen Unterschieden häufig mit Produktanpassungen und veränderten Produktionssystemen einher), was in Anbetracht des Alltagsdrucks und der Kurzfristigkeit von Trends (z.B. Preispeaks) schwierig ist.

Durch die Zuordnung der Handlungsoptionen zu den in die Kritikalität einflussenden Bewertungsaspekten können Handlungsempfehlungen automatisch und abgestimmt auf unternehmens-spezifische Kritikalitäts-Bewertungsprofile gegeben werden.

5 Elektronisches Tool „RESCHECK BASIC“

Das abschliessende vierte Modul zielte darauf ab, die diversen Erkenntnisse aus dem Projekt in ein elektronisches Tool zu synthetisieren, welches es MEM-Unternehmen auf einfache Art erlaubt, die Abhängigkeiten und Tragweite des Einsatzes von seltenen Metallen grob einzuschätzen (Kritikalitätsscreening) und einen Überblick über entsprechende Handlungsoptionen zur Reduktion der Kritikalität zu erhalten.

5.1 Ergänzende Grundlagen

Wie unter anderem die Analyse der Pilot-KMU gezeigt hat, beziehen viele Schweizer Unternehmen die Metalle nicht direkt als Rohstoffe, sondern als Bestandteil von Halbfabrikaten (Halbprodukte, Bauteile, Komponenten). Da die in diesen Halbfabrikaten enthaltenen Metalle für die Unternehmen nicht immer bekannt sind, ist es wesentlich, dass das Webtool auch eine Aussage zur Kritikalität ausgehend von Halbfabrikaten ermöglicht.

Bis heute existiert kein systematischer Überblick darüber, welche kritischen Metalle in welchen Produkten und Halbfabrikaten enthalten sind. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Studie diverse fragmentierte Informationen zur Verwendung von kritischen Metallen in verschiedenen Produktanwendungen zusammengetragen und schliesslich in einer für das Tool verwendbaren Datenbank abgelegt. Darin enthalten sind Angaben zum Vorhandensein der berücksichtigten 37 kritischen Metalle in insgesamt 42 Halbfabrikaten bzw. Produkten.

5.2 Technische Spezifikation

Das elektronische Tool wurde als Webtool implementiert. In der folgenden Tabelle 8 sind die wesentlichen technischen Charakteristiken zusammengefasst.

WAS	BESCHREIBUNG
URL	Das Webtool ist über die folgenden vier Internet-Adressen abrufbar: <ul style="list-style-type: none"> • www.metalriskcheck.com • www.metalriskcheck.ch

	<ul style="list-style-type: none"> • www.metal-risk-check.com • www.metal-risk-check.ch
Browser	Das Webtool ist mit den gängigen Webbrowsern (Internet Explorer, Firefox, Safari, Opera, Chrome) kompatibel.
Nutzertypen	Um die Art der Nutzung des Tools so genau wie möglich nachverfolgen zu können, werden verschiedene Nutzertypen unterschieden. Neben der Hauptnutzergruppe „Unternehmen“, können vier weitere Nutzertypen ausgewählt werden (d.h. Verband, Verwaltung, Medien, Privatperson).
Benutzerkonto	Das Tool bietet den Nutzern die Möglichkeit, sich zu registrieren und ein entsprechendes Benutzungskonto einzurichten. Registrierte Nutzer können ihre Checks abspeichern und jederzeit auf bereits durchgeführte Checks zugreifen. Dies ermöglicht die zeitliche Nachverfolgung des Kritikalitätsprofils und eventuelle Rückschlüsse auf geplante oder umgesetzte Massnahmen.
Export	Über eine Export-Funktion können durchgeführte Checks (ausgefüllter Fragebogen, Kritikalitätsbewertung, Handlungsempfehlungen) in Form eines zusammenfassenden PDF exportiert und verfügbar gemacht werden.
Import	Die dem Tool hinterlegten Datenbanken (z.B. Risikokategorien für die Metalle, Metalle in Halbfabrikaten) können über eine CVS-Import-Funktion aktualisiert werden.
Sprache	Das Tool kann in verschiedenen Sprachen geladen werden. Bis anhin sind eine deutsche und eine französische Version implementiert.

Tabelle 8: Technische Spezifikation des Webtools „Metal Risk Check BASIC“.

5.3 Aufbau und Funktionsweise

Der prinzipielle Aufbau bzw. die Funktionsweise des elektronischen Tools ist in Abbildung 9 übersichtsweise illustriert. Die Abbildung zeigt das Zusammenwirken von User-Interfaces (Vordergrund-Ebenen) und Datenbanken (Hintergrund-Ebenen) zur Umsetzung der Benutzer-Eingaben in eine übersichtlich dargestellte Kritikalitätsbeurteilung inklusive Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Kritikalitäts-Hotspots. Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile des Webtools genauer beschrieben. Das eigentliche Tool besteht prinzipiell aus drei Ebenen. In der Eingabe-Ebene werden die für die Kritikalitätsbewertung erforderlichen Angaben des Unternehmens erhoben. In einer zweiten Ebene werden die Angaben aus dem Fragebogen

an die Datenbanken angebunden und die Kritikalitätsbewertung gerechnet. In der Resultate-Ebene werden die Ergebnisse der Kritikalitätsbewertung graphisch übersichtlich dargestellt und entsprechende Handlungsempfehlungen gegeben.

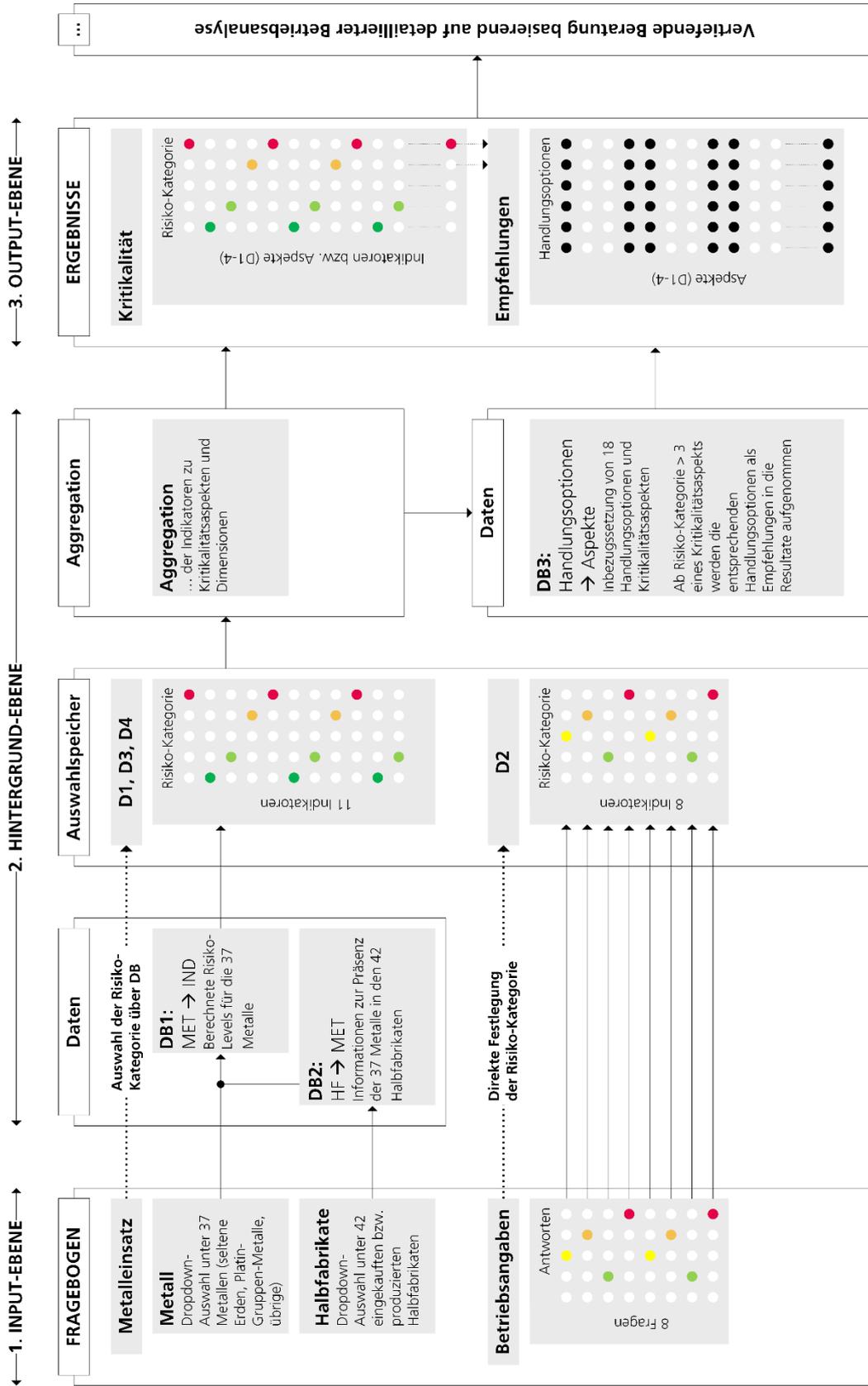


Abbildung 8: Aufbau und Funktionsprinzip des elektronischen Tools „RESCHECK BASIC“Eingabe-Ebene.

Die Input-Maske besteht grundlegend aus einem standardisierten Fragebogen. In diesem Fragebogen werden die für die Kritikalitätsbewertung benötigten Informationen bei den KMU eingegeben. Der Fragebogen enthält zwei verschiedene Frageblöcke, die auf unterschiedlichen Dimensionen der entwickelten Kritikalitätsbewertungsmethode abzielen. Einerseits geht es dabei um Angaben zum Einsatz von kritischen Metallen im Betrieb, das heisst von welchen der 37 zur Auswahl stehenden Metalle ist das Unternehmen abhängig (vgl. Abbildung 10). Da aufgrund der Erfahrungen in den 3 Pilot-KMU davon ausgegangen werden kann, dass diese Informationen in vielen Betrieben nicht vorhanden sind, wird neben der direkten Auswahl der Metalle die Möglichkeit gegeben, zwischen verschiedenen seltene Metalle enthaltenden Halbfabrikaten⁵⁾ auszuwählen. Die Informationen zum Typ der eingesetzten Metalle ist abschliessend massgebend für die Beurteilung aller Kritikalitätsaspekte in den Dimensionen „Versorgungsrisiko“ (D1), „Umweltauswirkungen“ (D3), und „soziale Auswirkungen“ (D4). Für diese Dimensionen sind die Risiko-Kategorien aller Kritikalitätsindikatoren und diese beinhaltenden Aspekte aufgrund des Versorgungsketten-Fokus („cradle-to-entry-gate“) rein abhängig vom ausgewählten Metall bzw. denjenigen, welche über die Halbfabrikate-Metall-Datenbank (DB 2) bestimmt wurden.

5) Die Datenbank umfasst momentan 42 als wesentlich befundene Halbfabrikate. Weder kann garantiert werden, dass die darin enthaltenen Metalle in allen Fällen als vollständig, noch dass die Liste mit Halbfabrikaten als abschliessend zu betrachten sind, sondern ein weiterer Schritt hin zu einem umfassenderen Verständnis über die vielschichtigen Einsatzgebiete von kritischen Metallen („work in progress“).

METAL RISK CHECK

Ihre Angaben V1.5/8.2015

Nutzertyp Privatperson ▼

Welche Halbfabrikate bzw. Produkte benötigen bzw. produzieren Sie? Auswahl ▼ ?

Welche Metalle setzen Sie in Ihrem Betrieb in der Produktion ein? Gallium ▼ ?

Abbildung 9: Angabe des kritischen Metalls bzw. des Produkts/Halbfabrikats im Fragebogen.

Im zweiten Frageblock werden die Informationen abgefragt, auf welchen die Beurteilung der Kritikalitätsindikatoren von Dimension 2 „Anfälligkeit Betrieb“ beruht. Dabei wird jeder Indikator über eine Frage abgedeckt. Die Antworten zu diesen Fragen erfolgen auf einer 5-stufigen Ordinalskala, was eine direkte Zuordnung der Antwort auf die 5-stufige Risiko-Kategorie ermöglicht, d.h. die Risiko-Kategorie für den entsprechenden Indikator wird direkt durch die Antwort festgelegt (Abbildung 11).

METAL RISK CHECK	Welchen Anteil haben die betreffenden Halbfabrikate bzw. Produkte am gesamten Firmenumsatz?	unbedeutend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	sehr bedeutend
	Können Mehrkosten in der Beschaffung des Metalls bzw. des betreffenden Halbfabrikats an den Kunden weitergegeben werden?	ja, auch mittelfristig	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	nein, gar nicht
	Wie wichtig ist die Verfügbarkeit des Metalls bzw. des betreffenden Halbfabrikats für die Unternehmensstrategie?	unbedeutend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	sehr bedeutend
	Kann das Metall bzw. dieses beinhaltende Halbfabrikat durch ein Substitut ersetzt werden?	ja, problemlos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	nein, gar nicht
	Wie beurteilen Sie die Funktionalität des Substituts im Vergleich zum Original?	klar besser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	eindeutig schlechter
	Wie hoch sind die Beschaffungskosten des Substituts im Vergleich zum Original?	klar tiefer	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	eindeutig höher
	Welchen Stellenwert haben in Ihrem Betrieb Bestrebungen für Materialeinsparungen bei seltenen Metallen bzw. diese beinhaltenden Halbfabrikate?	überaus zentral	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	keinen
	Wie beurteilen Sie das Potenzial in Ihrem Betrieb zu Einsparung des Metalls bzw. des betreffenden Halbfabrikats?	sehr gross	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	keines

Abbildung 10: Acht Fragen zur Erfassung der Anfälligkeit des Betriebs gegenüber Versorgungseinschränkungen.

5.3.1 Hintergrund-Ebene

Die Hintergrund-Ebene ist der für den Nutzer nicht sichtbare Bereich des Webtools. In der Hintergrund-Ebene sind einerseits alle Daten und Informationen abgelegt, welche zur Berechnung der Kritikalität und zur Auswahl der Handlungsempfehlungen auf Grundlage der Angaben aus dem Fragebogen erforderlich sind. Andererseits werden in einem Auswahl Speicher alle mit einer spezifischen Abfrage verbundenen Kritikalitätsdaten abgelegt und für die Output-Ebene aggregiert. Die verschiedenen im Tool hinterlegten Datenbanken werden im Folgenden beschrieben:

Datenbank 1 beinhaltet die Risiko-Kategorien für die Indikatoren aller Kritikalitätsaspekte der Beurteilungsdimensionen 1 (Versorgungsrisiko), 3 (Umweltbeeinträchtigung) und 4 (soziale Auswirkungen) für alle berücksichtigten 35 Metalle. In Abhängigkeit des in der ersten Frage ausgewählten Metalls werden die entsprechenden Risiko-Kategorien ausgewählt, auf die unterschiedlichen Kritikalitätsebenen aggregiert und für die anschließende graphische Aufbereitung im Auswahl Speicher abgelegt.

In Datenbank 2 ist die Information zur metallischen Zusammensetzung für die abgebildeten 42 Halbfabrikate bzw. Produkte gespeichert. Sie ermöglicht die Anbindung der Halbfabrikate bzw. Produkte zu den darin enthaltenen seltenen Metallen. Bei der Auswahl von Halbfabrikaten werden vorgängig über diese Datenbank die im entsprechenden Halbfabrikat enthaltenen Metalle festgelegt, bevor wie oben beschrieben dann auf Grundlage von DB1 für diese Metalle die entsprechenden Risiko-Kategorien abgefragt und zwischengespeichert werden.

Datenbank 3 enthält schliesslich die Informationsgrundlage, welche die Anbindung der Kritikalitätsaspekte an diese beeinflussenden Handlungsoptionen ermöglicht. Wird bei einem Aspekt die Risiko-Kategorie 3 überschritten, können damit die mit diesem Aspekt in Verbindung stehenden Handlungsempfehlungen ausgewählt werden. Damit können den Nutzern Resultat-abhängige strategische Empfehlungen gegeben werden, welche grundlegenden Ansätze zur Reduktion der Kritikalität gegebenenfalls weiter zu prüfen sind.

5.3.2 Output-Ebene

In der Output-Ebene werden die Ergebnisse des Kritikalitätsscreenings und die entsprechenden Handlungsempfehlungen übersichtlich dargestellt und illustriert. Die Ergebnisse werden auf unterschiedlichen Hierarchiestufen abgebildet und können ausgehend von der höchsten Ebene (d.h. Dimension) bis auf Stufe der Indikatoren differenziert werden. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Output-Ebenen ist im Folgenden anhand von «Screens» gegeben (vgl. Abbildung 12 bis Abbildung 17).



Abbildung 11: Voll aggregiertes Ergebnis der Kritikalitätsbewertung am Beispiel des Halbfabrikats „CIGS-Halbleiter“.

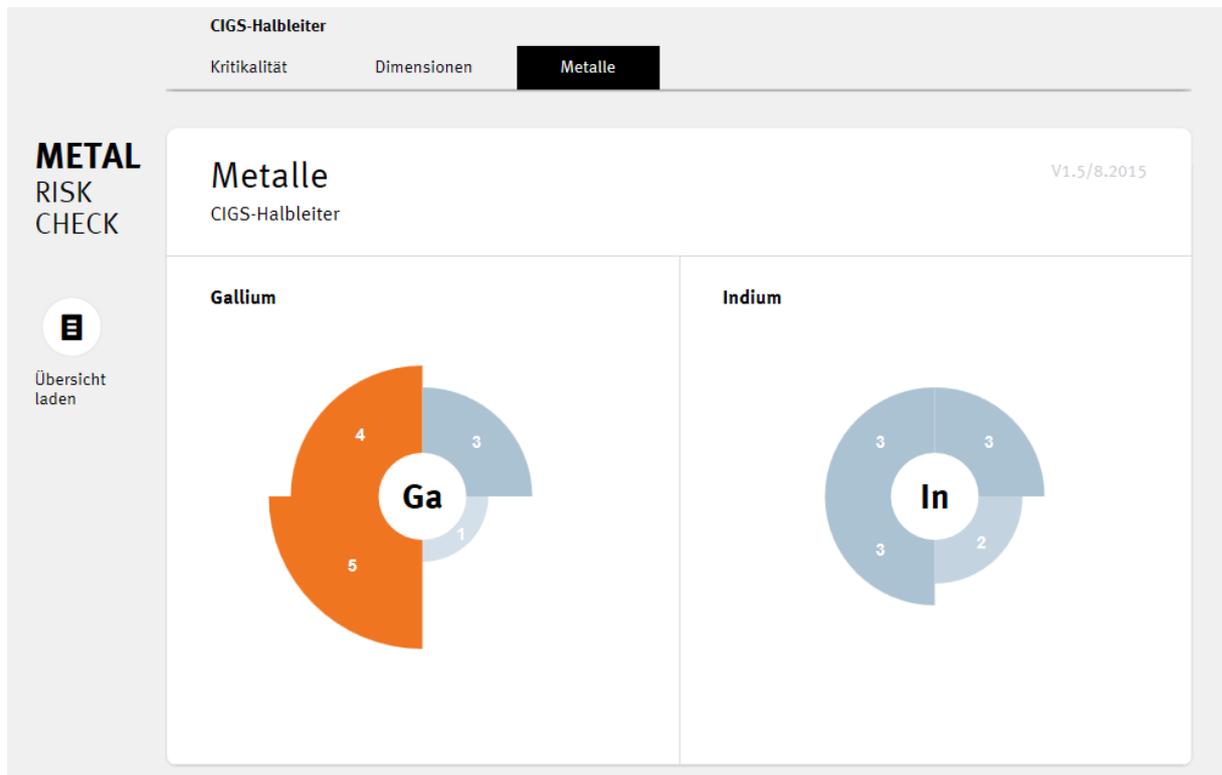


Abbildung 12: Darstellung der im Halbfabrikat „CIGS-Halbleiter“ enthaltenen kritischen Metalle.

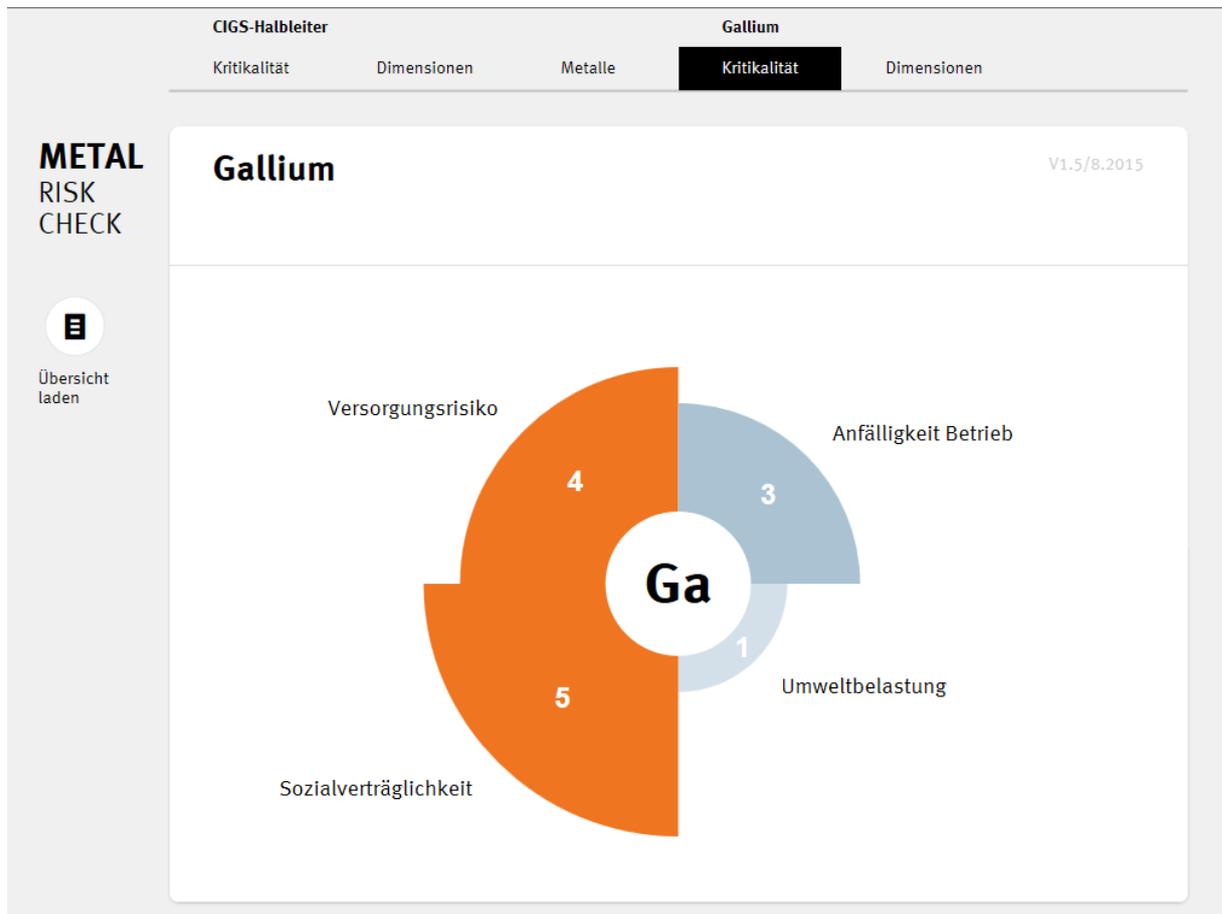


Abbildung 13: Voll aggregiertes Ergebnis der Kritikalitätsbewertung auf Dimensions-Ebene des im Halbfabrikat „CIGS-Halbleiter“ enthaltenen Metalls „Gallium“.

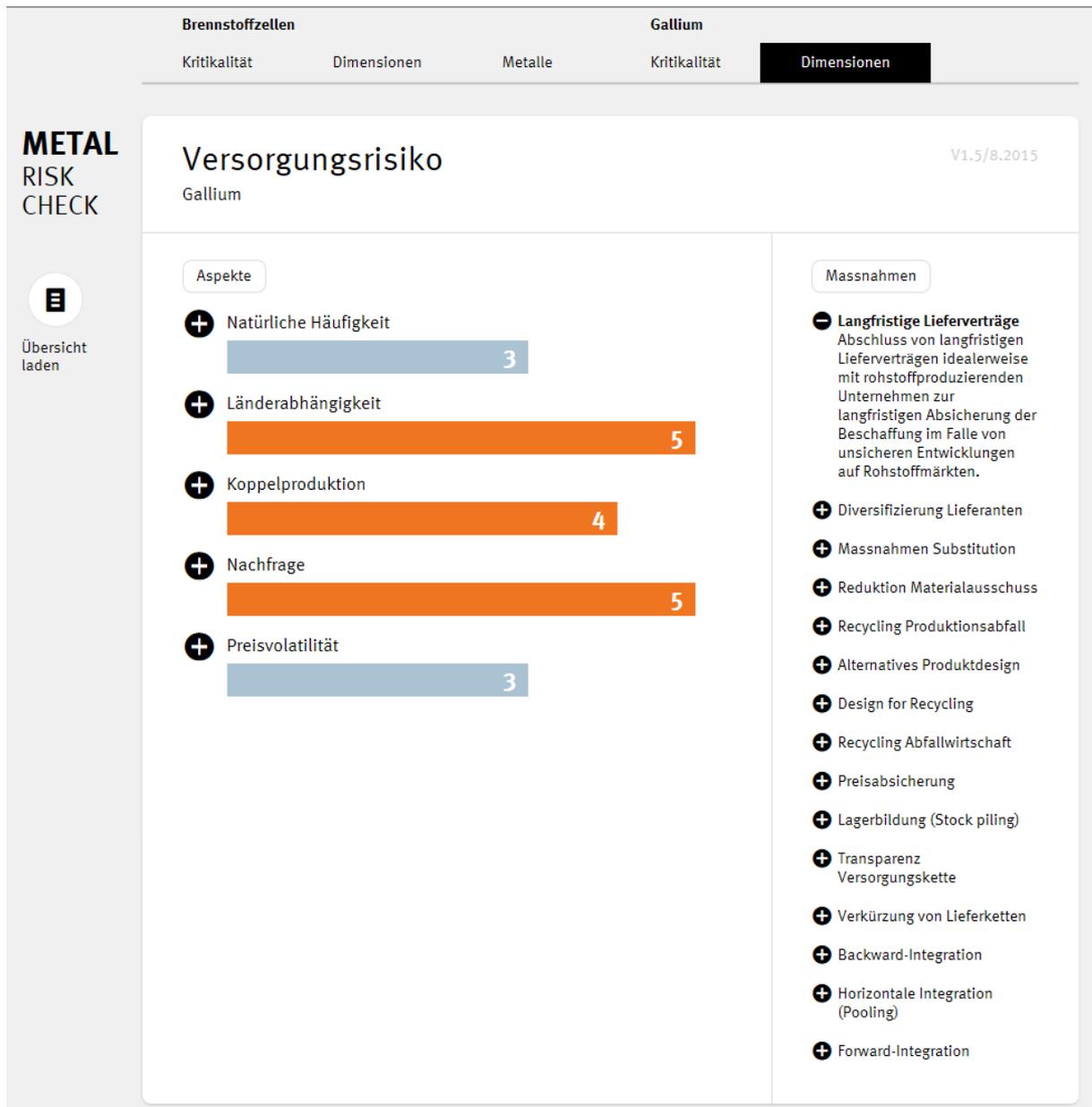


Abbildung 14: Bewertung der einzelnen Kritikalitätsaspekte der Dimension Versorgungsrisiko für das im Halbfabrikat „CIGS-Halbleiter“ enthaltenen Metalls „Gallium“.

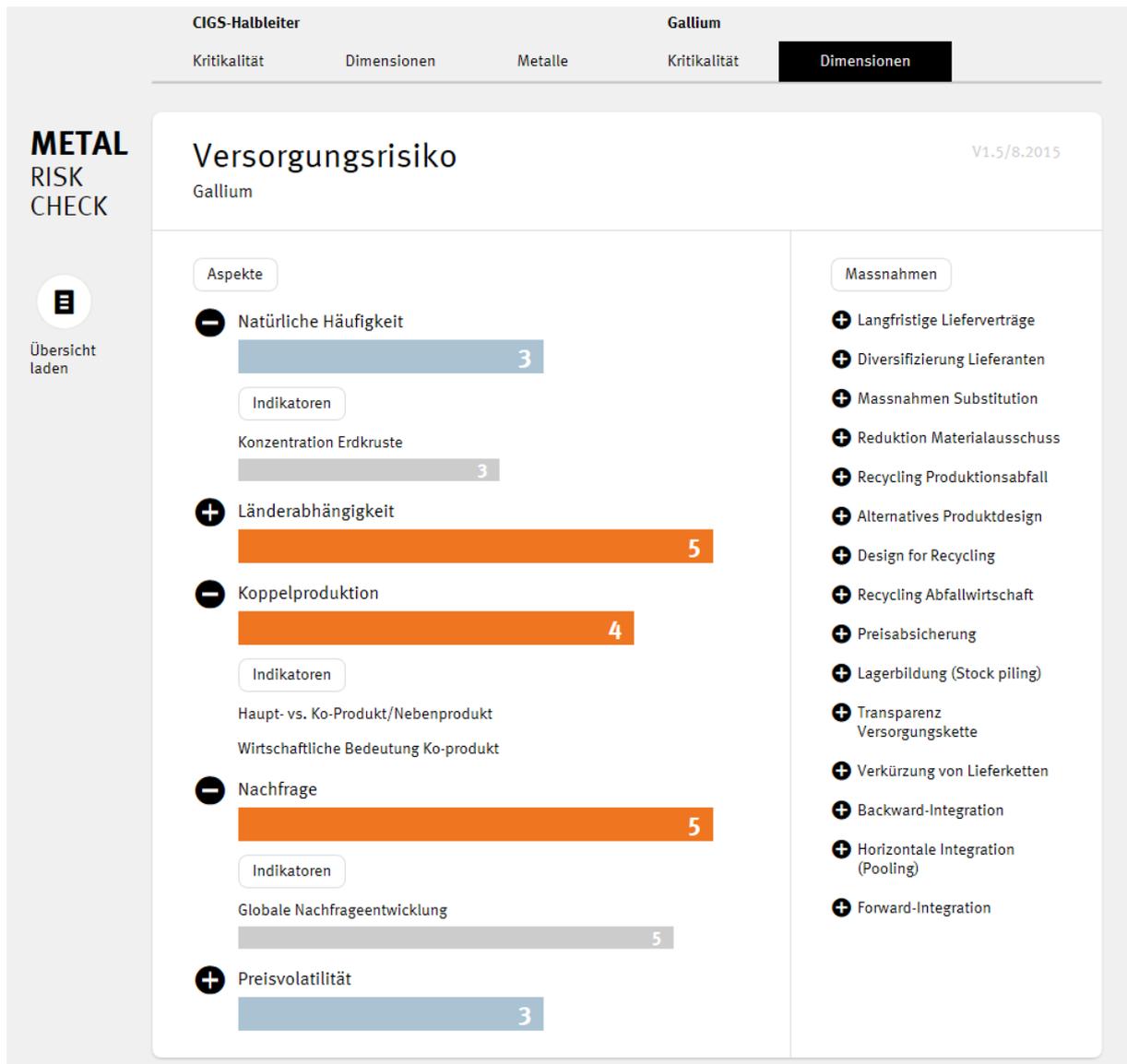


Abbildung 15: Kritikalitätsbewertung der detailliertesten Ebene (Indikatoren der Aspekte) am Beispiel der Dimension Versorgungsrisiko für Gallium.

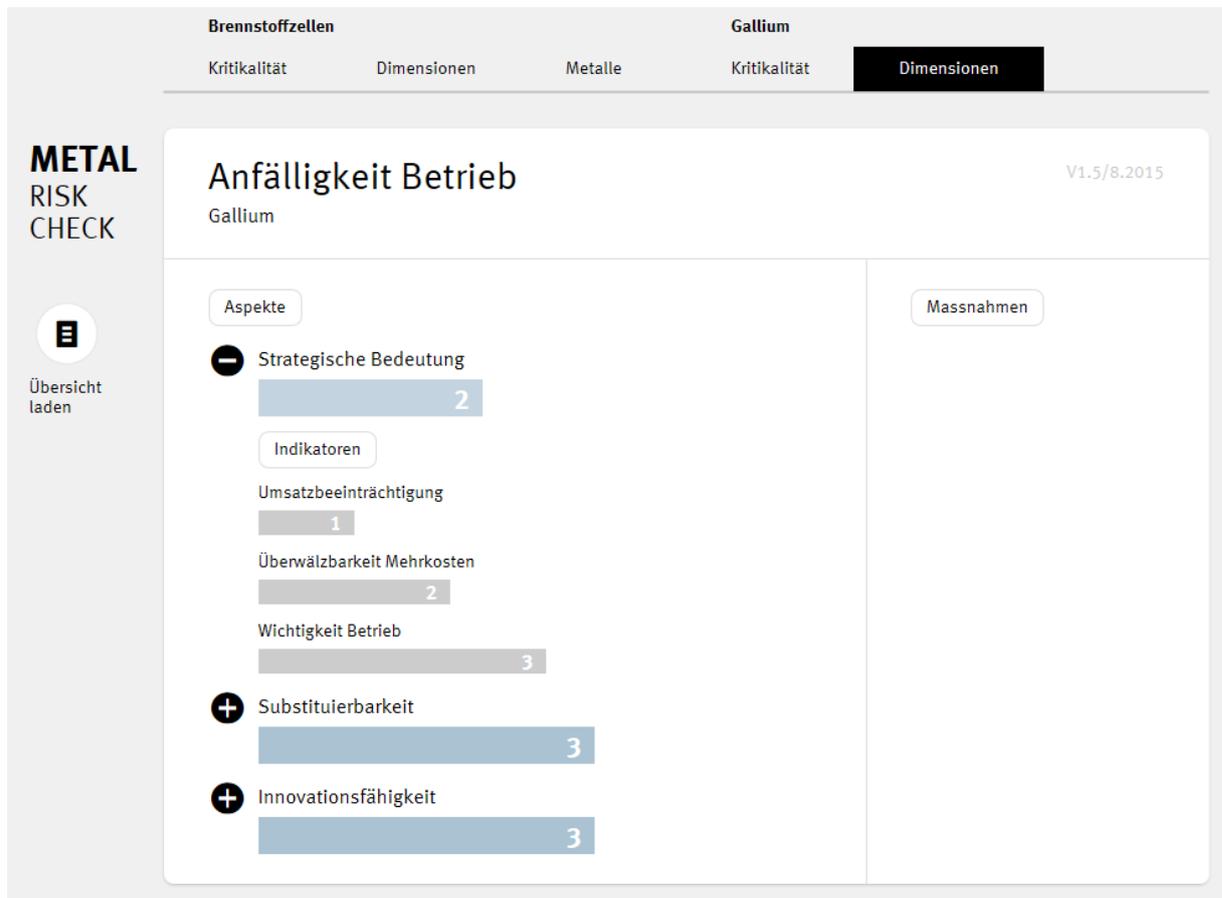


Abbildung 16: Voll differenziertes Ergebnis (Ebene Indikatoren) der Kritikalitätsbewertung am Beispiel von Gallium.

6 Fazit und weiterer Untersuchungsbedarf

6.1 Zusammenfassung & Diskussion

Mit dem RESCHECK-Projekt sollten neue Grundlagen und Erkenntnisse erarbeitet werden zu den Abhängigkeiten von KMU von seltenen Metallen, sprich zu Risiken und den ökologischen und sozialen Auswirkungen des Einsatzes von seltenen Metallen, und zu Handlungsempfehlungen, um kritische Abhängigkeiten zu reduzieren. Die gesammelten Erkenntnisse waren schliesslich in einem praxistauglichen Tool so zu synthetisieren, dass KMU auf pragmatische und gut geführte Art eine Standortbestimmung zu diesen Abhängigkeiten von kritischen Metallen ermöglicht und dazu passende Handlungsempfehlungen abgibt.

Dazu wurden in einem ersten Modul über kleine Fallstudien in drei ausgewählten Pilot-KMU, deren Tätigkeiten und Produkte auf eine sichere Versorgung mit kritischen Metallen angewiesen sind, eine Situationserhebung durchgeführt. Diese Erhebung erfolgte über einen Fragebogen und Erfassungsformulare und war geleitet vom Vulnerabilitätskonzept, welche alle die beiden Perspektiven der Versorgungsrisiken und der betrieblichen Anfälligkeit gegenüber einer eingeschränkten Versorgungssituation kombinieren und auch die Anpassungsfähigkeit mitberücksichtigt. Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse in den Pilot-KMU und bekannten methodischen Ansätzen in der Wissenschaft wurde im zweiten Modul eine multi-kriterielle Methode zur Kritikalitätsbewertung rund um den Einsatz von Metallen in KMU entwickelt und auf die Pilot-KMU angewendet. Die Methode basiert auf den vier Dimensionen Versorgungsrisiko, Anfälligkeit des Betriebs gegenüber einer Versorgungseinschränkungen, Umweltbeeinträchtigungen und soziale Auswirkungen. Diese Dimensionen wurden über insgesamt zehn Aspekte bzw. über 19 Indikatoren messbar gemacht und in eine fünf-stufige Kritikalitätsskala übertragen. Im dritten Modul stand die Entwicklung von Bausteinen für eine Ressourcenstrategie im Vordergrund. Auf Basis der Situationserhebung in den Pilot-KMU und eigener Recherche wurden insgesamt 18 verschiedene Handlungsempfehlungen zusammengetragen, welche an unterschiedlichen Kritikalitätsdimensionen bzw. -Aspekten ansetzen, und kurz beschrieben. Im abschliessenden vierten Modul wurden die erarbeiteten Resultate dann ins das eigentliche Produkt – das elektronische Tool – umgesetzt. Aufgrund der Vorgaben ans Monitoring der Nutzung des Tools wurde dieses in Form eines Webtools «Metal Risk Check⁶⁾» umgesetzt. Durch

6) Der Metal Risk Check ist über die folgenden vier URL abrufbar:
www.metalriskcheck.ch; www.metalriskcheck.com; www.metal-risk.check.ch; www.metal-risk-check.com

die Auswahl eines der 35 kritischen Metalle oder einem der 42 Halbfabrikate und die Beantwortung von acht Fragen erhält ein Unternehmen eine ansprechende Übersicht über die Kritikalitätshotspots, die über verschiedene Detailebenen vertieft analysiert werden können, und eine Übersicht und Beschreibung der möglichen Ansatzpunkte zur Reduktion der Kritikalität. Über eine Benutzerregistrierung erhält man die Möglichkeit, mehrere zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Kritikalitätsbewertungen abzuspeichern und die Entwicklung der Kritikalitätsprofile nachvollziehen zu können.

Die entwickelte Methodik zur Kritikalitätsbewertung und die entsprechende Umsetzung im Webtool Metal Risk Check ist als erste Basis-Version einzuordnen. Die Anwendung der Methode bzw. des Webtools erlaubt – im Sinne eines Kritikalitäts-Screenings – eine erste grobe, dafür pragmatische und gut vermittelbare Einschätzung von unterschiedlichen Kritikalitätsaspekten rund um die in einem Unternehmen eingesetzten Metalle und liefert eine Übersicht über dazu passende Handlungsoptionen zur Reduktion der Kritikalität. Die über den «Metal Risk Check» ermittelten Kritikalitäts-Hotspots und Handlungsoptionen sind als Auslegeordnung zu betrachten, die es im Rahmen von vertiefenden Folgebetrachtungen genauer zu analysieren gilt.

Weiter hat sich gezeigt, dass die Abbildung der Versorgungsketten der von einem Unternehmen bezogenen kritischen Metalle nur sehr schwer möglich ist, weil die Unternehmen häufig nur Informationen zur ersten Zulieferer-Ebene haben und weitere Informationen zur den Versorgungsketten kaum bzw. nur sehr aufwändig zugänglich sind. Entsprechend berücksichtigt die entwickelte Bewertungsmethode wie auch das Webtool Metal Risk Check auf der Versorgungsseite ausschliesslich die Wertschöpfungsstufe Rohstoffgewinnung bzw. Ressourcenabbau. Weitere für die Bewertung der Kritikalität relevante Charakteristiken der Versorgungsketten, die sich auf andere Wertschöpfungsstufen beziehen, konnten in der Methode wie auch im Metal Risk Check nicht aufgenommen werden. Beispiele hierfür sind die Diversität von Lieferanten, Anzahl von Betrieben, die ein bestimmtes Halbfabrikat produzieren, oder die regionale Verortung von Verarbeitungsstufen.

Ein weiteres Problem liegt in der beschränkten Anzahl von 42 Halbfabrikaten, welche in der Entwicklung des Webtools «Metal Risk Check» umgesetzt wurden. Die Arbeiten haben gezeigt, dass Unternehmen, welche die Metalle nicht in elementarer Form, sondern als Bestandteil in Halbfabrikaten und Produkten beziehen, keine bzw. nur wenige Angaben machen können zu Typen und Mengen der darin enthaltenen kritischen Metalle. Entsprechend sind die Unternehmen darauf angewiesen, dass Tools zur Bewertung der Kritikalität zwingend so aufgebaut werden müssen, dass eine Aussage auf Grundlage von Angaben zu eingesetzten Halbfabrikaten möglich ist. Das heisst, dass im Tool Informationen zur metallischen Zusammensetzung von

Halbfabrikaten enthalten sein müssen, damit dieses für die breite Unternehmenslandschaft anwendbar ist. Mit der Aufarbeitung von 42 Halbfabrikaten wurde im Rahmen des RESCHECK-Projekts ein wesentlicher erster Schritt in diese Richtung vollzogen. Dies müsste aber für eine breitere Anwendbarkeit des Tools in der Unternehmenslandschaft weiter ausgebaut werden. Gleichzeitig ist die Vielfalt von Anwendungen der betrachteten Metalle riesig und auch zunehmend (z.B. in elektronischen Geräten oder Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Energien) und Informationen zur metallischen Zusammensetzung von Halbfabrikaten sind nur beschränkt und höchst fragmentiert verfügbar.

6.2 Weiterer Untersuchungsbedarf

Um das Thema der Kritikalitätsbewertung weiter zu vertiefen bzw. gesamtheitlichere Aussagen für verschiedenste Unternehmen zu ermöglichen, sehen die Autoren Bedarf für weitere und aufbauenden Abklärungen.

Umfassendere Operationalisierung der Bewertungsdimensionen: Insbesondere bei den beiden Dimensionen Versorgungsrisiko und soziale Risiken gibt es Potenziale, den Bewertungsrahmen auf weitere Aspekte auszudehnen, um diese beiden Dimensionen gesamtheitlicher beurteilen zu können. Beim Versorgungsrisiko geht es darum, weitere, das Versorgungsrisiko beeinflussende Charakteristiken in den dem Abbau nachgeschalteten Stufen (z.B. Herstellung von Halbfabrikaten) zu analysieren und gegebenenfalls zu ergänzen. Die Dimension Soziale Auswirkungen ist bis anhin über einen Bewertungsaspekt bzw. zwei unterschiedliche Indikatoren (Korruption, Konfliktmetall) operationalisiert, die stark auf die gesellschaftliche Ebene fokussieren. Die Perspektive der Arbeitnehmenden (z.B. Arbeitszeiten, Kinderarbeit, faire Entlohnung) und von lokalen Gemeinschaften (z.B. Rechte indigener Bevölkerung, Landvertreibung) ist bis anhin nicht in die Methode und entsprechend im Webtool aufgenommen. Die Idee besteht darin, die Methode und das Tool um Aspekte und Indikatoren zu ergänzen, damit die Aussagen zu sozialen Auswirkungen bzw. Risiken gesamtheitlicher und damit aussagekräftiger werden.

Operationalisierung ausgewählter Kritikalitätsaspekte: Ausgewählte Kritikalitätsaspekte in der entwickelten Bewertungsmethode sind aus Sicht der aktuellen Diskussionen kritisch zu hinterfragen bzw. könnten noch aussagekräftiger operationalisiert werden. Dies betrifft beispielsweise den Aspekt der «natürlichen Häufigkeit» in der Dimension Versorgungsrisiko. Im vorliegenden Projekt wurde der Aspekt der geologischen Verfügbarkeit über die geologische Häufigkeit, d.h. über den durchschnittlichen Massenanteil des Metalls in der Erdkruste (ppm) operationalisiert. Es wäre zu prüfen, ob die «natürlichen Häufigkeit» nicht z.B. durch den Indikator

«extractable global resources», welcher das potentiell abbaubare geologische Lager ohne Berücksichtigung ökonomischer Aspekte quantifiziert, ersetzt werden könnte (vgl. Graedel & Reck, 2015; Henckens et al., 2016).

Verständnis der Versorgungsketten: Die Verbesserung des Verständnisses der Versorgungsketten von kritischen Metallen in Unternehmen wird als zentral erachtet, um die Kritikalitätsbewertung zu verfeinern bzw. bis anhin nicht berücksichtigte, aber die Kritikalität mitbestimmenden Charakteristiken in den Versorgungsketten hinsichtlich ihrer Relevanz zu analysieren und bei Bedarf in die Bewertungsmethode zu integrieren. In Zusammenarbeit mit geeigneten Industriepartnern sollen die Stufen der Versorgungsketten nach der Ressourcengewinnung vertieft erfasst werden, um die wesentlichen «Kritikalitäts-Charakteristiken» in den Versorgungsketten ableiten zu können und darauf aufbauend die Methode und das Tool hinsichtlich der Aussagekraft zu verbessern.

Wissensgrundlage zu Halbfabrikaten: Um die Kritikalitätsbewertung bzw. das Webtool «Metal Risk Check» für einen breiteren Ausschnitt aus der Unternehmenslandschaft zugänglich bzw. besser nutzbar zu machen, aber auch um gewisse Aspekte, wie beispielsweise die Nachfrageentwicklung, besser beurteilen zu können, wäre die Erweiterung der Wissensgrundlage zum Einsatz der kritischen Metalle in verschiedenen Halbfabrikaten und in Produkten bzw. Technologien zentral. Denn die Arbeiten haben gezeigt, dass Unternehmen, welche die Metalle als Bestandteil von Halbfabrikaten beschaffen, nur bedingt wissen, von welchen kritischen Metallen ihre Produktionstätigkeiten tatsächlich abhängen. Die Idee besteht darin, die entwickelte Wissensgrundlage zu Halbfabrikaten und ihren metallischen Bestandteilen zu einer umfassenden Datenbank auszubauen, um die Anwendbarkeit der entwickelten Kritikalitätsbewertung auf einen breiteren Ausschnitt der Unternehmenslandschaft sicherzustellen.

Metal Risk Check v.2: Auf Basis der Erkenntnisse aus den vorgängig skizzierten, weiteren Abklärungen wird eine Version 2.0 des Metal Risk Check umgesetzt. Dieser würde eine breitere Anwendbarkeit durch die Unternehmen sicherstellen und die relevanten, bisher nicht berücksichtigten Kritikalitätsaspekte zu den Versorgungsketten enthalten.

7 Literatur

- Du, X.; Graedel, T. E. (2011). Global In-Use Stocks of the Rare Earth Elements: A First Estimate. *Environmental Science & Technology*, 45, (9), 4096-4101.
- Duclos, S.J., Otto, J.P. und Konitzer D.G. (2010). Design in an era of constrained resources. *Mechanical Engineering*, September, 36-40.
- European Commission (2010). Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. Brüssel: European Commission.
- European Commission (2014). Report on Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. Brussel: European Commission.
- Fraser Institute (2013) Annual Survey of Mining Companies: 2012-2013. <https://www.fraser-institute.org/studies/annual-survey-mining-companies-2012-2013>
- Graedel, T., Harper, E., Nassar, N., Nuss, P. und Reck, B. K. (2015) Criticality of metals and metalloids. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (14), 4257-4262.
- Graedel, T.E. und Reck, B. K. (2016) Six Years of Criticality Assessments. What Have We Learned So Far? *Industrial Ecology* 20 (4), 692 – 699.
- Henckens, M.L.C.M, van Ierland, E.C., Driessen, P.P.J., & Worrell, E. (2016). Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *r49*, 102-11.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nassar, N., Graedel, T.E. und Harper, E. (2015) By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances*, 1, (3), e1400180.
- Nassar, N., Du, X. und Graedel, T. (2015) Criticality of the rare earth elements. *Journal of Industrial Ecology* 19, 1044-1054.
- Nuss, P. and Eckelman, M.J. (2014) Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. *PLOS One* 9 (7), e101298.
- Roth, C. (2013). *Kritische Rohstoffe in der MEM-Industrie*. Cleantec City vom 19. März, 2013, Bern.

- Transparency International (2012) Corruption Perception Index. <https://www.transparency.org/cpi2012/results>
- USGS (2010) Minerals yearbook 2010. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>
- USGS (2011) Metal Prices in the United States Through 2010. Scientific Investigations Report 2012–5188. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey National Minerals Information Center.
- USGS (2012a) Minerals yearbook 2012. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>
- USGS (2012b) Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/>
- Wedepohl, K. H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, (7), 1217-1232.

A1 Interviewleitfaden

Leitfadengestütztes Interview zum Ressourcen-Check für seltene/ kritische Metalle

Ziele des Interviews

1. Erhebung von Daten für die Beurteilung des Beschaffungsrisikos (Supply Risk) von seltenen/ kritischen Metallen
 2. Erhebung von Daten für die Einschätzung der Schadensanfälligkeit (Vulnerability) des Unternehmens
 3. Erhebung von Erfahrungen und entsprechend strategischen Ansätzen und Massnahmen zur Verbesserung der Versorgungssituation
-

Teil A: Unternehmen allgemein

4. Wie ist Ihre Firma strukturiert (Eigentumsverhältnisse, Standorte, Sparten, ...)?
 5. Wie viele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen beschäftigen Sie?
 6. Welchen Anteil machen Ihre Materialkosten sowie die Produktionskosten an den Gesamtkosten grob aus (z.B. in Prozent)?
-

Teil B: Beschaffungsrisiko seltene/ kritischer Metalle

B1: Produkte und Elemente/ kritische Metalle

7. Was sind Ihre hergestellten Produkte?
8. Welche seltenen/ kritischen Metalle werden in Ihren Produkten verwendet? (□ vgl. Anhang I)
9. In welchen Produkten oder Produktkomponenten werden die seltenen/ kritischen Metalle eingesetzt (z.B. Magnetstäbe)?
10. Verwenden Sie seltene/ kritische Metalle auch indirekt, z.B. in Hilfsmitteln oder Werkzeugen (Schleifmittel, Bohrer usw.)?
11. Welches sind die wichtigsten seltenen/ kritischen Metalle im Einkauf (direkter Einkauf oder als Teil einer Produktkomponente).
12. Besteht ein Recyclingsystem für Ihre Produkte? Wenn ja, wer führt das Recycling durch?
13. Welche Zeitspanne ist für Sie relevant für die Beurteilung der Kritikalität der Metalle? 1-5 Jahre oder 5-10 Jahre?

14. Falls die Kritikalität für ein bestimmtes Jahr beurteilt würde, welches wäre das? 2012?

B2: Bedeutung der betroffenen Produkte

15. Wie wichtig sind diese Produkte für Ihr Unternehmen? (auf einer Skala von 0 bis 100) oder

16. Welches ist jährliche Bedarf (Masse) der seltenen/ kritischen Metalle in den jeweiligen Produkten?

17. Welches ist der prozentuale Anteil der betroffenen Produkte am Umsatz? („Wie gross wäre der Verlust (in Prozenten), wenn das Produkt/ die Produkte nicht mehr hergestellt werden könnten“)

18. Wie hoch ist die Bedeutung der betroffenen Produkte für die Unternehmensstrategie? (auf einer Skala von 0 bis 100).

19. Wie gut sind die Möglichkeiten, eine Preiserhöhung an den Kunden weiterzugeben? (auf einer Skala von 0 bis 100).

B3: Markt

20. Welchen Markt/ Märkte erschliessen Sie? CH/ international?

21. Welche Kundensegmente beliefern Sie?

22. Wie ist die Konkurrenzsituation (wer sind die Hauptkonkurrenten und wie hoch sind die aktuellen Marktanteile)?

B4: Wertschöpfungskette

23. In welcher Stufe der Wertschöpfungskette des Endprodukts befindet sich Ihre Produktion? (vgl. Anhang II)

24. In welchen Ländern befinden sich die jeweiligen Zulieferer?

25. Bestehen andere Anbieter und wie konkurrenzfähig sind diese in Bezug auf Preis und Lieferfristen?

26. Wie gut ist die Möglichkeit, auf andere Anbieter zu wechseln?

Teil C: Schadensanfälligkeit für seltene/ kritischer Metalle

C1 Bedeutung der betroffenen Produkte für das Unternehmen

--> siehe B2

C2 Substituierbarkeit

27. Wie gut lässt sich das Element oder die Produktkomponente substituieren (auf einer Skala von 0 bis 100)? oder

28. Womit lässt sich das Element oder die Produktkomponente substituieren? Existieren Substitute, die unmittelbar zur Verfügung stehen?

29. Wie geeignet sind diese Substitute (auf einer Skala von 0 bis 100)?

30. Wie gut sind die Möglichkeiten der Firma, ein eigenes Substitut zu entwickeln (empfundener Schwierigkeitsgrad sowie die zur Entwicklung benötigte Zeit) (auf einer Skala von 0 bis 100)?

C3: Innovationsfähigkeit

31. Wie hoch schätzen Sie die Innovationsfähigkeit Ihres Unternehmens ein? (auf einer Skala von 0 bis 100) oder
32. Welchen Anteil Ihres Umsatzes setzen sie für Forschung und Entwicklung ein?
33. Welche Anzahl Patente haben Sie in den letzten Jahren erstellt?
34. Arbeiten Sie (für Forschung und Entwicklung) mit einer Hochschule zusammen?
-

Teil D: Massnahmen zur Rohstoffsicherung

D1: Verknappung von Rohstoffen/ Firmenstrategie

- Waren Sie bereits einmal von einer Verknappung eines Metalls betroffen?
- Verfolgen Sie konkrete Strategien zur Rohstoffsicherung?
- Ist Ihre Produktion von bestimmten Gesetzen/ Strategien zum Umgang mit Rohstoffen von Seiten der Schweizer Politik betroffen?

D2: Massnahmen

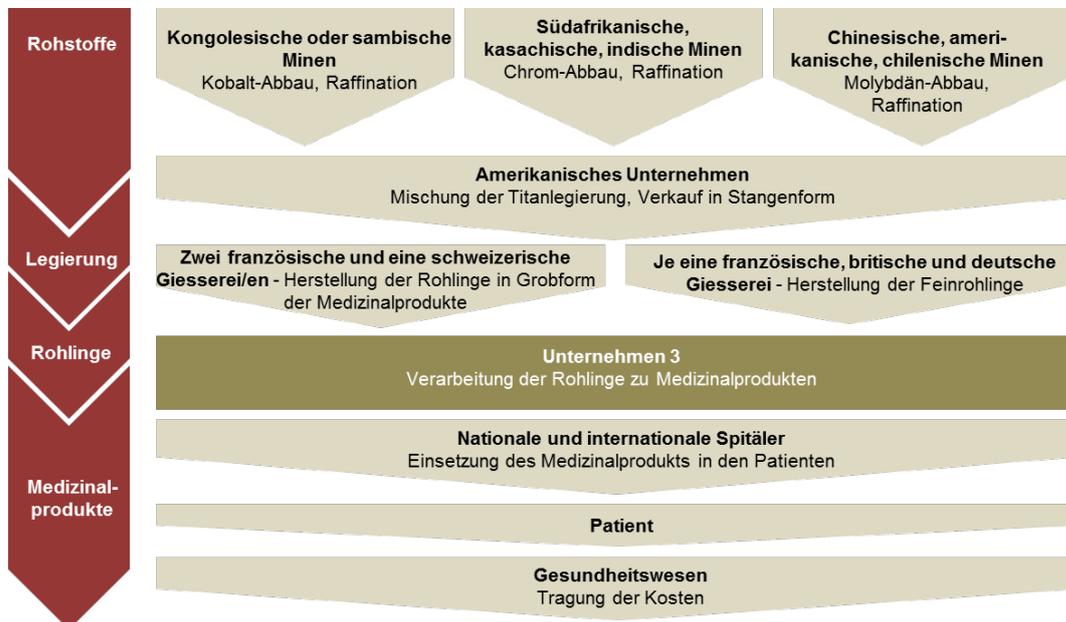
- Welche Massnahmen zur Rohstoffsicherung haben Sie bereits ergriffen?
- Führen Sie ein Lager mit den Rohstoffen/ Zwischenprodukten? Falls ja, wie lange reichen die Reserven bei einem Totalausfall der Lieferung aus?
- Haben Sie in den letzten 3 Jahren konkrete Massnahmen umgesetzt, um Material in der Produktion einzusparen? Falls ja, welche?
- Gibt es weitere mögliche Produktverbesserungen, die zu weniger Materialeinsatz führen?

Anhang zum Fragebogen:

Kritische und seltene Metalle

	la																		VIIIa								
1 (K)	¹ H		durchschnittlicher Massenanteil in der Erdkruste: < 0.01%																						² He		
2 (L)	³ Li	⁴ Be																			¹⁰ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne	
3 (M)	¹¹ Na	¹² Mg																				¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar
4 (N)	¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni	²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr									
5 (O)	³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd	⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe									
6 (P)	⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁵⁷ La	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt	⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn									

Beispiel einer Wertschöpfungskette für die Herstellung eines Medizinalprodukts



Datenerfassungsformular

NAME UNTERNEHMEN

Metalleinsatz in KMU	Metalle	Menge (kg/a)
	Antimon	
	Beryllium	
	Cer	
	Chrom	
	Dysprosium	
	Erbium	
	Europium	
	Gadolinium	
	Gallium	
	Germanium	
	Holmium	
	Indium	
	Iridium	
	Kobalt	
	Lanthan	
	Lithium	
	Lutetium	
	Magnesium	
	Molybdän	
	Neodym	
	Niob	
	Osmium	
	Palladium	
	Platin	
	Praseodym	

		Rhodium
		Ruthenium
		Samarium
		Scandium
		Tantal
		Terbium
		Thulium
		Wolfram
		Ytterbium
		Yttrium
Anfälligkeit KMU		Skala 0-100
Wichtigkeit für KMU	Umsatzbeeinträchtigung	
	Überwälzbarkeit von Mehrkosten auf Kunden	
	Strategische Bedeutung für Unternehmen	
Substituierbarkeit	Verfügbarkeit Substitute	
	Funktionalität Substitute	
	Beschaffungskosten Substitute	
Innovationsfähigkeit	Massnahmen Materialeinsparungen	
	Potenzial Materialeinsparungen	

A2 Risikokategorien für alle Metalle

METALL	C_{1.1}	C_{1.2}	C_{1.3}	C_{1.4}	C_{1.5}	C_{3.1}	C_{4.1}
Antimon	4	5	4	1	3	1	5
Beryllium	3	1	3	4	3	1	1
Cer	3	5	4	3	5	1	5
Chrom	2	5	2	3	3	1	5
Dysprosium	3	5	4	5	4	1	5
Erbium	3	5	4	5	3	1	5
Europium	3	5	4	4	3	2	5
Gadolinium	3	5	5	5	3	1	5
Gallium	3	5	4	5	3	1	5
Germanium	3	4	4	3	3	2	4
Holmium	4	5	4	5	3	2	5
Indium	4	3	4	3	2	2	3
Iridium	5	5	5	2	3	4	5
Kobalt	3	5	4	4	3	1	5
Lanthan	3	5	4	4	5	1	5
Lithium	3	2	4	4	2	1	2
Lutetium	4	5	4	5	2	2	5
Magnesium	1	5	2	3	3	1	5
Molybdän	3	3	3	3	2	2	3
Neodym	3	5	4	4	4	1	5
Niob	3	5	2	2	3	1	5
Osmium	5	5	5	2	2	4	5
Palladium	5	5	4	1	3	4	5
Platin	5	5	3	1	3	4	5
Praseodym	3	5	4	4	4	1	5
Rhodium	5	5	4	2	2	5	5
Ruthenium	5	5	5	2	2	3	5

Samarium	3	5	4	4	4	1	5
Scandium	3	5	4	5	3	3	5
Tantal	3	5	3	1	3	2	5
Terbium	4	5	4	5	3	2	5
Thulium	3	5	4	5	2	2	5
Wolfram	3	5	2	4	2	1	5
Ytterbium	3	5	4	5	2	1	5
Yttrium	3	5	3	5	4	1	5

Tabelle 9: Risiko-Kategorien über alle Bewertungsaspekte für alle 35 Metalle (Metall-Kritikalitäts-Datenbank, DB1).