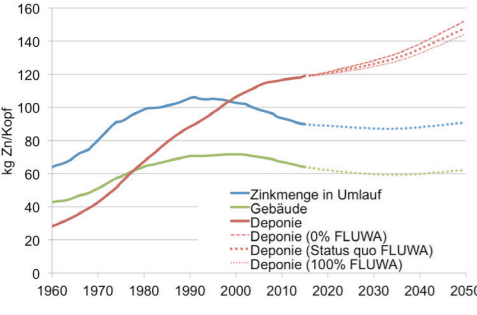


**3. Primär-/Sekundärrohstoffe**

Die meisten geogenen Zinkvorkommen der Schweiz liegen in den Ost- und Westschweizer Alpen sowie im Tessin.<sup>36</sup> Ein Abbau lohnt sich aus wirtschaftlichen Gründen zurzeit nicht. Dagegen verfügt die Schweiz heute über grosse sekundäre Zinkreserven: ca. 1'000'000 t Zink dürften allein auf Schweizer Deponien lagern. Dies entspricht 2015 etwa 120 kg pro Kopf, rund 130% der sich im Umlauf befindenden Zinkmenge (Abb. 4). Unter Umlauf versteht man die Aktive Nutzung.

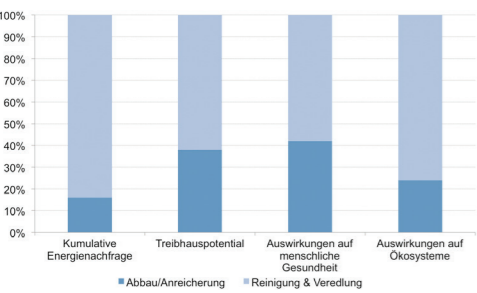
Heute abbauwürdige geologische Zinklagerstätten weisen einen maximalen Zinkgehalt von 70 g



**Abb. 4** Entwicklung der Zinklager in der Schweiz (basierend auf Hügi et al.<sup>19</sup>, Kral et al.<sup>23</sup>, Meylan and Reck<sup>24</sup>, Schlumberger<sup>31</sup>). Die Abbildung zeigt auch die Entwicklung des Deponielagers, wenn das Ausmass des Einsatzes der sauren Wäsche und der nachfolgenden Metallrückgewinnung ab 2015 konstant bleibt. Annahmen: Konstanter Zinkbedarf pro Kopf ab 2015, Bevölkerungswachstum gemäss dem „mittleren“ Szenario (A-00-2010) des Bundesamtes für Statistik<sup>2</sup>, konstante Recyclingquoten bei allen anderen Abfallströmen.

**4. Umwelt**

Zink ist ein essentielles Element für alle Lebewesen. Sowohl ein Mangel als auch ein Überfluss kann für Pflanzen und Tiere schädlich sein. Gewisse Pflanzen zeigen Mangelercheinungen bei Zink-Gehalten im Gewebe <20 ppm.<sup>16</sup> Toxisch wirkt Zink bei mehr als 400 ppm.<sup>16</sup> Durch den Einsatz von Zink als Beschichtungsmaterial und als Mineraldünger sowie durch die Abfallwirtschaft kommt es zu Emissionen in den Boden und ins Wasser.<sup>5</sup> Im Kanton Zürich gelangten im Jahr 2013 pro Person ca. 126 g Zink in die Umwelt.<sup>23</sup> 52% dieser Emissionen gehen auf die Abfallwirtschaft zurück; 28% auf Bau und Immobilien; 11% auf die Landwirtschaft, 9% auf die Abwasserwirtschaft.<sup>23</sup>



**Abb. 6** Relative Umweltauswirkungen der Lebenszyklusphasen der Primärproduktion<sup>28</sup>. Die Auswirkungen auf menschliche Gesundheit (DALY/kg) und Ökosysteme (Art.a/kg) werden mittels der Wirkungsabschätzungsmethode ReCiPe Endpoint (H, Welt) v1.08<sup>14</sup> abgeschätzt. Die Auswirkungen entsprechen potentiellen Schäden vor Normalisierung und Gewichtung.

Zn/kg auf. Alte elektrische und elektronische Geräte und Altfahrzeuge enthalten etwa 5–10 g Zn/kg (Abb. 5). Rückbaustoffe und Bauabfälle enthalten 0.9 g Zn/kg, während Flugasche aus den KVAs im Mittel etwa 40 g Zn/kg aufweisen. Die höchsten Zinkgehalte weisen Filterstäube aus Stahlwerken mit 150–450 g Zn/kg und Zinkoxide aus Wälzöfen mit 550–700 g Zn/kg auf. Das sich im Umlauf befindende Zink ist vor allem bei Bauten, Fahrzeugen und in kleineren Produkten enthalten, die im Kehrtricht landen. In der Schweiz wurden 2010 34% des gesammelten Abfallzinks in den Zinkkreislauf zurückgeführt.

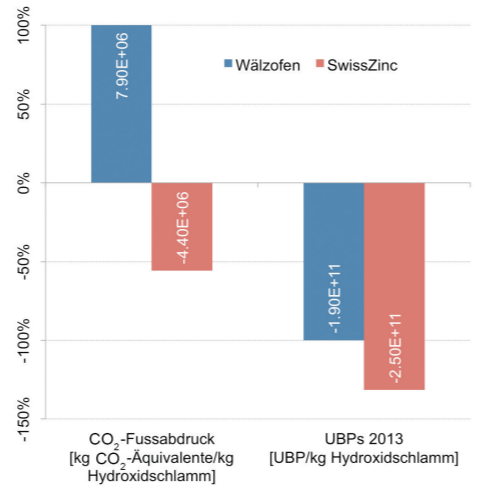
Die Entwicklung der sich im Umlauf befindenden Zinkmengen pro Kopf zeigt einen Rückgang ab 2000 und eine Abflachung ab 2010 (Abb. 4). Die 2050 deponierten Mengen hängen vom Ausmass des Einsatzes der sauren Wäsche und der Metallrückgewinnung ab. Sollte die gesamte Menge von Flugasche durch die zwei Technologien behandelt werden, würde

**Abb. 5** Tonnage-Erzgehalt-Diagramm für die primäre Produktion in der zinkreichsten Mine der Welt (Kidd Creek, Kanada) (grüner Farbtönen<sup>19,16</sup>) und sekundäre Zinkressourcen (rot: Altmaterialien Schweiz inkl. Flugasche aus der Kehrichtverbrennung<sup>7,23,24,32</sup>; violett: Altelektische und -elektronische E&E Geräte weltweit<sup>29</sup>; hellblau: Filterstaub aus Stahlwerken und Wälzoxiden weltweit<sup>12,4</sup>). Beispiel als Leseschlüssel: In der Kidd Creek-Mine werden 1'000'000 Tonnen Zinkerz mit einem Gehalt von 7% abgebaut, was 70'000 Tonnen/a reinem Zink entspricht.

das Deponielager im Jahr 2050 144 kg Zink pro Kopf enthalten. Mit einem Verzicht auf beide Technologien und der entsprechenden Ablagerung auf Schweizer Deponien würde das Deponielager 2050 153 kg/Kopf betragen. Der volle Einsatz der Flugaschebehandlung könnte somit das sich ab 2015 bildende Deponielager gegenüber der Abwesenheit dieser Technologien um rund ein Viertel reduzieren.



gewonnen, welche Zinkerz substituieren. Die bessere Umwelleistung des SwissZinc-Prozesses erklärt sich einerseits aus der höheren Produktqualität, da das Wälzoxid den Verhüttungsprozess noch einmal komplett durchlaufen muss und andererseits durch den geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoss, da kein Koks als Reduktionsmittel sowie am SwissZinc-Standort der KVA Zuchwil keine fossilen Energieträger verwendet werden müssen.



**Abb. 7** Ökobilanz der Entsorgung von Hydroxidschlamm durch den Wälzöfen (blau) und den SwissZinc-Prozess (rot). Die relativen Werte (%) basieren auf den Auswirkungen des Wälzöfens. Die UBPs 2013 und der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck wurden mit der Methode der Ökologischen Knappheit<sup>11</sup> bzw. mit der Methode des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks<sup>38</sup> berechnet.

**5. Technologie**

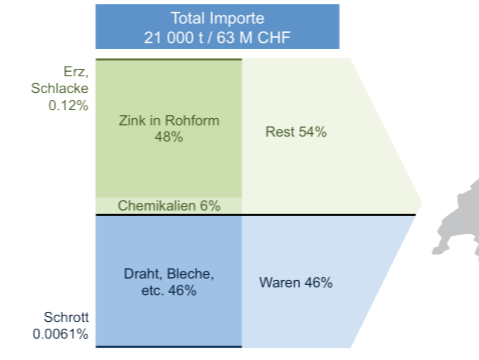
Zink wird aus primären und sekundären Materialien produziert (Abb. 8). In der Kidd Creek-Mine (s. Kapitel 3, Abb. 4) wird Zinkerz im Tage- und Untertagebau gewonnen.<sup>16</sup> Das Erz wird am Abbauort zuerst angereichert und als Konzentrat der nachfolgenden Zinkverhüttung zugeführt. Die Verhüttung kann dabei über einen pyro- oder hydrometallurgischen Weg erfolgen. Weltweit wird Zink heutzutage zu 95% über den hydrometallurgischen Weg produziert.<sup>33</sup> Dabei wird das Zinkkonzentrat thermisch geröstet und in ein Zinkoxid umgewandelt. Dieses wird einer schwefelsauren Laugung, Reinigung und Zinkelektrolyse unterzogen. Als Produkt wird «special high grade zinc» (Reinheit >99.995%) gewonnen.

Da die ökologische Belastung des Zinkrecyclings gegenüber der Primärgewinnung deutlich geringer ist, kommt diesem Weg im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft eine immer wichtigere Stellung zu. So wird beispielsweise zinkhaltiger Filterstaub aus der Stahlherstellung vor allem in Europa, Japan und den USA in Wälzöfen zur Zinkrückgewinnung weiterbehandelt.<sup>24</sup>

Ein zweiter, bis heute nur in der Schweiz praktizierte Rückgewinnungsweg setzt bei der KVA an, wo 50% des Zinks in der Flugasche bei durchschnittlich 40 g Zn/kg akkumuliert werden.<sup>32</sup> Die darin enthaltenen Schwermetalle – allen voran Zink – werden dann im FLUWA-Prozess mit saurem Abwasser gelöst, welches bei der nassen Rauchgasreinigung als Abfallprodukt anfällt.<sup>3,31</sup> Anschliessend werden die

**6. Ökonomie**

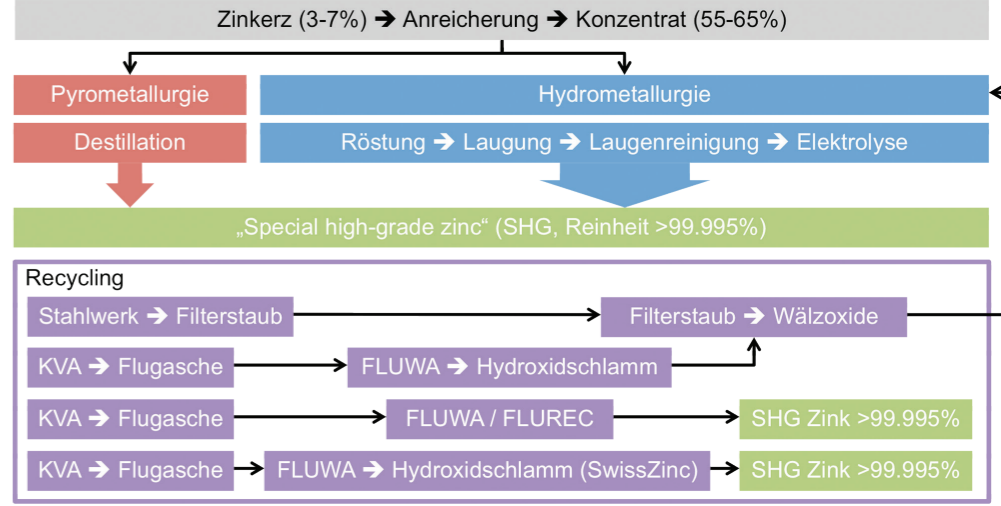
Im Jahr 2015 wurden 21'000 t Zinkprodukte (d.h. Produkte mit Zink als Hauptkomponente) im Wert von 63 Millionen CHF in die Schweiz importiert; 16'000 t im Wert von 24 Millionen CHF wurden exportiert<sup>10</sup> (Abb. 9). Rohstoffe machten den Grossteil der Importe aus, während Exporte vorwiegend aus Waren bestanden. Zink in Rohform (d.h. Zinkmetall und Zinklegierungen) und Halbfertigprodukte machten zusammen mehr als 90% der Importe aus. 12'000 Tonnen allein wurden als Zinkmetall mit einem Reinheitsgrad von über 99.99% und im Wert von 25 Millionen CHF importiert. Diese Importkategorie entspricht dem durch die FLUWA- und SwissZinc-Prozesse zu substituierenden Produkt. Halbfertigprodukte dominierten auf der Exportseite, wobei Schrott ca. 15% der Exporte ausmachte. Dies schlägt sich auch im Preis nieder: während der Import einer Tonne Zink 2015 durchschnittlich ca. 3'000 CHF



**Abb. 9** Importe und Exporte von Rohstoffen (grün) und Waren (blau) mit Zink als Hauptkomponente im Jahr 2015<sup>10</sup> (Schl.: Schlacke). Filterstaub aus Strahlschrott, FLUWA-Hydroxidschlamm, KVA-Flugasche und verzinkter Stahl sind nicht enthalten.

gelösten Metalle ausgefällt und in einen Hydroxidschlamm überführt. Ausländische Wälzverfahren verarbeiten den resultierenden Hydroxidschlamm gemeinsam mit den Stahlwerkstäuben. Das Produkt Wälzoxid wird anschliessend der Zinkverhüttung zugeführt und ersetzt anteilig primäres Zinkkonzentrat.

Mit der Etablierung des FLUREC-Verfahrens in der Schweiz konnte die Rückgewinnung aus KVA-Flugaschen bis zum metallischen Zink (Reinheit >99.995%) gezeigt werden. Der Prozess



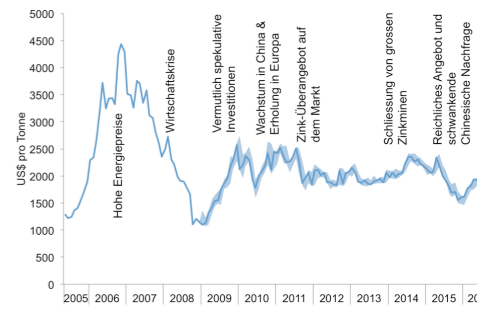
**Abb. 8** Primär- und Sekundärproduktion von Zink.<sup>1,16,44,45</sup> Zinkmetall kann sowohl bei der primären wie auch bei der sekundären Produktion über unterschiedliche Verfahren gewonnen werden. Bei der Pyro- oder Hydrometallurgie werden Zinkoxide vom oxidierten in den reduzierten Zustand gebracht. Violett dargestellt sind die Stufen, die zur Aufbereitung von Abfällen und Rückständen der Abfallbehandlung und der Industrie dienen. Beispielsweise dient die Kehrichtverbrennung zur Anreicherung von Zink in der Flugasche. In der Abbildung nicht dargestellt sind die Herstellung anderer Zinkprodukte (z.B. Zinkchemikalien) und die Möglichkeiten, Schrott aus Zinklegierungen und Messing wiedereinzuschmelzen.

kostete, war die exportierte Tonne im Durchschnitt 1'500 CHF wert.

Die Zinkpreise sind im Zeitraum 2005 bis 2016 um ca. 40% gestiegen (Abb. 2, Abb. 10). Nach dem Peak 2006 und der Wirtschaftskrise 2008 sind die Preise schnell wieder gestiegen – vermutlich vor allem durch spekulative Investitionen, welche aufgrund der allgemein besseren ökonomischen Lage getätigt wurden.<sup>40</sup> Die wichtigen Preisfaktoren waren dann die Nachfrage in China und die Schliessung grösserer Minen.<sup>6,37</sup> Da die Beschaffung von Zink in vielen Ländern auf unterschiedlichen Kontinenten möglich ist, ist die Gefahr der Oligopolbildung auf den Märkten relativ klein.<sup>24</sup> In der Schweiz liegen seit 2010 die Importpreise des Zinks bei 1'900–2'800 CHF/t.<sup>10</sup> Hier spielt noch der USD-CHF-Wechselkurs eine Rolle.

baut auf dem FLUWA-Verfahren auf. Das anfängliche FLUWA-Filtrat wird gereinigt, Zink mittels Solventextraktion angereichert und elektrolytisch als Zinkmetall abgeschieden. Eine Ausweitung dieses Prozesses auf die FLUWA-KVAs ist im Rahmen des SwissZinc-Projektes geplant. Dies ermöglicht als Branchenlösung die Erfüllung der Gesetzesvorgabe zur Metallrückgewinnung.<sup>35</sup>

Der Preis für die direkte Ablagerung von unbehandelter KVA-Flugasche in der Untertagedeponie (UTD) war in den letzten Jahren tendenziell rückläufig und betrug in letzter Zeit ungefähr 250 CHF/t. FLUWA kann als kostenneutral betrachtet werden. Der erforderliche Aufwand für FLUWA kann mit den reduzierten Entsorgungskosten der Output-Ströme kompensiert werden. Wenn Flugasche dem SwissZinc-Prozess unterworfen wird, können die Kosten für die in der UTD abzulagernde Filterasche eingespart werden und die Wertschöpfung kann vollständig in der Schweiz erfolgen. Damit können in der Schweiz jährlich rund 30 Millionen CHF erwirtschaftet werden. Die Nettokosten der Zinkgewinnung aus Hydroxidschlamm hängen allerdings stark von der Anlagengrösse und den aktuellen Zinkpreisen ab.



**Abb. 10** Monatliche Zinkpreise von Mai 2005 bis Oktober 2016.<sup>6,12,37,40</sup> Der schattierte Bereich stellt den Unterschied zwischen höchsten und tiefsten Preisen dar, die dunkelblaue Linie die Schlusspreise des Monatsendes.

## 7. Gesellschaft

In der Schweizer Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (MEM) sind rund tausend Unternehmen tätig und generieren 10% des Bruttoinlandsproduktes.<sup>30</sup> In dieser Branche wird Zink in Batterien und Sensoren zusammen mit kritischeren Rohstoffen eingesetzt, d.h., Lithium, Nickel und Platin. Schätzungsweise sind in der Schweiz etwa 6'500 Personen mit dem Recycling von Metallen, unter anderen auch Zink, beschäftigt.<sup>43</sup> Beim Zinkrecycling spielen die Stahlschrottaufbereiter und die zwei Schweizer Stahlwerke in Gerlafingen und Emmenbrücke auch eine Rolle. Dazu kommen noch die 12 Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen, die heute schon durch den FLUWA- und FLUREC-Prozess Zink rezyklieren. FLUWA/FLUREC generiert heute ca. 27 Personalstellen. Mit der branchendeckenden FLUWA- und SwissZinc-Lösung könnten insgesamt ca. 40–50 Personen mit der Rückgewinnung von Zink aus Flugasche beschäftigt werden.

Die sozialen und kulturellen Aspekte des Zinkabbaus gewinnen zunehmend an Bedeutung und werden bei der Eröffnung und Schliessung von Minen in sogenannten Sozial- oder sozioökonomischen Verträglichkeitsprüfungen analysiert. Dabei werden soziale und sozioökonomische Wirkungsindikatoren definiert (Tab. 1). Eine standardisierte Methodik zur sozialen Wirkungsabschätzung existiert immer noch nicht, obwohl der Nutzen schon längst anerkannt ist.<sup>21</sup> Eine standardisierte Methodik würde nämlich helfen, nicht nur Minen auf unterschiedlichen Kontinenten, sondern auch Primär- und Sekundärproduktion bezüglich sozialer und kultureller Aspekte zu vergleichen. Die Vergleichbarkeit zwischen Primär- und Sekundärproduktion liefert dann die Wissensgrundlagen für die Entwicklung von Marktinstrumenten wie Labels.

Bezüglich des Zinkrecyclingpotentials sind die Rückbaustoffe/Bauabfälle, die Altfahrzeuge und

Kehricht von grosser Relevanz (Abb. 5). Durch die auf der Baustelle stattfindende Sortierung werden Metalle und damit auch Zink weitgehend zurückgewonnen. Neben Kehricht geht mehr als die Hälfte des in Altfahrzeugen vorhandenen Zinks nach der Triage und der Behandlung als Auto-Reststoffe aus Shredder-Anlagen (RESH) in die KVA.<sup>23</sup> In der KVA-Schlacke befindet sich ca. 50% des im KVA-Input vorhandenen Zinks.<sup>25</sup> Im Sinne der Schliessung von Rohstoffkreisläufen und der Schaffung neuer Arbeitsstellen ist weiter zu prüfen, wie die Recyclingquote von Zink aus der KVA-Schlacke erhöht werden kann.

Mittelfristig besteht die Möglichkeit, das Wissen und die Technologie rund um die saure Wäsche, die Hydroxidschlammverwertung bzw. Metallrückgewinnung mittels hydrometallurgischer Verfahren zu exportieren. Das neue «Circular Economy Package» der Europäischen Kommission und die entsprechende Anpassung ihrer Abfallrichtlinie<sup>9</sup> sollten diesen Trend verstärken. Die Exportraten von Schweizer Abfalltechnologieanbietern können bereits 30 bis 40% erreichen.<sup>34</sup> Um den Anschluss an diese Märkte zu fördern, plant der Schweizerische Verband für Umweltechnik (SVUT) den Aufbau einer Expertenplattform, welche die Implementierung der Umweltgesetzgebung und die Vermarktung der Schweizer Umwelttechnologien in Drittstaaten unterstützen soll.<sup>34</sup>

## 1. Bedeutung von Zink

Zink ist ein wichtiges Grundmetall der industriellen Gesellschaft und gleichzeitig ein essentielles Element für jegliche Lebensformen.<sup>17,22,40</sup> Beschichtungen aus Zink dienen zum Korrosionsschutz von Stahl. Durch seinen tiefen Schmelzpunkt kann es zum Druckgieten komplexer Einzelteile eingesetzt werden.<sup>18</sup> Zink wird vor allem im Bau als verzinkter Stahl, Zinklegierungen und Messing und im Transportwesen in ähnlichen metallischen Formen wie im Bau und als Zinkoxide zur Vulkanisierung von Reifen verwendet

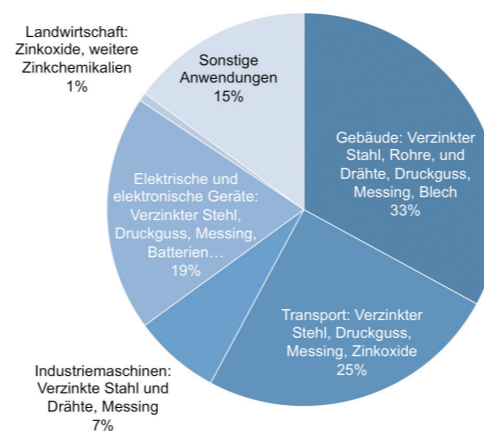


Abb. 1 Verwendung von Zink<sup>24</sup> (in Prozent). 2010 wurden weltweit 13 Mio. Tonnen Zink produziert.

(Abb. 1). Zink kommt in der Natur meistens als Sulfid (Sphalerit oder Zinkblende oder Wurtzit und Hemimorphit oder Galmei) vor, wird aber auch als Oxid, Karbonat, Silikat und Verbindungen derselben abgebaut.<sup>16,18</sup> Zinkverbindungen sind allgemein farblos, ausser es kommt mit Chromat zusammen vor.<sup>15</sup> Sphalerit wird aus hydrothermischen Lösungen oder simischen oder sialischen Magmen abgeschieden.<sup>18</sup> Die grössten Zinkreserven liegen in Australien, gefolgt von China, Peru, Mexiko und den USA.<sup>41</sup>

Trotz dem stark steigenden Bedarf an Zink, vor allem durch die Nachfrage aus China während der letzten zwei Jahrzehnte, veränderten sich die wirtschaftlich gewinnbaren Zinkergehalte in dieser Zeit in Australien und Kanada kaum (Abb. 2). Entsprechend stiegen die Zinkpreise nicht signifikant. Hingegen wurden die Zinkpreise zweimal durch steigende Ölpreise in die Höhe getrieben, d.h., beim Ölpreisschock 1973 und gleich vor der Weltwirtschaftskrise 2008.

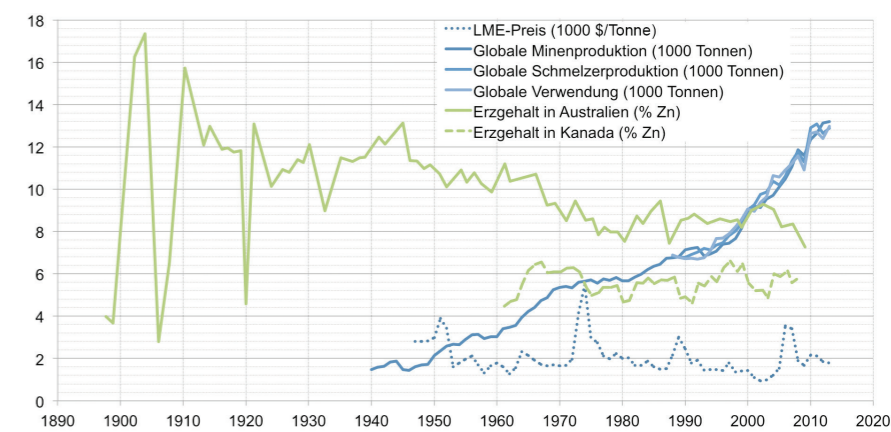


Abb. 2 LME (London Metal Exchange) Preis (1947–2013), inflationsbereinigt (Quelle: Metals Week and Metal Statistics), Abbau<sup>20,42</sup>, Herstellung<sup>20</sup> (1986–2013) und Verwendung (1988–2013)<sup>30</sup> von Zink, sowie Zinkergehalte in Australien und Kanada.<sup>27</sup>

Tab. 1 Die in zwei Zinkergminen berücksichtigten sozialen Auswirkungen.<sup>48</sup>

Soziale Auswirkungen bei der Eröffnung einer Mine (Südafrika)	Soziale Auswirkungen bei der Schliessung einer Mine (Australien)
Makroökonomie (u.a. Arbeitsstellen)	Ökonomischer Fortschritt (u.a. Arbeitsstellen)
Soziales und Gesundheit	Erhalt der einheimischen Kultur und Traditionen
Visuelle Landschaften	Schutz der Landschaft und Umwelt
Verkehrsvolumen	Sozialer Fortschritt und stärkere Gemeinschaften
Kulturelle Erbschaft, Archäologie und Paläontologie	Erfüllung des Abkommens zwischen einheimischer Bevölkerung und anderen Akteuren

## 8. Ressourcenmanagement: Überblick

Abb. 11 zeigt die Beurteilung des Urban-Mining-Potentials von Zink anhand qualitativer Experteneinschätzung. Ihre Beschriftung und der folgende Text dienen dazu, den Hintergrund der Beurteilungen zu erläutern.

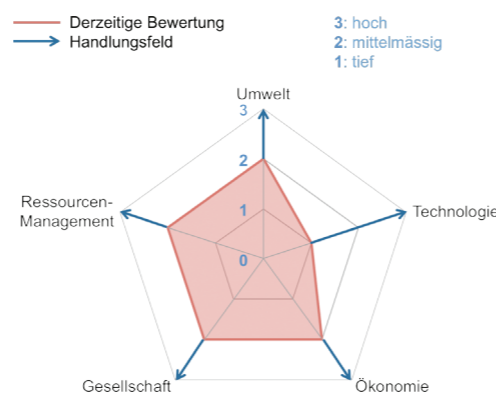
Die meisten Anwendungen von Zinkchemikalien sind dissipativ (vgl. z.B. Reifenabrieb), so dass Massnahmen im Produktdesign zu suchen sind. Recycling-Stahl wird von der Privatwirtschaft durch die Kampagne «Öko-Stahl» der «Stahlpromotion», der Dachorganisation der Schweizer Stahl- und Metallbaubranche, gefördert. «Öko-Stahl» strebt die Akzeptanz von Recycling-Stahl in der Baubranche an. Nennenswerte Errungenschaften sind die öffentliche Anerkennung des tatsächlichen Anteils an Recycling-Stahl in Stahlprofilen sowie die Verwendung von ecoinvent-Daten im Bauteilkatalog. Der Bauteilkatalog ermöglicht die ökologische Bewertung von Baukonstruktionen. In den ecoinvent-Daten ist die Gutschrift des Zink-Recyclings, welches in den Stahlwerken stattfindet und die ökologische Leistung des Stahl-Recyclings verbessert, nicht enthalten. Der Einbezug dieser Gutschrift würde das Stahl-Recycling noch attraktiver machen.

Mit der neuen Verordnung zur Vermeidung und Entsorgung für Abfälle (VVEA)<sup>35</sup> schreibt die Gesetzgebung eine Metallrückgewinnung aus KVA-Flugaschen vor. Zusätzlich zu den heute existierenden Verwertungswegen (u.a. Wälzprozess) werden weitere technische Möglichkeiten und Verfahren (SwissZinc) angestrebt, die zu einer ökologischen Verbesserung des Gesamtsystems beitragen. Rund die Hälfte des Zinks aus dem KVA-Input befindet sich nach der Verbrennung in der Schlacke. Zink wird heute als Stahl, Messing und Zinklegierungen aus der KVA-Schlacke zum Teil rückgeholt. Die Schlacke kann aber einerseits infolge ihrer hohen Alkalinität und andererseits aufgrund der tieferen Zinkgehalte (Verdünnungseffekt) bisher aus ökonomischen Gründen mit dem FLUWA-Prozess nicht aufbereitet werden.

► **Abb. 11** Beurteilung des Urban-Mining-Potentials von Zink (alle Endanwendungen) anhand qualitativer Experteneinschätzungen. **Kriterien:** *Umwelt:* Hohe Umwelteinsparungen durch sekundäre Produktion, tiefe Recyclingquoten. *Technologie:* Produktdesign verbessern, Zinkrückgewinnung aus mechanisch aufbereiteten Fraktionen der KVA-Schlacke. *Ökonomie:* Weitergehende Zinkrückgewinnung aus Hydroxidschlamm steht in Konkurrenz zu relativ hohen Behandlungskosten und instabilen Zinkpreisen. *Gesellschaft:* Standardisierte sozioökonomische Vergleiche zwischen Primär- und Sekundärproduktion sind nicht vorhanden. Labels würden die Umweltleistungen zum Ausdruck bringen. *Ressourcenmanagement:* Weiterentwicklung der technischen Rückgewinnbarkeit von Zink und der wirtschaftlichen Bedingungen und Verbesserung des Produktdesigns sind anzustreben.

## Offene Fragen

1. Wie viel Zink wird aus der Eisen- und Nicht-Eisenmetall-Fraktion (d.h. Messing und Zinklegierungen) der KVA-Schlacke in nachgelagerten Prozessen tatsächlich zurückgewonnen?
2. Wie kann Zink technisch und mit vertretbarem Aufwand aus mechanisch aufbereiteten Fraktionen der KVA-Schlacke zurückgewonnen werden?



## 2. Systemverständnis

Der Zinkbedarf in der Schweiz wird gänzlich durch Importe und Recycling gedeckt (Abb. 3). Zink wird in die Schweiz in Form von Zinkplatten, Halbfertigprodukten und Waren eingeführt. Die sich in Umlauf befindende Zinkmenge (Lager) betrug 2010 etwa 93 kg/Kopf (globaler Durchschnitt 24 kg/Kopf<sup>24</sup>). 5.3 kg/Kopf wurden 2010 importiert. Jeder Schweizer brauchte im Jahr 2010 etwa 4.5 kg Zink, mehr als doppelt soviel wie der globale Durchschnitt (1.9 kg). Gleichzeitig produzierte jeder Schweizer 3.7 kg Zinkabfall, wovon 1.5 kg in Produktionsprozesse zurückgeführt und 2.2 kg im In- oder Ausland deponiert wurden. 0.23 kg wurden u.a. in Zementwerken downcyclt. 1.3 kg kehrten in den Zinkkreislauf zurück. Beim Recycling spielen die Schweizer Stahlwerke sowie die Kehrichtverbrennungsanlagen (KVAs) eine wichtige Rolle. In Stahlwerken werden heute 1 kg Zn/Kopf als zinkhaltiger Filterstaub zurückgewonnen.<sup>39</sup> 2010 wurde ein Drittel der Flugaschen (2016 etwa 60%) aus der Kehrichtverbrennung zur Zinkrückgewinnung weiterbehandelt. Somit wurden 0.09 kg Zn/Kopf zurückgewonnen. Die Rückgewinnung in KVAs erfolgt durch die saure Wäsche der Flugasche (FLUWA).<sup>3,26,31</sup> Dabei entsteht zinkhaltiger Hydroxidschlamm, der wie Filterstaub aus Stahlschrott über ausländische Wälzöfen zu Zinkmetall weiterverarbeitet wird.

Die steigenden Kosten der ausländischen Hydroxidschlammverwertung machen die Rückgewinnung im Inland attraktiver. Um die Kosten der

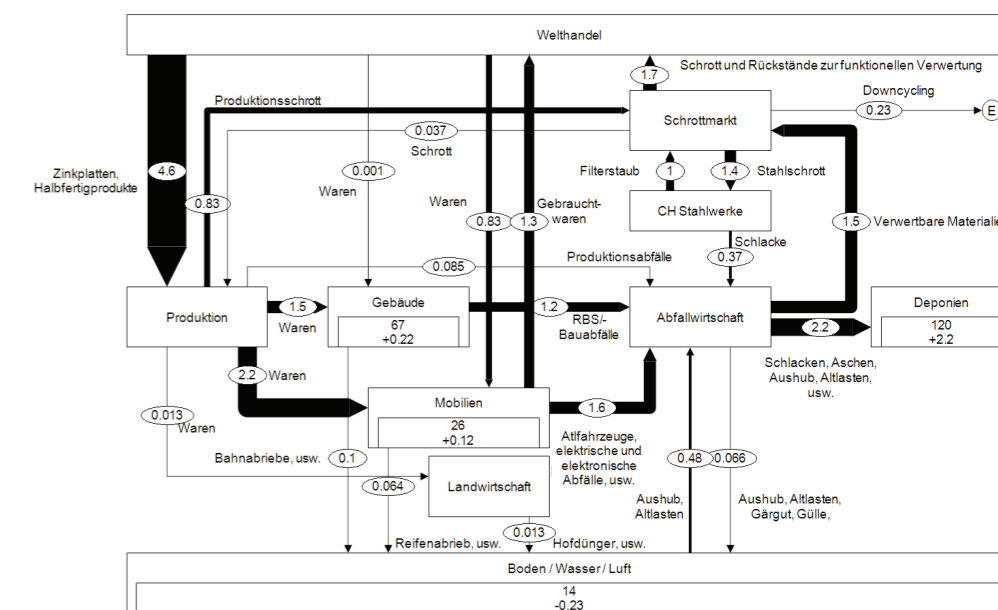


Abb. 3 Zinkflüsse 2010 (kg/Kopf/a), Lagerstätte 2010 (kg/Kopf) und Lageränderungen 2010 (kg/Kopf/a) (basierend auf Hügi et al.<sup>19</sup>, Kral et al.<sup>23</sup>, Meylan and Reck<sup>24</sup>, Schlumberger<sup>31</sup>). Der Prozess Abfallwirtschaft beinhaltet die Kehrichtverbrennung, die saure Wäsche der Flugasche, die Kompostierung und Vergärung, die Triage und Behandlung von Bauabfällen und Separatabfällen, usw. (RBS: Rückbaustoffe).

Metallrückgewinnung aus Flugaschen möglichst tief zu halten, wird angestrebt, den komplexeren Teil der Aufbereitung künftig zentral vorzunehmen. Die dafür geplante Anlage könnte ab 2021 durch den SwissZinc-Prozess (s. Kapitel 4) alle Schweizer Hydroxidschlämme zu Zinkmetall umwandeln.<sup>44,45</sup> Somit könnten aus KVA-Flugaschen 0.26 kg Zink pro Kopf zurückgewonnen werden.

In der KVA-Schlacke befinden sich ca. 50% des im KVA-Input vorhandenen Zinks, dieses kommt in metallischer und mineralischer Form vor.<sup>25</sup> Messing (d.h. Cu-Zn-Legierungen), Stahl und Zinklegierungen werden heute schon zum Teil zurückgewonnen. Die Zinkrückgewinnung aus nichtmetallischen Fraktionen ist u.a. aufgrund der tiefen Zinkgehalte schwierig.