



Analyse der Umweltwirkung der Schweizer MEM-Industrie

Kontaktpersonen:

Helen Droz
Prof. Stefanie Hellweg
ETH Zürich
Institut für Umweltingenieurwissenschaften
Ökologisches Systemdesign
John-von-Neumann-Weg 9
CH- 8093 Zürich
Email: stefanie.hellweg@ifu.baug.ethz.ch

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Globale und lokale Umweltwirkungen sind in der Wirtschaft und Gesellschaft immer deutlicher spürbar und zeigen sich in unterschiedlichen Formen wie Klimawandel, Verknappung der Ressourcen oder Luftverschmutzung. Zum Erhalt des heutigen Lebensstandards und eines Spielraums für Wachstum ist eine nachhaltige Entwicklung zentral. Die Problematik ist komplex und sollte mit unterschiedlichen Ansätzen und von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zusammen angegangen werden. Die Swissmem wird im Juni 2018 ihren Industrietag zum Thema «Nachhaltige Lösungen aus der MEM-Industrie» veranstalten. Zur Vorbereitung dieses Anlasses sollen die Umweltwirkungen der MEM-Produkte über ihren gesamten Lebenszyklus untersucht werden.

Das Ziel der Studie ist die Analyse der Umweltwirkungen der MEM-Industrie auf Ebene der gesamten MEM-Industrie und der einzelnen Sektoren (Metalle, Maschinenbau, Elektrotechnik, Präzisionsinstrumente und Fahrzeuge), sowie im Rahmen von Fallstudien einzelner Produktgruppen (z.B. Werkzeugmaschinen).

Methoden und Vorgehensweise

Die Quantifizierung und Analyse der Umweltwirkung der Schweizer MEM-Industrie wurden mit sogenannten «environmentally extended Multiregionalen Input-Output Tabellen» durchgeführt. In Multi-Regionalen Input-Output (mriOT) Tabellen werden monetäre Flüsse zwischen verschiedenen Sektoren und Ländern dargestellt. Dadurch können Wirtschaftskreisläufe und Zulieferketten analysiert werden. «Environmentally extended» mriOT stellen neben den rein monetären Flüssen zusätzlich auch Emissionen und Materialflüsse zwischen den Sektoren dar, da sie Erweiterungen mit Informationen zu Emissionen und extrahierten Rohstoffen enthalten (dadurch der Name «environmentally extended»). In dieser Studie wurde die «Environmentally extended» mriOT Exiobase v3.3 verwendet. Exiobase v3.3 beinhaltet Daten bis und mit dem Jahr 2011 und bildet die Schweizer MEM-Industrie mit mehreren Sektoren ab. Mit Exiobase wurde die Umweltwirkung der fünf Schweizer MEM-Sektoren und ihrer Zulieferketten berechnet und analysiert. Dabei wurde Klimawandel, Versauerung und Feinstaub-Emissionen betrachtet. Im zweiten Teil der Studie wurde anhand von drei Fallbeispielen zu Werkzeugmaschinen, Aufzügen und Waschautomaten die Umweltwirkung in der Nutzungsphase betrachtet. Die Analyse beruht auf Daten von verschiedenen Quellen (unter anderem: Lebenszyklus-Datenbank ecoinvent, Resultate des EE4MT-Projektes der Swissmem - Fachgruppe Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und des BFE, Ökobilanzen von Schindler AG).

Resultate

Abbildung 1 zeigt die umsatzspezifischen Treibhausgas-Emissionen für die fünf MEM-Sektoren. Es wird unterschieden zwischen (1) Emissionen, welche im Sektor selbst anfallen (Scope 1), (2) Emissionen der inländischen Zulieferkette sowie (3) der ausländischen Zulieferkette. Bei Scope 1-Emissionen handelt es sich zum Beispiel um Treibhausgase, welche bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen am Produktionsstandort emittiert werden. Der Elektrizitätsverbrauch am Produktionsstandort ist darin hingegen nicht begriffen (Scope 2 Treibhausgas- Emissionen): Die Elektrizitätserzeugung findet ausserhalb der MEM-Industrie statt und der Elektrizitätsproduzent ist in der Zulieferkette der MEM-Sektoren abgebildet.

Die unterschiedlichen MEM-Sektoren tauchen gegenseitig in den Zulieferketten auf, da sie untereinander auch Leistungen beziehen. Dadurch beinhalten die Sektoren auch Emissionen von

anderen MEM-Sektoren in ihrer Zulieferketten und zwar sowohl direkte Emissionen als auch Emissionen deren Zulieferketten (auch in Abbildung 1 gezeigt).

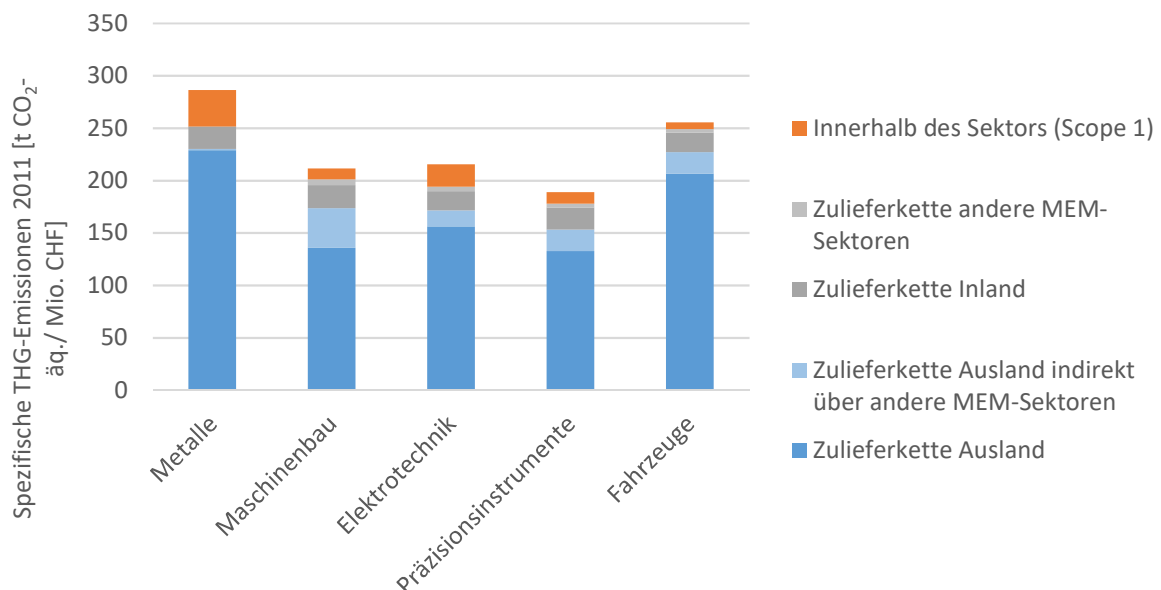


Abbildung 1: Spezifische Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) der fünf MEM-Sektoren für das Jahr 2011. Es wird unterschieden zwischen Treibhausgas-Emissionen, welche innerhalb der MEM-Sektor selbst anfallen (Scope 1) und derjenigen welche in der in- und ausländischen Zulieferkette anfallen.

Die relativ grossen Anteile der Treibhausgas-Emissionen, welche über andere MEM-Sektoren in den jeweiligen Sektoren angerechnet werden, heben die engen Verflechtungen zwischen den Schweizer MEM-Sektoren hervor. Der Metall-Sektor weist die höchste CO₂-Intensität auf, was auf die frühere Position in der Wertschöpfungskette zurückzuführen ist: Hier fällt ein grosser Teil der Treibhausgasemissionen an (z.B. die Extraktion von Erzen und die Produktion von Roherzeugnissen aus Metall), jedoch ist die zugehörige monetäre Wertschöpfung verhältnismässig gering. Bei allen fünf Sektoren fällt der grösste Teil der Treibhausgas-Emissionen in der ausländischen Zulieferkette an (rund 80%). Der hohe Anteil an ausländischen Emissionen ist schweizweit anzutreffen: Frischknecht et al. (2014) fanden, dass ca. 73% der Umweltwirkung des Schweizer Konsums im Ausland anfällt. Die wichtigsten Quellen in der ausländischen Zulieferkette sind die Elektrizitätserzeugung aus Kohle und Transport-/ Reiseaktivitäten. Deutschland ist ein wichtiger Zulieferer für die Schweizer MEM-Industrie, was sich auch in den dort anfallenden Treibhausgas-Emissionen manifestiert: Rund 17% der Treibhausgas-Emissionen in der Zulieferkette fallen in Deutschland an, wobei die Elektrizitätsproduktion mit Kohle sowie die deutsche Eisen- und Stahlindustrie die bedeutendsten Quellen sind. Für die beiden anderen Indikatoren (Versauerung und Feinstaub-Emissionen) zeigt sich ein ähnliches Bild: Der Metall-Sektor weist die höchsten umsatzspezifischen Emissionen auf. Bei den umsatzspezifischen Versauerungs-Emissionen folgt der Präzisions-Sektors an zweiter Stelle, was durch den verhältnismässig stärkeren Einsatz von Kupfer erklärt werden kann (in der Kupferproduktion entstehen grosse Mengen an Schwefeldioxid, einer der wichtigen Luftschadstoffe der Versauerungsproblematik). Auch der Ausland-Anteil ist bei Versauerungs- und Feinstaub-Emissionen hoch (rund 85% und 95%). Bei der primären Stahl- und Eisenproduktion werden beachtliche Mengen an Feinstaub emittiert. Da diese ausschliesslich im Ausland stattfindet, führt dies zu einem entsprechend höheren Anteil an ausländischen Feinstaub-Emissionen.

Die gesamten sowie die umsatzspezifischen Treibhausgas-Emissionen der MEM-Industrie haben von 2008 bis 2011 zugenommen (siehe Abbildung 2 für die umsatzspezifischen Treibhausgas-Emissionen).

Die Zunahme ist auf einen grossen Anstieg der Treibhausgas-Emissionen in der ausländischen Zulieferkette zurückzuführen: Die Zulieferkette hat sich im betrachteten Zeitraum ins Ausland verlagert (gemessen an der Wertschöpfung). Dies manifestiert sich in einer steigenden Umweltwirkung, da die ausländische Produktion tendenziell CO₂-intensiver ist (höhere CO₂-Intensität des Stromes). Treibhausgas-Emissionen, welche im Inland und in den Schweizer MEM-Sektoren selbst anfallen, haben im betrachteten Zeitraum abgenommen. Dies ist sowohl auf Bemühungen in Effizienzsteigerungen, als auch auf die zunehmenden Auslagerungen ins Ausland zurückzuführen. Zudem ist eine Abnahme des durchschnittlichen Tonnage-Preises von 2008 bis 2011 zu beobachten. Da dadurch für die produzierte Tonnage, welche ausschlaggebend für die gesamte Umweltwirkung ist, ein verhältnismässig kleinerer Umsatz generiert wird, nimmt die umsatzspezifische Umweltwirkung zu. Rund 15% des Anstiegs der umsatzspezifischen Emissionen ist auf diese Preisentwicklung zurückzuführen, welche von zwei wesentlichen Punkten beeinflusst wurde: a) der Metall-Sektor gewinnt an Bedeutung und da der durchschnittliche Preis im Metall-Sektor tiefer ist, nimmt der durchschnittliche Preis der gesamten MEM-Industrie ab, b) die Aufwertung des Schweizer Frankens in diesem Zeitraum beeinflusste der Preis (bei der sehr exportorientierten MEM-Industrie ist zu erwarten, dass Währungsunterschiede zu Preisreaktionen führen).

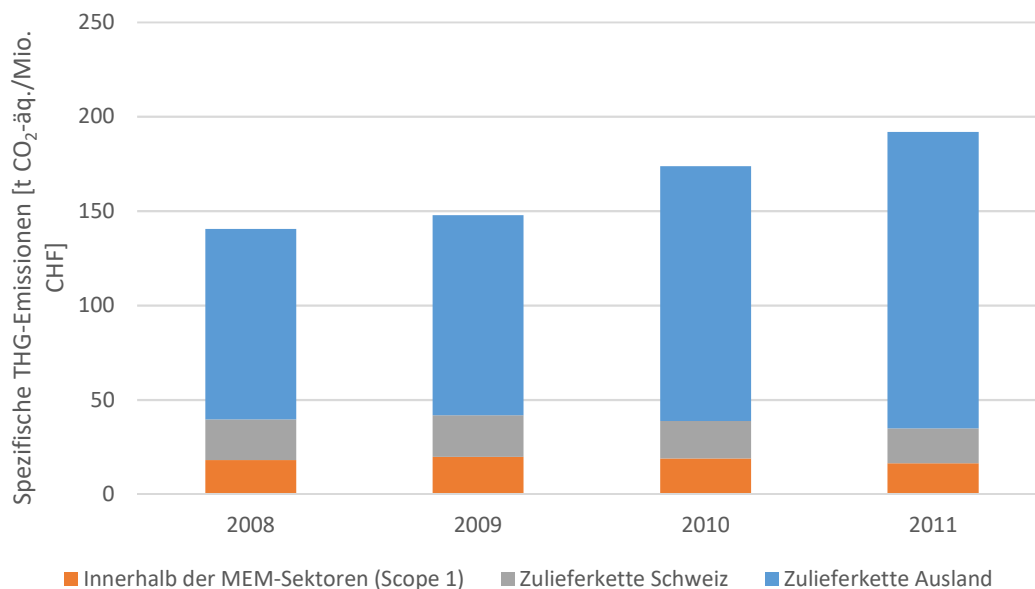


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der umsatzspezifischen Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) der ganzen MEM-Industrie für die Jahre 2008-2011. Es wird unterschieden zwischen Treibhausgas-Emissionen, welche innerhalb der MEM-Sektor selbst anfallen (Scope 1) und derjenigen welche in der in- und ausländischen Zulieferkette anfallen.

Die Fallstudien konnte zeigen, dass die Nutzungsphase bezüglich Umweltwirkung oft dominant ist. Dabei spielt es eine wichtige Rolle, in welchen Land das Gerät beziehungsweise die Maschine betrieben wird. Durch verschiedene Zusammensetzungen der Energiequellen für die Elektrizitätsproduktion variiert die CO₂-Intensität der Stromnutzung in verschiedenen Ländern. Da die Stromproduktion in der Schweiz von Wasserkraft und Atomstrom dominiert wird, ist der Schweizer Strommix relativ CO₂-arm. In Deutschland und China hingegen wird auch Kohle für die Elektrizitätserzeugung verwendet, was sich in einer höheren CO₂-Intensität des Strommixes niederschlägt. In Abbildung 3 sind die Treibhausgas-Emissionen der Herstellung und der Nutzung einer typischen Werkzeugmaschine in den vier Ländern mit den grössten Importen von Schweizer Werkzeugmaschinen sowie der Schweiz abgebildet. Die Nutzungsphase ist in diesem Beispiel dominant im Vergleich zur Herstellung, wobei es grosse Unterschiede zwischen den Ländern gibt.

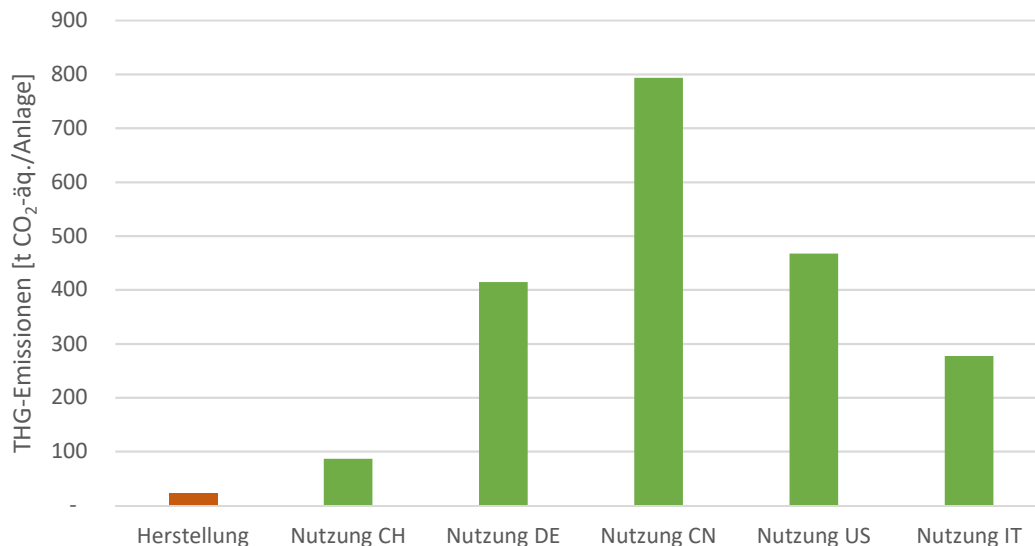


Abbildung 3: Treibhausgas-Emissionen der Herstellung und der Nutzungsphase für eine typische Werkzeugmaschine. Es wurde eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen sowie länderspezifische Elektrizitätsmixe verwendet.

Durch Effizienzsteigerungen des Betriebes kann eine Reduktion der Umweltbelastung erreicht werden. Für Werkzeugmaschinen wäre eine Effizienzsteigerung um rund 20% relativ einfach erreichbar, was einer totalen Einsparung von 2.2 Mt CO₂- äq. für die in einem Jahr in der Schweiz produzierten Werkzeugmaschinen bedeuten würden. Bei der Nutzung einiger Produkte in der Schweiz (oder andern Ländern mit einem CO₂-armen Strommix) wird allerdings bereits ein «tipping point» erreicht (z.B. bei Waschautomaten mit Wärmepumpen). Über diesen Punkt hinaus führen weitere Einsparungen in der Nutzungsphase nicht mehr zu Umweltvorteilen, da die zusätzlich benötigten Materialien für Effizienzmassnahmen diese kompensieren. Allerdings lohnt sich die gleiche Massnahme sehr wohl noch, wenn die Maschine im Ausland mit Elektrizitätsmischen höherer CO₂-Intensitäten eingesetzt wird.

Schlussfolgerungen

Bei der Betrachtung der «cradle-to-gate¹» Umweltauswirkungen zeigt sich, dass bezüglich der Umweltwirkung mit einem Anteil von 80% vor allem die ausländische Zulieferkette wichtig ist. Der Fokus von Reduktionsmassnahmen sollte daher auf der Zulieferkette liegen. Im betrachteten Zeitraum ist eine Zunahme der gesamten sowie der umsatzspezifischen Treibhausgas-Emissionen zu beobachten. Zentrale Rolle spielt dabei der Trend der Auslagerung ins Ausland, da die ausländische Produktion tendenziell CO₂-intensiver ist. Dies unterstreicht die steigende Wichtigkeit der ausländischen Zulieferkette im Hinblick auf die Umweltwirkung der MEM-Industrie.

Bei energieverbrauchenden Produkten dominiert meistens die Nutzungsphase über andere Phasen im Lebenszyklus. Dabei hängt die Umweltwirkung der Nutzungsphase stark davon ab, in welchem Land die Geräte zum Einsatz kommen, da sich die Strommische unterschiedlicher Länder bezüglich ihrer CO₂-Intensitäten stark unterscheiden. Massnahmen für Effizienzsteigerungen während der Nutzung haben grosses Potential, um die Umweltperformance des gesamten Lebenszyklus der Geräte zu verbessern, wie dies am Beispiel von Werkzeugmaschinen gezeigt wurde. Da die MEM-Industrie und ihre Produkte

¹ «Cradle-to-gate» (von der Wiege bis zum Werkstor): Es werden die Umweltwirkungen der ganzen Produktionsphase inkl. deren aller Zulieferer betrachtet. Das heisst, dass alles von der Extraktion der benötigten Rohstoffe bis zur Herstellung der Produkte miteinbezogen wird. Nicht betrachtet wird hingegen die Nutzung der Produkte.

sehr divers sind und jedes Produkt einen individuellen Charakter hat, lassen sich Beobachtungen aus den Fallstudien jedoch nicht direkt auf andere Produkte übertragen. Mit der systematischen Integration einer Lebenszyklusanalyse in die Produktentwicklung können für das jeweilige Produkt Hotspots identifiziert werden und Massnahmen definiert werden. Dabei sollte Rücksicht auf den potentiellen Einsatzort genommen werden, um den obengenannten «tipping point» zu vermeiden.

Mit dieser Studie wurde das Thema ökologische Nachhaltigkeit in der Schweizer MEM-Industrie aufgegriffen und es konnten wichtige Zusammenhänge und Trends identifiziert werden. Die Definition von generellen Umweltindikatoren und deren systematischen Erhebung würde eine vertiefte Analyse von Trends und Hotspots ermöglichen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
1.1. Ausgangslage.....	8
1.2. Zielsetzung	8
2. Methode und Vorgehensweise	9
2.1. Sektoranalyse mit Multiregionalen Input-Output Tabellen.....	9
2.2. Fallstudien	15
3. Sektoranalyse	17
3.1. Umweltauswirkung der Schweizer MEM-Industrie und deren Zulieferketten.....	17
3.2. Metallbedarf der MEM-Industrie.....	21
3.3. Geografische Verteilung der Umweltauswirkungen in der Zulieferkette.....	22
3.4. Wertschöpfung und Umweltwirkung in der Zulieferkette.....	24
3.5. Zeitliche Entwicklung	25
3.6. Vergleich mit MEM-Industrie andern Ländern	27
3.7. Validierung mit bottom-up Berechnungen	28
4. Fallstudien	30
4.1. Werkzeugmaschinen.....	30
4.2. Aufzüge	31
4.3. Waschautomaten.....	32
5. Limitierungen	34
6. Schlussfolgerung	35
Literaturverzeichnis	37
Anhang	39

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Globale und lokale Umweltwirkungen sind in der Wirtschaft und Gesellschaft immer deutlicher spürbar und zeigen sich in unterschiedlichsten Formen wie Klimawandel, Verknappung der Ressourcen oder Luftverschmutzung. Zum Erhalt des heutigen Lebensstandards und eines Spielraums für Wachstum ist eine nachhaltige Entwicklung zentral. Die Problematik ist komplex und sollte mit unterschiedlichen Ansätzen und von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zusammen angegangen werden.

Die Swissmem wird im Juni 2018 ihren Industrietag zum Thema «Nachhaltige Lösungen aus der MEM-Industrie» veranstalten. Zur Vorbereitung dieses Anlasses sollen die Umweltwirkungen der MEM-Produkte über ihren gesamten Lebenszyklus untersucht werden.

1.2. Zielsetzung

Das Ziel der Studie ist die Analyse der Umweltwirkungen der MEM-Industrie auf Ebene der gesamten MEM-Industrie und der einzelnen Sektoren, sowie im Rahmen von Fallstudien einzelner Produktgruppen (z.B. Werkzeugmaschinen).

In der Sektoranalyse sollen die Zulieferketten analysiert werden und sowohl die Umweltwirkungen in der Schweiz wie auch im Ausland quantifiziert werden. Weiter sollen Trends identifiziert werden und die Schweizer MEM-Industrie mit MEM-Industrien anderer Länder verglichen werden. Der Materialverbrauch der relevantesten Metalle (Eisen, Aluminium und Kupfer) soll für die fünf MEM-Sektoren (Maschinenbau, Metalle, Elektrotechnik, Präzisionsinstrumente und Fahrzeuge) quantifiziert werden.

In den Fallstudien soll zusätzlich zur Herstellung der Produkte auch die Nutzungsphase betrachtet werden, um Effizienzsteigerungen der Produkte zu bewerten. Dies wird anhand von den Beispielen Werkzeugmaschinen, Waschautomaten und Aufzugsystemen durchgeführt.

2. Methode und Vorgehensweise

Die Quantifizierung und Analyse der Umweltwirkung der Schweizer MEM-Industrie wurde mit einer «environmentally extended Multiregionalen Input-Output Tabellen» durchgeführt. Dies erlaubt die Bewertung der Umweltschäden entlang der ganzen Zulieferkette in unserer globalisierten Wirtschaft (Ewing et al. 2012)

2.1. Sektoranalyse mit Multiregionalen Input-Output Tabellen

Multiregionale Input-Output (mrIOT) Tabellen stellen Wirtschaftskreisläufe zwischen verschiedenen Wirtschaftssektoren und Regionen dar. Dadurch können auch Zulieferketten der Sektoren komplett verfolgt werden. Für die Analyse der Zulieferketten der MEM-Industrie wurde in dieser Studie die mrIOT Exiobase v 3.3 verwendet (Stadler et al. 2018; Stadler, Konstantin Wood et al. 2018). Exiobase v3.3 beinhaltet mrIOT für die Jahre 1995 -2011. Die mrIOT ist in 163 Sektoren sowie 43 Länder und 5 geografische Regionen gegliedert, wobei die Schweiz als separates Land ausgewiesen ist (alle EU Länder und grossen Volkswirtschaften sind separat gelistet). Zusätzlich sind für Exiobase v3.3 Erweiterungen über die Emissionen und den Materialverbrauch in jedem Sektor und Land verfügbar (dadurch der Name «environmentally extended»). Somit lassen sich neben den ökonomischen Flüssen in der Zulieferkette auch Ressourcenflüsse und Emissionen modellieren und mit Lebenszyklusanalyse -Ansätzen eine Umwelt-Schadensbewertung durchführen. Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau von Exiobase.

Matrix T

[MEUR]	Austria, Sector 1	Austria, Sector 2	Austria, Sector 3	...	Switzerland, Sector 1	Switzerland, Sector 2	Switzerland, Sector 3	...	Switzerland, Final Demand
Austria, Sector 1					5				
Austria, Sector 2					10				
Austria, Sector 3									
...									
Switzerland, Sector 1									
Switzerland, Sector 2									
Switzerland, Sector 3									
...									
Added Value									

Emissionen

CO ₂ Emissions								
SO ₂ Emissions								
...								

Materialverbrauch

Iron Ore Extraction								
Bauxit Extraction								
...								

Abbildung 4: Schematische Darstellung Exiobase v3.3. In der Matrix T werden die monetären In- und Outputs der Sektoren, die finale Nachfrage der Länder und die Wertschöpfung in Euros gezeigt. Die Emissions-Erweiterung enthält Emissions-Daten für alle Sektoren und in der Material-Erweiterung wird die primäre Extraktionen von verschiedenen Materialien (Extraktion von Metall-Erzen) aufgezeigt.

In der Matrix T sind die ökonomischen Flüsse zwischen den einzelnen Sektoren und Ländern dargestellt. In einer Spalte wird der Bezug von Vorleistungen des Sektors (Inputs) dargestellt. Zum Beispiel bezieht der Schweizer Sektor 1 5 Millionen Euros vom österreichischen Sektor 1 und 10 Millionen Euros vom österreichischen Sektor 2 als Vorleistung (siehe Abbildung 4). In der letzten Zeile

ist die eigene Wertschöpfung (Löhne, Steuern und Gewinne) der Sektoren verzeichnet («Added Value»). Die Summe einer Zeile ergibt jeweils den totalen Output des Sektors (die jeweils den Totalen Inputs entsprechen müssen, da die Tabellen ausbalanciert sind).

Die Matrix T wird mit dem totalen Output normiert und dadurch wird die Matrix A berechnet. Die Matrix A zeigt wie viele Euros Vorleistung aus jedem Sektor bezogen werden muss, um einen Euro Output zu produzieren. Die direkt bezogenen Vorleistungen eines Sektors können folgendermassen berechnet werden:

$$x = A \cdot y$$

Wobei x die direkt bezogenen Vorleistungen sind und y die Nachfrage nach Vorleistungen des betrachteten Sektors ist. Die Nachfrage von Vorleistungen eines Sektors lässt sich aus der T -Matrix extrahieren:

$$y = T(:, \text{Sektor}_1)$$

Damit die ganze Zulieferkette berechnet werden kann, müssen auch die indirekten Vorleistungen berücksichtigt werden, also die Vorleistungen welche der direkte Vorleistungssektor bezieht, und so weiter. Rechnerisch lässt sich dies folgendermassen umsetzen:

$$x = (I + A + A^2 + A^3 + \dots) \cdot y = (I + A)^{-1} \cdot y$$

Wobei x der kumulierte Output der Sektoren über die ganze Zulieferkette (mit direkten und indirekten Vorleistungen), I die Identitätsmatrix und $(I + A)^{-1}$ die Leontief Inverse ist.

Der Materialbedarf und die Emissionen der Zulieferkette können mit den entsprechenden Erweiterungen berechnet werden. Die Erweiterungen weisen den totalen Materialbedarf und die totalen Emissionen des jeweiligen Sektors aus. In einem ersten Schritt werden die Erweiterungen mit dem totalen Output normiert, so dass der Materialbedarf pro Euro Output ausgewiesen wird. Analog wird die Emissionserweiterung normiert. Der Materialbedarf und die Emissionen der Zulieferkette können schlussendlich folgendermassen berechnet werden:

$$u_{\text{Material}} = x \cdot \text{Ext}_{\text{Material}}$$

$$u_{\text{Emissionen}} = x \cdot \text{Ext}_{\text{Emissionen}}$$

Wobei u der Materialverbrauch resp. die Emissionen der Zulieferkette und Ext die entsprechenden Erweiterungen in $\text{kt}_{\text{Material}}/\text{EUR}_{\text{Output}}$ resp. $\text{kg}_{\text{Emissionen}}/\text{EUR}_{\text{Output}}$ sind.

Die Wertschöpfung entlang der Zulieferkette kann analog zum Materialbedarf und den Emissionen quantifiziert werden. Mit den Wertschöpfungseinträgen wird eine Wertschöpfungs-Erweiterung generiert, welche auch mit dem totalen Output normiert wird. Die Berechnungen erfolgen analog:

$$AV = x \cdot \text{Ext}_{AV}$$

Wobei AV die Wertschöpfung («Added Value») in den unterschiedlichen Sektoren entlang der Zulieferkette und Ext_{AV} die generierte Wertschöpfungs-Erweiterung in $\text{EUR}_{\text{Wertschöpfung}}/\text{EUR}_{\text{Output}}$ für jeden Sektor ist.

Die MEM-Industrie ist in Exiobase v3.3 mit 19 Sektoren dargestellt (siehe Tabelle 1), wobei der Sektor «Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks» auch die Uhrenindustrie beinhaltet. Die Uhrenindustrie wird in dieser Studie nicht zur MEM- Industrie gezählt und wird darum über eine Skalierung herausgerechnet (siehe Abschnitt 2.1.1).

Tabelle 1: MEM-Sektoren in Exiobase v3.3 und Aggregation für diese Studie. Die in Exiobase verwendete Klassifikation für die MEM-Sektoren entspricht der Klassifikation der «Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft» (NACE). «n.e.c.» steht für «not elsewhere classified».

Exiobase Sektoren (Subsektoren)	Aggregierte Sektoren
Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof	Metalle
Re-processing of secondary steel into new steel	Metalle
Aluminium production	Metalle
Re-processing of secondary aluminium into new aluminium	Metalle
Lead, zinc and tin production	Metalle
Re-processing of secondary lead into new lead	Metalle
Copper production	Metalle
Re-processing of secondary copper into new copper	Metalle
Other non-ferrous metal production	Metalle
Re-processing of secondary other non-ferrous metals into new other non-ferrous metals	Metalle
Casting of metals	Metalle
Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	Metalle
Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	Maschinenbau
Manufacture of office machinery and computers	Maschinenbau
Manufacture of electrical machinery and apparatus n.e.c.	Elektrotechnik
Manufacture of radio, television and communication equipment and apparatus	Elektrotechnik
Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks	Präzisionsinstrumente
Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	Fahrzeuge
Manufacture of other transport equipment	Fahrzeuge

Die Zulieferketten haben zirkuläre Komponenten über mehrere Ebenen, da ein Sektor in seiner eigenen Zulieferkette auftauchen kann. Zum Beispiel produziert ein Schweizer Maschinenbauer Werkzeugmaschinen für die Auto-Industrie. Der Maschinenbauer selbst besitzt Fahrzeuge, welche in Deutschland produziert wurden (daher ist der Fahrzeugproduzent ein Teil der Zulieferkette). Bei der Fertigung der Fahrzeuge kommen die Schweizer Werkzeugmaschinen zum Einsatz, was in diesem Fall bedeutet, dass der Schweizer Werkzeugmaschinenproduzent in seiner eigenen Zulieferkette ist.

Um Doppelzählungen von Emissionen und Materialverbräuchen der Schweizer MEM-Industrie zu vermeiden, wurden in der y-Matrix und der A-Matrix alle Vorleistungen aus den betrachteten MEM-Sektoren gleich null gesetzt. Die direkten Emissionen und der direkte Materialverbrauch wurden in einem anschliessenden Schritt separat von den Erweiterungen extrahiert und addiert. Die 19 MEM-Sektoren wurden in fünf breiter definierte MEM-Sektoren aggregiert (siehe Tabelle 1). Um auch bei der aggregierten Betrachtungsweise Doppelzählungen zu vermeiden, wurde jeweils die Vorleistungen der Subsektoren (z.B. für Maschinenbau die Sektoren 'Manufacture of machinery and equipment n.e.c.' und 'Manufacture of office machinery and computers') in der y-Matrix und der A-Matrix gleich null gesetzt. Analog wurden alle MEM-Sektoren gleich null gesetzt, wenn die MEM-Industrie als Ganzes betrachtet und die Totale berechnet wurde.

2.1.1. Produktionsabschätzung und Skalierung

Exiobase v.3.3 wurde mit eigenen Abschätzungen zum Produktionsvolumen normiert, um einerseits auf die unterschiedliche Definition des Präzisions-Sektors (Herausrechnung Uhrenindustrie) einzugehen, andererseits jedoch auch auf Unsicherheiten bezüglich der Erstellung von Input-Output-Tabellen einzugehen. Die Flüsse innerhalb der Schweizer Wirtschaft wurden in Exiobase v.3.3 mit Input-Output Tabellen des Jahres 2008 modelliert (Stadler, Konstantin Wood et al. 2018).

Das Produktionsvolumen der MEM-Industrie wurde mit Exportstatistiken und Exportquoten abgeschätzt. Die MEM-Industrie setzt sich aus folgenden Warengruppen der Eidgenössischen Zollverwaltung zusammen (Swissmem, Persönliche Kommunikation, Januar 2018):

08 – Metalle

09 – Maschinen, Apparate, Elektronik

10- Fahrzeuge

11.1 - Präzisionsinstrumente, -apparate und -geräte

Das Produktionsvolumen wurde folgendermassen berechnet:

$$Produktion_{k,i} = \frac{Export_{k,i}}{Exportquote_{k,i}}$$

Wobei $Produktion_k$ das Produktionsvolumen (in CHF), $Export_k$ der Export (in CHF) und $Exportquote_k$ die Exportquote der Warengruppe k im Jahr i ist.

Die Exporte der Warengruppen wurden den Exportstatistiken entnommen. Die Daten wurden bereinigt, um Exporte von Schrott und Abfall, Occasion-Produkten und weiteren Produkten, welche nicht der MEM-Industrie angehören, auszuschliessen. In Tabelle 4 im Anhang 1 ist die Vorgehensweise detailliert beschrieben.

Eine gesamtheitliche Exportquote der Schweizer MEM-Industrie für die Jahre 2003-2017 stand zur Verfügung (basierend auf Mitgliederumfragen der Swissmem (Swissmem 2017)). Generell wurde diese Quote angenommen, wobei für einzelne Warengruppen (Werkzeugmaschinen, Metalle und Haushaltsgeräte) detailliertere Exportquoten verwendet wurden. Für Werkzeugmaschine wurde eine Exportquote von 85% angenommen (Herr Nicolas Stephan (Swissmem), Persönliche Kommunikation, März 2018). Für Metalle wurde anhand einer Grobabschätzung der Metallflüsse eine Exportquote von 52% ermittelt, die für alle betrachteten Jahre als konstant angenommen wurde. Für Haushaltsgeräte wurde im Rahmen der Literaturrecherche für die Fallstudie eine Exportquote von 15% ermittelt, welche ebenfalls als zeitlich konstant angenommen wurde (Feldges 2016).

Die Zollstatistik ist nur bedingt geeignet, um die Produktion des Metall-Sektors schätzen zu können. Deshalb wurden für die Abschätzung des Metall-Sektors zum Teil direkte Abschätzungen über das Produktionsvolumen herbeigezogen, und nur ein Teil über die Zollstatistik und die Exportquote abgeschätzt (detaillierte Vorgehensweise ist im Anhang 1 beschrieben).

Die Input-Output Tabelle wurde danach mit den eigenen Abschätzungen des Outputs skaliert. Die Skalierung wurde in den fünf aggregierten Sektoren vorgenommen und mit den jahresspezifischen Werten durchgeführt. In Tabelle 2 sind die Skalierungsfaktoren für das Jahr 2011 aufgelistet. Die Skalierungsfaktoren für die anderen Jahre sind im Anhang 1 zu finden. Da Exiobase in Euros gerechnet ist, mussten die Werte in Schweizer Franken umgerechnet werden. Die Umrechnung von Euro in

Schweizer Franken erfolgte mit dem Jahresmittel-Wechselkurs des jeweiligen Jahres (siehe Anhang 1) (Schweizerische Nationalbank 2018).

Tabelle 2: Skalierungsfaktoren für Exiobase in Euro/Euro. Die Faktoren wurden mit eigenen Abschätzungen zum Umsatz, welche auf Zollstatistiken basieren, berechnet.

Skalierungsfaktoren für 2011	
Metalle	56%
Maschinenbau	79%
Elektrotechnik	53%
Präzisionsinstrumente	37%
Fahrzeuge	32%

In Exiobase v3.3 ist für die MEM-Industrie von 2008-2011 ein Wachstum des Umsatzes von 8% hinterlegt, wobei über diesen Zeitraum in Realität eine leichte Abnahme des Umsatzes zu beobachten war (Swissmem 2017). Dies führt zu relative kleinen Skalierungsfaktoren für das Jahr 2011, da die Skalierungsfaktoren auch auf die Diskrepanz des Umsatz-Wachstums eingehen. Die Skalierung wurde nur auf die monetären Flüsse in der T-Matrix angewendet, jedoch nicht auf die Erweiterungen, da die hinterlegte Modellierung von den Erweiterungen meist unabhängig von monetären Flüssen ist und auf Energiebilanzen und physikalischen Flüssen basiert wurde (Professor Richard Wood (NTNU), Persönliche Kommunikation, Februar 2018).

2.1.2. Weitere Modifikationen

Die Einträge der Emissionserweiterungen für die Schweizer Stahlproduktion wurden mit eigenen Abschätzungen zu den direkten (Scope 1) Emissionen der Schweizer Stahlwerke ersetzt, da hier Elektro-Lichtbogenöfen und keine Hochöfen verwendet werden. Die Abschätzungen basieren auf Daten des Stahlwerkes Gerlafingen (Stahl Gerlafingen, Persönliche Kommunikation, April 2018).

2.1.3. Berechnungen

Die Zulieferkette der MEM-Industrie wurde mit der oben beschriebenen Vorgehensweise für die Jahre 2008-2011 analysiert und die Flüsse von Emissionen und Materialien in die MEM-Sektoren wurden berechnet. Die Berechnungen wurden mit der Software Matlab ausgeführt.

2.1.4. Wirkungsabschätzung

In einem letzten Schritt wurde die Wirkungsabschätzung der Umweltauswirkung durchgeführt. Der Fokus wurde auf Klimawandel gelegt, da mit Exiobase v3.3 eine lückenlose Abbildung möglich ist und andere Studien zeigten, dass es die generell die wichtigste Wirkungskategorie darstellt (Steinmann et al. 2017). Zudem sind generell die Unsicherheiten in der Quantifizierung von Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) im Vergleich zu anderen Umwelteinflüssen kleiner, da die Unsicherheiten in den Hintergrund-Modellen kleiner sind. Die Quantifizierung des Beitrags der THG-Emissionen zum Klimawandel wurde mit der Wirkungsabschätzungsmethode 'IPCC 2013 GWP 100a' durchgeführt und in kg CO₂-Äquivalenten ausgewiesen. Zusätzlich zum Klimawandel, wurden das Versauerungspotential und die Feinstaub-Emissionen quantifiziert. Säureeinträge aus der Atmosphäre ("Saurer Regen") können zur Absenkung des pHs von Böden führen, diese Problematik wird mit dem Versauerungspotential erfasst. Für die MEM-Industrie ist die Versauerungsproblematik besonders relevant, da die Metallproduktion zum Teil mit hohen SO₂-Emissionen verbunden sind (wichtiger Luftschadstoff für die Versauerung). Der Versauerungsindikator wurde mit der Wirkungsabschätzungsmethode 'ReCiPe Midpoints (H) - terrestrial acidification' in kg SO₂-Äquivalenten bestimmt. Das Einatmen von mit Feinstaub belasteter Luft wirkt sich negativ auf die Gesundheit aus (World Health Organization 2016). Die Feinstaub-Emissionen wurden direkt von

Exiobase extrahiert und in kg PM_{2.5} ausgewiesen. Die drei Methoden sind emissionsbasiert und lassen sich dadurch gut mit den Emissions-Erweiterungen von Exiobase v3.3 berechnen. Dafür wurden die relevanten Emissionen von Exiobase v3.3 mit den Charakterisierungsfaktoren der drei Wirkungskategorien gekoppelt. Die Wirkungsabschätzung wurde in Matlab durchgeführt.

2.1.5. Umrechnung Metallerze

Die Materialerweiterungen von Exiobase geben Auskunft über die Menge an extrahierten Erzen. In dieser Studie wurden Eisen, Aluminium und Kupfer betrachtet, da diese drei Metalle mengenmässig die wichtigsten für die MEM-Industrie sind. Die Umrechnung in die Menge Metalle wurden mit länderspezifischen Metallkonzentrationen durchgeführt (Institute for Ecological Economics (Vienna University of Economics and Business) 2017).

2.1.6. Validierung

Die Berechnungen mit Exiobase wurden mit 'bottom-up' Berechnungen validiert. Dafür wurden Abschätzungen der Produktionstonnage mit Lebenszyklusinventardaten kombiniert.

Die Produktionstonnage wurde analog zum beschriebenen Vorgehen im Abschnitt 2.1.1 abgeschätzt (es wurden Angaben zur exportierten Tonnage in der Zollstatistik verwendet). Das Produktionsvolumen wurde aufgeschlüsselt nach einzelnen Warengruppen abgeschätzt. Diese Warengruppen wurden anschliessend mit Lebenszyklusinventaren der ecoinvent v3.3-Datenbank verknüpft. Jeder Warengruppe wurde ein passendes Inventar zugeordnet. Falls nötig wurde für einzelne Warengruppen (z.B. Schaltanlagen, Waschmaschinen) ein passendes Inventar manuell erstellt. Eine genaue Auflistung der Verknüpfungen ist im Anhang 1 zu finden. Als funktionelle Einheit wurde 'kg Ware' verwendet, um eine direkte Verknüpfung zur abgeschätzten Produktionstonnage zu ermöglichen. Für Inventare, welche in andern Einheiten erstellt worden sind, wurden die entsprechenden Konversionsfaktoren zu 'kg Ware' ermittelt und angewendet.

Die Inventare mit dem Allokations-Modell 'cut-off by classification' wurden verwendet. Mit dieser Methode wird beim Recycling eines Materials keine Gutschrift dem primären Produzenten gemacht und das sekundäre Material wird belastungsfrei zur Verfügung gestellt ("System Models in Ecoinvent 3" 2018). Dies entspricht den Anforderungen der Schweizer Bundesämter.

Die Wirkungsabschätzung wurde für die Wirkungskategorien Klimawandel und Versauerung durchgeführt (gleiche Methoden wie beim Vorgehen mit bei Analyse der mrIoT: 'IPCC 2013 GWP 100a' und 'ReCiPe Midpoints (H) - terrestrial acidification'). Die Berechnungen wurden mit dem Python-basierten Framework *brightway 2* durchgeführt (Mutel 2017).

2.2. Fallstudien

Anhand von mehreren Fallstudien zu ausgewählten Produktgruppen wurde die Umweltauswirkung auch in der Nutzungsphase genauer betrachtet und quantifiziert. Die Produktgruppen wurden mit Swissmem zusammen definiert, wobei folgende Produktgruppen ausgewählt wurden:

- Werkzeugmaschinen
- Aufzüge
- Waschautomaten

Die angewendeten Methoden und Vorgehensweisen für die einzelnen Fallstudien werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

a) Werkzeugmaschinen

In der Fallstudie über Werkzeugmaschinen wurde die Umweltwirkung der Herstellung und der Nutzungsphase quantifiziert und verglichen. Werkzeugmaschinen werden in unterschiedlichen Branchen und für unterschiedliche Prozesse eingesetzt. Deshalb bestehen grosse individuelle Unterschiede und es ist schwer, generelle Aussagen für alle Werkzeugmaschinen zu machen. Um jedoch eine grobe Abschätzung der Umweltwirkung von Werkzeugmaschinen zu ermöglichen, wurde eine «Standard»-Werkzeugmaschine definiert (siehe Tabelle 3). Das Gewicht wurde über Angaben zum typischen Preis einer Maschine (Züst et al. 2013) und durchschnittlichen Gewichtspreise der Zollstatistik berechnet. Die Angabe zur Lebensdauer wurde ebenfalls dem Bericht von Züst et al. (2013) entnommen. Die Leistungsaufnahme und die jährlichen Betriebsstunden sind Resultate des EE4MT Projekts, welches von der Swissmem Fachgruppe Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und dem Bundesamt für Energie (BFE) durchgeführt wurde (Swissmem Fachgruppe Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und BFE, Persönliche Kommunikation, April 2018). Im Rahmen von EE4MT wurden in einer ersten Phase Unternehmen mit Werkzeugmaschinen im Einsatz befragt und in einer zweiten Phase detaillierte Leistungsmessungen an unterschiedlichen installierten Werkzeugmaschinen durchgeführt. Bei den hier verwendeten Werten handelt es sich um aggregierte Resultate der Studie. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme hängt vom Maschinen-Typen und der Einsatzart ab, die jährlichen Betriebsstunden variieren von Branche zu Branche und sind von der aktuellen Wirtschaftslage abhängig.

Tabelle 3: Schlüsselcharakteristiken der definierten Werkzeugmaschine: Die Werte basieren auf Resultate des EE4MT Projekt (Swissmem (Fachgruppe Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik) und BFE, Persönliche Kommunikation, April 2018) und des Berichts von Züst et al. (2013).

Gewicht	4100 kg
Durchschnittlicher Preis	2 Mio. CHF
Lebensdauer	20 Jahre
Leistungsaufnahme	7.1 kW
Jährliche Betriebsstunden	4200 h/a

Für die Modellierung der Herstellung wurde das Lebenszyklusinventar "metal working machine production, unspecified, RER," von ecoinvent verwendet (RER steht für die Region «Europa» in ecoinvent). Für die Nutzungsphase wurde der Elektrizitätsverbrauch der Werkzeugmaschine berechnet und in einem zweiten Schritt die Umweltwirkung mit den ecoinvent Länder-spezifischen Elektrizitätsmischen quantifiziert. Da in den Zollstatistiken die Handelspartner angegeben werden, kann nachverfolgt werden, in welche Ländern die Werkzeugmaschinen exportiert wurde. Es wurde angenommen, dass das Einsatzland gleich dem Exportland ist und keine Weiterexporte stattfinden.

Die Anzahl Werkzeugmaschinen, welche nicht exportiert werden, jedoch neu in der Schweiz eingesetzt werden, wurde mit den Exporten und der Exportquote berechnet.

b) Aufzüge

Die Fallstudie über Aufzugssysteme wurde mit Ökobilanz-Daten der Firma Schindler AG durchgeführt. Dafür wurde für verschiedene Aufzug-Modelle für den Wohnhausbereich Informationen über eingesetztes Material und deren Umweltwirkung, der durchschnittliche Stromverbrauch während der Nutzungsphase und die Lebensdauer den Ökobilanzen entnommen. Es wurden Standard-Bedingungen für die Nutzung definiert (fünf Stockwerke, Nutzungskategorie 2 nach den Standards des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)). Die Umweltwirkung der Nutzungsphase wurde mit den durchschnittlichen jährlichen Elektrizitätsverbräuchen der unterschiedlichen Systeme und dem ecoinvent-Strommix für Europa (Union für die Koordinierung des Transports von Elektrizität (UCTE)) berechnet. Die Aufzug-Modelle wurden anschliessend nach den Erscheinungsjahren zeitlich geordnet.

c) Waschautomaten

In der dritten Fallstudie wurden vier Typen von Waschautomaten für Einfamilienhäuser des Herstellers V-ZUG betrachtet (Adora S, Adora SL, Adora SLQ, Adora SLQ WP). In einem ersten Schritt wurde ein Materialinventar für Waschautomaten erstellt. Gewichtsangaben zu den einzelnen Materialkomponenten eines Waschautomaten wurden aus dem Bericht «Washing machine» der ETH entnommen (Bourrier et al. 2011). Die einzelnen Materialkomponenten wurden mit Lebenszyklusinventaren der Datenbank ecoinvent verknüpft um ein spezifisches Lebenszyklusinventar für die Herstellung mit der funktionellen Einheit $\text{kg}_{\text{Waschautomaten}}$ zu erstellen. Dies erlaubt die lineare Extrapolation für Maschinen mit anderem Gewicht (Yamaguchi et al. 2011). Für die Modellierung der Nutzungsphase wurden jährliche Stromverbräuche aus den technischen Datenblättern der unterschiedlichen Modelle entnommen (V-ZUG AG 2018) und mit ecoinvent Datensätzen zu den Strommischen verknüpft. Die Lebensdauer wurde auf 15 Jahre gesetzt (EnergieSchweiz - Bundesamt für Energie 2012)

3. Sektoranalyse

3.1. Umweltauswirkung der Schweizer MEM-Industrie und deren Zulieferketten

Mit der beschriebenen Methode wurde die Umweltauswirkungen für die fünf Schweizer MEM-Sektoren (Metalle, Maschinenbau, Elektrotechnik, Präzisionsinstrumente und Fahrzeuge) und deren Zulieferkette berechnet. Die totalen THG-Emissionen belaufen sich auf 18 Mio. t CO₂-äq für die ganze MEM-Industrie für das Jahr 2011. Davon fällt der grösste Teil im Ausland an (rund 80%), die inländischen THG-Emissionen betragen 1.5 Mio. t CO₂-äq. im Jahr 2011. Die Territorial-Emissionen der gesamten Schweiz betrugen im Jahr 2011 50 Mio. t CO₂-äq., wobei auf die Schweizer Industrie 10.8 Mio. t CO₂-äq. fallen (BAFU 2018). Der Anteil der MEM-Industrie an den inländischen Industrie-THG-Emissionen liegt also bei rund 16% (inkl. inländischer Zulieferkette, jedoch liegt ein Teil der inländischen Zulieferkette ausserhalb der BAFU-Branche «Industrie»).

Abbildung 5 zeigt die THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren. Es wird unterschieden zwischen (1) Emissionen, welche im Sektor selbst anfallen (Scope 1), (2) Emissionen der inländischen Zulieferkette sowie (3) der ausländischen Zulieferkette. Bei Scope 1-Emissionen handelt es sich zum Beispiel um THG, welche bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen am Produktionsstandort emittiert werden. Der Elektrizitätsverbrauch am Produktionsstandort ist darin nicht inbegriffen (Scope 2 THG-Emissionen): Die Elektrizitätserzeugung findet ausserhalb der MEM-Industrie statt und der Elektrizitätsproduzent ist in der Zulieferkette der MEM-Sektoren abgebildet. Die unterschiedlichen MEM-Sektoren tauchen gegenseitig in den Zulieferketten auf, zum Beispiel bezieht der Maschinenbau-Sektor Vorleistungen aus dem Metall-Sektor (siehe Tabelle 13 im Anhang 6). Dadurch beinhaltet der Maschinenbau-Sektor auch Emissionen des Metall-Sektors und zwar sowohl direkte Emissionen des Metall-Sektors als auch Emissionen der Zulieferkette des Metall-Sektors. Die Summe der Emissionen der fünf MEM Sektoren inkl. Zulieferkette sind deshalb grösser als die totalen MEM THG-Emissionen.

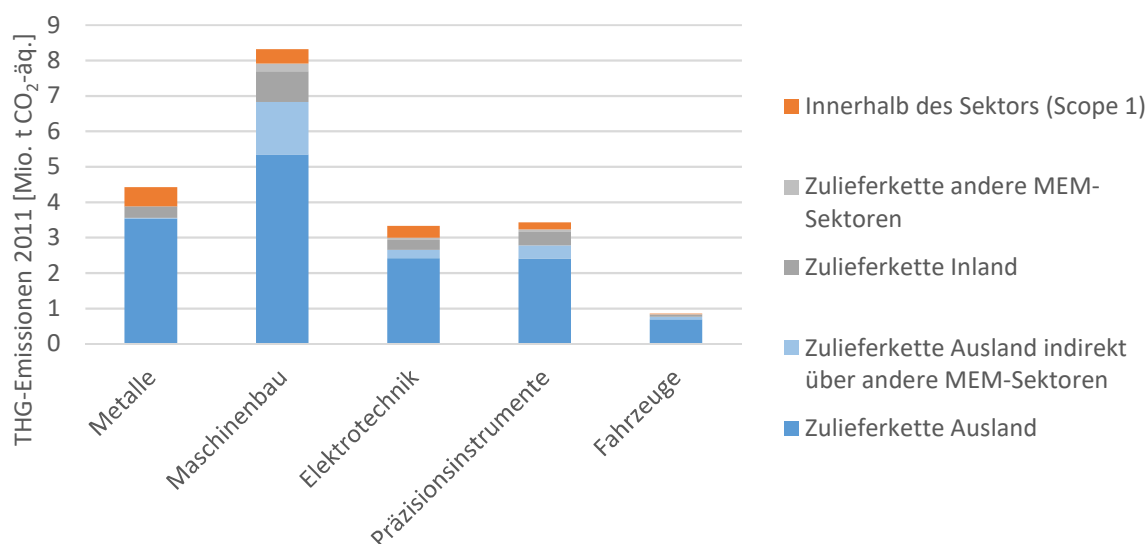


Abbildung 5: THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren inklusiv Zulieferkette für das Jahr 2011. Die Emissionen sind unterteilt in Emissionen, welche im Sektor selbst anfallen, Emissionen in der der inländischen Zulieferkette sowie in ausländischen Zulieferkette. Zudem werden Emissionen, welche über andere MEM-Sektoren in den jeweiligen Sektor angerechnet werden, separat ausgewiesen.

Der Maschinenbau-Sektor weist mit rund 8 Mio. t CO₂-äq. die höchsten THG-Emissionen aus, dies ist vor allem wegen der Grösse des Schweizer Maschinenbau-Sektors zurückzuführen (rund 30% der Exporte der MEM-Industrie fallen auf den Maschinenbau-Sektor (Swissmem 2017)). Danach folgen

der Metall-Sektor mit knapp 4.5 Mio. t CO₂-äq. sowie der Präzisions- und Elektrotechnik-Sektor mit je knapp 3.5 Mio. t CO₂-äq. Der Fahrzeug-Sektor hat tiefe CO₂-Emissionen, was der relativ kleinen Grösse des Schweizer Fahrzeug-Sektors zuzuschreiben ist. Für die beiden anderen Indikatoren (Versauerung und Feinstaub-Emissionen) zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 20 im Anhang 2 und Abbildung 24 im Anhang 3): Der Maschinenbau-Sektor weist die höchsten Emissionen auf. Die SO₂-Emissionen des Präzisions-Sektors sind verhältnismässig höher, was durch den Einsatz von mehr Kupfer erklärt werden kann (in der Kupferproduktion entstehen grosse Mengen an SO₂).

Abbildung 6 zeigt die umsatzspezifischen THG-Emissionen in t CO₂/Mio. CHF für die fünf MEM-Sektoren. Der Metall-Sektor weist mit rund 290 t CO₂/Mio. CHF die höchste CO₂-Intensität auf, was auf die frühe Position in der Wertschöpfungskette zurückzuführen ist: Ein grosser Teil der THG-Emissionen fällt am Anfang der Wertschöpfungskette an (z.B. die Extraktion von Erzen und die Produktion von Roherzeugnissen aus Metall), jedoch ist die zugehörige monetäre Wertschöpfung verhältnismässig gering. Dadurch ist der Umsatz des Metall-Sektors im Vergleich zu den THG-Emissionen eher tief, was zu hohen umsatzspezifischen THG-Emissionen führt. In der direkten Zulieferkette dominieren CO₂-intensive Eisen- und Aluminiumproduzenten stärker als in den andern MEM-Sektoren (wertmässig wird in der direkten Zulieferkette 3% vom Aluminium-Sektor und 5% vom primären Eisen- und Stahl-Sektor bezogen, wobei für die andern MEM-Sektoren die Anteile zwischen 0.2 – 1.3% liegen). Die CO₂-Intensitäten des Maschinenbau-, Elektrotechnik- und Präzisionsinstrumente-Sektoren liegen alle bei rund 200 t CO₂-äq./Mio. CHF.

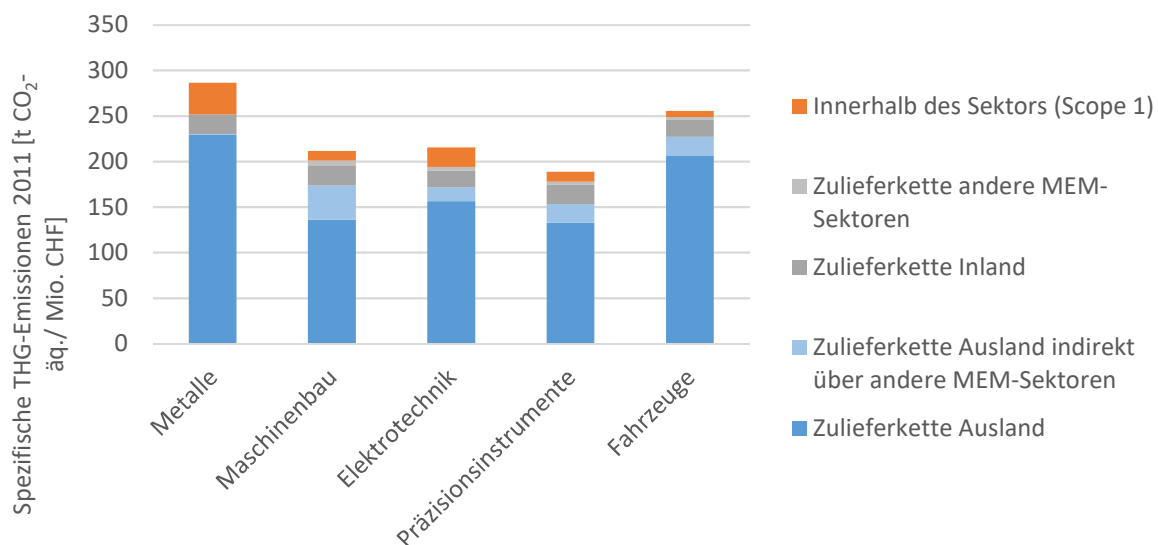


Abbildung 6: Umsatzspezifischen THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren inklusiv Zulieferkette für das Jahr 2011. Die Emissionen sind unterteilt in Emissionen, welche im Sektor selbst anfallen, Emissionen in der der inländischen Zulieferkette sowie in ausländischen Zulieferkette. Zudem werden Emissionen, welche über andere MEM-Sektoren in den jeweiligen Sektor angerechnet werden, separat ausgewiesen.

Rund 10% der THG-Emissionen fallen in den MEM-Sektoren selbst an. In 2011, waren dies gemäss Exiobase-Berechnungen für die gesamte MEM-Industrie rund 1.5 Mio. t CO₂-äq.. Gemäss Swissmem Energiestatistik wurden 2011 knapp 0.4 Mio. t CO₂-äq. von Swissmem Mitgliederfirmen emittiert. Wird diese Zahl mit einem spezifischen Wert pro Beschäftigtem auf die ganze MEM-Industrie hochgerechnet, liegen die Emissionen der gesamten MEM-Industrie gemäss Swissmem Energiestatistik bei 1.9 Mio. t CO₂-äq., was einen vergleichbaren Wert zu den Exiobase-Resultaten darstellt.

Die Emissionen der inländischen Zulieferkette machen weitere 10% der gesamten Emissionen aus. Dies ist vor allem auf die geringe CO₂-Intensität der Schweizer Wirtschaft zurückzuführen: Einerseits ist die Schweizer Stromproduktion sehr CO₂-arm und andererseits ist die Schweizer Wirtschaft stark auf den Dienstleistungs-Sektor ausgerichtet. Der Schweizer Stromproduktionsmix besteht grösstenteils aus Wasserkraft und Atomenergie (Bundesamt für Energie 2017). Der Schweizer Produktionsmix stimmt aber nicht mit dem Schweizer Liefermix überein, da viel Strom mit dem Ausland gehandelt wird. Die Emissionen, welche bei der Produktion des importierten Stromes anfallen, werden jedoch auf die ausländische Zulieferkette verbucht. Die durchschnittliche CO₂-Intensität der Schweizer Gesamtwirtschaft ohne ausländische Zulieferkette liegt bei 33 t CO₂-äq./Mio. CHF (mit ausländischer Zulieferkette: 146 t CO₂-äq./Mio. CHF). Die Aufschlüsselung der Emissionen in der Schweizer Zulieferkette zeigt, dass Emissionen von Transport- und Reiseaktivitäten eine wichtige Rolle spielen. In Exiobase werden Emissionen, welche im internationalen Raum anfallen (im Luftraum für den Flugverkehr und auf internationalen Gewässern für Schiffstransporte) gemäss Nationalität der Betreiber auf die verschiedenen Länder verteilt. Für alle Sektoren ausser dem Metall-Sektor stehen Emissionen aus andern MEM-Sektoren an zweiter Stelle (14-20% der inländischen Zulieferkette). Der Metall-Sektor ist ein wichtiger Lieferant an die andern MEM-Sektoren, bezieht selbst jedoch weniger von den andern MEM-Sektoren (siehe Tabelle 13 im Anhang 6), sondern metallische Rohstoffe aus dem Ausland.

Bei allen fünf MEM-Sektoren fällt der grösste Teil der THG-Emissionen in der ausländischen Zulieferkette an. Der Anteil an ausländischen Emissionen liegt für alle Sektoren bei rund 80%, für den Fahrzeug-Sektor gar bei knapp 90%. Auch Luftschadstoffe, welche der Versauerung beitragen, und Feinstaub werden vor allem in der ausländischen Zulieferkette emittiert, (rund 85% und 95%). Bei der primären Stahl- und Eisenproduktion werden beachtliche Mengen an Feinstaub emittiert und da diese ausschliesslich im Ausland stattfindet, ist der Anteil an ausländischen Feinstaub-Emissionen entsprechend höher. Der hohe Anteil an ausländischer Umweltwirkung ist schweizweit anzutreffen. Frischknecht et al. (2014) fanden, dass ca. 73% der Umweltauswirkung des Schweizer Konsums im Ausland anfällt. Diese Anteile sind nicht direkt vergleichbar, da bei der Betrachtung der MEM-Industrie nicht der Konsum, sondern die Produktion betrachtet wird. Circa 10% der gesamten konsumbedingten THG-Emissionen sind auf Nahrungsmittel zurückzuführen, welche einen relativ hohen Anteil an inländischen Emissionen haben (der Selbstversorgungsgrad mit Nahrungsmitteln liegt in der Schweiz bei 60%). Zusätzlich spielen Emissionen des Personentransports und des Wohnens (z.B. Heizen) eine wichtige Rolle, was einen höheren Anteil an inländischen Emissionen im Vergleich zum Anteil der MEM-Industrie erklärt.

Abbildung 7 zeigt die spezifischen THG-Emissionen aufgeschlüsselt nach den wichtigsten Zuliefer-Sektoren. Für alle fünf MEM-Sektoren zeigt sich ein ähnliches Bild: Elektrizitätserzeugung und Transport/ Reisen sind die wichtigsten Zuliefersektoren bezüglich THG-Emissionen. Bei der Elektrizität dominiert die Erzeugung aus Kohle mit einem Anteil von 80%, wobei die Kohlestromproduktion aus Deutschland und China eine wichtige Rolle spielen: 31% der Stromemissionen sind auf Kohlestrom aus Deutschland und 17% auf Kohlestrom aus China zurückzuführen.

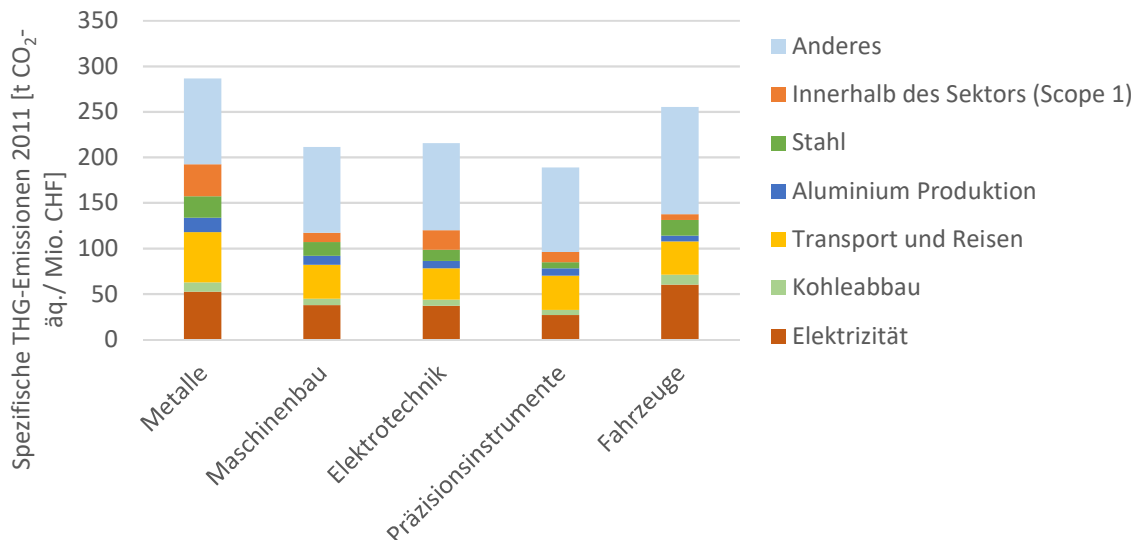


Abbildung 7: Umsatzspezifischen THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren inklusiv Zulieferkette für das Jahr aufgeteilt in Scope 1 Emissionen und wichtige Zuliefersektoren bezüglich THG-Emissionen.

Bei Transport/ Reisen machen Flüge und Schiffstransporte den grössten Teil aus und sind für 5% resp. 10% der totalen Emissionen der MEM-Industrie verantwortlich. Global gesehen macht der Flugverkehr knapp 5% der Klimawirkung aus (Lee et al. 2009), was gut mit den Anteilen der MEM-Industrie übereinstimmt. Der Schiffsverkehr verursacht 2% der globalen Emissionen (Smith et al. 2014), die MEM Industrie liegt also etwas über dem globalen Durchschnitt. Weitere wichtige Sektoren sind die Stahl- und Aluminiumproduktion sowie der Kohleabbau, welcher seinerseits wichtig für die Elektrizitätserzeugung und die primäre Stahlproduktion ist. Die Haupt-Emittenten von Feinstaub in der MEM-Zulieferkette sind Abbauwerke von Mineralien und Kohle, Stahlproduktionen und Transport-/ Reisenaktivitäten. Die daraus resultierenden Gesundheitsschäden hängen davon ab, wie viele Menschen dem Feinstaub ausgesetzt sind, daher ob die Emissionen in dichtbevölkerten oder bevölkerungsarmen Gegenden stattfindet. Es ist daher nicht möglich direkt die Gesundheitsschäden von der Menge der Emissionen zu quantifizieren.

3.2. Metallbedarf der MEM-Industrie

Der Bedarf an primärem Eisen, Aluminium und Kupfer wurde mit der beschriebenen Vorgehensweise für die fünf MEM-Sektoren berechnet. In Abbildung 8 werden die spezifischen Eisen- und Stahlverbräuche sowie Aluminium- und Kupferverbräuche der fünf Sektoren gezeigt. Zudem wird der Anteil der Metalle, welcher über andere MEM-Sektoren in den jeweiligen Sektor fließt, aufgezeigt (für absolute Werte siehe Abbildung 27 im Anhang 4).

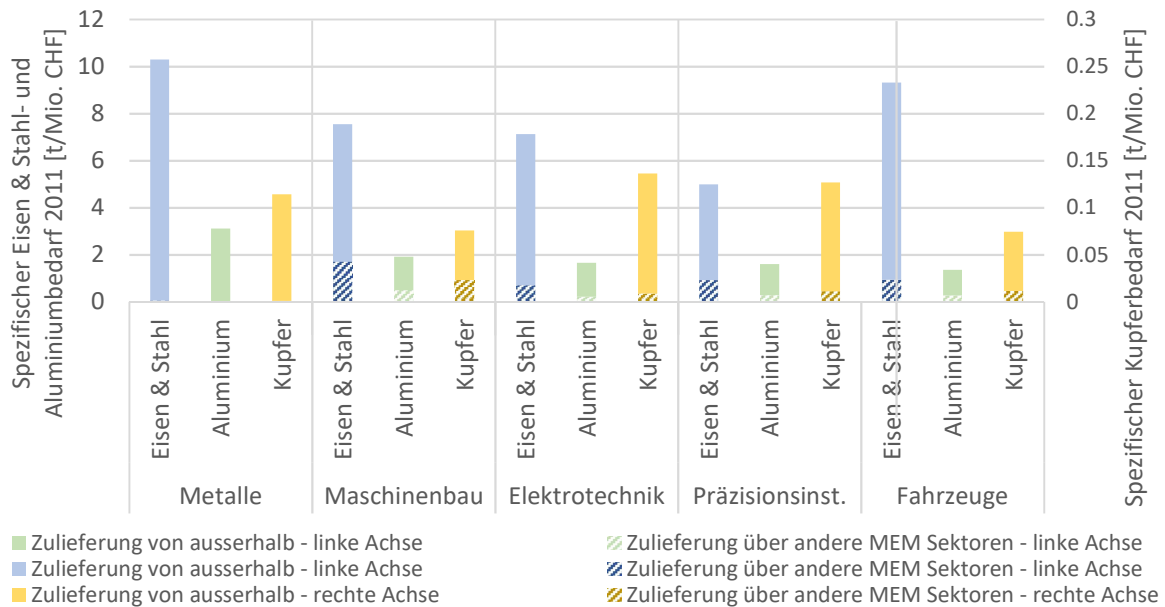


Abbildung 8: Spezifischer Bedarf an primären Metallen (Eisen & Stahl, Aluminium und Kupfer) der fünf MEM-Sektoren. Für die Skala von Kupfer gilt die rechte Achse. Es wird unterschieden zwischen den Metallen, welche über andere MEM-Sektoren bezogen wurden (z.B. bezieht der Maschinenbau-Sektor Metalle vom Metall-Sektor) und Metallen, welche von aussen der schweizerischen MEM Industrie bezogen wurden.

Der Metall-Sektor weist wie erwartet den höchsten spezifischen Primär-Metallbedarf für Eisen, Stahl und Aluminium aus. Die Wertschöpfung pro kg Metall ist im Metall-Sektor vergleichsweise gering, da der Metall-Sektor direkt Metallprodukte verkauft und dadurch eine frühere Position in der Wertschöpfungskette hat. Der spezifische Kupferbedarf ist höher für die Sektoren Elektrotechnik und Präzisionsinstrumente. Kupfer wird viel in elektronischen Komponenten verwendet, welche in beiden Sektoren wichtig sind. Der tiefere spezifische Kupferbedarf im Metall-Sektor trotz kleinerer Wertschöpfung ist durch den kleinen Anteil der Kupferverarbeitung im ganzen Metall-Sektor zu erklären. Für die restlichen Sektoren sind die spezifischen Werte in einer ähnlichen Grössenordnung. Die Schweizer MEM-Sektoren beziehen nur einen kleinen Teil der primären Metalle über den Schweizer Metall-Sektor. Dennoch gibt es eine wesentliche Verflechtung innerhalb der MEM-Industrie. Es ist zu erwarten, dass diese Verflechtung über sekundäres Material sogar stärker ist, da in der Schweiz ausschliesslich Stahl-Basisprodukte aus Recycling-Stahl hergestellt werden. Deutschland und China sind die wichtigsten Stahl-Lieferanten, die Eisenerze werden vor allem in Brasilien und China extrahiert. Beim primären Aluminium sind Australien und Brasilien die wichtigsten Lieferanten, auch die Extraktion findet dort statt. Kupfer kommt über Deutschland und Russland in die Schweiz, die Kupfererze werden mehrheitlich in Südamerika und Russland abgebaut.

3.3. Geografische Verteilung der Umweltauswirkungen in der Zulieferkette

Die Zulieferkette verteilt sich über den ganzen Globus, was dazu führt, dass auch die Umweltauswirkungen der Schweizer MEM-Industrie auf der ganzen Welt verteilt sind. Abbildung 9 zeigt, wo die THG-Emissionen geographisch anfallen. Die Schweiz ist an erster Stelle, wobei knapp die Hälfte der Emissionen in den MEM-Sektoren selbst anfallen (Scope 1), davon rund ein Drittel im Metall-Sektor. In der Schweizer Zulieferkette sind Transport/Reise-Emissionen und direkte THG-Emissionen aus dem Einzel- und Grosshandel dominant. In der ausländischen Zulieferkette stammen die meisten Emissionen aus Deutschland. Davon sind ca. 40% auf Stromerzeugung mit Kohle zurückzuführen, wobei es sich vor allem um THG-Emissionen handelt, welche indirekt über die Zulieferungen von in Deutschland produzierten Produkten anfallen. Die direkten Stromimporte von deutschem Kohlestrom in die Schweiz machen lediglich nur knapp 3% aus. An zweiter Stelle folgen mit 520 kt CO₂-äq. (21%) Vorleistungen aus der Deutschen Stahl- und Eisenindustrie. Auch in China ist der grösste Teil auf die Stromerzeugung mit Kohle sowie die Stahl- und Eisenindustrie zurückzuführen.

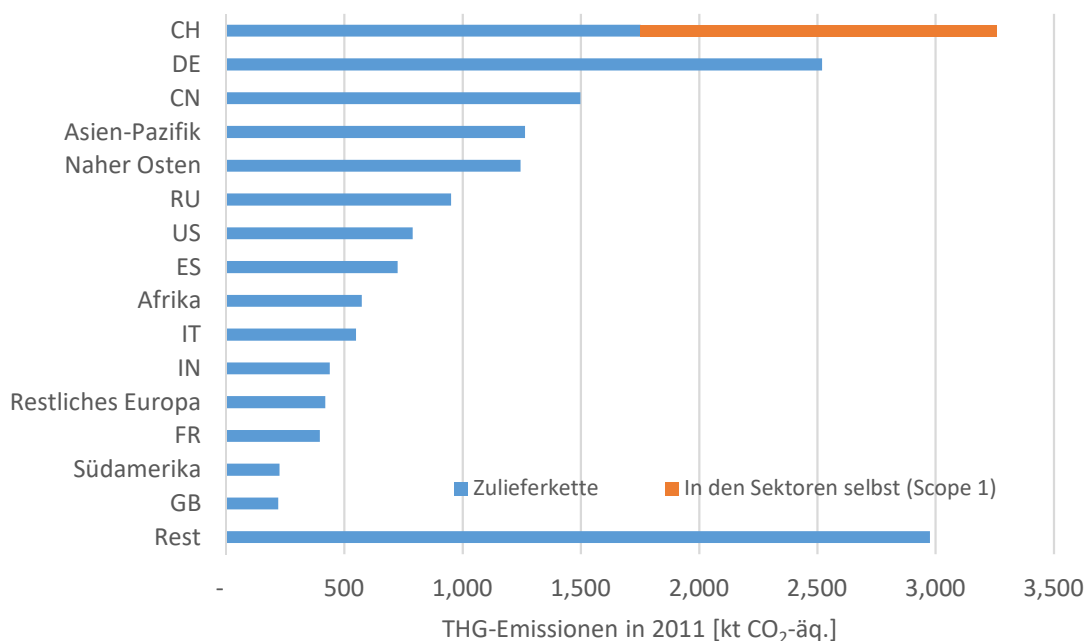


Abbildung 9: Ursprungsort der THG-Emissionen der MEM-Industrie. Nicht eingeschlossen in Asien-Pazifik sind Australien, China, Indien, Indonesien, Japan Südkorea und Taiwan. Afrika ist ohne Südafrika. Im Restlichen Europa sind die Länder Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Moldawien, Montenegro, Kosovo, Serbien, Mazedonien, Ukraine und Weissrundland eingeschlossen. Südamerika umfasst alle Länder in Mittel- und Südamerikas ausser Mexiko und Brasilien.

Die geografische Verteilung der Feinstaub-Emissionen ein anderes Bild (siehe Abbildung 26 im Anhang 3): In der Schweiz fallen sehr wenig Emissionen an. An erster und zweiter Stelle stehen China und Deutschland, was auf die Verwendung von Kohle zurückzuführen ist. Diese Resultate sind mit Unsicherheiten behaftet, da Feinstaub-Emissionen stark von den eingesetzten Filtertechnologien und Reinigungsverfahren abhängen, und diese wegen limitierender Datenverfügbarkeit diesbezüglich schwer zu modellieren sind. Die analoge Grafik zur Versauerung ist in Abbildung 23 im Anhang 2 gezeigt. In der Region Asien-Pazifik fallen die höchsten Versauerungs-Emissionen an. Tendenziell sind die Luftreinhalteungsrichtlinien weniger streng und dadurch werden mehr fossile Energieträger mit hohem Schwefelgehalt konsumiert und in der Industrie werden weniger Abgasfilter eingesetzt. Die Schweizer Luftreinhalteungsrichtlinien beinhaltet strenge Grenzwerte für SO₂ und andere Luftschadstoffe und in der Schweizer Industrie werden mit unterschiedlichen Verfahren die SO₂-Emissionen minimiert. Der grösste Teil der mit Exiobase berechneten Versauerungs-Emissionen in der

Schweizer Zulieferkette ist auf Reise-/ Transportaktivitäten im internationalen Raum zurückzuführen. Wie schon oben erläutert, werden in Exiobase Emissionen, welche im internationalen Raum anfallen (im Luftraum für den Flugverkehr und auf internationalen Gewässern für Schiffstransporte), gemäss Nationalität der Betreiber auf die verschiedenen Länder verteilt.

3.4. Wertschöpfung und Umweltwirkung in der Zulieferkette

In Abbildung 10 sind die Wertschöpfung (Löhne, Steuern und Gewinne) und Klimawirkung der MEM-Industrie dargestellt. Dabei wird zwischen der MEM-Industrie selbst (Scope 1), der Schweizer Zulieferkette und der ausländischen Zulieferkette unterschieden. Während in der ausländischen Zulieferkette die meisten THG-Emissionen anfallen, ist deren Wertschöpfung vergleichsweise klein. Die Wertschöpfung der Schweizer und der ausländischen Zulieferkette sind vergleichbar, die Umweltwirkungen sind bei letzterer jedoch um ein Vielfaches höher. Die tiefen inländischen THG-Emissionen sind – wie bereits diskutiert – ein Resultat der CO₂-armen Elektrizitätserzeugung und der dienstleistungsfokussierten Wirtschaftsstruktur in der Schweiz. Während der Klimawandel ein Umweltproblem mit globaler Dimension ist, können andere Umweltwirkungen lokale Folgen haben (zum Beispiel Luftverschmutzung oder Toxizität). Oft korrelieren THG-Emissionen mit anderen Umweltwirkungen (Steinmann et al. 2017), es ist deshalb anzunehmen, dass auch lokal problematische Umweltprobleme vor allem im Ausland stattfinden. Ein Beispiel hierfür ist die Kohleverbrennung: Kohle verursacht neben hohen CO₂-Emissionen auch grosse Gesundheitsschäden (durch Feinstaub- und Quecksilberemissionen). Tatsächlich fallen rund 95% der Feinstaub-Emissionen der Schweizer MEM-Industrie im Ausland an (siehe Abbildung 26 im Anhang 3). Auch in anderen Bereichen ist diese Kopplung beobachtbar: der Abbau metallischer Ressourcen ist oft mit Schwermetallemissionen und grossen Mengen von sauren Sickerwässern («Acid Mine Drainage») verbunden.

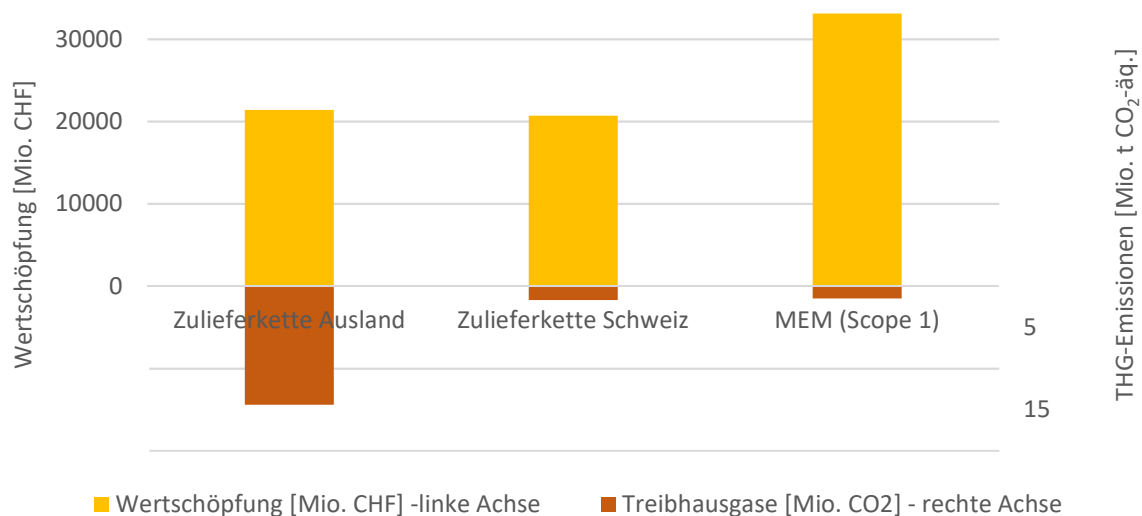


Abbildung 10: Vergleich von THG-Emissionen und Wertschöpfung in unterschiedlichen Teilen der Wertschöpfungskette.

Andererseits kann argumentiert werden, dass der Nutzen der MEM-Industrie über die Wertschöpfung in der Zulieferkette hinweggeht. MEM-Produkte werden zu einem grossen Teil exportiert (Exportquote 2017: 79%) und werden weltweit eingesetzt, was wiederum Nutzen erzeugt. In der Abbildung 36 im Anhang 7 sind die Wertschöpfung, die Exporte und die Umweltverschmutzung der einzelnen Ländern gegenübergestellt.

3.5. Zeitliche Entwicklung

Mit Exiobase wurde die zeitliche Entwicklung der Umweltauswirkung modelliert. Die Exiobase v3.3-Datensätze reichen lediglich bis ins Jahr 2011, weshalb die Zeitreihe über die Jahre 2008-2011 erstellt wurde.

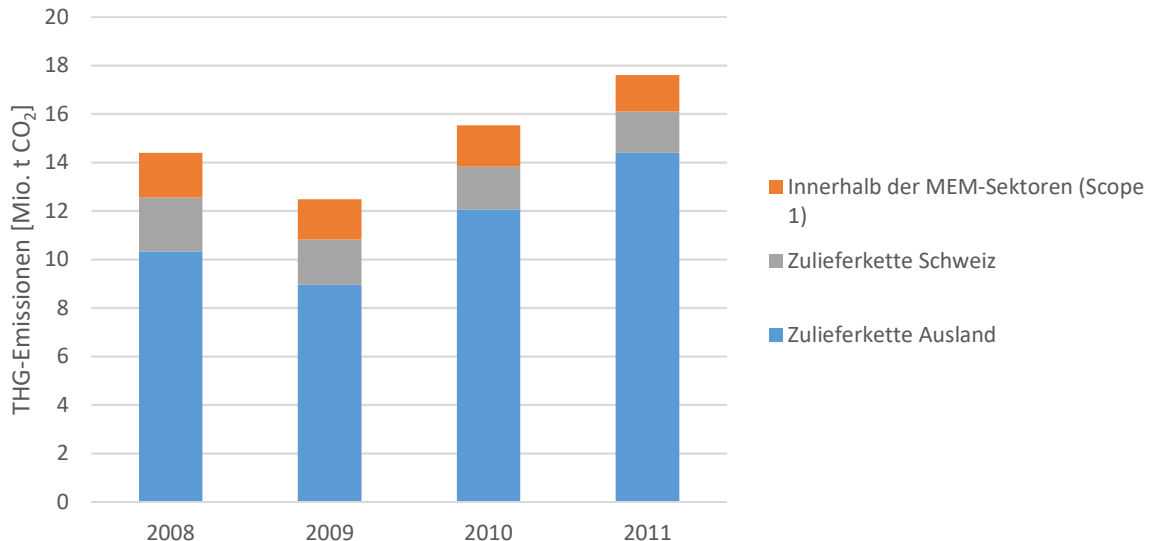


Abbildung 11: THG-Emissionen der ganzen MEM-Industrie für die Jahre 2008-2011. Die Emissionen sind unterteilt in Emissionen, welche im Sektor selbst anfallen (Scope 1), sowie Emissionen in der inländischen Zulieferkette und ausländischen Zulieferkette.

Abbildung 11 zeigt die absoluten THG-Emissionen der ganzen MEM-Industrie und der Zulieferkette für die Jahre 2008-2011. Generell ist eine Zunahme der gesamten THG-Emissionen beobachtbar mit Ausnahme des Jahres 2009. Die Wirtschaftskrise im Jahr 2009 war auch deutlich in der MEM-Industrie spürbar, was zu einer Verkleinerung der Produktion führte, und sich wiederum auf die THG-Emissionen auswirkte. Abbildung 12 zeigt die zeitliche Entwicklung der THG-Emissionen normiert mit dem jährlichen Umsatz der MEM-Industrie. Auch hier ist eine Zunahme feststellbar, jedoch ausschliesslich in der ausländischen Zulieferkette. In der inländischen Zulieferkette und in der MEM-Industrie selbst ist sogar eine leichte Abnahme beobachtbar.

Rund 15% des Anstiegs der CO₂-Intensität ist auf eine Abnahme des durchschnittlichen Export-Preises der MEM-Industrie zurückzuführen (siehe Abbildung 31 im Anhang 5). Gegenüber 2008 hat der durchschnittliche Preis (berechnet mittels Abschätzung der produzierten Menge und des produzierten Wertes) abgenommen und beträgt 2011 noch knapp 90% des Preises von 2008. Diese Entwicklung hängt einerseits von der Zusammensetzung der MEM-Industrie ab: Der Metall-Sektor gewinnt an Bedeutung und da der durchschnittliche Preis im Metall-Sektor tiefer ist, nimmt der durchschnittliche Preis der gesamten MEM-Industrie ab. Werden die Sektoren einzeln betrachtet, ist die Preisentwicklung weniger drastisch: bei allen Sektoren ausser dem Fahrzeug-Sektor liegt die Preisabwertung zwischen 2009 und 2011 bei 94-98%, beim Fahrzeug-Sektor sinkt der Preis um 42% gegenüber 2008 (siehe Abbildung 32 im Anhang 5). Da der Fahrzeug-Sektor jedoch relativ klein ist, sind diese Zahlen mit grossen Unsicherheiten behaftet und im Gesamtbild wenig relevant. Andererseits kann die Preisabnahme auf die Aufwertung des Schweizer Frankens in diesem Zeitraum zurückgeführt werden (siehe Entwicklung der Wechselkurse in Tabelle 8 im Anhang 1). Bei der sehr exportorientierten MEM-Industrie ist zu erwarten, dass Währungsunterschiede zu Preisreaktionen führen. Bei der Betrachtung der Entwicklung der spezifischen THG-Emissionen auf Basis der produzierten Tonnage

(t_{Produkt}) (siehe Abbildung 33 im Anhang 5) ist auch ohne Einfluss der Währungsunterschiede ein Anstieg der CO₂-Intensität um rund 20% zu beobachten.

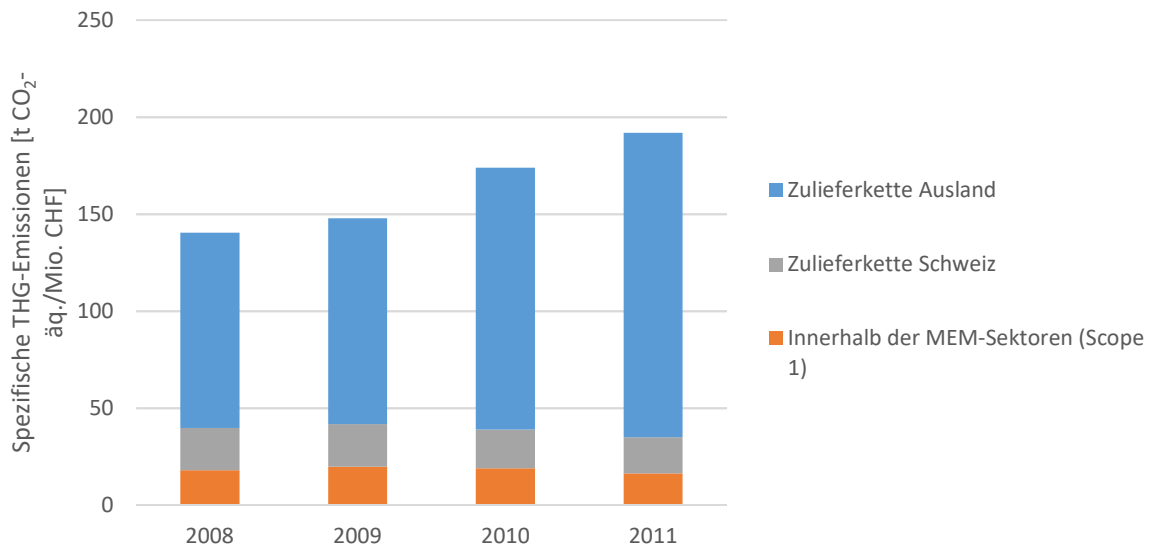


Abbildung 12: Umsatzspezifische THG-Emissionen der ganzen MEM-Industrie für die Jahre 2008-2011.

Es ist eine Verlagerung der Zulieferkette (gemessen an Wertschöpfung) ins Ausland feststellbar und der Anteil der Wertschöpfung in der Zulieferkette, welcher in der Schweiz stattfindet, nimmt von 2008-2011 ab (siehe Abbildung 35 im Anhang 5). Mit der geografischen Verlagerung der Zulieferkette, werden Länder mit CO₂-intensiveren Strommischen wichtiger, was sich in der Umweltauswirkung der MEM-Industrie niederschlägt. Weiter nehmen Transportdistanzen zu, was ebenfalls mit höheren CO₂-Emissionen verbunden ist.

In der ursprünglichen Exiobase-Tabelle (vor der Anwendung der Skalierungsfaktoren) wird eine Zunahme des Umsatzes der MEM-Industrie um 8% zwischen 2008 und 2011 ausgewiesen (in aktuellen Schweizer Franken). Die eigenen Abschätzungen aufgrund der Zollstatistiken weisen jedoch eine Abnahme des Umsatzes um 9% von 2008 bis 2011 aus, die Swissmem weist sogar Abnahme um knapp 20% über diesen Zeitraum aus (Swissmem 2017). Woher diese Unterschiede des Umsatz-Wachstums herkommen, konnte nicht verifiziert werden. Es unterstreicht jedoch, dass die Analyse der zeitlichen Entwicklung mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist und es schwierig ist detaillierte Aussagen darüber zu treffen.

3.6. Vergleich mit MEM-Industrie andern Ländern

In Abbildung 13 werden die spezifischen THG-Emissionen der MEM-Sektoren der Länder Deutschland, USA, China und Japan, als vier wichtigsten Maschinenexportländer (Swissmem 2017) im Vergleich zur Schweiz dargestellt.

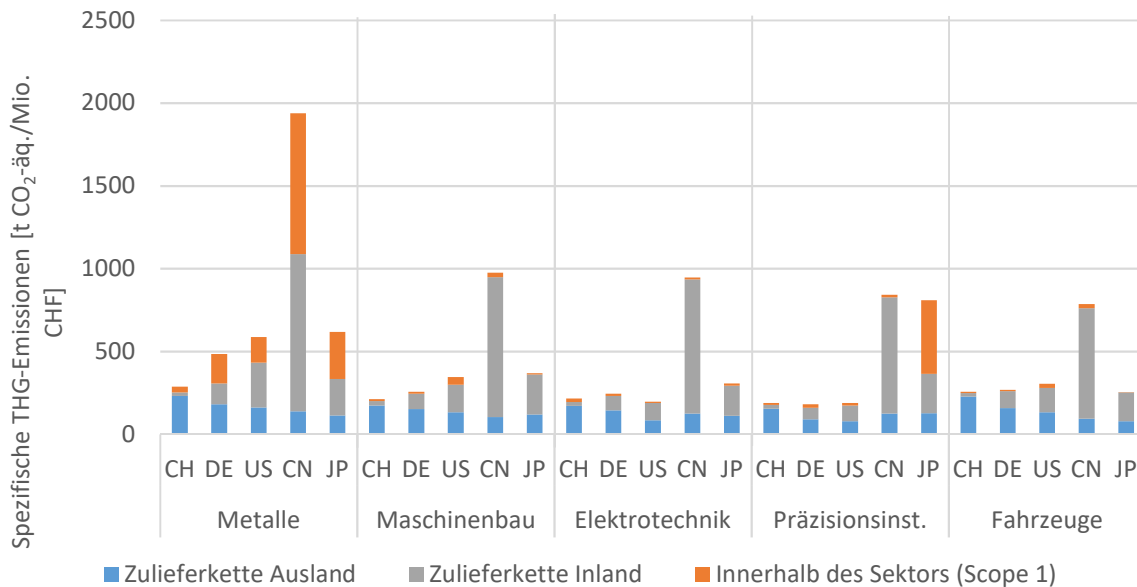


Abbildung 13: Vergleich der spezifischen THG- Emissionen der MEM-Industrien unterschiedlicher Länder.

Die CO₂-Intensitäten der Schweizer und deutschen MEM-Sektoren liegen nahe beieinander ausser im Metall-Sektor. In Deutschland wird primärer Stahl produziert, was mit hohen THG-Emissionen verbunden ist und dadurch resultiert eine höhere CO₂-Intensität. Die Schweizer MEM-Industrie bezieht viele Vorleistungen auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen aus den deutschen MEM-Sektoren, dadurch ist ein ähnliches «Emissionen zu Umsatz»-Verhältnis gegeben, was in einer ähnlichen CO₂-Intensität resultiert. Der Inland-Anteil der THG-Emissionen in Deutschland ist deutlich höher, die hat zwei Gründe: Zum einen ist die deutsche Elektrizitätsproduktion deutlich CO₂-intensiver und zum anderem ist Deutschland geografisch und wirtschaftlich grösser. Dadurch einen grösseren Teil der Zulieferkette im Inland abgedeckt werden kann. Der grössere Inland-Anteil ist auch in anderen Ländern zu beobachten: Dies kann ebenfalls auf die Elektrizitätsproduktion und Grösse der nationalen Wirtschaften zurückgeführt werden. In keinem der aufgeführten Ländern spielt die ausländische Lieferkette jedoch so eine wichtige Rolle wie in der Schweizer MEM-Industrie. China sticht in allen Sektoren mit einer um ein Vielfaches höheren CO₂-Intensität heraus. Die Preise von chinesischen MEM-Produkten (in CHF/t) sind tiefer, was zu einem verhältnismässig tieferen Umsatz für die Produktionstonnage führt. Bis zu einem gewissen Grade kann gesagt werden, dass die Umweltauswirkung an die produzierte Tonnage gekoppelt ist. In China führt dies zu höheren Werten der THG-Emissionen pro Umsatz. Ein weiterer Grund ist auch der deutlich höhere Einsatz von Kohle für die Wärmeerzeugung und Stromproduktion, was sich in höheren Anteilen der THG-Emissionen aus Elektrizitätsproduktion und Kohleabbau widerspiegelt (vergleiche Abbildung 37 im Anhang 8). Japan ist nach China der grösste Stahl und Eisenproduzent der Welt, was sich auch in den hohen spezifischen Emissionen des Metall-Sektors widerspiegelt. Da Japan einen grossen Teil der Elektrizität aus fossilen Energieträgern (Petroleum, Gas und Kohle) erzeugt, sind die inländischen Emissionen relativ hoch.

3.7. Validierung mit bottom-up Berechnungen

Die Berechnungen mit Exiobase wurden mit 'bottom-up' Berechnungen validiert. Dafür wurden für einzelne Produktgruppen der fünf MEM-Sektoren mit passende Lebenszyklusinventare in der ecoinvent v3.3-Datenbank verknüpft (siehe Tabelle 10 im Anhang 1). Für den Präzisions-Sektor war keine Validierung möglich, da keine geeigneten Inventare vorhanden waren. Die gesamte Umweltbelastung der Sektoren wurde anschliessend mit den Verknüpfungen zu ecoinvent und des abgeschätzten Produktionsvolumens berechnet. Dabei wurde analog wie bei Exiobase die ganze Herstellung berücksichtigt («cradle-to-gate»), nicht jedoch die Nutzungsphase.

In Abbildung 14 sind die Exiobase v3.3 -Resultate für die Validierung den Resultaten der bottom-up Methode gegenübergestellt. Allgemein stimmen die Resultate beider Methoden relative gut überein, die Summen aller Sektoren (Summe ohne Präzisionsinstrumente) unterschieden sich um 13%.

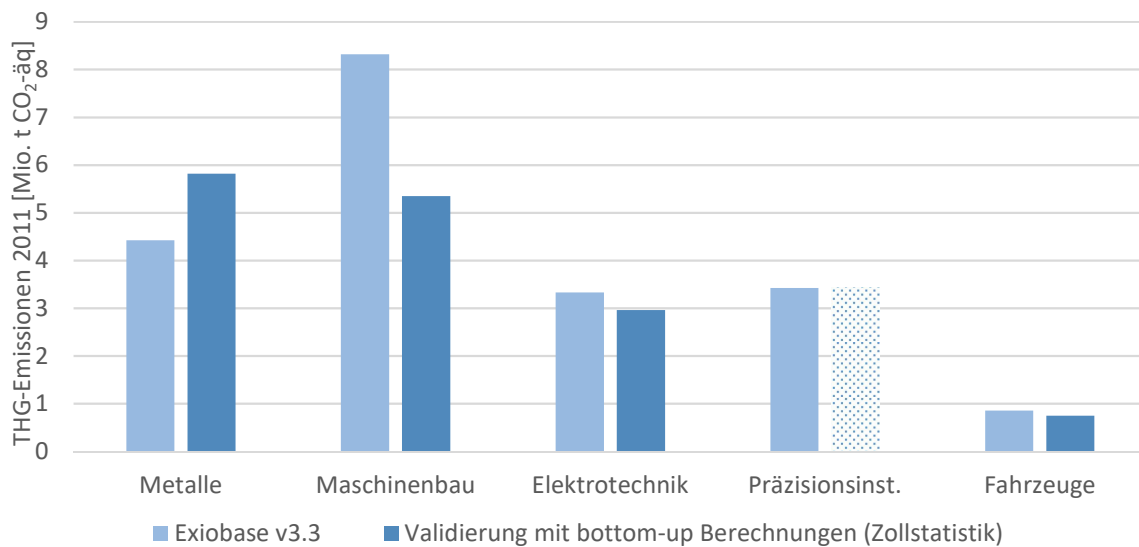


Abbildung 14: Vergleich der Resultate von Exiobase v3.3 und den bottom-up Berechnungen (Verknüpfung Zollstatistiken mit ecoinvent v3.3-Datenbank).

Generell ist zu erwarten, dass mit der Input-Output Methode (top-down, Exiobase) höhere THG-Emissionen resultieren als mit dem klassischen Ökobilanzierungs-Vorgehen (bottom-up), da mit der Input-Output Methode ein grösserer Teil der Zulieferkette einbezogen wird, sowie auch Aktivitäten wie Forschung und Entwicklung sowie Administration berücksichtigt sind. Dies ist in den Sektoren Maschinenbau, Elektrotechnik und Fahrzeuge der Fall, wobei der Maschinenbau-Sektor über Exiobase deutlich höhere THG-Emissionen aufweist. Die ecoinvent-Verknüpfungen im Maschinenbau-Sektor basieren zum Teil auf gewichtsmässig schweren Maschinen. Die Inventare wurden jedoch pro kg berechnet, um so auf unterschiedliche Gewichtsklassen einzugehen. Zum Beispiel wurde für Grafische Maschinen, Verpackungsmaschinen und Textilmaschinen das ecoinvent v3.3-Inventar «paper machine production» verwendet, welches für eine 4'500 t schwere Papiermaschine beschreibt. Dieses Inventar wurde dann pro kg umgerechnet und für die oben genannten Kategorien verwendet. Eine komplett lineare Skalierung kann zu Fehlern führen, da nicht angenommen werden kann, dass das Gewicht aller einzelnen Komponenten im gleichen Verhältnis bei grösseren oder kleineren Maschinen zu- oder abnehmen. Es ist zum Beispiel zu erwarten, dass die Menge an eingesetzten elektronische Komponenten (welche tendenzielle hohe Umweltauswirkungen aufweisen) nicht gleich stark abnehmen wie das Gesamtgewicht von einer grossen Maschine zu einer kleinen, was zu einer Unterschätzung der Umweltwirkung führen würde. Beim Metall-Sektor sind die Resultate der bottom-up Methode höher. Bei der Abschätzung des Produktionsvolumens des Metall-Sektors wurde

angenommen, dass Stahl und Aluminium, welches in den andern MEM-Sektoren eingesetzt wird, über den Schweizer Metall-Sektor in die jeweiligen Sektoren fliesst. Wie jedoch im Abschnitt 3.1 besprochen, beziehen die andern MEM-Sektoren ein Teil des primären Metalls von ausserhalb und nicht wie angenommen über den Metall-Sektor. Unter dieser Annahme wird mit der bottom-up Methode die Umweltwirkung durch primäre Metalle im Metall-Sektor überschätzt. Eine weitere Unsicherheit beim Vergleich der beiden Methoden sind die unterschiedlichen Klassifikations-Systeme. Bei der bottom-up Methode werden die Sektoren nach Zollnummern gruppiert, bei der top-down Methode hingegen nach dem NACE-Code (kompatibel zum schweizerischen NOGA-Code). Bei analoger Betrachtung mit Versauerung zeigt sich ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 22 im Anhang 2). Die beiden Berechnungsansätze zeigen den Bereich der Unsicherheiten auf: Denn die beide Ansätze bilden nicht die Realität ab, sondern sind das Resultat komplexer Modellierungen der Realität.

Mit der bottom-up Methode lassen sich die fünf Sektoren nach Warengruppen aufschlüsseln, um die Anteile der Umweltwirkungen auf Ebene der Warengruppen darstellen zu können (die Resultate sind im Anhang 9 gezeigt). Bei den einzelnen Verknüpfungen handelt es sich um eine grobe Vereinfachung, da jeweils nur ein Inventar für eine grosse Palette von verschiedenen Produkten innerhalb einer Warengruppe verwendet wurde. Obwohl die Resultate mit Unsicherheiten behaftet sind, erlauben sie eine Abschätzung der Grössenordnungen. Zudem sind in der Lebenszyklusdatenbank ecoinvent v3.3 verschiedene Wirkungsindikatoren hinterlegt, wodurch sich mit der bottom-up Methode die Umweltwirkung mit zusätzlichen Wirkungsindikatoren quantifizieren lässt (siehe Anhang 10 für Umweltbelastungspunkte und USEtox).

4. Fallstudien

4.1. Werkzeugmaschinen

Abbildung 15 zeigt die THG-Emissionen der Herstellung und der Nutzung einer typischen Werkzeugmaschine in den vier Ländern mit den grössten Exportanteilen von Schweizer Werkzeugmaschinen im Vergleich zur Schweiz. Es wurde für alle Länder eine Lebensdauer von 20 Jahren und eine jährliche Betriebszeit von 4200 h angenommen. Die jährliche Betriebszeit variiert jedoch zwischen den verarbeitenden Branchen und hängt auch stark von der aktuellen Wirtschaftslage ab. Eine tiefere oder höhere Auslastung der Werkzeugmaschine würde zu einer tieferen oder höheren jährlichen Betriebsdauer und somit Umweltbelastung aus der Nutzungsphase führen.

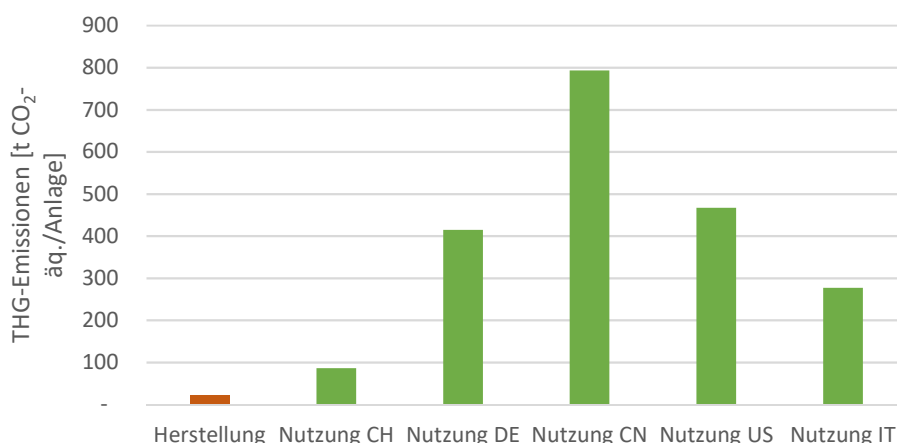


Abbildung 15: THG-Emissionen der Herstellung und der Nutzungsphase für eine typische Werkzeugmaschine. Es wurde eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen und länderspezifische Elektrizitätsmixe verwendet.

Für alle Länder ist die Nutzungsphase aus Umweltsicht dominant, in der Schweiz macht sie knapp 80% der gesamten Umweltwirkung aus, in den anderen gezeigten Ländern sogar über 90%. Die THG-Emissionen in der Nutzungsphase hängen sehr stark davon ab, wo die Werkzeugmaschine eingesetzt wird, da die durch Elektrizitätsverbrauch verursachten THG-Emissionen von Land zu Land stark variieren (siehe Abbildung 44 im Anhang 11).

Die Herstellung aller im Jahr 2017 von Schweizer Maschinenproduzenten verkauften Werkzeugmaschinen verursachte THG-Emissionen in der Höhe von rund 0.5 Mt CO₂-äq.. In der Nutzungsphase kommen über die gesamte Lebensdauer weitere 10 Mt CO₂-äq. dazu (siehe Abbildung 16).

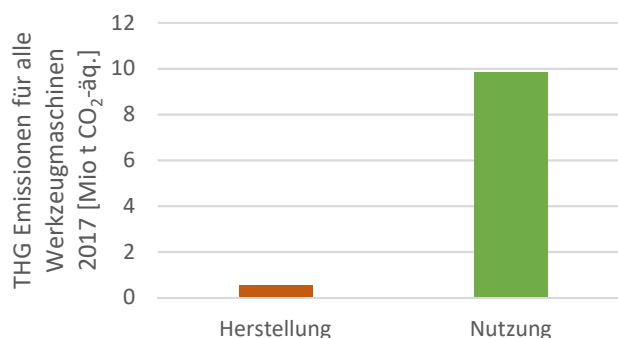


Abbildung 16: THG-Emissionen der Herstellung und Nutzung für alle im Jahr 2017 produzierten Schweizer Werkzeugmaschinen. Für die Nutzungsphase wurde eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen, der Ort der Nutzung wurde den Zollstatistiken entnommen, und es wurden die entsprechenden länderspezifischen Elektrizitätsmixe verwendet.

Grosse THG-Reduktionspotenziale bestehen bei der Entwicklung von energieeffizienteren Werkzeugmaschinen. Im EE4MT-Projekt wurden unterschiedliche Massnahmen für Effizienzsteigerungen im Betrieb entwickelt und getestet. Dabei konnte ohne grössere Investitionen an den Werkzeugmaschinen eine durchschnittliche Einsparung von 22.5 % erreicht werden (Swissmem Fachgruppe Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und BFE, persönliche Kommunikation, April 2018).

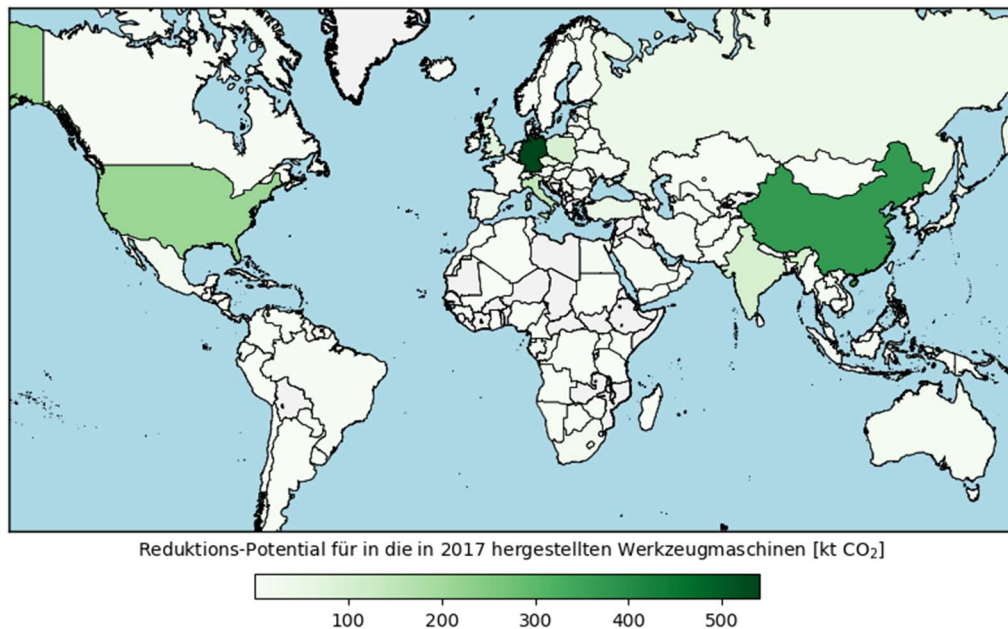


Abbildung 17: Geografische Verteilung des CO₂-Reduktionspotentials durch Effizienzsteigerungen in der Nutzungsphase. Dafür wurde eine Einsparung von 22.5% des Elektrizitätsverbrauches im Betrieb angenommen. Die absolute Einsparung in den unterschiedlichen Ländern hängt davon ab, wie viele Schweizer Werkzeugmaschinen dort eingesetzt werden, wie diese betrieben werden (hier nicht modelliert) und was die CO₂-Intensität des Strommixes ist.

Wären diese Massnahmen bei allen in 2017 hergestellten Werkzeugmaschinen angewendet worden, hätte dies eine totale Einsparung von 2.2 Mt CO₂- äq. über die gesamte Lebensdauer dieser Maschinen bedeutet. In Abbildung 17 wird gezeigt, wo diese Einsparungen anfallen würden. In Deutschland wäre die grösste absolute Einsparung (0.5 Mt CO₂- äq.) erreicht worden, da eine grosse Anzahl von Schweizer Werkzeugmaschinen dorthin verkauft wurden und der deutsche Strom sehr CO₂-intensiv ist. Das tatsächliche Einsparpotential hängt von verschiedenen Faktoren wie z.B. der Einsatzart der Maschinen, die Entwicklung des lokalen Elektrizitätsmixes sowie der allgemeinen Wirtschaftslage ab. Generell kann jedoch gesagt werden, dass bereits mit kleinen Effizienzsteigerungen in der Nutzungsphase grosse globale CO₂-Reduktionen erreicht werden können und die Produktion der Maschinen selbst hinsichtlich der CO₂-Emissionen nicht dominant ist.

4.2. Aufzüge

Bei Schindler AG werden laufend neue Aufzug-Modelle entwickelt, welche sich bezüglich den eingesetzten Materialien und des Elektrizitätsverbrauches unterscheiden. In Abbildung 18 wird die Entwicklung der Umweltwirkung neuer Aufzugssysteme im Wohnbereich relativ zum Stand in 1995 gezeigt. Die Umweltwirkung pro Aufzugssystem nimmt von den älteren zu den neueren Modellen deutlich ab, was auf die Senkung des durchschnittlichen Elektrizitätsverbrauch zurückzuführen ist. Die THG-Emissionen, welche durch die Herstellung der eingesetzten Materialien resultiert, nehmen über die Zeit leicht zu.

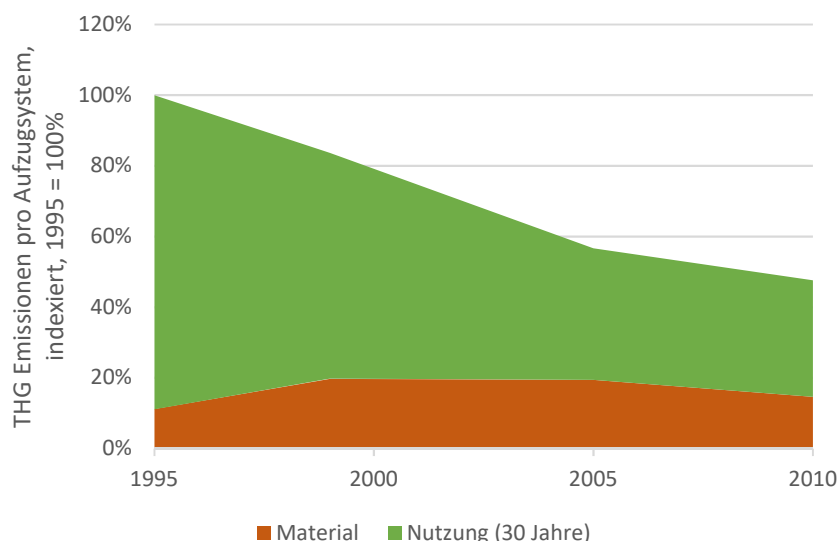


Abbildung 18: Die relative Entwicklung der THG-Emissionen von Aufzugssystemen für den Wohnbereich über die letzten 15 Jahre. Für den Strommix wurde den europäischen Strommix (UCTE) angenommen. Eine Lebensdauer von 30 Jahren wurde angenommen.

Gezielte Produkteentwicklung in Richtung Energieeffizienz hat zu einer deutlichen Verbesserung der gesamthaften Umweltperformance geführt. Es ist jedoch auch zu beobachten, dass die Effizienzsteigerungen in den letzten fünf Jahren weniger stark sind wie in den 10 Jahren davor. Die starke Verbesserung ist mit Umsetzung von «low-hanging-fruits»-Massnahmen durchgeführt worden, weitere Verbesserungen sind nun schwerer erreichbar. Die gesamte Umweltwirkung ist auch bei Aufzugssystemen stark davon abhängig in welchen Land sie betrieben werden. Wird die Analyse mit dem Schweizer Strommix durchgeführt, ist gesamthaft auch eine Reduktion der THG-Emissionen beobachtbar, jedoch gewinnen Materialien bei den neuen Modellen stärker an Bedeutung. Der Fokus von Massnahmen soll neben Optimierungen im Betrieb also auch auf den eingesetzten Materialien liegen. Weiter ist die Umweltwirkung aus der Nutzungsphase stark davon abhängig, wie der Aufzug genutzt wird. In diesem Beispiel ist ein typisches Aufzugssystem eines Wohnhauses gezeigt. Würde die selbe Analyse für Aufzüge in Geschäftshäuser durchgeführt werden, würde die Nutzungsphase tendenziell dominanter ausfallen, da die Nutzung generell deutlich intensiver ist. Dies würde auch zu einer Verschiebung des Verhältnisses zwischen der Umweltwirkung aus Material und Nutzung führen und der Fokus von Massnahmen würde wieder stärker bei der Optimierung des Betriebes liegen.

4.3. Waschautomaten

Abbildung 19 zeigt die Umweltbelastung der Herstellung (Material) und der Nutzungsphase für vier verschiedenen Waschautomaten-Typen, wobei angenommen wurde, dass sie in der Schweiz genutzt werden. Bei den Modellen Adora S und SL handelt es sich um Basismodelle, bei den Modellen Adora SLQ und SLQ WP um Premiummodelle. Die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase nimmt von den Basismodellen zu den Premiummodellen deutlich ab, wobei die Adora SLQ WP die tiefsten THG-Emissionen verursacht. Der Waschautomat Adora SLQ WP ist mit einer Wärmepumpe ausgestattet: Der Elektrizitätsverbrauch und somit auch die Umweltwirkung der Nutzungsphase sind dadurch deutlich tiefer als bei den anderen Modellen. Jedoch ist das Wärmepumpe-Modell auch schwerer als die anderen Modelle (90 kg versus 64 -70 kg). Der erhöhte Materialbedarf des Wärmepumpen-Modelles führt wiederum zu einer erhöhten Umweltbelastung. (rund 30% höher). Dadurch ist die Umweltwirkung durch die Produktion der Maschine gar höher als in der Nutzungsphase. Gesamthaft betrachtet ist die Umweltperformance des Wärmepumpen-Modells dennoch leicht besser im

Vergleich zu den anderen Modellen, aber nicht mehr eindeutig besser (unter Berücksichtigung der Vereinfachungen und Unsicherheiten).

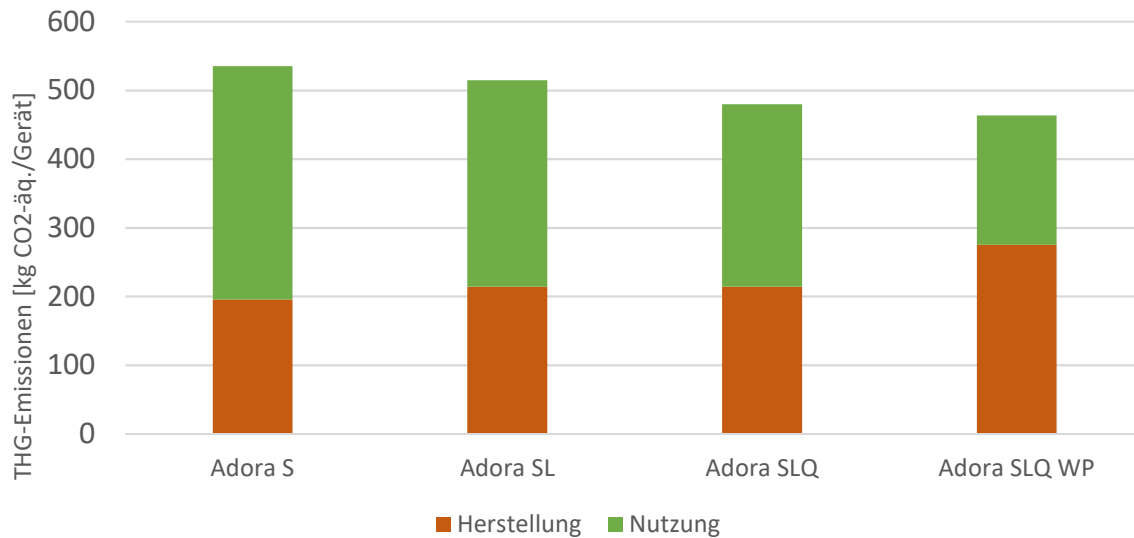


Abbildung 19: THG-Emissionen der Herstellung und Nutzung über die gesamte Lebensdauer von vier verschiedenen Waschautomaten-Modellen. Es wurde angenommen, dass die Geräte in der Schweiz genutzt werden und die Lebensdauer 15 Jahre beträgt.

Es ist interessant zu beobachten, dass für Waschautomaten bereits der Bereich erreicht wurde, in welchem die Umweltbelastung der Herstellung in der gleichen Grössenordnung liegt wie diejenige der Nutzung. Dies bedeutet, dass weitere Effizienzmassnahmen für den Betrieb, welche gleichzeitig mit erhöhtem Materialbedarf verbunden sind, gesamthaft nicht mehr zu einer Verbesserung der Umwelt-Performance führen können («tipping point»). Die Berechnungen wurden allerdings mit der starken Vereinfachung, dass der Materialbedarf linear mit dem Gewicht korreliert, durchgeführt. Demnach wurde angenommen, dass das schwerere Modell die gleichen Anteile an unterschiedlichen Materialien hat, wobei in Realität die Zusammensetzung wahrscheinlich geändert hat. Um genauere Aussagen machen zu können, müssten somit detailliertere Analysen durchgeführt werden. Wie bereits in den vorangehenden Abschnitten besprochen wurde, hängt die Umweltbelastung der Nutzungsphase stark davon ab, in welchem Land der Waschautomat betrieben wird.

5. Limitierungen

Die offensichtlichste Limitierung stellen die Daten dar, die einerseits nur bis 2011 reichen und andererseits mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, da die gesamte Wirtschaft inkl. Handel und Umwelteffekte modelliert werden musste. Die Erstellung von multi-regionalen Input-Output Tabellen ist sehr zeitaufwändig und Daten von verschiedenen statistischen Ämtern und andern Behörden müssen zusammengetragen werden, darum basiert die diesjährig veröffentlichte Version Exiobase v3.3 auf Daten bis und mit dem Jahr 2011. Es ist zu erwarten, dass in den Zulieferketten der Schweizer MEM-Industrie seit 2011 einige Veränderungen stattgefunden haben, insbesondere nach der Auflösung des Euro-Mindestkurses. Diese Veränderungen konnten im Rahmen dieser Studie nicht erfasst werden. Zusätzlich ist die Schweiz ein relativ kleines Land mit besonderer Wirtschaftsstruktur, welche nicht im grössten Detail in Input-Output Modellen abgebildet werden kann (Unsicherheiten des Systems sind bei relativ kleinen Flüssen relevanter). Diese Unsicherheiten sind auch bei der Analyse der zeitlichen Entwicklung relevant.

Mit den verfügbaren Exiobase-Erweiterungen lässt sich nur eine limitierte Anzahl Wirkungsindikatoren berechnen. In dieser Studie wurde der Fokus auf Klimawandel gelegt, zusätzlich wurden das Versauerungspotential und die Feinstaub-Emissionen quantifiziert. Für ein vollständigeres Verständnis der Umweltwirkung der MEM-Industrie wäre die Analyse weiterer Wirkungsindikatoren (z.B. Biodiversitätsverluste oder Toxizität) sinnvoll. Zum Beispiel wird bei der Betrachtung des Schweizer Elektrizitätsmixes bezüglich den THG-Emissionen vernachlässigt, dass mit der Atomenergie auch nicht-erneuerbare Ressourcen verwendet werden und eine Endlagerproblematik besteht.

Die Berechnungen mit Input-Output Tabellen werden mit durchschnittlichen Preisen für Güter jedes Sektors durchgeführt, da sie auf der Annahme basieren, dass die Outputs der Sektoren homogen sind. Dadurch wird mit einer Input-Output Tabelle nicht auf Unterschiede innerhalb eines Sektors eingegangen. Dies ist beim Bezug von Materialien wichtig, welche in der Haupttabelle nur über monetäre Flüsse dargestellt werden, und nicht über physikalische Flüsse. Bezieht also zum Beispiel der Präzisionsinstrument-Sektor qualitativ hochstehende Metalle mit einem hohen Tonnage-Preis und der Metall-Sektor billigere Metalle in grossen Mengen, werden diese beiden Bezüge gleich abgebildet, obwohl in der Realität unterschiedliche Transaktionen stattfinden. Eine weitere Limitierung ist, dass bei der Quantifizierung des Materialbedarfs nur die primären Materialien berücksichtigt werden konnten und nicht auch sekundäres Material (Recyclingmaterial). Ein Vergleich der Anteile an primären und sekundären eingesetzten Materials könnte aufschlussreiche Aussagen ermöglichen.

Die Abschätzung des Produktionsvolumens wurde auf Basis von Zollstatistiken und Exportquoten durchgeführt. Dabei wurde mit einer Datenbereinigung soweit wie möglich auf die Exporte von Occasionsprodukten und Abfall eingegangen. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass nicht alle Occasionen oder Weiter-Exporte aus der Abschätzung herausgerechnet wurden.

Die Validierung wurde mit der Verknüpfung von Produktionsabschätzungen zur ecoinvent v3.3 - Datenbank durchgeführt. Die Verknüpfungen wurden auf tiefster Ebene der Warengruppen in der Zollstatistik gemacht, welche zum Teil aber immer noch breite Produktgruppen darstellen. Diese breiten Produktgruppen wurden mit einem Lebenszyklusinventar, welches möglichst repräsentative für die Gruppe ist, verknüpft, was eine starke Vereinfachung der zum Teil sehr diversen Produktgruppen darstellt. Weiter sind die Lebenszyklusinventare zum Teil nicht mehr ganz dem aktuellen Stand der Technik entsprechend oder nicht passend.

Mit einer breiteren Palette an MEM-Produkten wäre ein umfassenderes Verständnis der Nutzungsphase von MEM-Produkten möglich. Weiter wären für die genaue Analyse der «tipping points» detailliertere Lebenszyklusinventare notwendig.

6. Schlussfolgerung

- **Quantifizierung und Analyse der Umweltwirkungen der Schweizer MEM-Industrie:** Mit Hilfe einer multi-regionalen IO-Tabelle wurden die Umweltwirkungen der Schweizer MEM-Industrie quantifiziert und analysiert. Auf Ebene der fünf MEM-Sektoren (Metalle, Maschinenbau, Elektrotechnik, Präzisionsinstrumente und Fahrzeuge) wurden die Zulieferketten aus Umweltsicht analysiert und wertvolle Erkenntnisse diesbezüglich gewonnen. Die gewählte Vorgehensweise wurde mit «bottom-up»-Berechnungen validiert.
- **Ausländische Zulieferkette dominiert bezüglich der Umweltwirkung:** Bei der Betrachtung der «cradle-to-gate²» Umweltauswirkungen zeigt sich für alle fünf MEM-Sektoren ein ähnliches Bild: Bezüglich der Umweltwirkung auf den Klimawandel dominiert die ausländische Zulieferkette mit einem Anteil von rund 80%. Weitere 10% der THG-Emissionen fallen in der Schweizer Zulieferkette an, die letzten 10% in den MEM-Sektoren selbst (Scope 1-Emissionen). Auch bei den Versauerungs- und Feinstaubemissionen findet der grösste Teil im Ausland statt (85% und 95%). Die Wertschöpfung hingegen findet vor allem in der Schweizer Zulieferkette und den Schweizer MEM-Sektoren statt (rund 70%).
 - **Der Fokus von Reduktionsmassnahmen der Umweltwirkung sollte auf der ausländischen Zulieferkette liegen.**
- **Zunahme der Umweltwirkung von 2008 bis 2011:** Im betrachteten Zeitraum ist eine Zunahme der gesamten sowie der umsatzspezifischen THG-Emissionen zu beobachten. Zentrale Rolle spielt dabei der Trend der Auslagerung ins Ausland, da die ausländische Produktion tendenziell CO₂-intensiver ist. Emissionen, welche in der Schweiz und in den Schweizer MEM-Sektoren selbst anfallen, haben hingegen über die Zeit abgenommen. Dies kann sowohl auf Bemühungen in Effizienzsteigerungen als auch auf die zunehmenden Auslagerungen ins Ausland zurückzuführen sein. Zudem ist eine Abnahme des durchschnittlichen Tonnage-Preises von 2008 bis 2011 zu beobachten. Da dadurch für die produzierte Tonnage, welche ausschlaggebend für die gesamte Umweltwirkung ist, ein verhältnismässig kleinerer Umsatz generiert wird, nimmt die umsatzspezifische Umweltwirkung zu.
- **Nutzungsphase dominiert bei energieverbrauchenden Geräte:** Anhand von drei Fallstudien zu unterschiedlichen MEM-Produkten (Werkzeugmaschinen, Aufzüge und Waschautomaten) wurde neben der Herstellung auch die Umweltwirkung der Nutzungsphase betrachtet. Bei solchen energieverbrauchenden Produkten dominiert meistens die Nutzungsphase über die Produktionsphase, was anhand der drei Fallstudien bestätigt werden konnte. Die Umweltwirkung hängt dabei stark davon ab, in welchen Land die Geräte zum Einsatz kommen, da sich die Strommixe unterschiedlicher Länder bezüglich ihrer CO₂-Intensitäten stark unterscheiden.
- **Grosses Potential durch Effizienzsteigerungen im Betrieb:** Massnahmen für Effizienzsteigerungen des Betriebes haben grosses Potential, um die Umweltperformance des gesamten Lebenszyklus der Geräte zu verbessern, wie dies am Beispiel von Werkzeugmaschinen gezeigt wurde. Bei der Nutzung einiger Produkte in der Schweiz (oder

² «Cradle-to-gate» (von der Wiege bis zum Werkstor): Es werden die Umweltwirkungen der ganzen Produktionsphase inkl. deren aller Zulieferer betrachtet. Dies heisst, dass alles von der Extraktion der benötigten Rohstoffe bis zur Herstellung der Produkte miteinbezogen werden. Nicht betrachtet wird hingegen die Nutzung der Produkte.

andern Ländern mit einem CO₂-armen Strommix) wird allerdings bereits ein «tipping point» erreicht, bei welchem weitere Einsparungen in der Nutzungsphase nicht mehr zu Umweltvorteilen führen, da die zusätzlich benötigten Materialien für Effizienzmassnahmen diese Einsparungen kompensieren (z.B. Waschautomaten mit Wärmepumpen). Allerdings lohnt sich die gleiche Massnahme sehr wohl, wenn die Maschine im Ausland mit Elektrizitätsmischen mit höheren CO₂-Intensitäten eingesetzt wird. Die Fallstudien geben hilfreiche Einblicke in die Umweltauswirkung über den gesamten Lebenszyklus aus Produktperspektive. Da die MEM-Industrie und ihre Produkte sehr divers sind und jedes Produkt einen individuellen Charakter hat, lassen sich Beobachtungen aus den Fallstudien jedoch nicht direkt auf andere Produkte übertragen.

- **Mit der systematischen Integration einer Lebenszyklusanalyse in die Produktentwicklung können für das jeweilige Produkt Hotspots identifiziert werden und Massnahmen definiert werden. Dabei sollte Rücksicht auf den potentiellen Einsatzort genommen werden um den obengenannten «tipping point» zu vermeiden.**
- **Nachhaltigkeit in der Schweizer MEM-Industrie:** Mit dieser Studie wurde das Thema ökologische Nachhaltigkeit in der Schweizer MEM-Industrie aufgegriffen und es konnten wichtige Zusammenhänge und Trends identifiziert werden.
 - **Die Definition von generellen Umweltindikatoren und deren systematischen Erhebung würde eine vertiefte Analyse von Trends und Hotspots ermöglichen.**

Literaturverzeichnis

- BAFU. 2018. "CO2-Statistik: Emissionen Aus Brenn- Und Treibstoffen." 2018.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten/co2-statistik.html>.
- Bourrier, Charles, Filippo Corsini, Maheshi Danthurebandara, Klaus Fuchs, Severin Olloz, Sofia Poulidikou, Simonne Rufener, and Rubina Singh. 2011. "Washing Machine." Zürich, Switzerland.
http://archiv2.sustainability.ethz.ch/lehre/Sommerakademien/so2011/washies_report.pdf.
- Bundesamt für Energie. 2017. "Medienmitteilung: Knapp 60 Prozent Des Stroms Aus Schweizer Steckdosen Stammt Aus Erneuerbaren Energien." Admin.ch. 2017.
<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-66696.html>.
- EnergieSchweiz - Bundesamt für Energie. 2012. "Defekte Elektrische Geräte Reparieren Oder Ersetzen ?" Bern, Schweiz.
- Ewing, Brad R., Troy R. Hawkins, Thomas O. Wiedmann, Alessandro Galli, A. Ertug Ercin, Jan Weinzettel, and Kjartan Steen-Olsen. 2012. "Integrating Ecological and Water Footprint Accounting in a Multi-Regional Input-output Framework." *Ecological Indicators* 23: 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.025>.
- Feldges, Dominik. 2016. "Die Liebe Zur Schweizer Waschmaschine." *NZZ*, September 20, 2016.
- Frischknecht, Rolf, Carsten Nathani, Sybille Büsser Knöpfel, René Itten, Franziska Wyss, and Pino Hellmüller. 2014. "Entwicklung Der Weltweiten Umweltauswirkungen Der Schweiz." *Technischer Bericht*.
- Institute for Ecological Economics (Vienna University of Economics and Business). 2017. "Global Material Flows Database." Vienna, Austria.
- Lee, David S., David W. Fahey, Piers M. Forster, Peter J. Newton, Ron C.N. Wit, Ling L. Lim, Bethan Owen, and Robert Sausen. 2009. "Aviation and Global Climate Change in the 21st Century." *Atmospheric Environment* 43 (22–23). Elsevier Ltd: 3520–37.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.024>.
- Mutel, Chris. 2017. "Brightway: An Open Source Framework for Life Cycle Assessment." *The Journal of Open Source Software* 2 (12): 1–2. <https://doi.org/10.21105/joss.00236>.
- Schweizerische Nationalbank. 2018. "Devisenkurse Der SNB." 2018.
[https://data.snb.ch/de/topics/ziredev#!/cube/devkua?fromDate=2008&toDate=2017&dimSel=D1\(EUR1\)](https://data.snb.ch/de/topics/ziredev#!/cube/devkua?fromDate=2008&toDate=2017&dimSel=D1(EUR1)).
- Smith, T. W. P., J. P. Jalkanen, B. A. Anderson, J. J. Corbett, J. Faber, S. Hanayama, E. O’Keeffe, et al. 2014. "Third IMO Greenhouse Gas Study 2014." *International Maritime Organization (IMO)*, 327.
<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0912-3>.
- Stadler, Konstantin Wood, Richard, Moana Simas, Jeroen Bulavskaya, Tatyana Kuenen, José Acosta Fernández, Arkaitz Usubiaga, Stefano Merciai, Jannick Schmidt, et al. 2018. "DESIRE - Development of a System of Indicators for a Resource Efficient Europe." Vol. 30. Delft, The Netherlands.
- Stadler, Konstantin, Richard Wood, Tatyana Bulavskaya, Carl Johan Södersten, Moana Simas, Sarah Schmidt, Arkaitz Usubiaga, et al. 2018. "EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables." *Journal of Industrial Ecology*, 2018. <https://doi.org/10.1111/jiec.12715>.
- Steinmann, Zoran J.N., Aafke M. Schipper, Konstantin Stadler, Richard Wood, Arjan de Koning, Arnold

- Tukker, and Mark A.J. Huijbregts. 2017. "Headline Environmental Indicators Revisited with the Global Multi-Regional Input-Output Database EXIOBASE." *Journal of Industrial Ecology*, 2017. <https://doi.org/10.1111/jiec.12694>.
- Swissmem. 2017. "Panorama 2017."
- "System Models in Ecoinvent 3." 2018. 2018. <http://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/system-models-in-ecoinvent-3.html>.
- V-ZUG AG. 2018. "V Zug AG." Broschüre Adora S. 2018. <https://www.vzug.com/ch/de/product/ch-Catalog/1101100004>.
- World Health Organization. 2016. "Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease." *World Health Organization*, 1–131. <https://doi.org/9789241511353>.
- Yamaguchi, Yoko, Eriko Seii, Masako Itagaki, and Masuzo Nagayama. 2011. "Evaluation of Domestic Washing in Japan Using Life Cycle Assessment (LCA)." *International Journal of Consumer Studies* 35 (2): 243–53. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2010.00975.x>.
- Züst, Rainer, Lukas Weiss, Adam Gontarz, and Jürg Hauenstein. 2013. "Eco-Effiziente Produktionsmaschinen in Moderner Haustechnik Bei METTLER TOLEDO." Zürich, Switzerland.

Anhang

1. Weitere Erläuterungen zur Vorgehensweise

Datenbereinigung der Zollstatistik

Das Produktionsvolumen der MEM-Industrie wurde mit Exportstatistiken und Exportquoten abgeschätzt. Die Exportdaten wurden bereinigt, um Exporte von Schrott und Abfall, Occasion-Produkten und weiteren Produkten, welche nicht der MEM-Industrie angehören, auszuschliessen. In Tabelle 4 ist die Vorgehensweise detailliert beschrieben.

Tabelle 4: Vorgehen für die Datenbereinigung der einzelnen Produktgruppe.

EZV ID	Produktgruppe	Vorgehen
09.3.1	Unterhaltungselektronik	Occasion-Exporte entfernen ¹ Für 2017 berechnet und angenommen, dass die Anteile für die andern Jahre gleich sind
09.3.2	Haushaltsmaschinen	Occasion-Exporte entfernen ¹ Für 2017 berechnet und angenommen, dass die Anteile für die andern Jahre gleich sind
09.4	Büromaschinen	Occasion-Exporte entfernen ¹ Für 2017 berechnet und angenommen, dass die Anteile für die andern Jahre gleich sind
09.5.2	Telekommunikationsgeräte	Mobiltelefone entfernen
10.1.1.01	Zweiradfahrzeuge	Keine Schweizer Motorfahrzeug-Produktion, zudem sind die Importpreise höher als die Exportpreise (Exporte = Occasionen, einzige Ausnahme: elektrische Motorfahrzeuge), gleich 0 setzen
10.1.1.02	Personenautomobile	Keine Auto-Produktion in der Schweiz, gleich 0 setzen
10.1.1.03	Gesellschaftswagen	Es existieren Schweizer Produzenten, jedoch wird kaum exportiert/ resp. Herstellung findet lokal statt. Zudem sind die Exportpreise tiefer als die Importpreise (Exporte = Occasionen). Gleich 0 setzen
10.1.2.01	Lastwagen	Vor allem Occasion, in 2017 nur eine Kategorie teurer als die Import (wurde nach Österreich exportiert), gleich 0 setzen
10.1.2.02	Traktoren	Meiste scheint Occasion zu sein (nur 5% scheint 'Primär' zu sein), gleich 0 setzen
10.3.1	Luftfahrzeuge	Nur Ersatzteile und Flugzeuge < 15 t einberechnet. Flugzeuge > 15t sind Swiss 'Occasion' Flugzeuge, Flugzeuge < 15t sind Pilatus
11.1.3	Medizinische Instrumente und Apparate	Spritzen herausrechnen

¹ Vergleich des durchschnittlichen Import- und Exportpreis aller Waren in der Warengruppe (Ebene Tarifnummer). Wenn Importpreis höher als der Exportpreis ist, wird die Ware als «Occasion» klassifiziert und rausgerechnet.

Abschätzung des Produktionsvolumens des Metall-Sektors

Die Zollstatistik ist nur bedingt geeignet, um die Produktion des Metall-Sektors schätzen zu können. Deshalb wurden für die Abschätzung des Metall-Sektors zum Teil direkte Abschätzungen über das

Produktionsvolumen herbeigezogen, und nur ein Teil wurde über die Zollstatistik und die Exportquote abgeschätzt. Die verwendeten Quellen sind in Tabelle 5 aufgelistet. In einem ersten Schritt wurden die Produktionstonnagen der Produkte abgeschätzt und danach mit dem durchschnittlichen Preis (abgeleitet aus der Zollstatistik) das Produktionsvolumen in CHF berechnet. Die Vorgehensweise für die Erstellung von Zeitreihen ist in Tabelle 7 beschrieben.

Tabelle 5: Vorgehensweise für die Abschätzung des Produktionsvolumens des Schweizer Metall-Sektors.

Produkte	Werte für 2017	Quelle
Walz- und Ziehprodukte aus Stahl	1.5 Mio t ¹	Worldsteel
Andere Produkte aus Eisen und Stahl	1.16 Mio t	Schätzung so, dass Input/Output stimmt. Aus dieser Zahl würde eine Exportquote von 52% resultieren (siehe Tabelle 6)
Walz und Ziehprodukte aus Aluminium	0.227 Mio t ²	Zahlenspiegel alu.ch
Andere Produkte aus Aluminium	0.04 Mio t	Zollstatistik, mit einer Exportquote von 0.8 gerechnet (Exportquote gemäss alu.ch)
Kupfer	0.04 Mio t ³	Gemäss Bericht von BAFU

¹ Dies ist eine Schätzung für 2016

² Dies ist der Wert für 2016 (2015 und 2016 blieb stabil, kein Wachstum)

³ Dieser Wert ist für 2006 gültig

Tabelle 6: Input/Output Analyse für die Stahlflüsse in der Schweiz.

Inputs			Outputs		
	Abschätzung 2017 [Mio t]	Quelle		Abschätzung 2017[Mio t]	Quelle
Import Walz und Stahlprodukte	2.24	Zollstatistik	Exporte Walz und Ziehprodukte	0.9	Zollstatistik
Produktion	1.5	Swiss steel	Exporte Andere Produkte aus Eisen und Stahl	0.6	Zollstatistik
			Stahl in andern MEM Produkte	0.68	Eigene Berechnung
			Stahl in den Bausektor	1	Aargauer Zeitung Link
			Nachfrage inländische produzierten Produkte aus Eisen und Stahl	0.56	Berechnet, damit Input Output stimmt
Total	3.74			3.74	

Tabelle 7: Vorgehensweise für die Erstellung von Zeitreihen für den Metall-Sektor.

Produkt	Vorgehen
Walz- und Ziehprodukte aus Stahl	Zeitreihe von worldsteel verfügbar

Andere Produkte aus Eisen und Stahl	Zollstatistik: Faktoren von der Zeitreihe von Rohre aus Eisen und Stahl berechnet
Walz und Ziehprodukte aus Aluminium	Zeitreihe bis 2016 verfügbar, das letzte Jahr = 2016 gesetzt
Andere Produkte aus Aluminium	Zeitreihe anhand von der Produktion von Leichtgussproduktion von alu.ch berechnet
Kupfer	Keine Zeitreihe

Verwendete Devisenkurse und Skalierungsfaktoren

Tabelle 8: Jahresmittel der Devisenkurse der SNB (Schweizerische Nationalbank 2018). Die Devisenkurse wurden für die Umwandlung von Euro in Schweizer Franken in Exiobase verwendet.

Jahr	Devisenkurs [CHF/EUR]
2008	1.5867
2009	1.5101
2010	1.3805
2011	1.2336

Tabelle 9: Skalierungsfaktoren für die fünf MEM-Sektoren

	Metalle	Maschinenbau	Elektrotechnik	Präzisionsinstrumente	Fahrzeuge
2008	72%	129%	78%	56%	61%
2009	55%	104%	69%	53%	60%
2010	62%	93%	63%	45%	31%
2011	56%	79%	53%	37%	32%

Verknüpfungen zu ecoinvent v3.3

Tabelle 10: Verknüpfungen zwischen den Produktgruppen und ecoinvent. Bei den Verknüpfungen, welche mit einem * gekennzeichnet sind, wurde das Lebenszyklusinventar manuell erstellt. Für einige Produkte wurden grobe Annäherungen gewählt (z.B. 09.5.3.03 - Steuer-, Signal- und Messgeräte), da keine passenden Inventare in der ecoinvent v3.3- Datenbank vorhanden sind. Bei der gesamtheitlichen Betrachtung der Sektoren werden die dadurch resultierenden Unsicherheiten weniger wichtig. Weiter wurde dieser Ansatz lediglich für die Validierung verwendet.

EZV ID	Produktgruppe	Verknüpfung zu ecoinvent v3.3
08.1.2	Walz- und Ziehprodukte aus Eisen und Stahl	Rolled steel product production*
08.2.1.02	Walz- und Ziehprodukte aus Kupfer	Rolled copper product production*
08.2.2.02	Walz- und Ziehprodukte aus Aluminium	Rolled aluminium product production*
08.3.1.01	Andere Produkte aus Stahl mit importierten Stahl	Rolled steel product*
08.3.1.02	Andere Produkte aus Aluminium	Rolled aluminium product production*
09.1.1.01	Kolbenverbrennungsmotoren	internal combustion engine production, passenger car
09.1.1.02	Turbinen, Triebwerke usw. (Gas, Wasser, Luft, usw.)	micro gas turbine production, 100kW electrical
09.1.2	Baumaschinen	building machine production
09.1.3.01	Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren, Zerstäuber und dergleichen	air compressor production, screw-type compressor, 4kW
09.1.3.02.01	Apparate der Luft-, Klima- und Kältetechnik	ventilation system production, decentralized, 6 x 120 m3/h, polyethylene ducts
09.1.3.02.02	Industrieöfen	industrial furnace production, 1MW, oil
09.1.3.02.03	Apparate der Wärme- und Kältetechnik, wie Destillier-, Verdampf-, Trocknungs-, Röstapparate usw.	pump production, 40W
09.1.3.03	Hebe- und Förderapparate	conveyor belt production
09.1.3.04 - 09.1.3.10	Werkzeugmaschinen, Handwerkzeugmaschinen, Schweißmaschinen	metal working machine production, unspecified
09.1.3.11 - 09.1.3.15	Maschinen für die Grafische- und Papierindustrie, andere Maschinen	paper machine production
09.2	Landmaschinen	agricultural machinery production, unspecified
09.3.1	Unterhaltungselektronik	printer production, laser, black/white
09.3.2	Haushaltmaschinen	washing machine production*
09.4	Büromaschinen	printer production, laser, colour
09.5.1.01	Alternatoren, Stromerzeuger, Spulen, Transformatoren, Umformer usw.	transformer production, high voltage use
09.5.1.02	Elektromotoren und Gleichstromgeneratoren	electric motor production, vehicle
09.5.2	Telekommunikationsgeräte	internet access equipment production
09.5.3.01	Elektrische und elektronische Bauteile	electronic component production, passive, unspecified
09.5.3.02	Spannungsschaltmaterial	switching station production*
09.5.3.02.03	Elektrische Kabel und Drähte	cable production, three-conductor cable
09.5.3.03	Steuer-, Signal- und Messgeräte	printer production, laser, black/white
09.5.3.04	Elektrische Maschinen und Apparate, wie Magnete, Elemente, Batterien, Akkumulatoren, Zündvorrichtungen, Beleuchtungsgeräte, Elektroden, Isolatoren usw.	printer production, laser, black/white
09.6	Wehrtechnik	electronics production, for control units
10.2.1	Rollmaterial, wie Lokomotiven, Schienenfahrzeuge für den Unterhalt, Schienenwagen usw.	train production, passenger, long-distance
10.2.2	Ersatzteile für Schienenfahrzeuge und Eisenbahneinrichtungen	train production, passenger, long-distance
10.3.1	Luftfahrzeuge	aircraft production, medium haul
10.3.2	Ersatzteile für die Luft- und Raumfahrt sowie Bodeneinrichtungen	aircraft production, medium haul
10.4	Wasserfahrzeuge	barge production

Abschätzungen des Produktionsvolumens

Tabelle 11: Aggregierte Abschätzung des Produktions-Volumen in kt Ware.

Jahr	Metalle	Maschinen- bau	Elektro- technik	Präzisions- instrumente	Fahrzeuge	Total
2008	2'059	988	339	44	46	3'476
2009	1'512	734	300	39	63	2'648
2010	2'065	799	326	42	66	3'299
2011	2'188	884	321	43	77	3'513
2012	2'247	781	304	42	61	3'436
2013	2'395	751	293	43	70	3'552
2014	2'346	785	285	41	63	3'520
2015	2'317	756	273	41	61	3'449
2016	2'347	727	265	41	57	3'438
2017	2'343	737	263	43	62	3'448

Tabelle 12: Abschätzung des Produktions-Volumen in Mio. CHF.

Jahr	Metalle	Maschinen- bau	Elektro- technik	Präzisions- instrumente	Fahrzeuge	Total
2008	14,984	46,698	17,260	18,759	4,794	102,495
2009	10,971	36,282	14,806	17,832	4,570	84,461
2010	14,586	38,036	15,766	18,306	2,626	89,320
2011	15,434	39,333	15,446	18,140	3,352	91,704
2012	15,758	34,730	14,770	18,181	3,804	87,243
2013	16,567	34,210	14,681	18,588	3,977	88,023
2014	16,194	34,823	14,022	18,587	4,379	88,004
2015	15,896	32,864	13,180	18,318	4,738	84,997
2016	15,958	32,460	13,127	18,628	3,540	83,714
2017	16,045	33,042	13,757	19,479	3,879	86,201

2. Resultate Versauerung

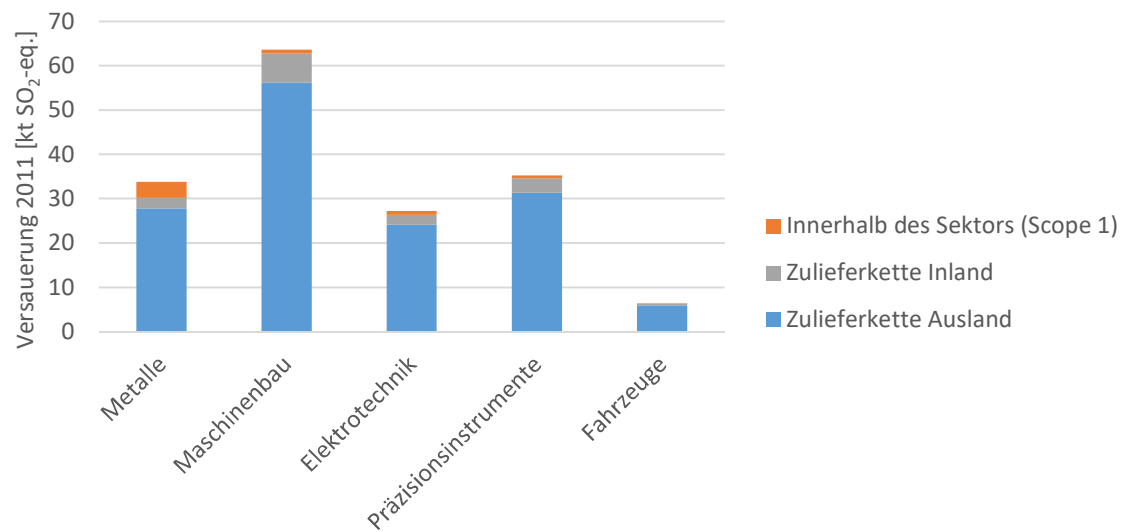


Abbildung 20: Versauerungs-Emissionen für die fünf MEM-Sektoren.

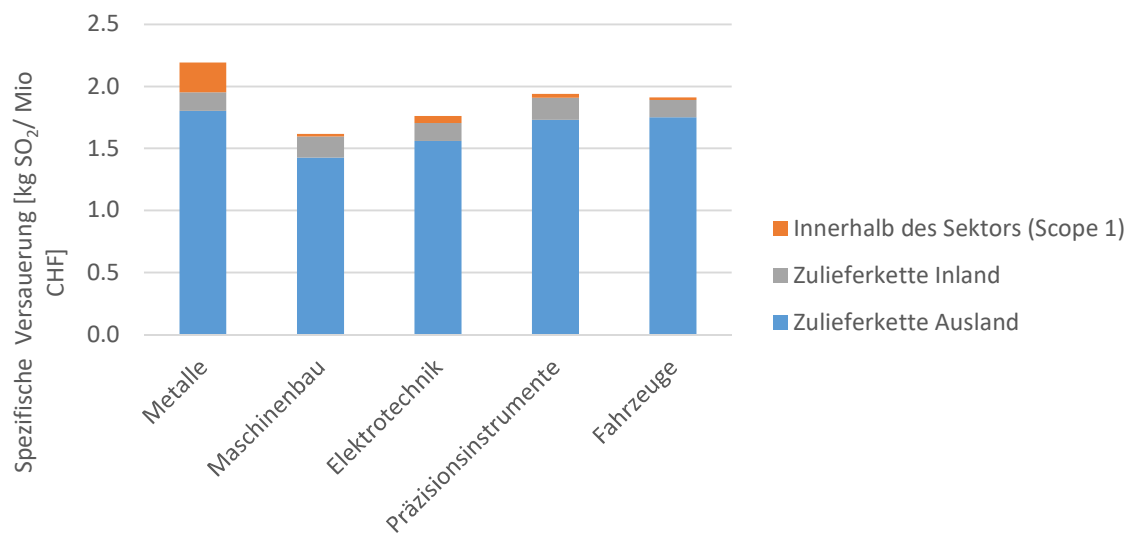


Abbildung 21: Umsatzspezifische Versauerungs-Emissionen für die fünf MEM-Sektoren.

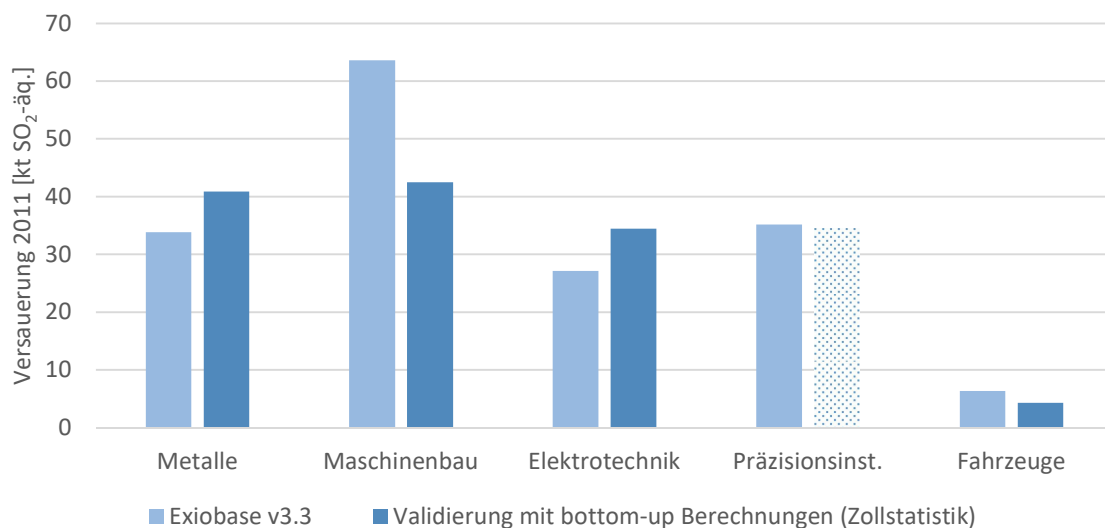


Abbildung 22: Vergleich der Resultate für das Versauerungspotential für die Exiobase und die bottom-up (ecoinvent und Zollstatistik) Resultate. Für den Präzisions-Sektor war keine Validierung möglich, da keine geeigneten Inventare in der ecoinvent v3.3-Datenbank vorhanden waren (gepunkteter Balken).

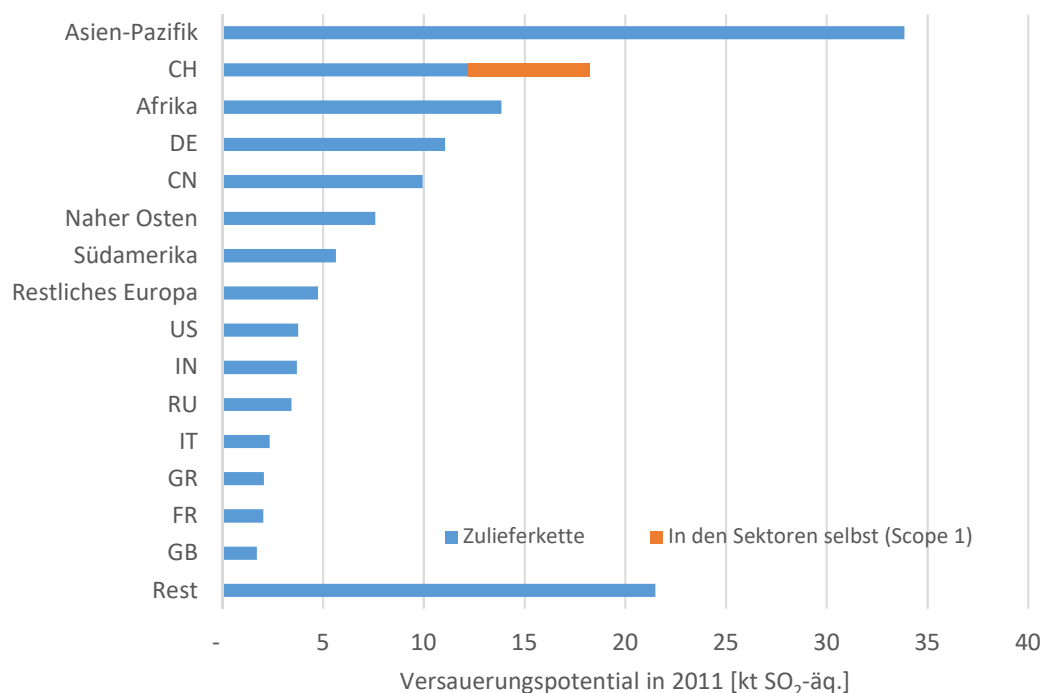


Abbildung 23: Ursprungsort der Versauerungs-Emissionen der MEM-Industrie. Nicht eingeschlossen in Asien-Pazifik sind Australien, China, Indien, Indonesien, Japan Südkorea und Taiwan. Afrika ist ohne Südafrika. Im Restlichen Europa sind die Länder Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Moldawien, Montenegro, Kosovo, Serbien, Mazedonien, Ukraine und Weissrundland eingeschlossen. Südamerika umfasst alle Länder in Mittel- und Südamerikas ausser Mexiko und Brasilien.

3. Resultate Feinstaub-Emissionen

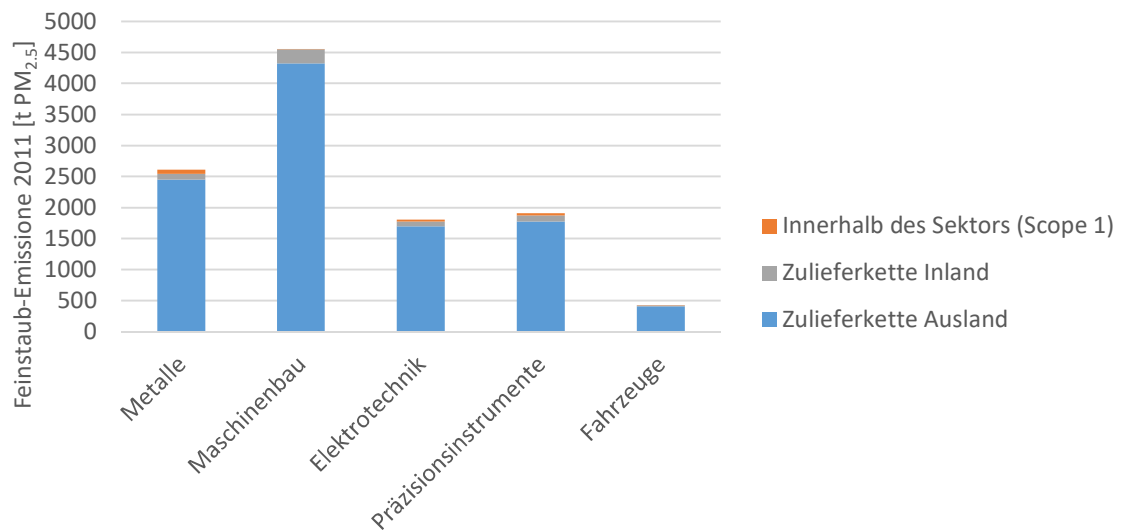


Abbildung 24: Feinstaub-Emissionen der fünf MEM-Sektoren.

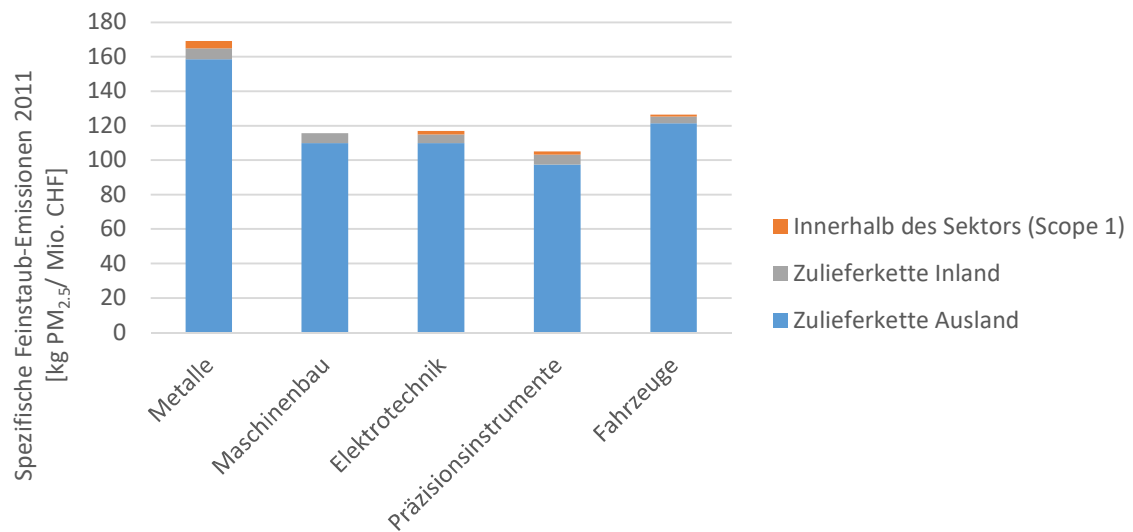


Abbildung 25: Umsatzspezifische Feinstaub-Emissionen der fünf MEM-Sektoren.

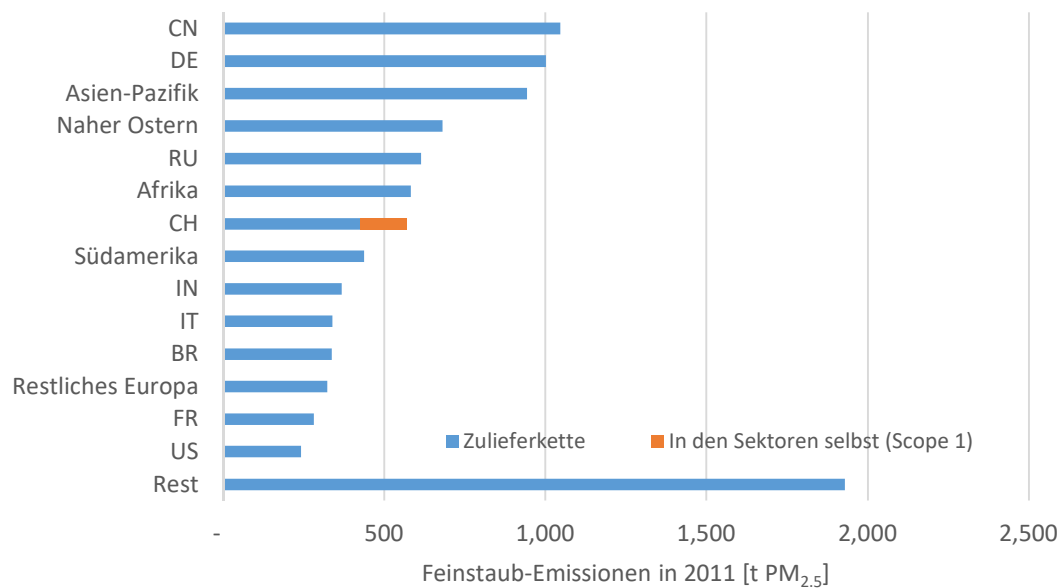


Abbildung 26: Ursprungsort der Feinstaub-Emissionen der MEM-Industrie. Nicht eingeschlossen in Asien-Pazifik sind Australien, China, Indien, Indonesien, Japan Südkorea und Taiwan. Afrika ist ohne Südafrika. Im Restlichen Europa sind die Länder Albanien, Bosnien und Herzegowina, Island, Moldawien, Montenegro, Kosovo, Serbien, Mazedonien, Ukraine und Weissrussland eingeschlossen. Südamerika umfasst alle Länder in Mittel- und Südamerikas ausser Mexiko und Brasilien.

4. Weitere Resultate zum Materialbedarf

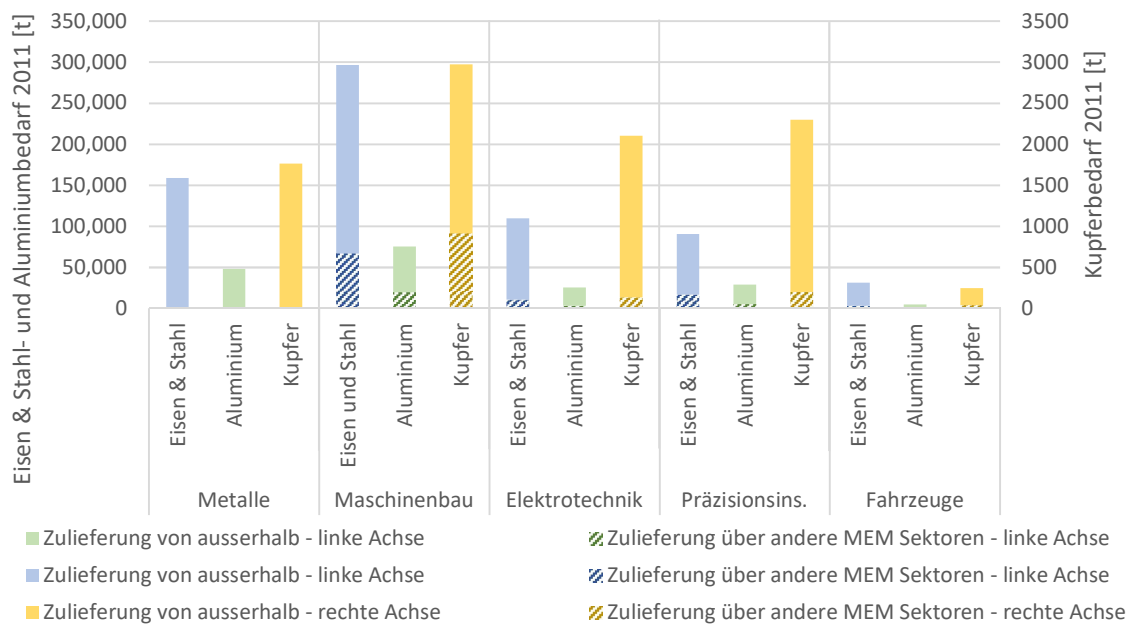


Abbildung 27: Metallbedarf für die fünf MEM-Sektoren.

5. Weitere Resultate zur zeitliche Entwicklung

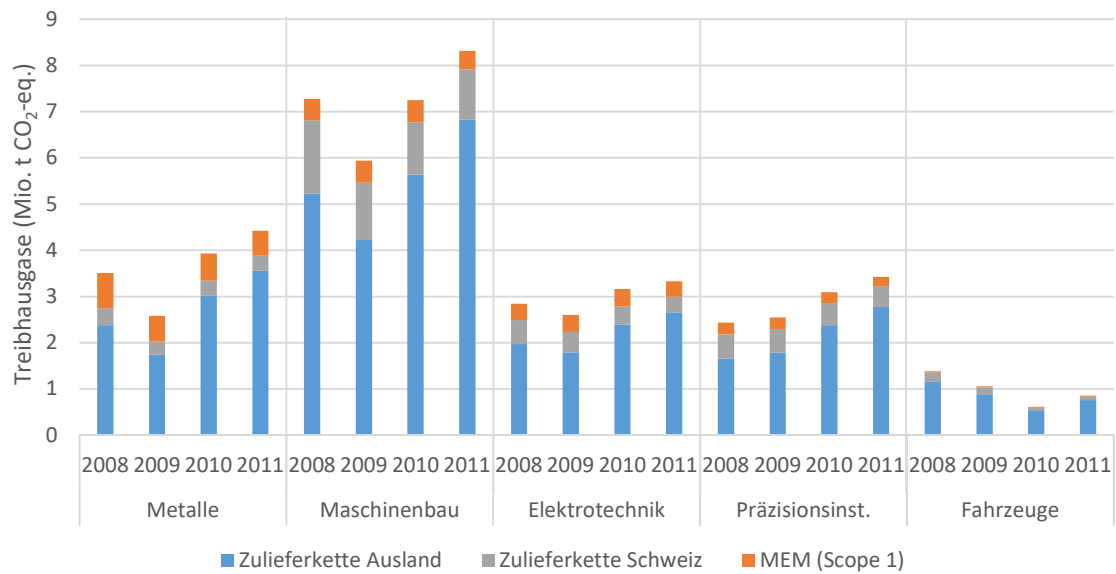


Abbildung 28: Entwicklung der THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren über die Jahre 2008-2011.

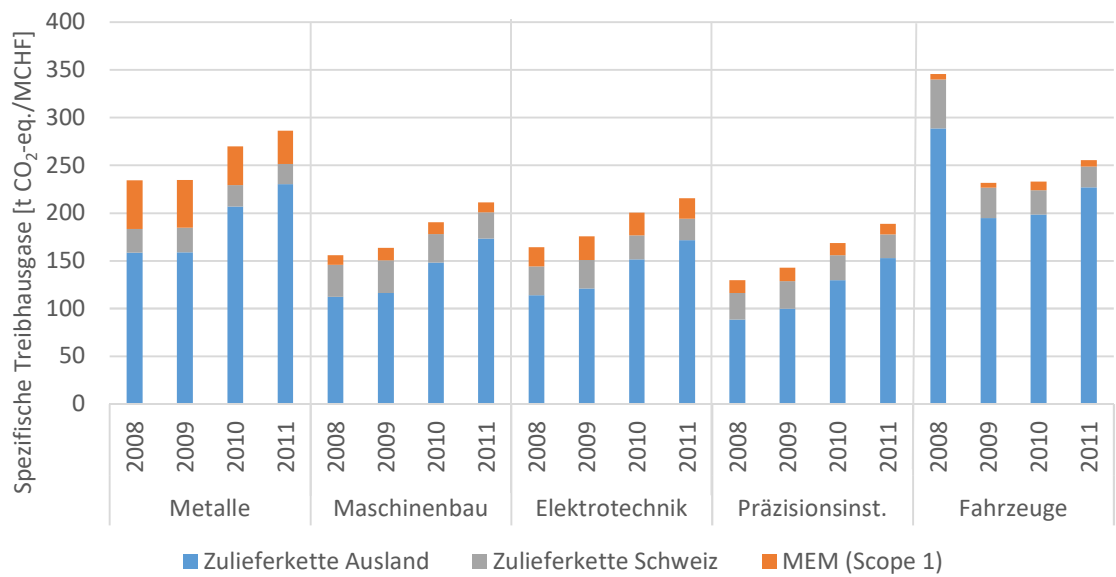


Abbildung 29: Entwicklung der umsatzspezifischen THG-Emissionen der fünf MEM-Sektoren über die Jahre 2008-2011.

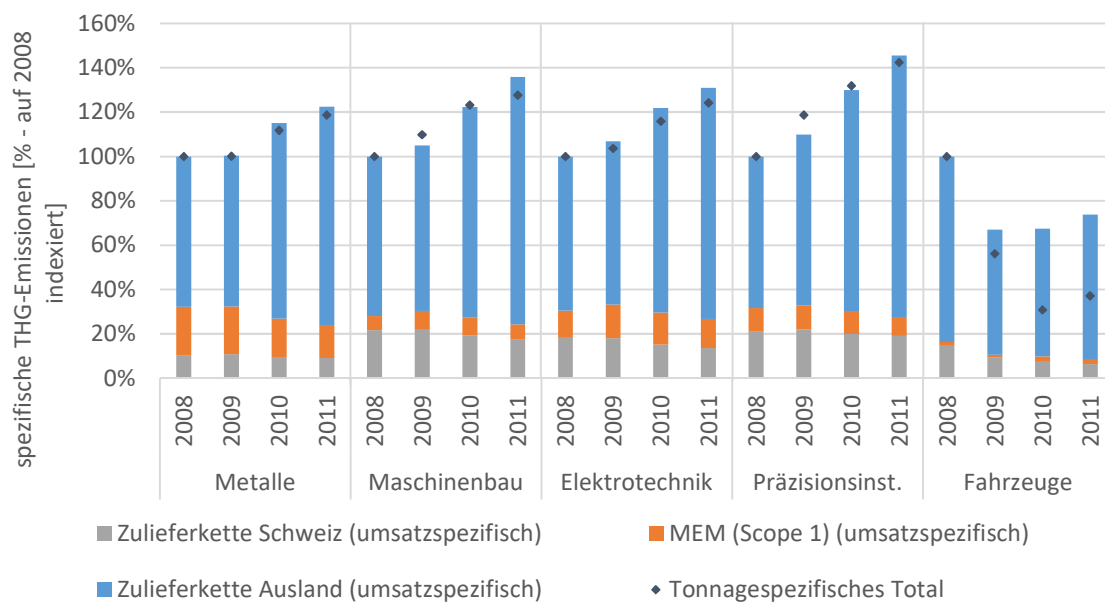


Abbildung 30: Entwicklung der spezifischen THG-Emissionen, wobei die Werte auf das Jahr 2008 indexiert sind. Es werden die Entwicklung der umsatz- und der tonnagespezifischen THG-Emissionen gezeigt (tonnagespezifisches Total als Punkt). Die spezifischen THG-Emissionen nehmen für alle Sektoren ausser für den Fahrzeug-Sektor zu. Die tonnagespezifischen THG-Emissionen nehmen weniger stark als die umsatzspezifischen THG-Emissionen zu, was durch die Entwicklung des Tonnagepreises verursacht wird (Abnahme des Tonnagepreises innerhalb diesem Zeitraum).

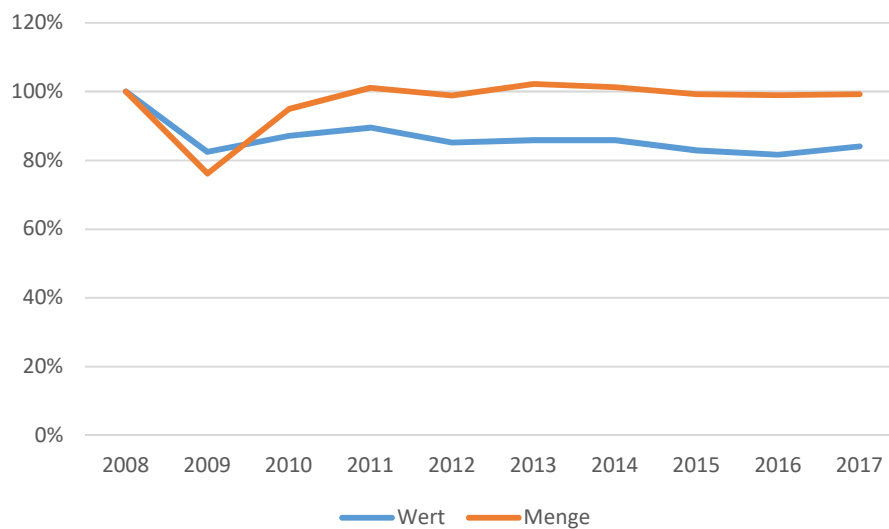


Abbildung 31: Entwicklung der produzierten Menge und des produzierten Wertes über die letzten 10 Jahren (basierend auf Zollstatistiken und Exportquote).

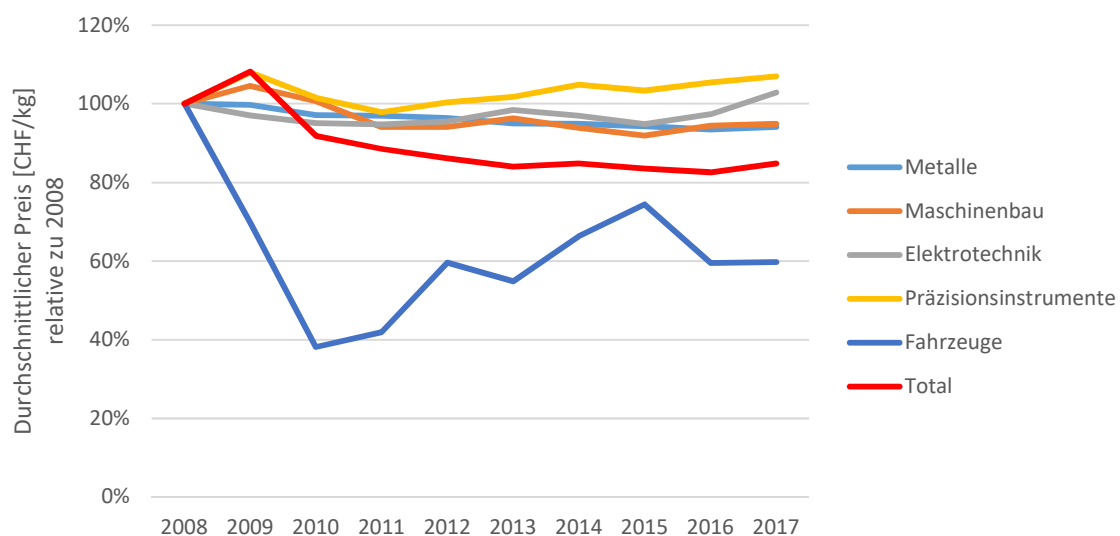


Abbildung 32: Entwicklung des durchschnittlichen Preises in den fünf MEM-Sektoren und Total. Der Durchschnittliche Preis wurde mit Abschätzungen zum produziertem Wert und der produzierten Menge berechnet (in CHF/kg).

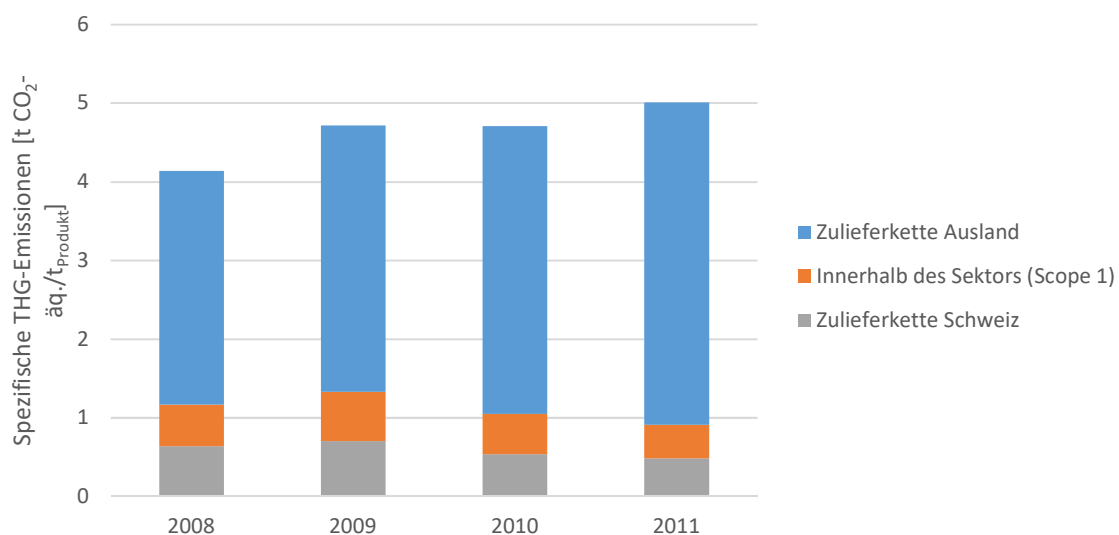


Abbildung 33: Entwicklung der umsatzspezifischen THG-Emissionen pro t Produkt.

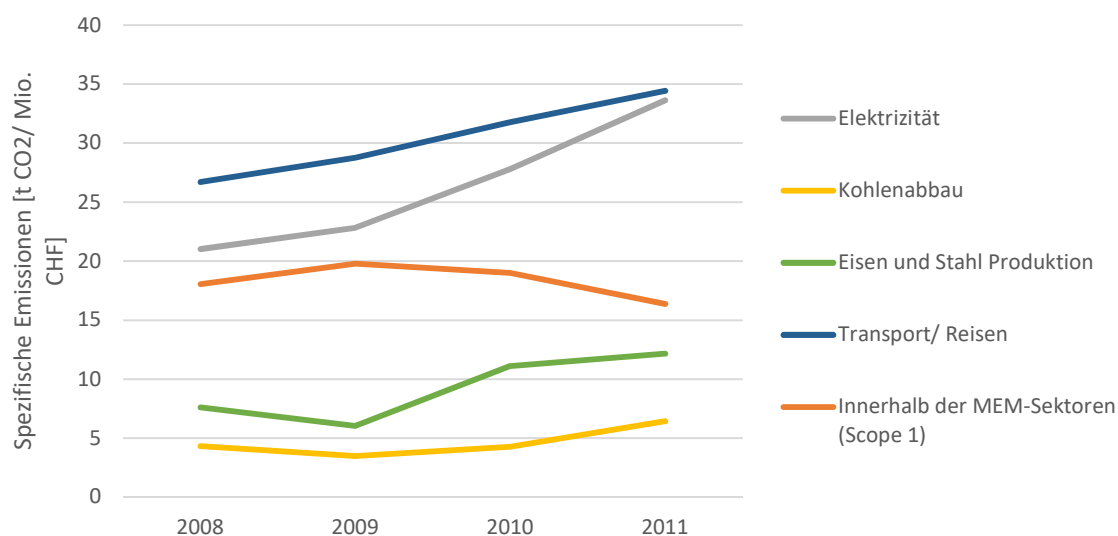


Abbildung 34: Entwicklung THG-Emissionen aufgeschlüsselt nach Zuliefersektoren und Scope 1. Die Zunahme der gesamten spezifischen THG-Emissionen ist zu 23% auf Elektrizität und zu je 9% auf die Aluminium- und die Stahlproduktion zurückzuführen. Bei der Elektrizität nehmen vor allem Emissionen aus der Chinesischen und Deutschen Stromerzeugung zu, wobei auch eine Zunahme des Anteiles der Wertschöpfung in der Zulieferkette für die beiden Länder über diesen Zeitraum zu beobachten ist: Der Anteil von Deutschland nimmt um 32% zu, für China ist es sogar 115% (wobei der Gesamt-Anteil der Wertschöpfung in China bei 1% liegt).

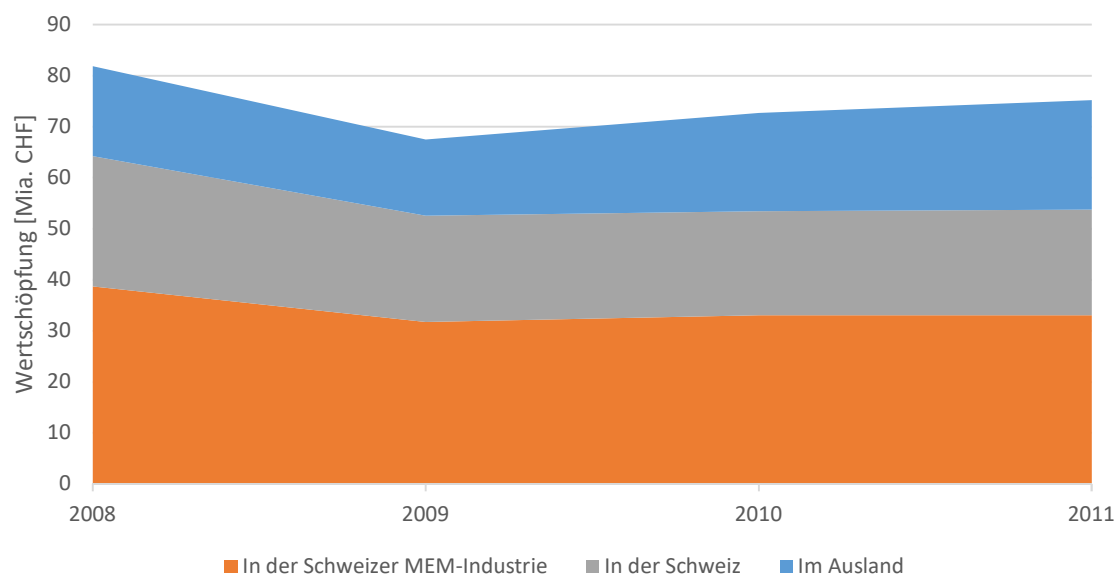


Abbildung 35: Entwicklung der Wertschöpfung der MEM-Industrie.

6. Monetäre Flüsse zwischen den MEM-Sektoren

Tabelle 13: Vorleistungen aus den Schweizer MEM-Sektoren.

[MCHF]	Metall e	Maschinenba u	Elektrotechni k, Elektronik	Präzisionsinstrument e, -apparate und - geräte	Fahrzeug e
Metalle	1132	4362	910	1407	192
Maschinenbau	35	1713	51	49	63
Elektrotechnik, Elektronik	51	1951	2070	161	47
Präzisionsinstrument e, -apparate und - geräte	14	449	96	2021	20
Fahrzeuge	3	4	1	1	192
Total Vorleistungen aus dem Schweizer MEM-Sektoren	1237	8478	3128	3640	513

7. Wertschöpfung und Umweltwirkung in der Zulieferkette

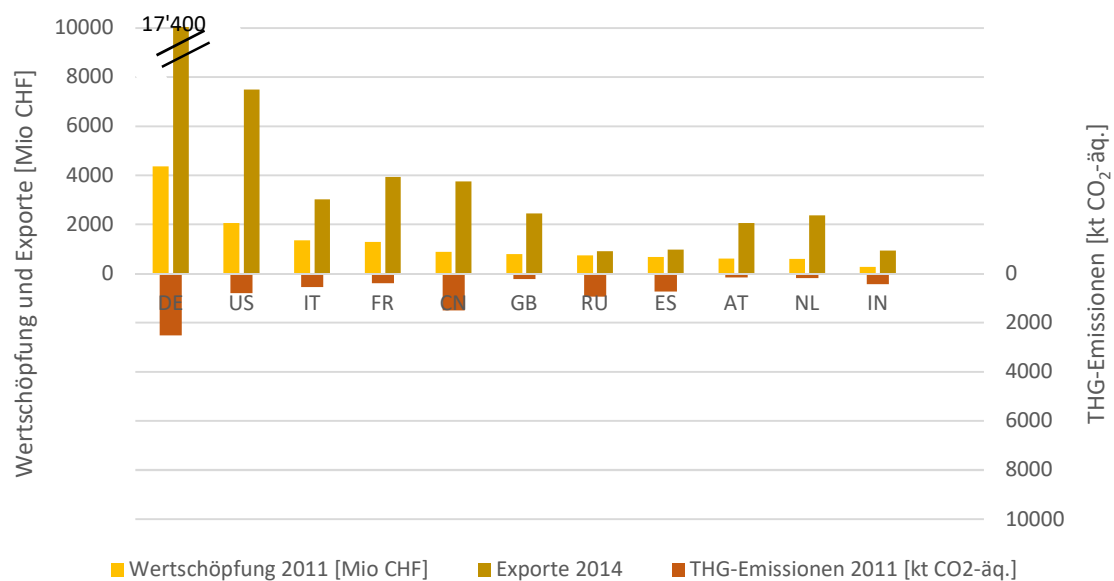


Abbildung 36: Wertschöpfung, Exporte und THG-Emissionen in verschiedenen Ländern der Zulieferkette. Zum Beispiel findet in China wenig Wertschöpfung statt und die THG-Emissionen sind hoch, jedoch werden viele MEM-Produkte nach China exportiert.

8. Weitere Resultate zum Vergleich zu andern Ländern

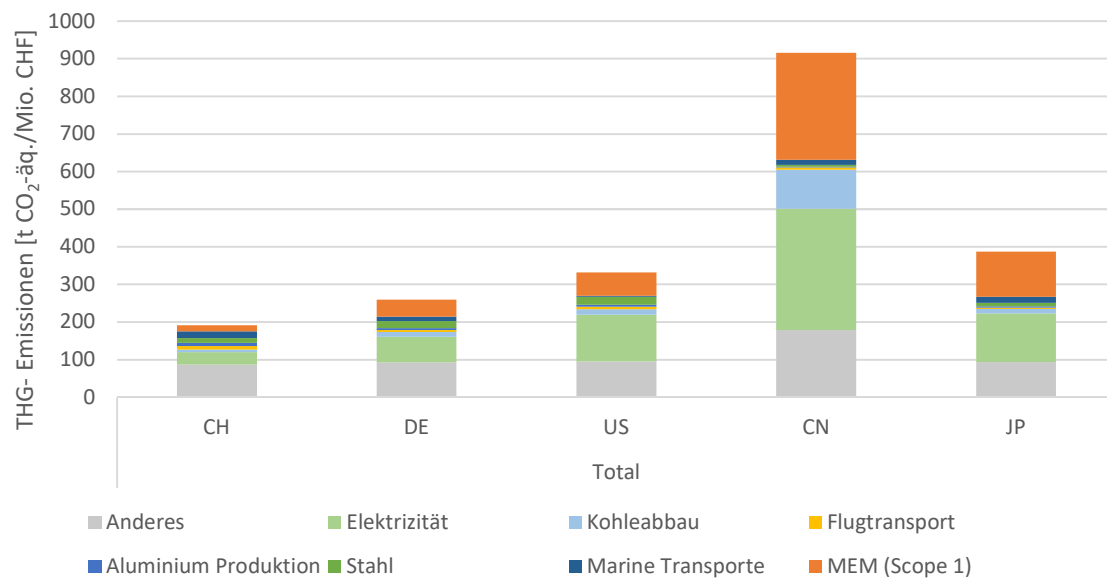


Abbildung 37: Wichtige Sektoren in der Zulieferkette für der MEM-Industrien der Länder Deutschland, USA, China und Japan, welches die vier wichtigsten Maschinenexportländer sind (Swissmem 2017).

9. Aufschlüsselung nach Warengruppen

Mit der Methode, welche zur Validierung verwendet wurde, lassen sich die fünf Sektoren nach Warengruppe aufschlüsseln und die Anteile der Umweltwirkungen können auf Ebene der Warengruppen dargestellt werden. Da jeweils nur eine limitierte Anzahl Lebenszyklusinventare zu den einzelnen Warengruppe verknüpft wurde, sind die Resultate mit grossen Unsicherheiten behaftet und sollten nur als Grobabschätzung verstanden werden. Weiter waren für einige Waren keine passenden Inventare verfügbar und grobe Annäherungen wurden gewählt. Bei der Betrachtung der gesamten MEM-Industrie oder der einzelnen Sektoren werden diese Unsicherheiten weniger wichtig. Weiter wird der Fahrzeug-Sektor nicht aufgezeigt, da die Datengrundlage für den Fahrzeug-Sektor nicht für eine solche Aufschlüsselung geeignet ist (grosser Anteil Occasionen, grobe Gruppierung in der Zollstatistik).

Abbildung 38 zeigt die THG-Emissionen vom Metall-Sektor aufgeschlüsselt pro Warengruppe. Dabei handelt es sich nicht um die Warengruppen der Zollstatistik, da der Metall-Sektor separat modelliert wurde: Für den Metall-Sektor wurden Abschätzungen des Produktionsvolumen für Stahl, Aluminium und Kupfer anderen Statistiken entnommen, in einem weiteren Schritt abgeschätzt wie viele andere MEM-Produkte aus Stahl, Aluminium und Kupfer hergestellt wurden (siehe Anhang 1).

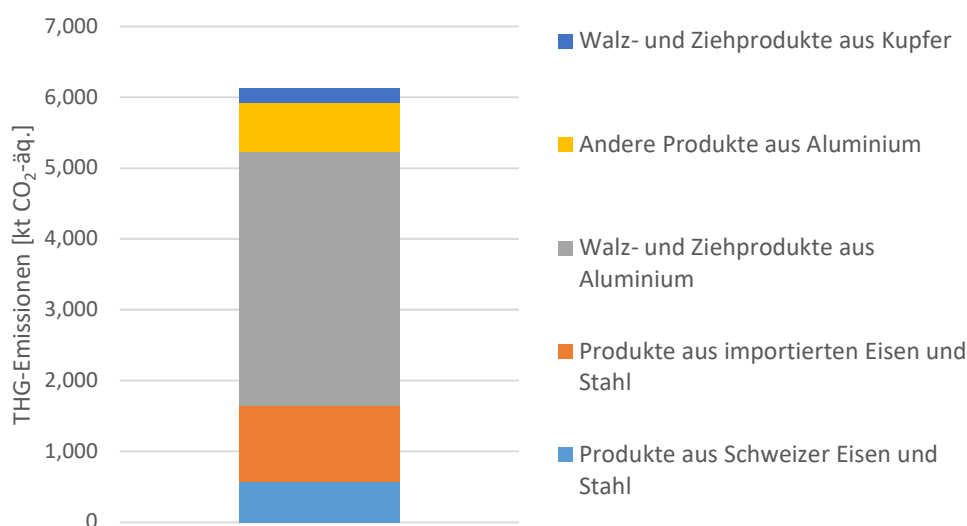


Abbildung 38: THG-Emissionen des Metall-Sektors unterteilt in Warengruppen.

Aluminium dominiert bezüglich Umweltwirkung zum Klimawandel. Dies ist auf die hohe CO₂-Intensität der primären Aluminiumproduktion zurückzuführen. Bei ca. 77% des in der Schweiz verarbeiteten Aluminiums handelt es sich um primäres Aluminium (Abschätzung über Anteile an primär und sekundär produziertem Aluminium in den Herkunftsländern des in die Schweiz importierten Aluminiums). Recycling Aluminium weist eine deutlich bessere Klimabilanz aus, da nur ein Bruchteil der Energie für die Herstellung benötigt wird. In den zwei Schweizer Stahlwerken werden ausschliesslich Recycling-Stahl produziert. Dies wirkt sich positiv auf die Umweltbelastung dieser Warengruppen aus - den auch bei Stahl ist die Umweltwirkung von primären Stahl massiv höher als diejenige sekundär produzierten Stahles.

Abbildung 39 zeigt die THG-Emissionen der Herstellung inklusive Zulieferkette für Warengruppen des Maschinenbau-Sektors, wobei die Werkzeugmaschinen mit einem Anteil von knapp 14% dominieren. Der Produktionswert beläuft auf 3'000 Mio CHF (10% des Maschinenbau-Sektors) und die Produktionstonnage

110 kt (15% des Maschinenbau-Sektors). An zweiter Stelle folgen Wärme- und Kältetechnik, diese Gruppe beinhaltet Apparate der Luft-, Klima- und Kältetechnik, Industrieöfen, Apparate der Wärme- und Kältetechnik, wie Destillier-, Verdampf-, Trocknungs-, Röstapparate usw.

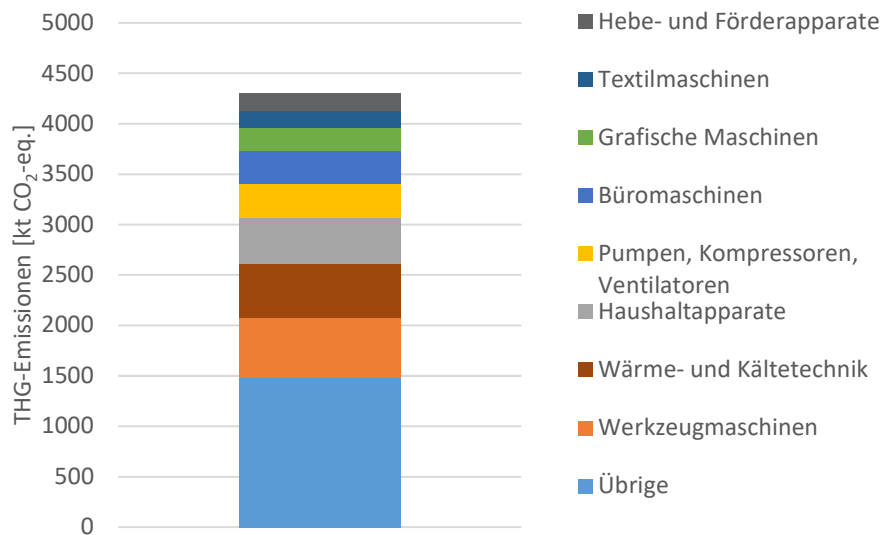


Abbildung 39: THG-Emissionen des Maschinenbau-Sektors unterteilt in Warengruppen

Abbildung 40 zeigt die Umweltbelastung von den einzelnen Warengruppen des Elektrotechnik-Sektors. Die Resultate sind mit grossen Unsicherheiten behaftet, da die verknüpften ecoinvent v3.3-Inventare zum Teil grobe Annäherungen an die eigentlichen Produkte sind.

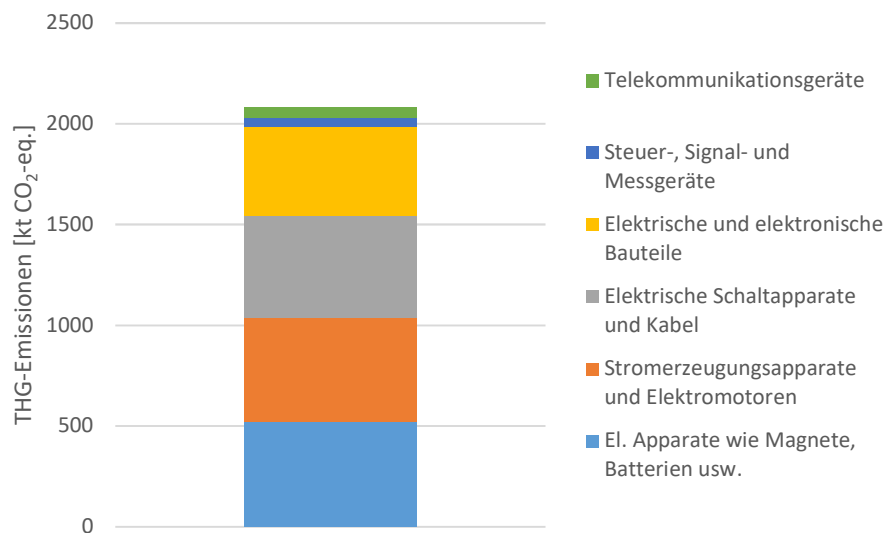


Abbildung 40: THG-Emissionen des Elektrotechnik-Sektors unterteilt in Warengruppen.

Abbildung 41 zeigt die THG-Emissionen für den Präzisions-Sektor. Da für den Präzisions-Sektor keine ecoinvent v3.3-Inventare verknüpft wurden, sind hier Werte von Exiobase gezeigt. Dafür wurde die von Exiobase extrahiert. Die THG-Emissionen der einzelnen Warengruppen wurden mit der durchschnittliche CO₂-Intensität des Präzisions-Sektors (extrahiert von Exiobase) und dem Produktions-Wert der jeweiligen Warengruppen multipliziert. Die unterliegende Annahme dabei ist, dass je teurer ein Produkt ist, desto höher ist die Umweltbelastung für die Produktion. Tendenziell kann angenommen werden, dass die Herstellung von teure Produkte einen höheren Materialbedarf und Energiebedarf hat.

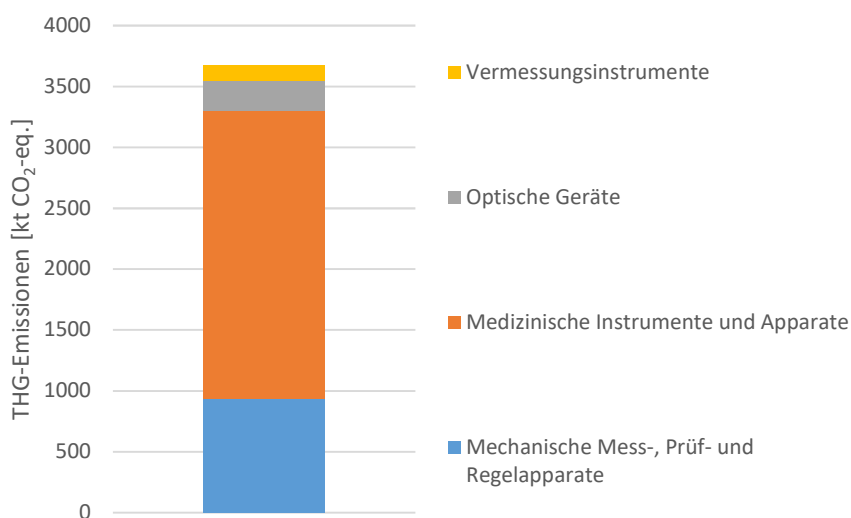


Abbildung 41: THG-Emissionen des Präzisionsinstrumente-Sektors unterteilt in Warengruppen.

10. Weiter Wirkungsindikatoren

In der Lebenszyklusdatenbank ecoinvent v3.3 sind verschiedene Wirkungsindikatoren hinterlegt. Die Umweltwirkung kann dadurch mit anderen Wirkungsindikatoren quantifiziert werden. Für den Präzisions-Sektor ist keine Quantifizierung möglich, da keine Verknüpfung zu Lebenszyklusdatenbank vorgenommen werden konnte. In Abbildung 42 ist die Umweltwirkung ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten aufgezeigt.

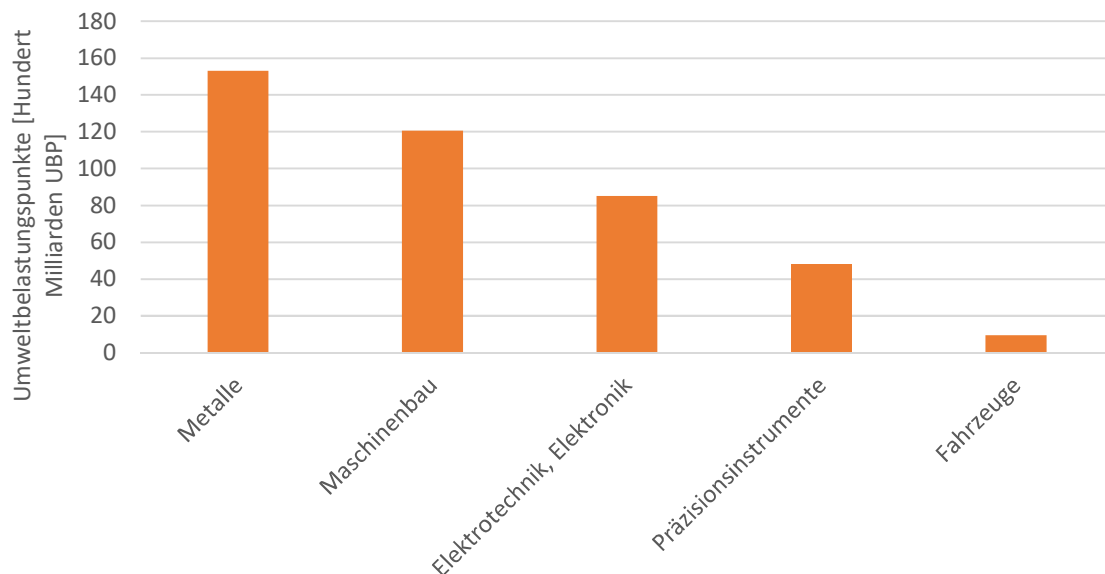


Abbildung 42: Umweltbelastungspunkte der MEM-Sektoren. Die Umweltbelastungspunkte des Sektors Präzisionsinstrumente können nicht quantifiziert werden, da keine Verknüpfung zu ecoinvent erstellt wurden.

In Abbildung 43 ist die Umweltwirkung in USEtox aufgezeigt. USEtox ist ein Modell, mit welchem die toxischen Wirkungen von Chemikalien auf Mensch und Ökosystem quantifiziert werden. Diese werden in «comparative toxic units» (CTUs) ausgedrückt. Toxische Emissionen haben unterschiedliche Auswirkungen auf Ökosysteme und Menschen und werden deshalb individuell nach Schadstoff und Emissionskompartiment (Wasser, Luft, Boden) bezüglich ihrer Öko- und Humantoxizität bewertet. Für die Ökotoxizität sind Zink- und Kupferemissionen die wichtigsten Emissionen. Bei der Gesamtbetrachtung der Humantoxizität sind Zink- und Arsenemissionen wichtig. Beim Metallsektor spielen Quecksilber-Emissionen in die Atmosphäre eine wichtige Rolle: Quecksilber ist sehr toxisch für die menschliche Gesundheit und in der Eisen- und Stahlproduktion (Verbrennung von Kohle) werden grosse Mengen davon in die Atmosphäre emittiert.

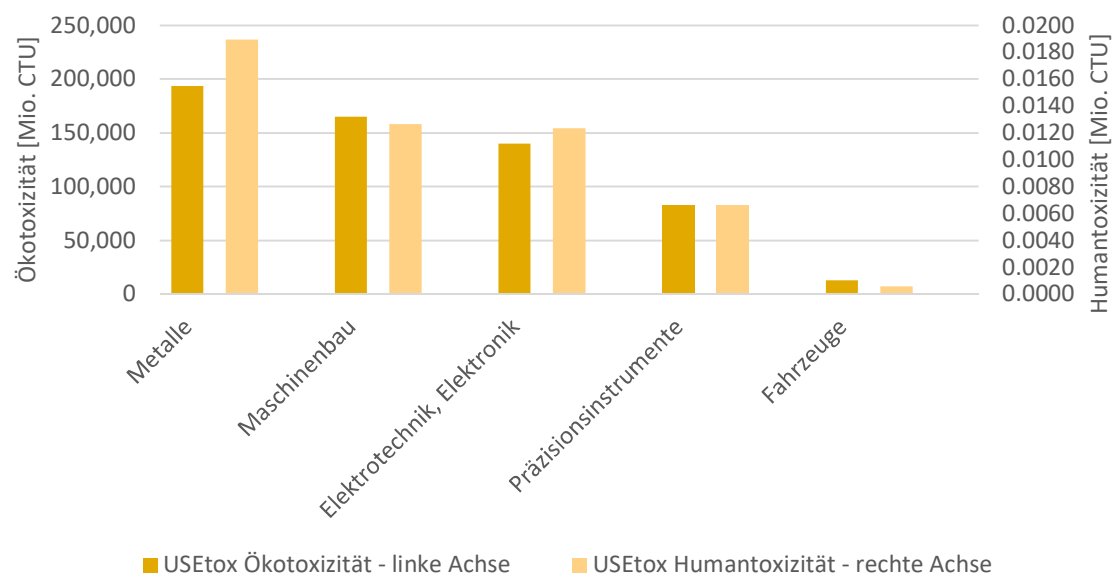


Abbildung 43: Human- und Ökotoxizität der MEM-Sektoren. Die Toxizitätsauswirkungen des Präzisionsinstrumente-Sektors können nicht quantifiziert werden, da keine Verknüpfung zu ecoinvent erstellt wurden.

11. Nutzungsphase

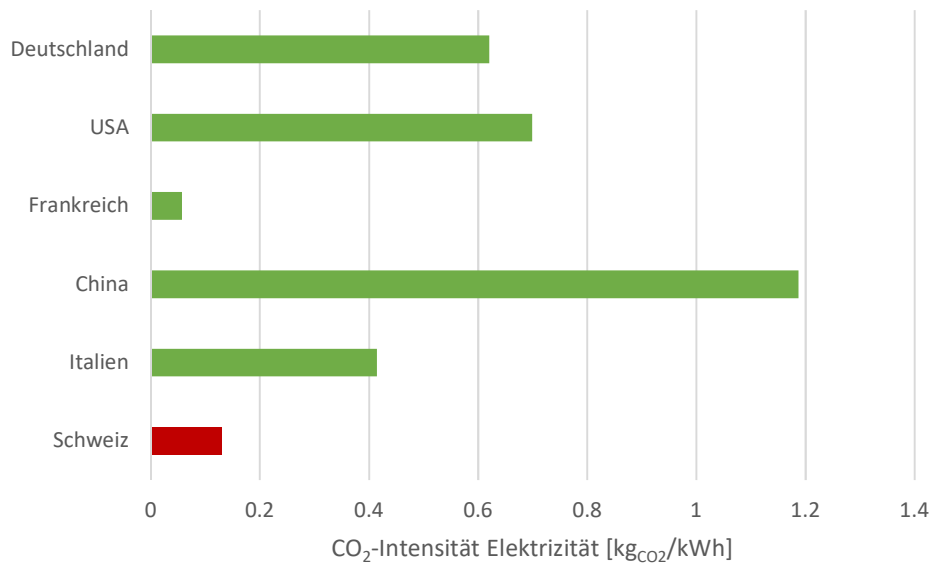


Abbildung 44: CO₂-Intensitäten der Elektrizität aus unterschiedlichen Ländern.

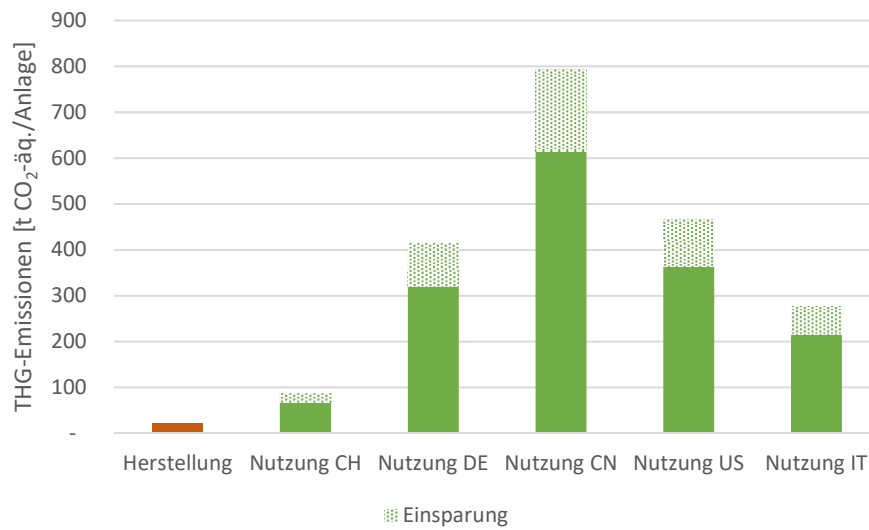


Abbildung 45: THG-Reduktionspotential von Werkzeugmaschinen gemäss der Fallstudie zu Werkzeugmaschinen (Abschnitt 4.3) in der Nutzungsphase in verschiedenen Ländern.