

„Klimaschutzpotenziale des Metallrecyclings und des anthropogenen Metalllagers“

Bericht im Auftrag von Metalle pro Klima, einer Unternehmensinitiative in der WVMetalle

Darmstadt, Juli 2016

Autoren

Dr. Matthias Buchert, Dr. Winfried Bulach, Dr. Hartmut Stahl
Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Executive Summary	5
1. Ziele der Studie und Projektrahmen	6
2. NE-Metallproduktion in Deutschland und Treibhausgasemissionen 2014	7
3. Entwicklung des deutschen NE-Metalllagers insgesamt von 2014 bis 2050	10
4. Einsparpotenziale für Treibhausgase durch Erschließung des NE-Metalllagers	16
5. Gesamtfazit	16
6. Literaturverzeichnis	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Verteilung der NE-Metallproduktion Deutschlands 2014	7
Abbildung 2	Verteilung der THG-Emissionen der NE-Metallproduktion Deutschlands 2014	8
Abbildung 3	Potenzielle THG-Einsparung durch NE-Metall Sekundärproduktion 2014	9
Abbildung 4	Entwicklung des deutschen Aluminiumlagers von 2014 bis 2050	10
Abbildung 5	Entwicklung des deutschen Kupferlagers von 2014 bis 2050	11
Abbildung 6	Entwicklung des deutschen Zinklagers von 2014 bis 2050	12
Abbildung 7	Entwicklung des deutschen Bleilagers von 2014 bis 2050	13
Abbildung 8	Entwicklung des deutschen Nickellagers von 2014 bis 2050	14
Abbildung 9	Entwicklung des deutschen NE-Metalllagers insgesamt von 2014 bis 2050	15
Abbildung 10	Theoretisches THG-Einsparpotenzial bei Komplett-Erschließung des NE-Metalllagers 2014 und 2050	16

Executive Summary

Ziel der Studie war die Ermittlung der jährlichen THG-Einsparung aufgrund des Recyclings der NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink in Deutschland. Weiter sollte die Entwicklung des sogenannten anthropogenen Lagers für diese 5 NE-Metalle abgeschätzt und basierend hierauf das Klimaschutzpotenzial des Stocks errechnet werden.

In Summe wurden 2014 in Deutschland rund 2,5 Mio. Tonnen der NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink erzeugt. Der Anteil der Sekundärproduktion hatte daran einen Anteil von 49%. Die Erzeugung dieser 2,5 Mio. Tonnen NE-Metalle verursachte inkl. aller Vorketten Treibhausgasemissionen von insgesamt rund 10,8 Mio. Tonnen. Auf die Sekundärproduktion entfielen 14% dieser Treibhausgasemissionen.

Die direkt eingesparten Treibhausgasemissionen durch die Sekundärproduktion in Deutschland summieren sich auf rund 7,3 Mio. Tonnen für 2014. Dies entspricht in etwa den Treibhausgasemissionen durch den jährlichen Stromverbrauch von 3,8 Mio. Haushalten oder 3,2 Mio. PKW mit der Jahresfahrleistung von je 15000 km.

Die Untersuchung des NE-Metalllagers in Deutschland 2014 ergab folgende Ergebnisse:

- Absolut betrug das NE-Metalllager in Deutschland im Jahr 2014 rund 76,5 Mio. Tonnen. Dies entspricht rund 950 kg NE-Metalle pro Einwohner, die im anthropogenen Lager, d.h. in Gebäuden, Infrastrukturen, Fahrzeugen usw. gebunden sind. Die absolut gebundene Menge des NE-Metalllagers in Deutschland im Jahr 2014 entspricht der gut dreißigfachen deutschen Jahresproduktion im gleichen Jahr.
- Auf Basis durchschnittlicher Schrottpreise stellt das anthropogene Lager 2014 einen Gesamtwert von rund 132 Mrd. Euro dar, pro Einwohner entspricht dies 1.656 Euro.
- Das NE-Metalllager in Deutschland wächst bis 2050 schätzungsweise auf rund 130 Mio. Tonnen bzw. gut 1600 kg NE-Metalle pro Einwohner. Auf Basis heutiger Schrottpreise stellt das Lager 2050 insgesamt einen Wert von rund 245 Mrd. Euro dar, pro Einwohner entspricht dies etwa 3.065 Euro.
- Jahr für Jahr wächst der NE-Metallstock pro Einwohner um rund 19 kg, was einem jährlichen Wertzuwachs von etwa 36 Euro entspricht.
- Das theoretische Einsparpotenzial für Treibhausgasemissionen bei Kompletterschließung des NE-Metalllagers durch Recycling würde für den Stock 2014 rund 390 Mio. Tonnen Treibhausgase betragen und für den Stock 2050 rund 634 Mio. Tonnen. Letztere Zahl entspricht z.B. dem gut 3,9-fachen der aktuellen CO₂-Emissionen des Verkehrsbereichs in Deutschland.

Das wachsende NE-Metalllager in Deutschland ist ein Ressourcen- und Energiespeicher für künftiges Recycling, das nachfolgenden Generationen grundsätzlich wieder zum Recycling ohne Qualitätsverlust zur Verfügung steht. Die Primärmetallproduktion ist dennoch weiter notwendig aufgrund wachsender Märkte (u.a. Leichtbau, Erneuerbare Energien, Elektromobilität) und beschränkter Schrotterfügbarkeit wegen oft langen Bindungsdauern von Metallen. Zusätzliche Einsparungen an Treibhausgasen sind bis 2050 möglich bei effizienter Erschließung des wachsenden NE-Metalllagers in Deutschland. Voraussetzung ist, dass Rahmenbedingungen für ein effizientes Recycling z.B. im Rahmen der aktuellen Diskussion um Circular Economy weiter optimiert werden.

1. Ziele der Studie und Projektrahmen

Ziel der Studie des Öko-Instituts im Auftrag der WVMetalle war die Ermittlung der Klimaschutzpotenziale des Recyclings der NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink und des anthropogenen Lagers für diese 5 NE-Metalle. Deutschland wurde als Betrachtungsraum und die Jahre 2014 bis 2050 als Zeitfenster für die Untersuchung ausgewählt. Als anthropogenes Lager werden alle in Deutschland im jeweiligen Jahr in der Nutzung (z.B. in Gebäuden, Infrastrukturen, Fahrzeugen) gebundenen NE-Metalle verstanden.

Die Studie soll orientierende Größenordnungen für die Klimaschutzpotenziale liefern. Daher wurde bei der Datenerhebung ausschließlich auf die Auswertung veröffentlichter Quellen/Statistiken gesetzt, ergänzt um aktuelle Experteneinschätzungen. Wesentliche Datenquellen für die Studie waren die Metallstatistiken der WVMetalle und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie die Ökobilanzdatenbank Ecoinvent 3.2 für spezifische Daten zu Treibhausgasemissionen. Die Daten zu den anthropogenen Lagern der NE-Metalle wurden aus verschiedenen Veröffentlichungen zusammengestellt und wie alle Daten nach Expertenbefragungen validiert.

Hinsichtlich der Treibhausgaspotenziale für 2050 wurde ein konservativer Ansatz gewählt, d.h. die spezifischen Emissionswerte (pro Tonne NE-Metall) von 2014 wurden ebenso für 2050 verwendet, damit mögliche externe Effekte keinen Einfluss auf die Ergebnisse nehmen. D.h. zu erwartende Effekte durch die Energiewende etc. wurden bewusst nicht berücksichtigt, um hier nicht eine Vermischung verschiedener Entwicklungen auf die Ergebnisse zu bekommen.

Für die Zusammenstellungen der Daten zum anthropogenen NE-Metalllager sowie für die Klimaschutzpotenziale kommt es dem Öko-Institut und der WVMetalle auf die Präsentation der Größenordnungen an. Mögliche vertiefende Studien zu einzelnen Aspekten (z.B. bottom-up-Untersuchungen in naher Zukunft zu Entwicklungen des NE-Metalllagers in Deutschland) sind wünschenswert und finden die Unterstützung des Öko-Instituts und der WVMetalle.

Das Projektteam des Öko-Instituts (Dr. Matthias Buchert, Dr. Hartmut Stahl, Dr. Winfried Bulach) möchte sich bei folgenden Fachleuten für die Überlassung von wichtigen Dokumenten bzw. für wichtige Beiträge bei der Erstellung der Studie bedanken.

- Rainer Buchholz, WVMetalle,
- Dr. Ladjik Tikana, Deutsches Kupferinstitut (DKI),
- Jörg Schäfer, Gesamtverband der Aluminiumindustrie (GDA),
- Dr. Sabina Grund, Initiative Zink (IZ),
- Stefan Buch, Berzelius Metall GmbH,
- Dr. Mark Mistry, Nickel Institute,
- Dr. Barbara Reck, Yale University,
- Andreas Ruh, BEFESA.

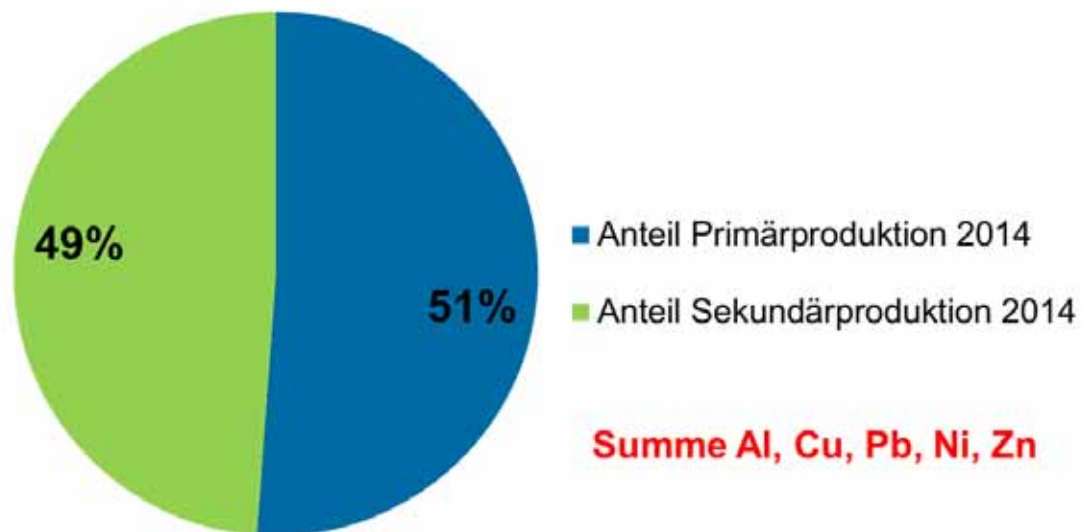
2. NE-Metallproduktion in Deutschland und Treibhausgasemissionen 2014

Die Daten der NE-Metallproduktion in Deutschland wurden aus der Metallstatistik der WVMetalle (Metallstatistik 2014), den Daten zu Rohstoffsituation der BGR (BGR 2014) sowie Experteneinschätzungen aus dem Kreis der in Abschnitt 1 genannten Personen zusammengestellt.

Da in Deutschland keine eigene Nickelmetallherstellung existiert, wurde hier der Nickelgehalt aus der deutschen Edelstahlproduktion (global die mit Abstand wichtigste Anwendung von Nickel) für die Statistik herangezogen. Da für einige Detaildaten Datenschutz einschränkungen geltend gemacht werden müssen, werden hier die Produktionsdaten der 5 NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink in Summe darstellt (siehe Abb. 1).

In Summe wurden 2014 in Deutschland rund 2,5 Mio. Tonnen der NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink erzeugt. Der Anteil der Sekundärproduktion hatte daran einen Anteil von 49%. Nahezu die Hälfte dieser 5 NE-Metalle wird also in Deutschland aktuell aus Sekundärmaterial gewonnen.

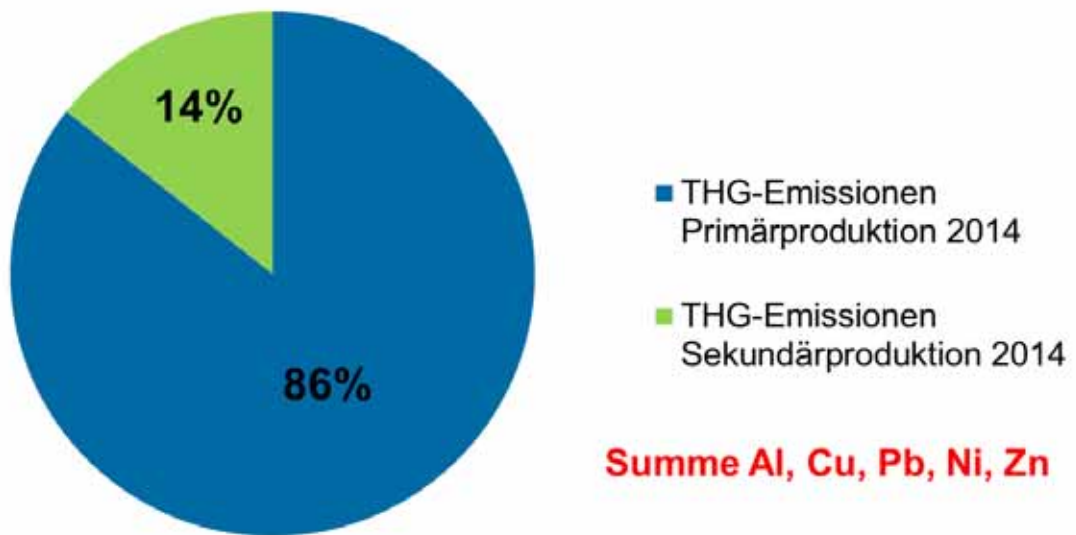
Abbildung 1 Verteilung der NE-Metallproduktion Deutschlands 2014



Die deutsche Gesamterzeugung von 2,5 Mio. Tonnen NE-Metallen in Deutschland 2014 verursachte inkl. aller Vorketten Treibhausgasemissionen von insgesamt rund 10,8 Mio. Tonnen. Auf die Sekundärproduktion entfielen jedoch nur 14% dieser Treibhausgasemissionen. Der große Beitrag des NE-Metallrecyclings zum Klimaschutz lässt sich bereits durch den Vergleich des Anteils der NE-Metallsekundärerzeugung von 49 % mit dem darauf entfallenden Anteil an den Treibhausgasemissionen (14%) sehr gut erkennen.

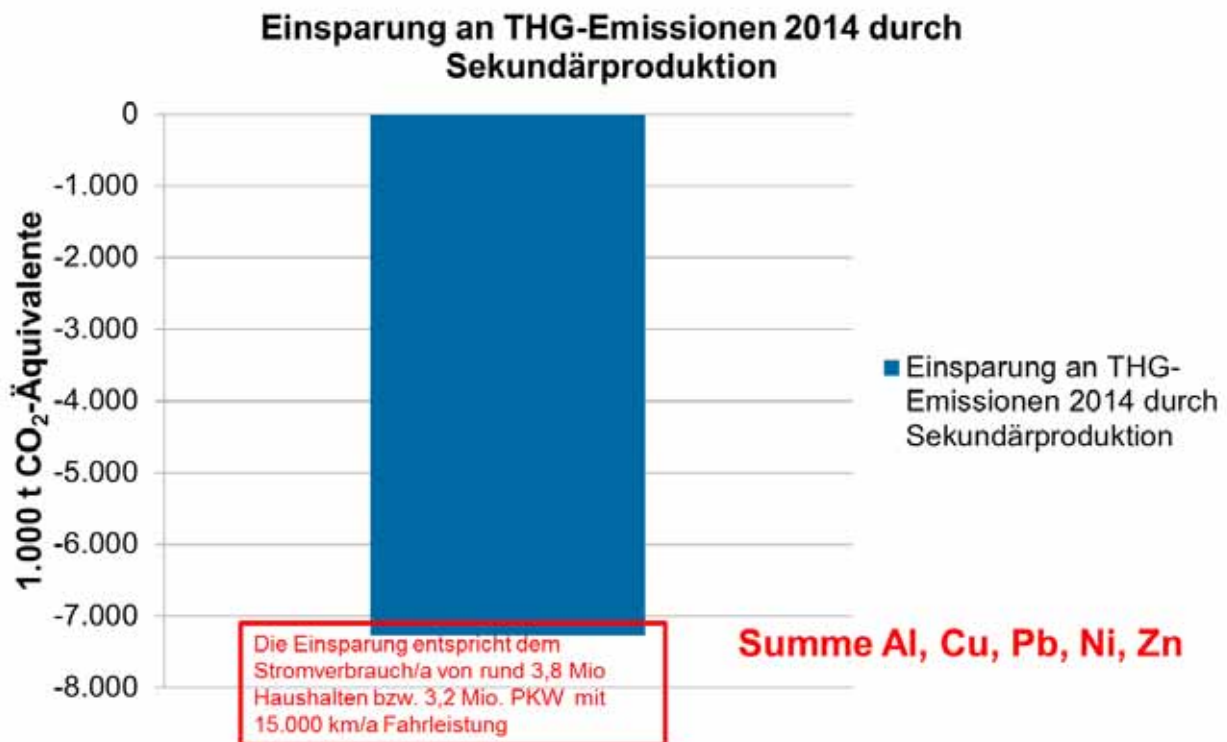
Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen wurde die Ökobilanzdatenbank Ecoinvent 3.2 (cut-off Modellierung) herangezogen. Die Daten wurden durch Expertengespräche validiert und bei Bedarf ergänzt. Bei allen Daten zu den Treibhausgasemissionen sind alle Vorketten berücksichtigt, d.h. auch Emissionen außerhalb Deutschlands (z.B. Erzförderung).

Abbildung 2 Verteilung der THG-Emissionen der NE-Metallproduktion Deutschlands 2014



In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die im Vergleich zur Primärproduktion eingesparten Treibhausgasemissionen durch Sekundärproduktion der NE-Metalle im Jahr 2014 dargestellt.

Abbildung 3 **Potenzielle THG-Einsparung durch NE-Metall Sekundärproduktion 2014**



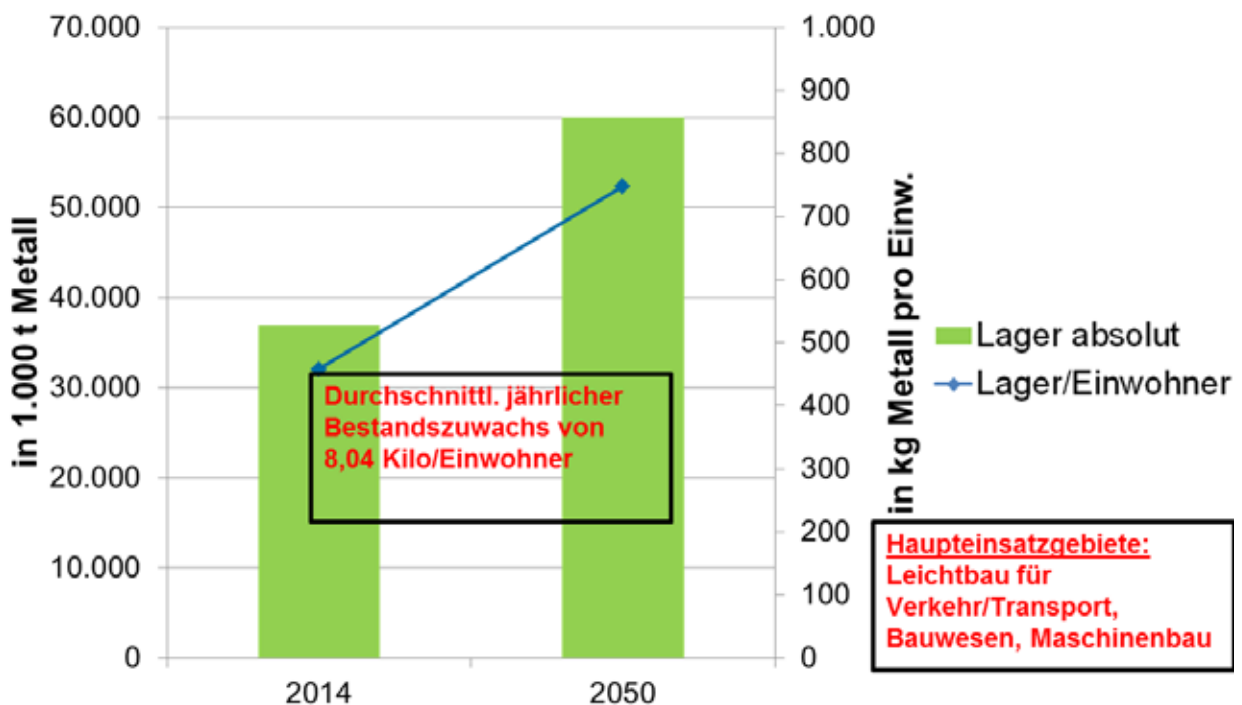
Die direkt eingesparten Treibhausgasemissionen durch die Sekundärproduktion in Deutschland summieren sich auf rund 7,3 Mio. Tonnen für 2014. Dies entspricht in etwa den Treibhausgasemissionen durch den jährlichen Stromverbrauch von 3,8 Mio. Haushalten oder 3,2 Mio. PKW mit der Jahresfahrleistung von je 15000 km. Dies ist eine konservative Abschätzung, da direkte Schrotteinsätze in Halbzeugwerken, die nicht in übergreifenden Statistiken erfasst werden, noch nicht berücksichtigt wurden. Der hohe Grad der Sekundärmetallproduktion hat über die THG-Einsparung hinaus vielfältige weitere ökologische und ökonomische Vorteile wie z.B. die Reduzierung wachsender Abhängigkeiten bei der Rohstoffversorgung. Die Primärmetallproduktion ist dennoch weiter notwendig aufgrund wachsender Märkte (u.a. Leichtbau, Erneuerbare Energien, Elektromobilität) und beschränkter Schrottverfügbarkeit wegen oft langen Bindungsdauern von Metallen

3. Entwicklung des deutschen NE-Metalllagers insgesamt von 2014 bis 2050

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung des NE-Metalllagers (anthropogenes Lager) für die 5 NE-Metalle Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink im Einzelnen und schließlich in Summe dargestellt. Wie in einschlägigen Studien hierzu (vgl. hierzu UNEP 2010) wird ein pro-Kopf-Ansatz für die Quantifizierung des anthropogenes Lagers angesetzt. Zur Quantifizierung des absoluten NE-Metalllagers wird zur Vereinfachung von einer konstanten Bevölkerungszahl in Deutschland von 80 Mio. Einwohner zwischen 2014 und 2050 ausgegangen. Da es in dieser Studie um eine Ermittlung von Größenordnungen geht, ist diese Vereinfachung gerechtfertigt.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung des deutschen **Aluminiumlagers** zwischen 2014 und 2050 dargestellt.

Abbildung 4 Entwicklung des deutschen Aluminiumlagers von 2014 bis 2050

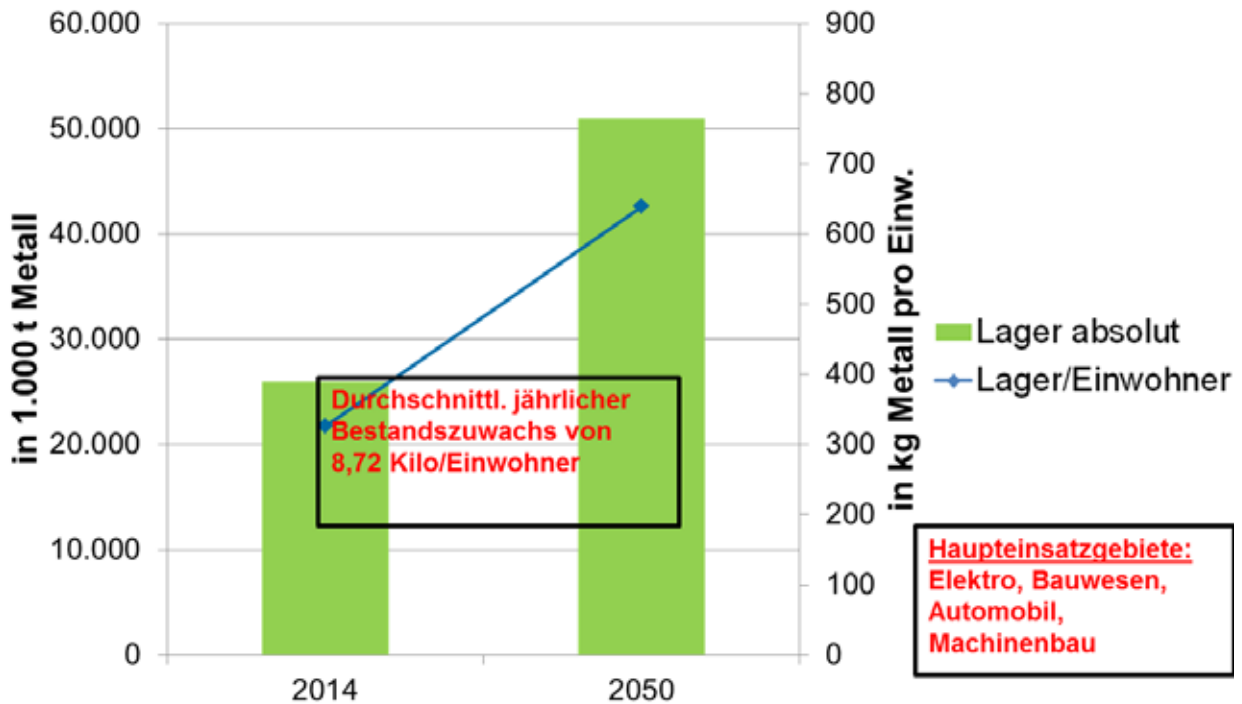


2014 beträgt das Aluminiumlager in Deutschland 458 kg/Einwohner. Dieser Wert wurde von einer Quelle mit dem Bezugsjahr 2010 für Deutschland (Liu et al. 2013) mit einer jährlichen Steigerung von rund 8 kg Aluminium/Einwohner und Jahr (Daten des International Aluminium Institute: <http://www.world-aluminium.org/>) bis 2014 und dann bis 2050 linear fortgeschrieben. Im Jahr 2050 beträgt danach das Aluminiumlager in Deutschland geschätzt 748 kg/Einwohner.

In absoluten Tonnen bedeutet dies, dass das Aluminiumlager in Deutschland im Jahr 2014 rund 37 Mio. Tonnen betrug und bis 2050 auf rund 60 Mio. Tonnen stark anwachsen wird. Verantwortlich sind hierfür vor allem langlebige Einsatzbereiche im Bauwesen, Maschinenbau sowie Verkehr- und Transportwesen.

Nach Aluminium folgt von den 5 untersuchten NE-Metallen **Kupfer** mit einem Lager von rund 326 kg/Einwohner im Jahr 2014. Dieser Startwert wurde aus einem Mittelwert aus vier wissenschaftlichen Quellen (Sörme et al. 2001, Murakami 2006, Brunner et al. 2006, Ruhrberg 2006) für 2000 und einer jährlichen Fortschreibung um fast 9 kg/Einwohner (Graedel et al. 2010) bis 2014 errechnet. Dieser jährliche Wachstumswert wurde bis 2050 linear fortgeschrieben. Damit ist in 2050 von einem deutschen Kupferlager von rund 639 kg/Einwohner auszugehen.

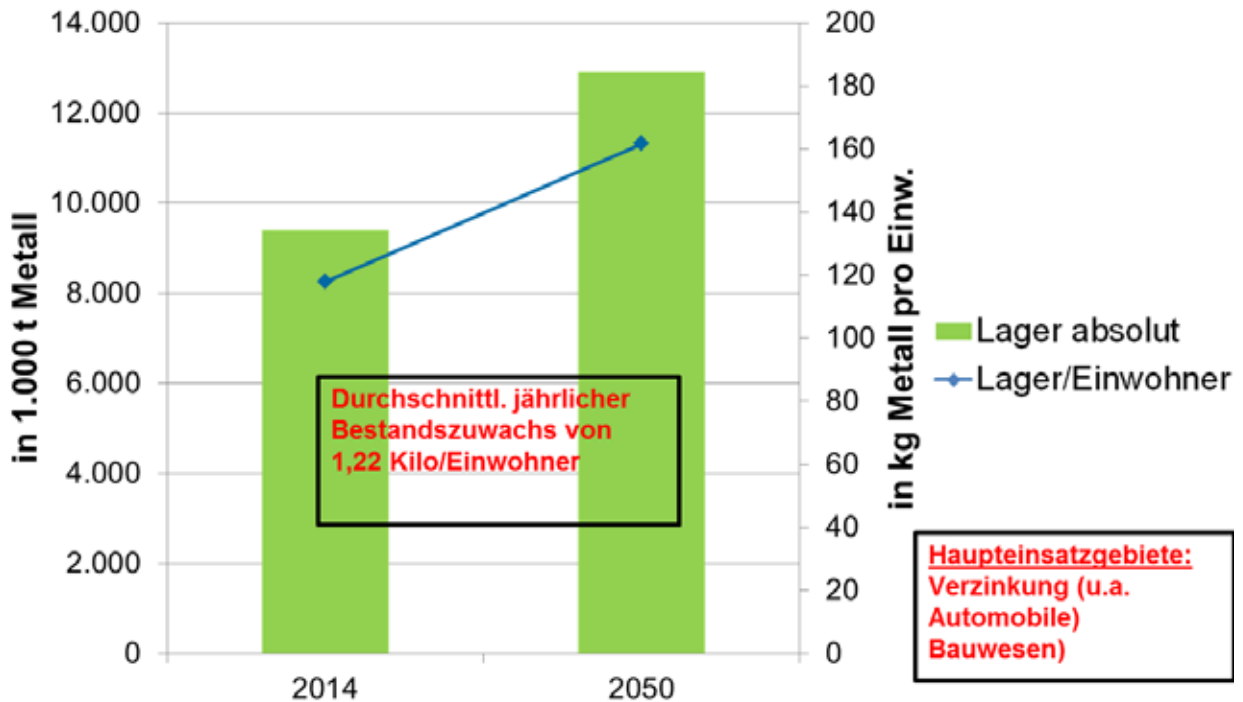
Abbildung 5 Entwicklung des deutschen Kupferlagers von 2014 bis 2050



Von den 5 untersuchten NE-Metallen wird für Kupfer der steilste Anstieg des anthropogenen Lagers in Deutschland bis 2050 erwartet. Absolut wird für 2014 das deutsche Kupferlager auf rund 26 Mio. Tonnen geschätzt. Dieses deutsche Kupferlager wird sich bis 2050 auf 51 Mio. Tonnen nahezu verdoppeln. Langlebige Einsatzgebiete wie der Elektroniksektor, der Automobilsektor, der Maschinenbau und das Bauwesen tragen hierzu maßgeblich bei.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung des deutschen **Zinklagers** grafisch dargestellt. Ausgehend von einem Startwert von rund 118 kg Zink/Einwohner im Jahr 2014 und einer jährlichen Wachstumsrate von rund 1,22 kg Zink/Einwohner werden für das Jahr 2050 rund 162 kg Zink/Einwohner erwartet. Für die Ermittlung der Daten wurden diverse Quellen (Sörme et al. 2001, Murakami 2006, Brunner et al. 2006, Ruhrberg 2006, Graedel et al. 2010) herangezogen.

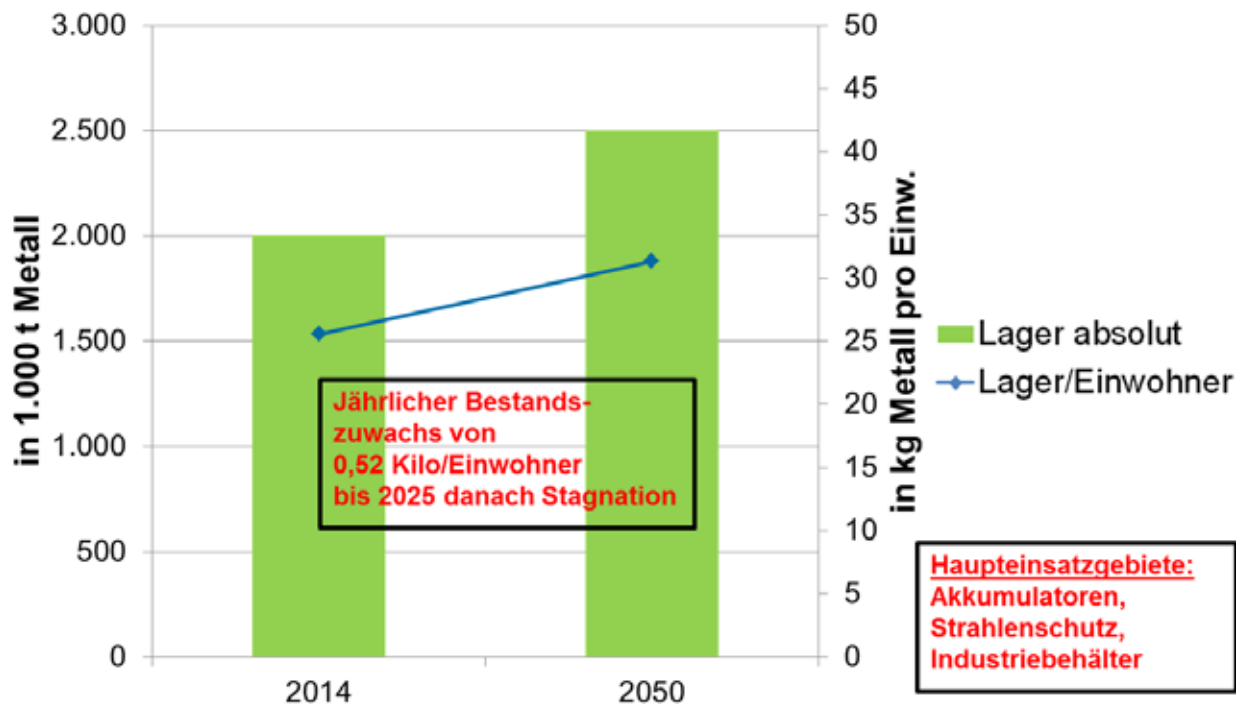
Abbildung 6 Entwicklung des deutschen Zinklagers von 2014 bis 2050



Das deutsche Zinklager wird demnach absolut von rund 9,4 Mio. Tonnen im Jahr 2014 auf rund 12,9 Mio. Tonnen im Jahr 2050 anwachsen. Die Hauptbeiträge liefern hierzu vor allem verzinkte Produkte im Bauwesen und Automobilsektor.

Die Entwicklung des **Bleilagers** in Deutschland ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Ausgangswert für 2014 wurde aus einem Startwert für 2000 (Graedel et al. 2009) und einem jährlichen Wachstumswert von gut 0,5 kg Blei/Einwohner (Graedel et al. 2010) ermittelt. Dadurch ergibt sich ein Bleilager in Deutschland von rund 26 kg Blei/Einwohner im Jahr 2014. In Abstimmung mit den beteiligten Experten zur Erstellung der Studie wurde der jährliche Wachstumswert von 0,5 kg Blei/Einwohner bis 2025 fortgeschrieben und dann kein weiteres Wachstum des deutschen Bleilagers unterstellt.

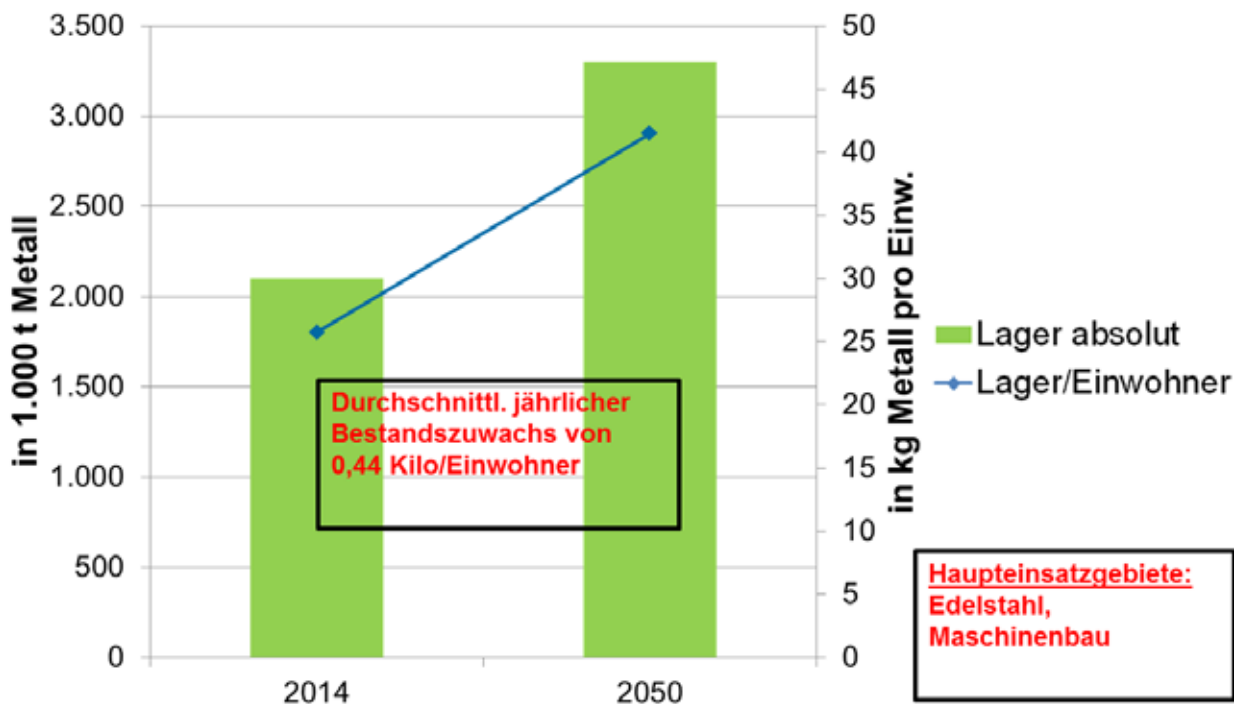
Abbildung 7 Entwicklung des deutschen Bleilagers von 2014 bis 2050



Das Bleilager in Deutschland betrug demnach absolut im Jahr 2014 rund 2 Mio. Tonnen. Für das Jahr 2050 werden 2,5 Mio. Tonnen abgeschätzt. Der absolut wichtigste Einsatzbereich sind Bleisäure-Akkumulatoren (Starterbatterien). Aber auch der Strahlenschutz und Industriebehälter (Chemieindustrie) spielen eine Rolle.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung des Metalllagers des fünften untersuchten NE-Metalls – **Nickel** – dargestellt. Für das Startjahr 2014 wird von einem Nickellager von 26 kg/Einwohner in Deutschland ausgegangen. Dieses Nickellager wächst jährlich im Durchschnitt bis 2050 um rund 0,44 kg Nickel auf rund 41 kg Nickel/Einwohner im Jahr 2050. Zur Datenermittlung wurden mehrere Literaturquellen (Sörme et al. 2001. Graedel et al. 2010) und persönliche Experteneinschätzungen herangezogen.

Abbildung 8 Entwicklung des deutschen Nickellagers von 2014 bis 2050

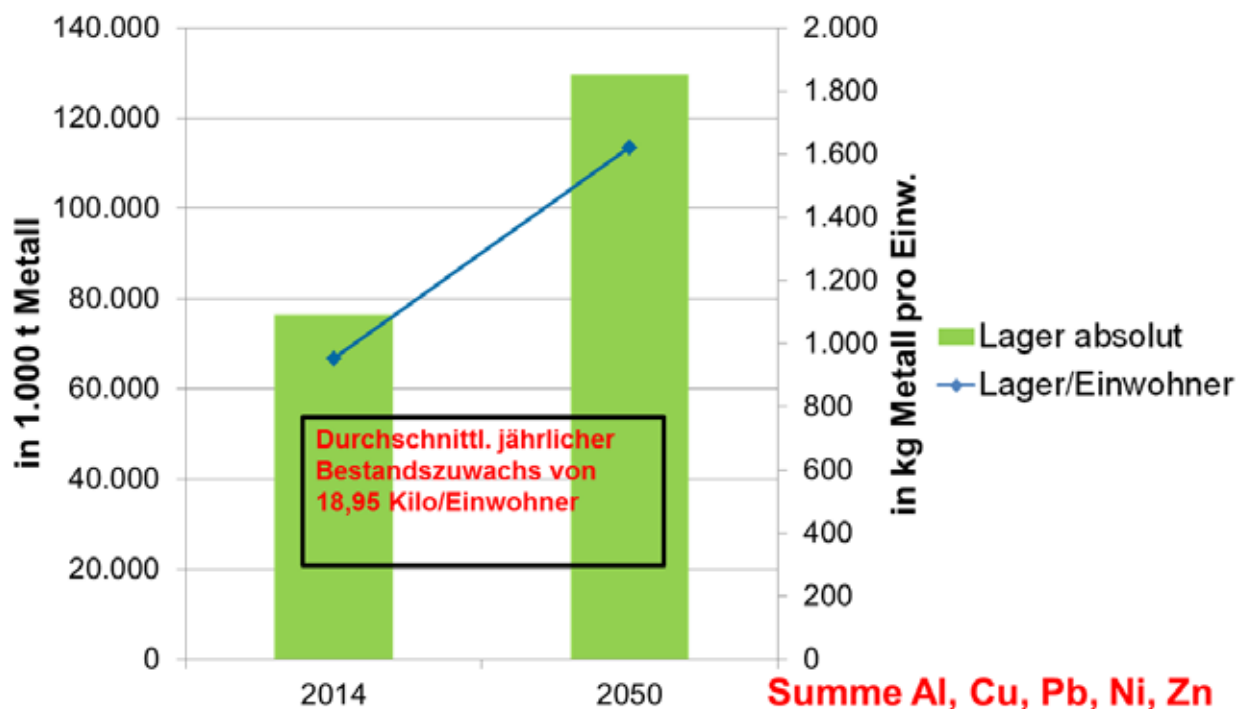


Das absolute Nickellager in Deutschland wächst von rund 2,1 Mio. Tonnen (2014) auf 3,3 Mio. Tonnen (2050) an. Haupteinsatzgebiete sind Edelstahl und Maschinenbau.

Die Untersuchung des NE-Metalllagers in Deutschland 2014 und dessen Entwicklung bis zum Jahr 2050 ergab folgende Ergebnisse (siehe nachfolgende Abbildung).

Absolut betrug das **NE-Metalllager in Deutschland** im Jahr 2014 rund 76,5 Mio. Tonnen (Summe für Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel und Zink). Dies entspricht rund 950 kg NE-Metalle pro Einwohner, die im anthropogenen Lager, d.h. in Gebäuden, Infrastrukturen, Fahrzeugen usw. gebunden sind. Die absolut gebundene Menge des NE-Metalllagers in Deutschland im Jahr 2014 entspricht der gut dreißigfachen deutschen Jahresproduktion im gleichen Jahr. Das anthropogene NE-Metalllager speist sich aus deutscher Produktion (primär und sekundär) und importierten NE-Metallen. Die Untersuchungen ergaben weiter, dass das NE-Metalllager in Deutschland bis 2050 schätzungsweise auf rund 130 Mio. Tonnen bzw. gut 1600 kg NE-Metalle pro Einwohner wachsen wird. Der jährliche Bestandszuwachs pro Einwohner beläuft sich auf rund 19 kg NE-Metall. Sowohl für das NE-Metalllager 2014 als auch für 2050 liefern die beiden NE-Metalle Aluminium und Kupfer die größten Beiträge.

Abbildung 9 Entwicklung des deutschen NE-Metalllagers insgesamt von 2014 bis 2050

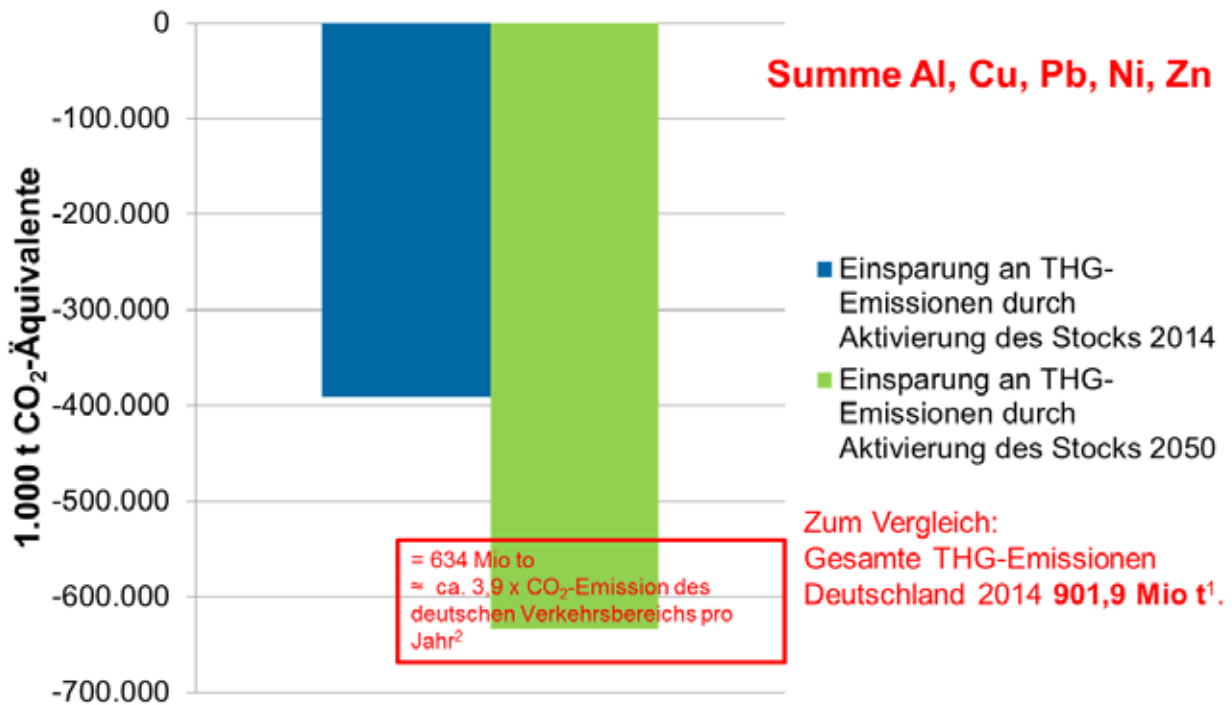


Nach Abschätzungen der WVMetalle anhand durchschnittlicher Schrottpreise für 2015/2016 betrug der nominale Wert des gesamten NE- Metallstocks 2014 für die 5 untersuchten Metalle zusammen rund 132 Mrd. Euro. Dies entspricht pro Kopf eines jeden Einwohner Deutschlands ca. 1.656 Euro. Im Jahr 2050 ist dieser im anthropogenen Lager gespeicherte Schatz an NE-Metallen - gleichbleibende Preise vorausgesetzt - auf einen Wert von 245 Mrd. Euro oder 3.065 Euro je Einwohner angewachsen. Jahr für Jahr wächst der Wert des NE-Stocks pro Einwohner um gut 36 Euro.

4. Einsparpotenziale für Treibhausgase durch Erschließung des NE-Metalllagers

Das theoretische Einsparpotenzial für Treibhausgasemissionen bei Kompletterschließung des NE-Metalllagers durch Recycling würde für den Stock 2014 rund 390 Mio. Tonnen Treibhausgase betragen und für den Stock 2050 rund 634 Mio. Tonnen. Letztere Zahl entspricht z.B. dem gut 3,9-fachen der aktuellen CO₂-Emissionen des Verkehrsbereichs in Deutschland. Zu beachten ist weiterhin, dass Teile des NE-Metalllagers im Zeitraum bis 2050 bereits mehrfach umgewälzt werden. Das stetig wachsende NE-Metalllager in Deutschland bedeutet ein stetig wachsendes Potenzial zur Einsparung an THG-Emissionen. Selbstverständlich ist dies nur ein Rechenexempel, denn die Erschließung des wachsenden Potenzials aus dem NE-Metalllager in Deutschland kann je nach Bindungsdauer der NE-Metalle nur schrittweise und langfristig erfolgen.

Abbildung 10 Theoretisches THG-Einsparpotenzial bei Komplett-Erschließung des NE-Metalllagers 2014 und 2050



5. Gesamtfazit

Die Einsparungen an Treibhausgasemissionen durch die Sekundärmetallproduktion waren bereits im Basisjahr 2014 mit mehr als 7 Mio. Tonnen signifikant. Zusätzliche Einsparungen an Treibhausgasen sind bis 2050 möglich bei effizienter Erschließung des NE-Metalllagers in Deutschland. Das wachsende NE-Metalllager in Deutschland ist ein Ressourcen- und Energiespeicher für künftiges Recycling, das nachfolgenden Generationen grundsätzlich wieder zum Recycling ohne Qualitätsverlust zur Verfügung steht. Voraussetzung ist, dass Rahmenbedingungen für effizientes Recycling z.B. im Rahmen der aktuellen Diskussion um Circular Economy weiter entwickelt/optimiert werden.

6. Literaturverzeichnis

- BGR 2014 Huy, D. et al.: Deutschland – Rohstoffsituation 2014, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, November 2015.
- Brunner et al. 2006 G. Schöllner, C. Oberleitner, R. Fehring, G. Döberl, P. H. Brunner. Verknüpfung Rohstofflager - anthropogene Lager - letzte Senken im Bundesland Steiermark, Vienna University of Technology. Vienna 2006.
- Graedel et al. 2009 J. S. Mao, T. E. Graedel. Lead in-use stocks; Journal of Industrial Ecology 2009, 13, 112-127.
- Graedel et al. 2010 T. E. Graedel and J. Cao; Metal spectra as indicators of development; PNAS, December 7, 2010, Vol. 107, No. 49.
- Liu et al. 2013 Liu, G. et al.: Centennial Evolution of Aluminum In-Use Stocks on Our Aluminized Planet, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 4882-4888.
- Metallstatistik 2014 Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM) (Hrsg.), 2015.
- Murakami 2006 S. Murakami, Material Flows and Stocks of Metals Surrounding Japan, Symposium on Advanced Material Flow Analysis for the Sustainable Society, Sendai, Japan, 2006.
- Ruhrberg 2006 M. Ruhrberg. Assessing the recycling efficiency of copper from end-of-life products in Western Europe. Resources, Conservation & Recycling 2006, 48, 141-165.
- Sörme et al. 2001 L. Sörme, B. Bergbäck, U. Lohm, Century perspective of heavy metal use in urban areas. Water, Air & Soil Pollution. Focus 2001, 1, 197-211.
- UNEP 2010 Graedel, T.E. et al.: Metal Stocks in Society – Scientific Synthesis, International Panel for Sustainable Resource Management (Editor), UNEP 2010.