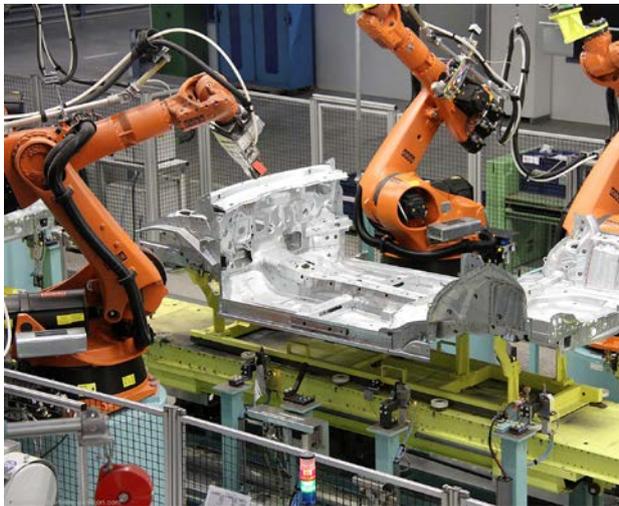


Schlussbericht, 07. Oktober 2015

Potentialanalyse Rotierende Maschinen und Förderanlagen



Autoren

Rolf Tieben, Impact Energy, Zürich, Projektleiter

Conrad U. Brunner, Impact Energy, Zürich

Rolf Gloor, Gloor Engineering, Sufers

Jürg Nipkow, Arena, Zürich

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Adresse

Impact Energy AG, Gessnerallee 38a, 8001 Zürich

Tel. 044 226 30 70, info@impact-energy.ch, www.impact-energy.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung.....	5
2.	Ausgangslage.....	5
2.1.	Auftrag.....	5
2.2.	Hintergrund.....	6
2.3.	Aufgaben.....	7
2.4.	Abgrenzung.....	8
2.5.	Kenntnisstand Schweiz.....	8
3.	Untersuchungsgegenstand.....	11
3.1.	Förderanlagen.....	12
3.2.	Rotierende Maschinen.....	12
4.	Methode und Datenzugang.....	13
4.1.	Top down und Bottom up.....	13
4.2.	Statistik Schweiz.....	14
4.3.	Verbände und einzelne Firmen.....	14
4.4.	Datengrundlage Roboter.....	14
4.5.	Effizienzpotential.....	15
5.	Resultate.....	15
5.1.	Top down.....	15
5.2.	Bottom up.....	17
5.3.	Mögliche Umsetzungspartner.....	20
6.	Ergebnisse.....	20
7.	Anhang: Detailtabellen.....	21

Abbildungen

Abbildung 1	Geschätzter Anteil des Elektrizitätsverbrauchs der wichtigsten Anwendungen in der Industrie (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Daten: Anibal de Almeida, Ecodesign Lot 30, 2013).....	6
Abbildung 2	Beispiele: Förder- und Verpackungsanlage, Industrierwalze, Aufzugsantrieb und Werkzeugmaschine (Quelle: Topmotors 2012-2015).....	7
Abbildung 3	Industriesektor: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Abbildung 4-10, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014).....	9
Abbildung 4	Dienstleistungssektor und Landwirtschaft: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Abbildung 4-6, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014).....	10
Abbildung 5	Elektrizitätsverbrauch nach Anwendungen (Quelle: S.A.F.E./J. Nipkow, 2013) ...	11
Abbildung 6	Energieverbrauch nach Anwendung, Basis 4'142 Antriebssysteme (Quelle: Topmotors/Easy, 2014).....	11
Abbildung 7	Schema Abgrenzung.....	12

Abbildung 8	Anteil elektrische Motoren am gesamten Endverbrauch Elektrizität (2013), (Quelle: Impact Energy, 2015)	16
Abbildung 9	Ist-Verbrauch nach Branchen Datengrundlage: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, (Quelle: Helbling, 2013).....	17
Abbildung 10	Anteil der drei Techniken an der elektrischen Energieeinsparung Datengrundlage: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor (Helbling, 2013).	18

Tabellen

Tabelle 1	Industriesektor: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Tabelle 4-15, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014).....	9
Tabelle 2	Dienstleistungssektor und Landwirtschaft: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Tabelle 4-12, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014).....	10
Tabelle 3	Einteilung in Haupt- und Unterkategorien.....	13
Tabelle 4	Summe Energieverbrauch der untersuchten elektrischen Anwendungen von Antriebssystemen.....	16
Tabelle 5	Abschätzung rotierende Maschinen und Förderanlagen (rot) aufgrund der Easy-Untersuchung an 4'142 Antriebssystemen, (Quelle: Topmotors, Easy 2014).....	16
Tabelle 6	Hauptkategorien: Rotierende Maschinen und Förderanlagen (alle Maschinen)	18
Tabelle 7	Hauptkategorien: Rotierende Maschinen und Förderanlagen (ohne Kleinmaschinen)	18
Tabelle 8	Hauptkategorien: Effizienzpotential und Verbesserungsmöglichkeiten (ohne Kleinmaschinen)	19
Tabelle 9	Unterkategorien: Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotential (ohne Kleinmaschinen)	19
Tabelle 10	Haupt- und Unterkategorien: Prozesse, Stückzahlen und Ist-Verbrauch ...	21
Tabelle 11	Alle Haupt- und Unterkategorien: Energieeinsparungen und Massnahmen	22
Tabelle 12	Alle Haupt- und Unterkategorien: Zuordnung zu den Branchen	23

1. Zusammenfassung

Im Auftrag des BFE hat Impact Energy untersucht, wieviel elektrische Energie in rotierenden Maschinen und Förderanlagen in der Industrie in der Schweiz verbraucht wird und wieviel davon durch technische Verbesserungen eingespart werden kann. Da dieser Themenbereich für Antriebe in der Industrie, im Gegensatz zu Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren für Kälte und Druckluft bisher am schlechtesten untersucht worden war, ist eine Top down und eine Bottom up Schätzung für die drei hauptsächlichlichen Anwendungsbereiche erstellt worden:

- Fertigungstechnik
- Verfahrenstechnik
- Fördertechnik.

Die Daten wurden aufgrund von statistischen Untersuchungen, Publikationen von Industrieverbänden und Befragungen von wichtigen Verbänden und Unternehmen ermittelt. Zudem konnte das Projektteam auch aufgrund eigener Projekterfahrung und systematischer Auswertung von 4'142 Anlagen die entsprechenden Kenntnisse und Beurteilungen für die Abschätzung aufbringen.

Die heute teilweise sehr komplexen Maschinen (sogenannte Bearbeitungszentren) umfassen oft einen Hauptantrieb und mehrere Nebenantriebe und weitere Energieformen: Zur Abgrenzung wurde nach Abbildung 7 verfahren und der gesamte elektrische Verbrauch ermittelt. Davon wurde der durch elektrische Antriebe konsumierte Anteil abgeschätzt. Die extern zugeführte Prozesswärme, -kälte und Druckluft wurden in der Bilanz hier nicht berücksichtigt.

Insgesamt laufen heute rund 1 Million rotierende Maschinen und Förderanlagen in der Schweiz, die für einen elektrischen Energieverbrauch von rund 4 TWh/a verantwortlich sind, wovon 3.2 TWh/a von deren elektrischen Antrieben direkt genutzt wird. Jährlich werden rund 56'000 neue Maschinen in Betrieb gesetzt. Das technisch mögliche und wirtschaftliche Potential dieser Maschinen wird mittelfristig auf rund 1 TWh/a geschätzt. Es umfasst in der Reihenfolge der Bedeutung:

- Einsatz neuer, hocheffizienter und richtig dimensionierter Motoren.
- Technologische Verbesserungen am Prozess und an der Integration der verschiedenen Komponenten, inklusive Einsatz von Frequenzumrichter und Steuerung.
- Stand-by Verluste eliminieren.
- Betrieb ohne Nutzen (BoN) durch bessere Regelung und Überwachung verringern.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass in diesem Themenbereich und insbesondere auch in der Fördertechnik durch den Einsatz moderner und effizienterer Technik ein beachtliches Effizienzpotential vorhanden ist.

Zusätzlich sind auch rund 30 Millionen Handmaschinen (Bohrmaschinen, Kreissägen, Mixer, etc.) sowie Stellantriebe (Türen, Ventile, etc.) im Einsatz. Ihre energetische Bedeutung ist gering.

2. Ausgangslage

2.1. Auftrag

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat Impact Energy AG angefragt, eine Potentialanalyse von Rotierenden Maschinen und Förderanlagen zu erstellen. In diesem Bereich sind in der Schweiz weder Ist-Zustand der Verkäufe, Bestandszahlen, noch Energieverbrauchsschätzungen bekannt.

2.2. Hintergrund

Aufgrund der Untersuchungen im europäischen Ecodesign-Bereich Lot 5 „Machine Tools and Related Machinery“ sind in einem Teilbereich der Fragestellung bereits Unterlagen^{1 2} vorhanden. Hier die verwendete Definition der Machine Tools (deutsch: Werkzeugmaschinen):

“A machine tool is a stationary or transportable assembly, which is neither portable by hand nor mobile, and which is dependent on energy input (such as electricity from the grid or stand-alone / back-up power sources, hydraulic or pneumatic power supply, but not solely manually operated) when in operation, and consists of linked parts or components, at least one of which moves, and which are joined together for a specific application, which is the geometric shaping of workpieces made of arbitrary materials using appropriate tools and forming, cutting, physico-chemical processing or joining technologies, the use of which results in a product of defined reproducible geometry, and intended for professional use.”

Diese Machine Tools decken aber nur einen Teil der rotierenden Maschinen ab. Nach unterschiedlichen Schätzungen machen die Rotierenden Maschinen und Förderanlagen insgesamt etwa 20% bis 30% des elektrischen Energieverbrauchs in der Industrie und vermutlich etwas weniger im Dienstleistungssektor aus (siehe Abbildungen 1 und 2).

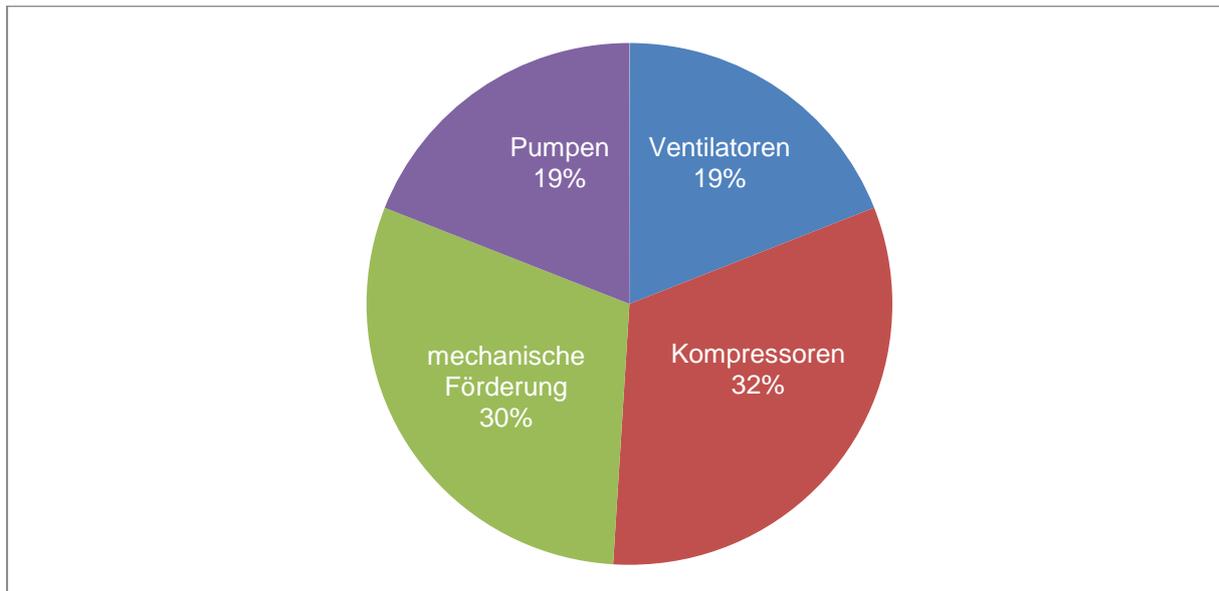


Abbildung 1 Geschätzter Anteil des Elektrizitätsverbrauchs der wichtigsten Anwendungen in der Industrie (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Daten: Anibal de Almeida, Ecodesign Lot 30, 2013)

¹ Fraunhofer: Energy-Using Product Group Analysis – Lot 5: Machine Tools and Related Machinery; Executive Summary, Berlin, 2012

² European Association of the Machine Tool Industries (CECIMO): Concept Description for CWCIMO-Self-Regulatory Initiative, Brussels, 2011



Abbildung 2 Beispiele: Förder- und Verpackungsanlage, Industrierwalze, Aufzugsantrieb und Werkzeugmaschine (Quelle: Topmotors 2012-2015)

2.3. Aufgaben

Folgende Aufgaben stehen für diese Potentialuntersuchung im Vordergrund:

- Typologie: Definition und Klassierung der Kategorien
- Quantifizierung des Bestandes und des jährlichen Verkaufs von wichtigen Maschinentypen in der Schweiz
- Beschreibung ihrer typischen energetischen Eigenschaften (installierte Leistung, jährliche Betriebsstunden, elektrischer Energieverbrauch)
- Beurteilung der energetischen Effizienz der Maschinen im Bestand
- Abschätzung des Effizienzpotentials durch den Einsatz verbesserter Maschinen
- Abschätzung des Effizienzpotentials durch alternative Technologien/Prozesse
- Mögliche Massnahmen zur Realisierung des Einsparpotentials
- Mögliche Umsetzungspartner für Massnahmen (z.B. Verbände)

In Ermangelung genauer Bestandserhebungen und definierten energetischen Typologien muss mit groben Näherungsverfahren typische Maschinengruppen erfasst und deren energetische Bedeutung abgeschätzt werden.

2.4. Abgrenzung

Nicht untersucht werden im Rahmen dieser Potentialanalyse:

- kleinere batteriebetriebene und mobile elektrische Geräte,
- rotierende Maschinen, die mit folgenden Arbeitsmitteln betrieben werden:
 - Hydrauliksysteme (unter Thema Pumpen untersucht)
 - Pneumatische Systeme (unter Thema Druckluft untersucht)
- Baumaschinen (im Freien),
- Mit Verbrennungsmotoren angetriebene Maschinen,
- Maschinen mit linearen Antrieben, Nietmaschinen, Ventile, Schützen, o.ä., (zurzeit vernachlässigbarer Energieverbrauch).

2.5. Kenntnisstand Schweiz

Der gesamte elektrische Energieverbrauch und die sektoriellen Verbrauchsanteile der Elektrizität (Industrie, Dienstleistungen, Haushalt, Verkehr, etc.) sind aufgrund der jährlichen Energie- und Elektrizitätsstatistik des BFE/VSE gut bekannt. Durch Spezialuntersuchungen werden aufgrund von Befragungen (Helbling, et al.³) alljährlich im Industrie- und Dienstleistungssektor Branchenverbräuche ermittelt und auf die Schweiz hochgerechnet.

Am wenigsten gut sind die elektrischen Verbräuche nach Verwendungszweck (BFE/TEP et al. 2014)⁴ bekannt. Diese Zahlen basieren nur auf Modellrechnungen und Schätzungen sowie Branchenmodellen, die für vertiefte Potentialanalysen einzelner Anwendungstechnologien nur bedingt belastbar sind.

Die folgenden Tabellen und Abbildungen zeigen den Industriesektor (Abbildung 3, Tabelle 1) sowie den Dienstleistungssektor und die Landwirtschaft (Abbildung 4, Tabelle 2).

³ Helbling, et al.: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate 2013, Bern 2014

⁴, Prognos, Infrac, TEP Energy: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Verwendungszwecken, Bern 2014

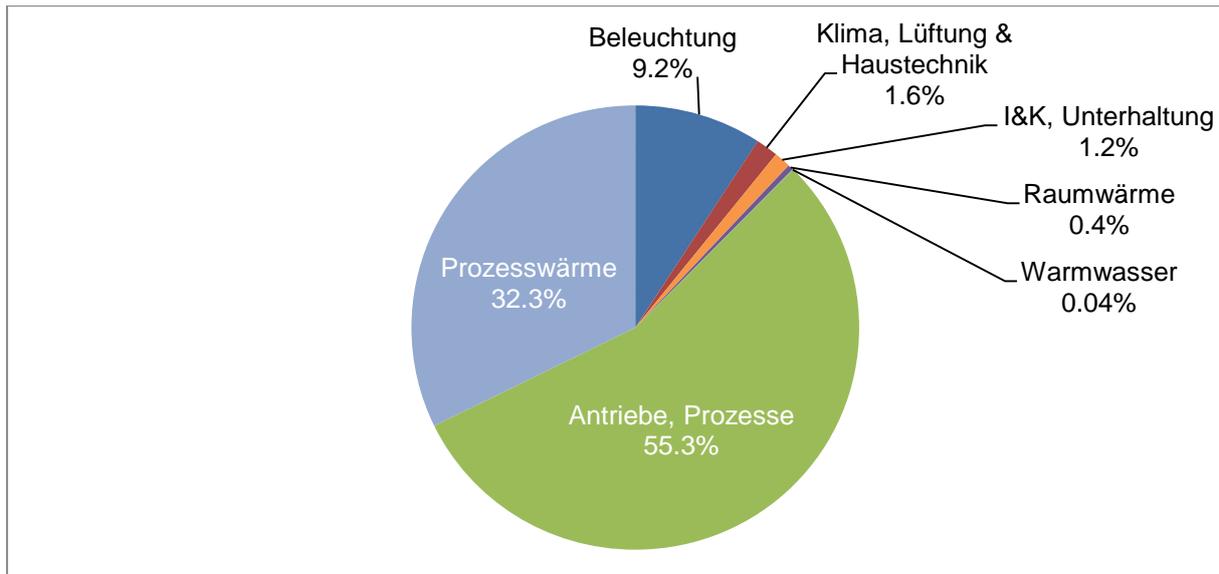


Abbildung 3 Industriesektor: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Abbildung 4-10, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014)

	2000	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Δ '00 - '13
Raumwärme	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	+140.0%
Warmwasser	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	+99.2%
Prozesswärme	22.7	25.1	24.0	20.8	22.4	22.7	22.5	22.4	-1.4%
Beleuchtung	5.3	5.9	6.1	5.8	6.2	6.3	6.3	6.4	+19.8%
Klima, Lüftung, HAT	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	-6.2%
I&K, Unterhaltung	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	+41.3%
Antriebe, Prozesse	36.4	37.3	38.9	37.0	38.1	38.1	37.9	38.2	+5.1%
Total Elektrizitätsverbrauch	66.3	70.4	71.1	65.6	68.9	69.2	68.9	69.2	+4.5%

HAT: Haustechnik

I&K: Informatik und Kommunikation

Tabelle 1 Industriesektor: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Tabelle 4-15, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014)

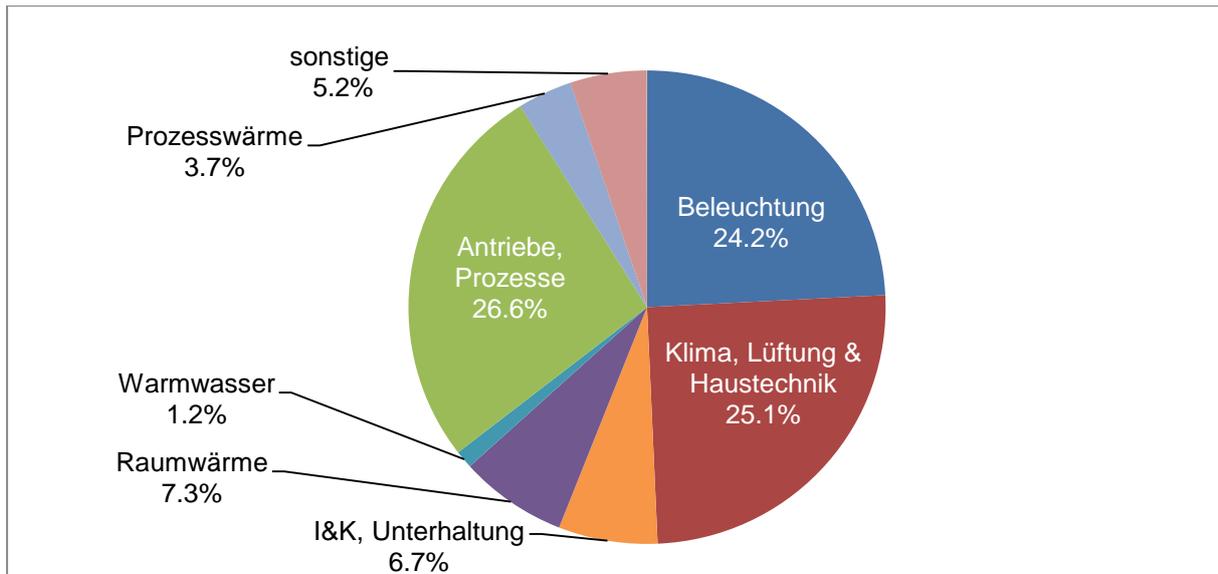


Abbildung 4 Dienstleistungssektor und Landwirtschaft: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Abbildung 4-6, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014)

	2000	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Δ '00 - '13
Raumwärme	3.0	3.3	3.8	3.8	4.3	3.5	4.1	4.5	+50.4%
Warmwasser	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	+2.3%
Prozesswärme	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.4	2.3	2.3	+6.2%
Beleuchtung	13.9	14.5	14.7	14.7	14.8	14.9	14.9	14.9	+7.3%
Klima, Lüftung, HT	13.1	13.6	14.2	14.6	15	14.4	15	15.5	+17.6%
I&K, Unterhaltung	2.6	3.5	3.7	3.8	4	4	4.1	4.2	+58.6%
Antriebe, Prozesse	16.1	16.6	16.7	16.6	16.6	16.4	16.4	16.4	+1.5%
sonstige	2.2	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.2	+47.3%
Total Elektrizitätsverbrauch	53.9	57.5	59.1	59.7	60.9	59.5	60.6	61.7	+14.5%

Tabelle 2 Dienstleistungssektor und Landwirtschaft: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken, in PJ (Quelle: Impact Energy, 2015, basierend auf Tabelle 4-12, in BFE: Prognos, Infrac, TEP, 2014)

Auf technischer Stufe existieren die folgenden beiden Untersuchungen von S.A.F.E. und Easy zu den einzelnen Anwendungen rotierender Maschinen.

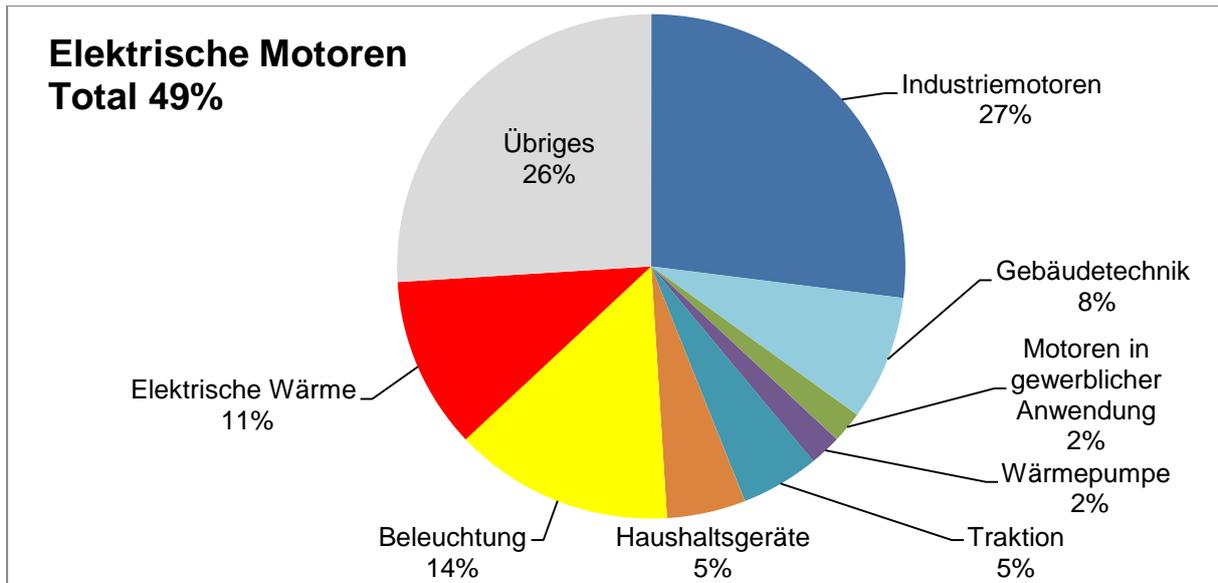


Abbildung 5 **Elektrizitätsverbrauch nach Anwendungen**
(Quelle: S.A.F.E./J. Nipkow, 2013)

Bei Easy ergaben sich aufgrund der 4'142 untersuchten Maschinen ein Anteil von 22% für Transportanlagen, mechanische Verarbeitung und Sonstige (siehe Abbildung 5).

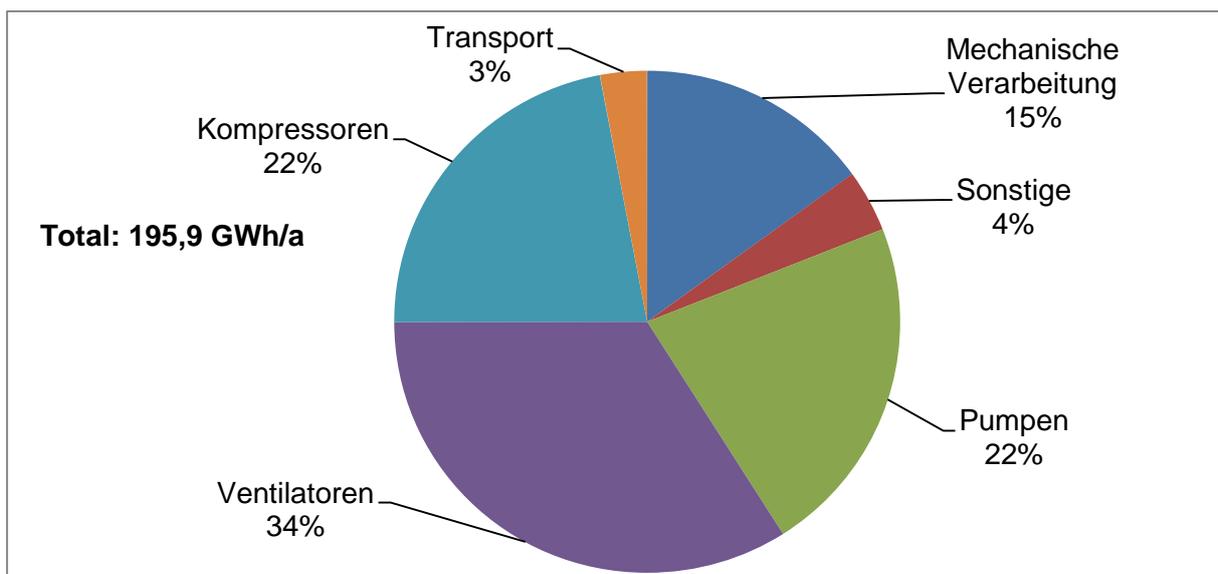


Abbildung 6 **Energieverbrauch nach Anwendung, Basis 4'142 Antriebssysteme**
(Quelle: Topmotors/Easy, 2014)

3. Untersuchungsgegenstand

In dieser Potentialanalyse sollen hauptsächlich stationäre, mit Elektromotoren angetriebene rotierende Maschinen und Förderanlagen untersucht werden. Die Maschinen bestehen teilweise aus einem Haupt- und diversen Nebenantrieben oder wie in der Robotik aus einer Vielzahl von Direktantriebsmotoren. Zudem werden Steuer- und Regelgeräte eingesetzt, die ebenfalls für ihre Eigenverluste Elektrizität benötigen.

Die meisten dieser rotierenden Maschinen werden bei der Industrie und im Gewerbe eingesetzt, die Personenförderanlagen zudem auch im Dienstleistungs- und Wohnungssektor.

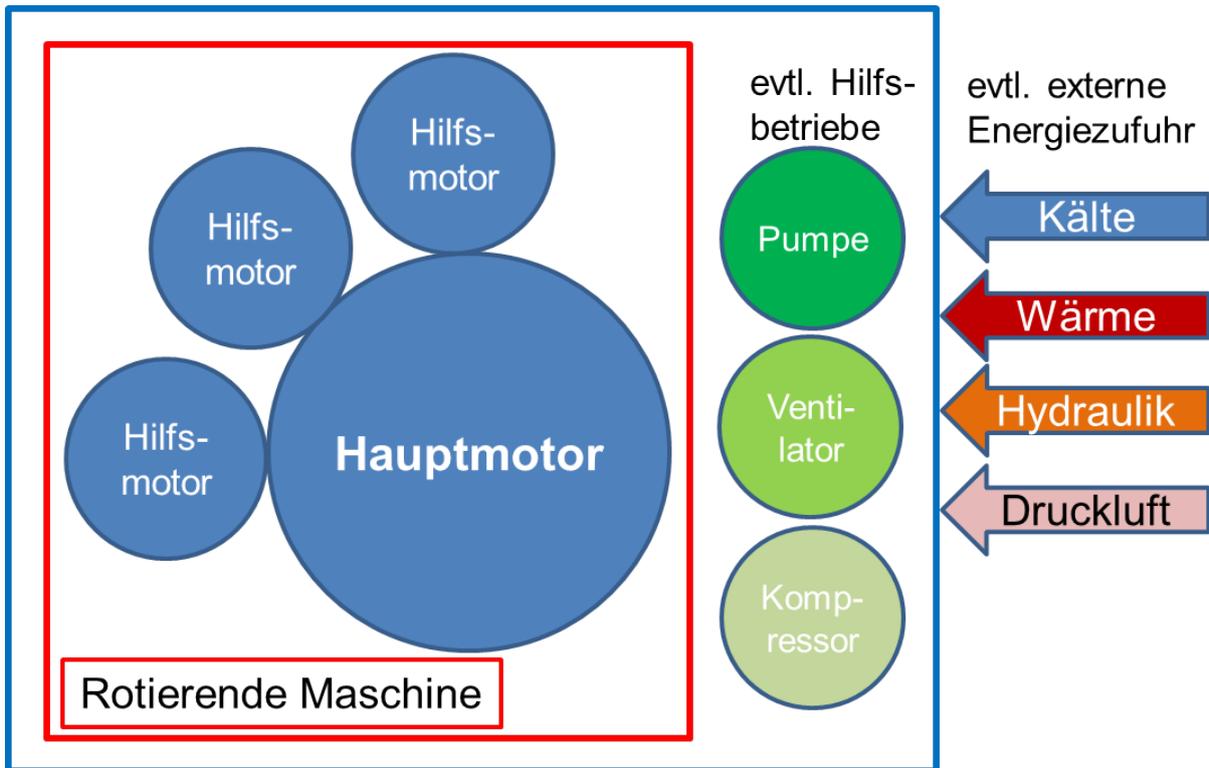


Abbildung 7 Schema Abgrenzung

3.1. Förderanlagen

Für die Berechnung der Personenförderanlagen (Aufzüge und Fahrtreppen) verwenden wir die gut dokumentierten Unterlagen des Verbandes Schweizerischer Aufzugsunternehmen (VSA) sowie Angaben der Firma Schindler.

3.2. Rotierende Maschinen

Bei den Rotierenden Maschinen (ohne Pumpen/Ventilatoren/Kompressoren) unterscheiden wir die folgenden drei Hauptkategorien:

- Fertigungstechnik Veränderung der **Geometrie** eines Werkstückes
- Verfahrenstechnik Veränderung der **Eigenschaften** eines Werkstückes
(nicht nur Geometrie)
- Fördertechnik Veränderung der **Position** eines Werkstückes

In Tabelle 3 werden diese drei Hauptkategorien in 10 Unterkategorien weiter unterteilt. Dabei sind Roboter unter Fertigungstechnik bei **Fügen: Handling** eingeordnet. Beim **Prozess Handling** sind die "universellen" Industrieroboter untergebracht. Bei den Prozessen **Montieren** und **Verpacken** handelt es sich um Maschinen für spezifische Aufgabenstellungen.

Für alle Unterkategorien wurde versucht, eine Bestandesaufnahme zu machen, hinsichtlich:

- Anzahl heute im Betrieb befindenden Maschinen
- Mittlere Lebensdauer dieser Maschinen

- Jährlicher Verkauf neuer Maschinen
- Mittlere bezogene elektrische Leistung
- Mittlere jährliche Betriebsstundenzahl.

Daraus wurde der Ist-Verbrauch elektrischer Energie abgeschätzt. Zudem wurde der Versuch unternommen, den Unterkategorien ein typisches Effizienzpotential zuzuordnen und somit die gesamte Einsparung zu berechnen.

Prozesszweck	Prozessart	Prozess	Beispiele	
Fertigungstechnik (Veränderung der Geometrie)	Urformen	Giessen, Formen	Spritzgussmaschine	
	Trennen	Werkzeugmaschinen	Bearbeitungszentren	
		Spanabheben	Fräsen, Bohren, Drehen	
		Schleifen, Polieren	Trennscheibe, Kernbohren	
		Stanzen, Schneiden	Locher, Schere	
		Umformen	Biegen	Blechbearbeitung, Falzen
	Umformen	Walzen	Blech-, Profilherstellung	
		Pressen	Formpresse, Prägen	
	Beschichten	Oberflächenbehandlung	Lackieren, Drucken	
	Fügen	Einpressen	Nieten, Nageln, Crimpen	
		Montieren	Industrieroboter	
			Bestückung, Weben	
Verpacken		Kuvertiermaschine		
Verfahrenstechnik (Veränderung der Eigenschaften)	Trennen	Zerkleinern	Mahlen, Hacken, Mixer	
		Entwässern	Zentrifuge, Auspressen	
		Reinigen	Bürsten, Kratzen	
		Sortieren	Rütteln, Sieben	
	Mischen	Umwälzen	Mischtrommel	
		Rühren	Rührwerk	
		Schütteln	Betonverdichter	
	Bewegen	Kneten	Teigherstellung, Conge	
		Wickeln	Haspel, Spulen	
		Drehen	Auswuchten, Kalibrieren	
	Fördertechnik (Veränderung der Position)	Transport	Personen	Lift, Rolltreppe
			Stückgut	Kran, Band, Lagertechnik
Schüttgut			Förderband, Vibrorinne	
Position		Bauelemente	Türen, Storen	
		Absperrelemente	Klappen, Ventile	

Tabelle 3 Einteilung in Haupt- und Unterkategorien

4. Methode und Datenzugang

4.1. Top down und Bottom up

Der elektrische Energieverbrauch für rotierende Maschinen und Förderanlagen in der Schweiz ist weder direkt noch indirekt statistisch erhoben. Um trotzdem belastbare Verbrauchswerte zu ermitteln, sind zwei Ansätze verwendet worden:

- Top down Berechnung aus dem Elektrizitätsverbrauch der Industrie sowie des Dienstleistungssektors, abzüglich der Verbräuche der bereits geklärten Antriebsthemen Pumpen, Ventilatoren,

Kompressoren und die übrigen Verbräuche für Licht, IKT, Elektrolyse, Galvanik, Prozesswärme, etc.

- Bottom-up Berechnung aus der Summe der Rechercheergebnisse von einzelnen gut definierten Anwendungsgebieten sowie den Auswertungen der 4'142 Easy Antriebssysteme.

Der Vergleich der Summenwerte von Top-down und Bottom-up ergibt eine Bandbreite des mutmasslichen gesamten Verbrauchs. Generell ist die Leerlaufleistung ein guter allgemeiner Anhaltspunkt zur Bestimmung des Elektrizitätsverbrauchs. Die benötigte Leistung einer Maschine ohne Werkstück sollte bei energieeffizienten Maschinen weniger als 10% der Leistung unter Volllast sein.

4.2. Statistik Schweiz

Als Datenlieferanten standen auf Bundesebene im Wesentlichen zur Verfügung:

- Elektrizitätsstatistik 2014, Bern 2015: für den gesamten Industrieverbrauch,
- Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Helbling et al., Resultate 2013, Bern 2014: für den Industrie- und Dienstleistungsverbrauch, hochgerechnet aus Erhebung,
- Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Verwendungszwecken, BFE: Prognos, Infras, TEP, Bern 2014, Daten für Antriebssysteme,
- Energieperspektiven bis 2050, BFE/Prognos, 2012 Bern; Daten für Antriebe und Prozesse sowie Haustechnik,
- Ex-post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Bestimmungsfaktoren, BFE: Prognos, Infras, TEP, Bern 2014

4.3. Verbände und einzelne Firmen

Als Datenlieferanten standen auf Firmen- und Verbandsebene im Wesentlichen zur Verfügung:

- Swiss Technology Network (nur Internet-Infos),
- "Wer Liefert Was?" (nur Internet-Infos)
- Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V., Frankfurt am Main
- Schindler Aufzüge AG, Marcel Ackermann, Manager Product Marketing, 6030 Ebikon,
- Matthias Zemp, Berater, Programm für Kies und Betonwerke (ProKiBe), Enerprice Partners AG, 6039 Root.

Zudem wurden Erfahrungen aus etwa 200 energetisch untersuchten Firmen aus der Holzindustrie, Steinverarbeitung, Textilindustrie, Metallverarbeitung, Nahrungsmittel, Chemie, Kunststoffverarbeitung, Abwasserreinigung, Druckereien sowie der Dienstleistungsbranche ausgewertet.

4.4. Datengrundlage Roboter

Obwohl die weiteren Auswertungen zeigen, dass Roboter (netzbetriebene Industrie- und Serviceroboter) heute noch eine geringe energetische Bedeutung haben, sind sie doch möglicherweise für die künftige Entwicklung in verschiedenen Industriezweigen wichtig. Als Datengrundlagen standen dazu folgende Quellen zur Verfügung:

International

- Verbände
 - World Robotics (www.worldrobotics.org)
 - International Federation of Robotics IFR (www.ifr.org)
 - VDMA, Frankfurt
- The Robot Report (www.robotreport.com), Frank Tobe, USA

- Herstellerunterlagen
 - Kuka Roboter GmbH, Deutschland
 - ABB, Bastian Solutions, Denso, Kuka, Siasun, Yaskawa Motoman, Kawasaki, Yaskawa and Teledyne (Liste gemäss Robot Report)
- Forschungsinstitute
 - Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA USA

Schweiz

- Swiss Technology Network, Sektion 42 "Robotics und Systeme"
- www.SwissRobotics.net
- Forschung: ETH-Z und EPF-L
- Hersteller (gemäss Robot Report)
 - Staubli, Sargans
 - Gema, St. Gallen
 - EWAB Engineering, Luzern
 - Asic Robotics, Burgdorf
 - Asyrl, Villaz-St. Pierre
 - Gudel Robotics, Langenthal
 - Mabi Robotic, Veltheim
 - Erowa Technology, Buron
 - VelTrue, Feuerthalen
 - IML Robotix, Bülach
 - ABB, Zürich

4.5. Effizienzpotential

Das Effizienzpotential wurde aufgrund der Maschinenkonfiguration abgeschätzt, wobei technische und betriebliche Verbesserungsmöglichkeiten im Vordergrund stehen, die innert der technischen Nutzungsdauer der entsprechenden Maschinen bei heutigen Energiepreisen und Kapitalkosten wirtschaftlich sind.

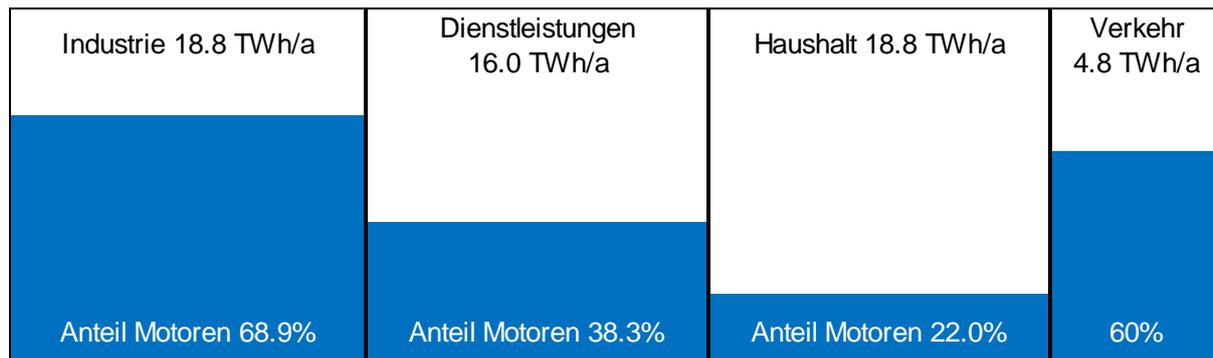
Das Einsparpotential aller Maschinen wurde auf eine der vier Effizienzmöglichkeiten hin untersucht:

- Einsatz neuer, hocheffizienter und richtig dimensionierter Motoren.
- Technologische Verbesserungen am Prozess und an der Integration der verschiedenen Komponenten, inklusive Einsatz von Frequenzumrichtern und Steuerung.
- Stand-by Verluste eliminieren.
- Betrieb ohne Nutzen (BoN) durch bessere Regelung und Überwachung verringern.

5. Resultate

5.1. Top down

Die Schweiz hat im Jahr 2013 total 59.3 TWh/a (2014 total 57.5 TWh/a) elektrische Endenergie verbraucht, wovon 18.8 TWh/a auf die Industrie und das verarbeitende Gewerbe anfielen. Die grösste Zahl der Anwendungen von rotierenden Maschinen und Förderanlagen befindet sich im Industriebereich, eine kleinere Zahl zusätzlich für Aufzugsanlagen und Fahrtreppen im Dienstleistungssektor und bei grösseren Mehrfamilienhäusern.



Elektrizität Endverbrauch 59.3 TWh/a, 2013 (100%) Anteil Motoren 26.1 TWh/a (44%)

Abbildung 8 Anteil elektrische Motoren am gesamten Endverbrauch Elektrizität (2013), (Quelle: Impact Energy, 2015)

Anteile der untersuchten Gebiete der elektrischen Antriebssysteme:

Anwendungen	Jahr	TWh/a	Quelle	Bemerkung
Pumpen	2012	4.8	Topmotors, MB 23	total Nassläufer und Industrie
Luftförderung	2012	7.5	Topmotors, MB 24	
Druckluftsysteme	2014	1.1	BFE / Druckluftkampagne	
Kältesysteme	2012	4.5	BFE / SVK; Kältekampagne	Industrie + Gewerbe + Klima.
Total		17.9		

Tabelle 4 Summe Energieverbrauch der untersuchten elektrischen Anwendungen von Antriebssystemen

Der gesamte elektrischen Energieverbrauch für Antriebssysteme beträgt gemäss Abbildung 8 rund 26 TWh/a (wobei 2.9 TWh/a auf den Verkehrsbereich entfallen, der in den übrigen Untersuchungen separat behandelt wird). Von den daraus verbleibenden rund 23 TWh/a sind rund 18 TWh/a bereits gemäss Tabelle 4 zugeordnet. Die Restgrösse beträgt also rund 5 TWh/a.

Aufgrund der Easy-Untersuchungen an 4'142 Antriebssystemen wurde ein Anteil von rund 5 TWh/a für rotierende Maschinen und Förderanlagen im Industrie- und Dienstleistungssektor geschätzt (siehe Tabelle 5). Die Beschäftigtenzahlen von 9 Industrie-, 3 Dienstleistungsbranchen sowie dem Haushaltbereich (Aufzüge in Büro-, Verwaltungsgebäuden und Mehrfamilienhäusern) wurden ausgewertet (siehe Tabelle 12), um eine Zuordnung der Beschäftigten und der Betriebe zu den Branchen und zu den drei Hauptkategorien Verfahrens-, Fertigungs- und Fördertechnik zu erzielen.

Auswertung Easy	Industrie		Dienstleistung (Schätzung)		Industrie und Dienstleistung	
	Anteil (%)	TWh/a	Anteil (%)	TWh/a		
4'144 Antriebssysteme						
Pumpen	22%	4.1	10%	1.6	5.7	inkl. Hydraulik
Ventilatoren	34%	6.4	10%	1.6	8.0	inkl. Druckgebläse
Kompressoren Kälte/Druckluft	22%	4.1	10%	1.6	5.7	inkl. WP
Transport	3%	0.6	10%	1.6	2.2	Lifts, Rolltreppen, Förderbänder, Hochregal
Mechanische Verarbeitung	15%	2.8	0%	0.0	2.8	
Informatik/Kommunikation	2%	0.4	25%	4.0	4.4	
Licht	2%	0.4	30%	4.8	5.2	
Rest	0%	0.0	5%	0.8	0.8	inkl. Elektrolyse
Total	100%	18.8	100%	16.0	34.8	
Mech. Verarb. und Transp.	18.0%	3.4	10.0%	1.6	5.0	

Tabelle 5 Abschätzung rotierende Maschinen und Förderanlagen (rot) aufgrund der Easy-Untersuchung an 4'142 Antriebssystemen, (Quelle: Topmotors, Easy 2014)

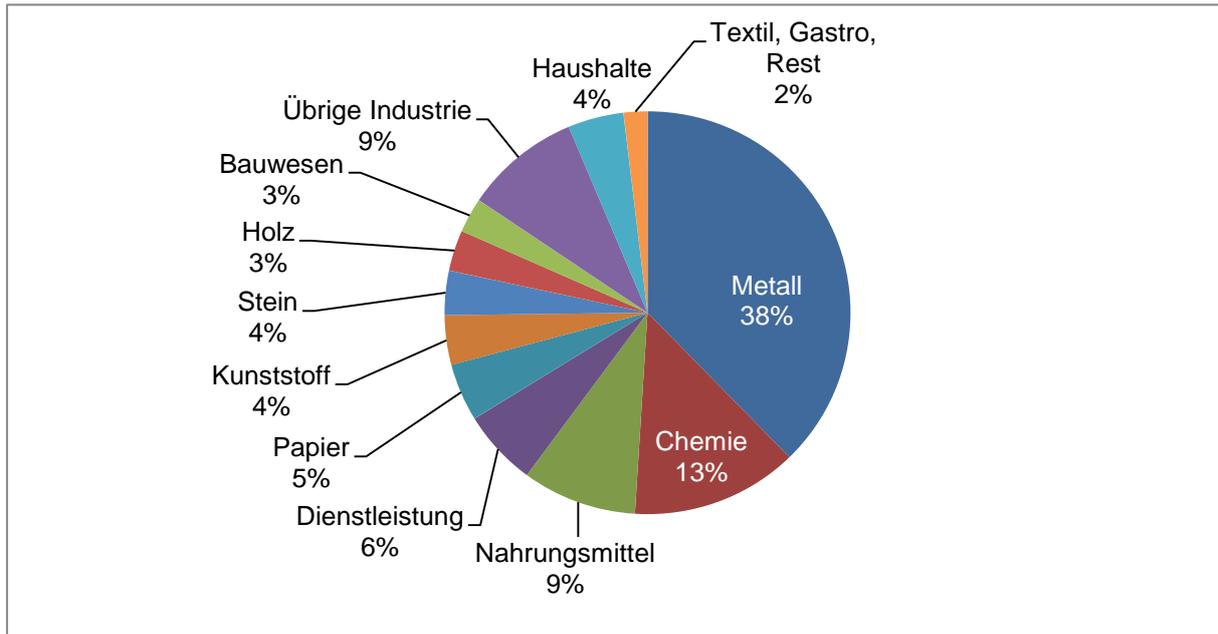


Abbildung 9 Ist-Verbrauch nach Branchen
 Datengrundlage: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor
 (Quelle: Helbling, 2013)

5.2. Bottom up

Die Bottom up Untersuchung versucht auf Grund von Anlagenbestand, mittlerer Leistungsaufnahme und mittlerer Betriebsdauer für 30 einzelne Subkategorien, sowohl dem heutigen elektrischen Energieverbrauch, als auch das energetische Einsparpotential abzuschätzen. Die Schätzungen der Einsparpotentiale wurden nach vier Typen (BoN, Standby, Technologie, Guter Motor) unterteilt. Es wird davon ausgegangen, dass das "technisch mögliche und innert der Nutzungsdauer wirtschaftliche Potential" erfasst wird. Dabei sind naturgemäss die Werte bei tausend im Detail unterschiedlichen Prozessen verschieden.

Die Abschätzungen basieren auf der Werkzeugmaschinen Abschätzung aus "VDW-Welt-Werkzeugmaschinenstatistik 2012", Verkaufstatistiken für Industrieroboter sowie Statistiken zu Aufzügen und Vertikalförderanlagen (siehe 4: Methode und Datenzugang). Fehlende Angaben wurden durch Erfahrungswerte oder der Anzahl der Betriebe und Mitarbeiter (Branchenstatistik) kompensiert. Grundprinzip: Energieanalyse von Anlagen und Maschinen in Einzelbetrieben und Hochrechnung auf die Branchen und dann auf die Schweiz.

Die Untersuchung gemäss den 3 Haupt-, 10 Unterkategorien sowie insgesamt 30 Subkategorien erfolgte nach der Abgrenzung gemäss Abbildung 7 und hat folgendes Ergebnis gezeigt, Tabelle 6:

31 Millionen Maschinen verbrauchen heute rund 4.1 TWh/a elektrische Energie, wobei 79% direkt von deren Antrieben verwendet werden. Dies ergibt rund 7.1% des gesamten elektrischen Endverbrauchs der Schweiz 2014, resp. 22.5% des Industrieverbrauchs.

Dabei zeigt es sich allerdings, dass die kleinen netzbetriebenen Handgeräte im Haushalt (20 Millionen Bohrmaschinen, Kreissägen, etc.) sowie fest-montierte Stellantriebe (10 Millionen Antriebe für Türen, Storen, Klappen, Ventile, etc.) mit kleiner Leistung und wenigen Betriebsstunden das Bild stark verzerren.

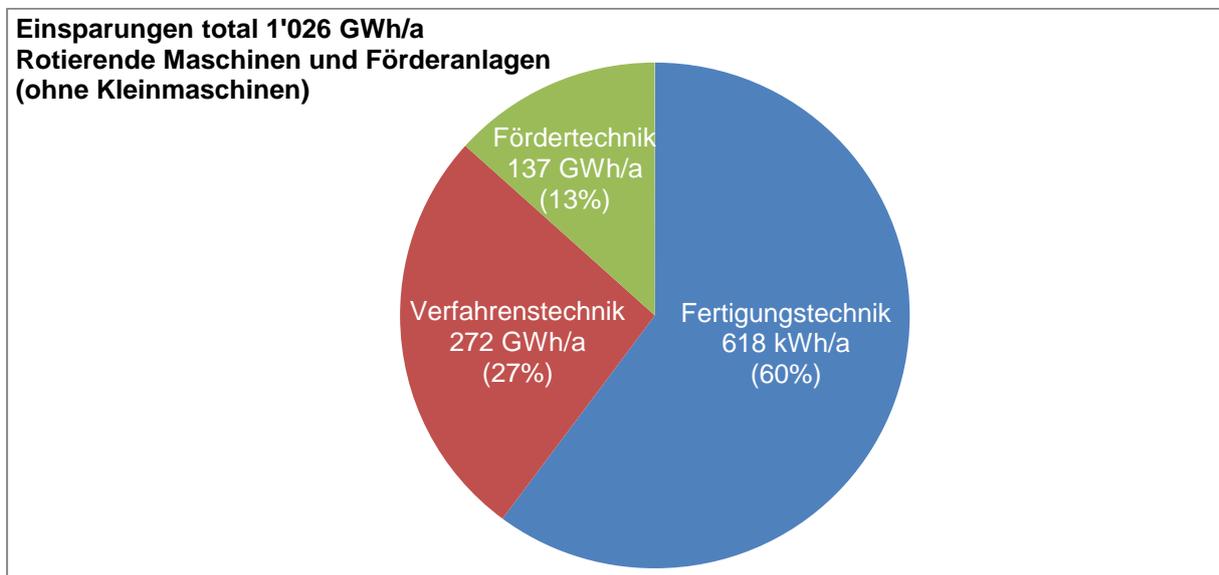
	Rotierende Maschinen und Förderanlagen (alle)	Anlagenbestand	mittlere Leistungsaufnahme	mittlere Betriebsdauer	mittlere Leistungsaufnahme total	Elektrizitätsverbrauch	Jahresverkauf	Motorenverbrauch
		Stück	kW pro Stück	h/a	MW	GWh/a	Stück/a	GWh/a
A	Fertigungstechnik	20'504'000	0.3	367	6'160	2'260	2'028'767	1'658
B	Verfahrenstechnik	225'000	3.1	1'768	690	1'220	15'833	1'151
C	Fördertechnik	10'295'000	0.2	248	2'561	634	511'417	460
	Total	31'024'000	0.3	437	9'411	4'114	2'556'017	3'269
							8.2%	79%

Tabelle 6 Hauptkategorien: Rotierende Maschinen und Förderanlagen (alle Maschinen)

Wenn diese Kleinmaschinen (Handgeräte und Stellantriebe) abgezogen werden, klärt sich das Bild (Tabelle 7). Die rotierenden Maschinen und Förderanlagen umfassen demnach nur noch rund 1 Million Maschinen, die insgesamt 4.0 TWh/a elektrische Energie verbrauchen, wovon 3.2 TWh/a (80%) direkt in den elektrischen Antrieben dieser Maschinen eingesetzt werden. Die Fertigungstechnik weist dabei den grössten Verbrauchsanteil auf, die Fördertechnik den kleinsten.

	Rotierende Maschinen und Förderanlagen (ohne Kleinmaschinen)	Anlagenbestand	mittlere Leistungsaufnahme	mittlere Betriebsdauer	mittlere Leistungsaufnahme total	Elektrizitätsverbrauch	Jahresverkauf	Motorenverbrauch
		Stück	kW pro Stück	h/a	MW	GWh/a	Stück/a	GWh/a
A	Fertigungstechnik	504'000	4.3	1'037	2'160	2'240	28'767	1'638
B	Verfahrenstechnik	225'000	3.1	1'768	690	1'220	15'833	1'151
C	Fördertechnik	295'000	3.6	560	1'061	594	11'417	436
	Total	1'024'000	3.8	1'037	3'911	4'054	56'017	3'225
							5.5%	80%

Tabelle 7 Hauptkategorien: Rotierende Maschinen und Förderanlagen (ohne Kleinmaschinen)



**Abbildung 10 Anteil der drei Techniken an der elektrischen Energieeinsparung
Datengrundlage: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor (Helbling, 2013)**

Die mittlere tatsächlich aufgenommene elektrische Leistung dieser Maschinen beträgt 3.8 kW. Es kann geschätzt werden, dass die installierte elektrische Leistung pro Gerät im Mittel bei 5 bis 10 kW

liegt, also um einen Faktor 2 bis 3 höher als die mittlere Leistungsaufnahme. Dies kann in vielen Fällen als Hinweis für überdimensionierte Motoren interpretiert werden. Die mittlere jährliche Betriebsdauer (bei der erwähnten mittleren Leistungsaufnahme) ist mit 1'037 Stunden im Vergleich zu Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren tief, da wenige Geräte in diesem Untersuchungsbereich eigentliche Lang- oder Dauerläufer sind.

Die Jahresverkaufszahlen von 56'017 Stück deuten im Verhältnis zum Maschinenbestand auf langlebige Produkte hin, die im Mittel etwa 18 Jahre betrieben werden.

Das Effizienzpotential in Bezug auf den gesamten Elektrizitätsverbrauch der rotierenden Maschinen und Förderanlagen von 4'054 GWh/a wird mit insgesamt 25%, resp. 1'026 GWh/a beziffert (1.8% des Schweizer Endverbrauchs an Elektrizität 2014, ca. 5.7% des Industrieverbrauchs). Dabei ist das Potential in der Fertigungstechnik sowohl relativ als auch absolut am höchsten.

	Rotierende Maschinen und Förderanlagen (ohne Kleinmaschinen)	Motorenverbrauch	Effizienzpotential	Einsparpotential	BoN	Standby	Technologie	Guter Motor
		GWh/a	%	GWh/a	Effizienzpotential: 1 (niedrig) bis 3 (gross)			
A	Fertigungstechnik	1'638	28%	618	1.23	2.38	2.15	2.77
B	Verfahrenstechnik	1'151	22%	272	2.36	1.91	2.27	2.73
C	Fördertechnik	436	23%	137	1.67	2.33	2.00	2.00
	Total	3'225	25%	1'026	1.74	2.19	2.19	2.81

Tabelle 8 Hauptkategorien: Effizienzpotential und Verbesserungsmöglichkeiten (ohne Kleinmaschinen)

Insgesamt ergeben sich, bei einer Bewertung gemäss Zusammenfassung Tabelle 8 (und Tabelle 11) von 1 bis 3 (1 = ohne Bedeutung, 3 = grosse Bedeutung), die besten Effizienzpotentiale mit 2.81 für den Einsatz guter Motoren, gefolgt von 2.19 für Stand-by-Vermeidung und Technologieverbesserung. Die diesbezügliche Effizienzverbesserung in der Fertigungstechnik und der Verfahrenstechnik mit 3.0 wird insgesamt am höchsten eingeschätzt, wobei hier das "Guter Motor" Potential am stärksten gewichtet wird.

Die genauere Betrachtung der 10 Unterkategorien (Tabelle 9) zeigt die grosse Bedeutung der Fertigungstechnik mit Trennmaschinen (A2), die 40% des gesamten Einsparpotentials ausmachen. Bei den Trennmaschinen machen wiederum Bearbeitungsautomaten den weitaus grössten Anteil beim Verbrauch wie beim Einsparpotenzial aus (vgl. Tabelle 10).

	Rotierende Maschinen und Förderanlagen (ohne Kleinmaschinen)	Anlagenbestand		mittlere Leistungsaufnahme pro Stück	mittlere Betriebsdauer	gesamte mittlere Leistungsaufnahme	Elektrizitätsverbrauch	Jahresverkauf	Motorenverbrauch	Effizienzpotential	Einsparpotential	
		Stück	kW	h/a	MW	GWh/a	Stück/a	GWh/a	%	GWh/a		
A	Fertigungstechnik	A1	Formen	4'000	20.0	2'000	80	160	267	80	30%	48
		A2	Trennen	330'000	4.7	962	1'560	1'500	17'167	1'125	27%	408
		A3	Umformen	35'000	3.1	818	110	90	2'333	84	23%	21
		A4	Fügen	125'000	2.9	1'083	360	390	8'333	275	31%	121
		A5	Beschichten	10'000	5.0	2'000	50	100	667	75	20%	20
B	Verfahrenstechnik	B1	Trennen	65'000	3.2	1'810	210	380	5'000	358	28%	106
		B2	Mischen	80'000	4.5	1'833	360	660	6'667	627	19%	125
		B3	Bewegen	80'000	1.5	1'500	120	180	4'167	166	23%	41
C	Fördertechnik	C1	Transport	295'000	3.6	560	1'061	594	11'417	436	23%	137
	Total			1'024'000	3.8	1'037	3'911	4'054	56'017	3'225	25%	1'026

Tabelle 9 Unterkategorien: Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotential (ohne Kleinmaschinen)

5.3. Mögliche Umsetzungspartner

Herausragend ist der Elektrizitätsverbrauch von Bearbeitungszentren mit Schwerpunkt Metallverarbeitung. In diesem Bereich kann der grösste Einfluss über die Verbände genommen werden. Industrieverbände wie Swissem oder Swiss Technology Network sind auf Grund ihrer Mitgliederzahlen und Reichweite dafür ein erster Anlaufpunkt. Für ein bestmögliches Ergebnis sollte aber auf zwei Wegen Einfluss genommen werden: Zum einen auf die in der Schweiz hergestellten Maschinen und zum anderen auf die in die Schweiz importierten Maschinen. Eine Zusammenarbeit mit passenden Branchenverbänden erscheint hier sinnvoll.

Eine weitere Möglichkeit ist es, über spezialisierte Fachleute (z.B.: Sigmatools) an die entsprechenden Anwender zu gelangen und anhand von Energieanalysen an den Werkzeugmaschinen mit individuellen Lösungen eine Reduzierung des Energieverbrauchs zu erreichen.

Im Bereich der Aufzüge in Gebäuden gibt es Ansprechpartner im Bereich "Konferenz Kantonaler Energiedirektoren" (ENDK) oder "Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein" (SIA). Diese können z.B. durch Kontakte, Informationen an Mitglieder oder gute Beispiele einen Betrag in der jeweiligen Zielgruppe leisten.

Für viele Prozesse (z.B. Rührwerke, Verpackungsmaschinen, Zentrifugen, etc.) ist der Markt pro Anwendung eher klein und wirksame Massnahmen daher schwierig. In vielen Fällen müssen bei rotierenden Maschinen beim Neubau bzw. Ersatz, die Mindestanforderungen gemäss EnV eingehalten werden. Ausserdem können im Rahmen der Topmotors Workshops spezifische Veranstaltungen zu diesen Themen im Jahr 2016 angeboten werden.

6. Ergebnisse

Die hier beschriebene Potentialanalyse der rotierenden Maschinen und Förderanlagen quantifiziert das Einsparpotential von rund 1 Mio. Maschinen und Antrieben. Nach Auswertung aller zur Verfügung stehenden Daten, wurde ein Gesamteinsparpotential von etwa 1 TWh/a (25%) des gesamten elektrischen Energieverbrauches von 4 TWh/a ermittelt. Zudem wurde die Bedeutung des jeweiligen Effizienzpotentials bei BoN, Stand-by, Technologie und Guter Motor eruiert. Dies liefert Hinweise für die Wirksamkeit und Ausrichtung potentieller Massnahmen und Programme. Ebenso werden Vorschläge bezüglich möglicher Umsetzungspartner gegeben, die bei möglichen Massnahmen unterstützend wirken können.

7. Anhang: Detailtabellen

Prozessgruppe		Prozessart		Verbrauchsabschätzung						Erneuerung		Motorenstatistik	
				Anlagenbestand	mittlere Leistungsaufnahme pro Stück	mittlere Betriebsdauer	gesamte mittlere Leistungsaufnahme	Elektrizitätsverbrauch	Lebensdauer	Jahresverlauf	Motoranteil	Motorenverbrauch	
				Stück	kW	h/a	MW	GW/h/a	a	Stück/a	%	GW/h/a	
Fertigungstechnik (Veränderung der Geometrie)	A	A1 Formen	Glessen	Beispiele	200000	0,2	1000	20	20	15	90%	180	
			Spannabheben	Spritzgussmaschine	4000	20	2000	80	160	15	267	50%	80
			Schleifen, Polieren	Werkzeugmaschine	400000	15	2000	600	1200	15	2667	70%	840
			Elektrowitzzeuge	Fräsen, Bohren, Drehen	2000000	3	250	600	150	20	10000	95%	143
	B	A2 Trennen	Verpacken	Bohrmaschine, Teilschere	60000	5	300	300	60	20	3000	95%	66
			Zerkleinern	Stanzmaschine, Kreisäge	30000	2	1000	60	60	20	1500	95%	57
			Reinigen	Bohrmaschine unter Belastungszentren	2000000	0,2	5	4000	20	10	2000000	100%	20
			Sortieren	Handgeräte, in fast jedem Haushalt zu finden	20000	2	500	40	20	15	1333	95%	19
			Verpacken	Kalibrieren, Profilherstellung	50000	10	1000	50	50	15	333	95%	48
			Verpacken	transportsichere Bewegung	10000	2	1000	20	20	15	667	85%	17
Verfahrenstechnik (Veränderung der Eigenschaft)	B	A3 Uniformen	Verpacken	vele Klammern	40000	0,5	500	20	10	15	2667	95%	9
			Verpacken	Industrieroboter	10000	4	2000	40	80	15	667	95%	36
			Verpacken	Beschlagnahme, Vibrationsmaschine	35000	4	1000	140	140	15	2333	70%	98
			Verpacken	Verpackungsautomat, Couvertieren	40000	4	1000	160	160	15	2667	70%	112
			Verpacken	Druckmaschine, Lackierautomat	100000	5	2000	50	100	15	667	75%	75
			Verpacken	Mahlen, Hacken, Mixen	20000	5	2000	100	200	15	1333	95%	190
			Verpacken	Zentrifuge, Auspressen	10000	4	2000	40	80	15	667	95%	76
			Verpacken	Bürsten, Kratzen	20000	2	1000	40	40	10	2000	95%	38
			Verpacken	Rütteln, Sieben	15000	2	2000	30	60	15	1000	90%	54
			Verpacken	Extrudieren, Vibrator	10000	10	2000	100	200	10	1000	95%	190
Fördertechnik (Veränderung der Position)	C	A4 Flügen	Verpacken	Mischtrömel	20000	5	2000	100	200	15	1333	95%	190
			Verpacken	Rührwerk	20000	5	2000	100	200	15	1333	95%	190
			Verpacken	Betonverdichter	30000	2	1000	60	60	10	3000	95%	57
			Verpacken	Teigherstellung, Conge	10000	5	2000	50	100	15	667	90%	90
			Verpacken	Haspel, Spulen	60000	1	1000	60	60	20	3000	95%	57
			Verpacken	Auswuchten, Ausgleichen	10000	1	2000	10	20	20	500	95%	19
			Verpacken	Lift, Rolltreppe	200000	4	400	800	320	30	6667	55%	176
			Verpacken	Kran, Band, Lagertechnik	90000	2,6	1000	234	234	20	4500	95%	222
			Verpacken	Schüttgut	5000	5,3	1500	27	40	20	250	95%	38
			Verpacken	Förderband, Vibratorrinne	5000000	0,20	20	1000	20	20	250000	60%	12
Summe/Anzahl				31024000	131	437	9411	4114		2556017	3269		

Tabelle 10 Haupt- und Unterkategorien: Prozesse, Stückzahlen und Ist-Verbrauch

Prozessgruppe	Prozessart	Verbrauchsabschätzung		Motorenstatistik	Einsparung		Massnahmen								
		Anlagenbestand	Elektrizitätsverbrauch		Motorverbrauch	Effizienzpotential	Einsparpotential	BON	Stand-by	Technologie	Guter Motor	Bemerkungen			
Details	Nr	Untergruppe	Stück	GW/h/a	GW/h/a	%	GW/h/a	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
Fertigungstechnik (Veränderung der Geometrie)	A1	Formen	4'000	160	80	30%	48	1	2	3	1	2	3	3	1 = ohne Bedeutung, 3 = grosse Bedeutung
	A2	Trennen	40'000	1'200	840	30%	360	1	3	3	1	3	3	3	grosser Anteil Extruderheizung optimiert auf minimalen Werkzeugverschleiss
			200'000	150	143	15%	23	2	1	2	2	1	2	3	Getriebe, Keilriemen
			60'000	90	86	15%	14	2	1	2	2	1	2	3	Getriebe, Keilriemen
			30'000	60	57	20%	12	1	2	2	2	1	2	3	Energiekosten über Lebensdauer oft sehr tief
			20'000'000	20	20	30%	6	1	1	2	2	1	2	3	
	A3	Umformen	20'000	20	19	20%	4	1	2	2	2	1	2	3	Getriebe, Leerlauf
			5'000	50	48	25%	13	2	2	2	2	2	2	3	
			10'000	20	17	20%	4	1	3	2	2	1	3	3	
	A4	Fügen	40'000	10	9	30%	3	1	3	2	2	1	3	3	
			10'000	80	56	35%	28	1	3	2	2	1	3	3	
			35'000	140	98	30%	42	1	3	2	2	1	3	3	Getriebe
			40'000	160	112	30%	48	1	3	2	2	1	3	3	
	A5	Beschichten	10'000	100	75	20%	20	1	3	2	2	1	3	3	
B1	Trennen	20'000	200	190	30%	60	3	2	2	3	2	2	3	Effizienz Schneidwerkzeug gegen Verschleiss geringe Anlaufverluste mit Umrichter	
		10'000	80	76	25%	20	2	1	2	2	2	1	2		
		20'000	40	38	20%	8	1	2	2	2	1	2	3		
		15'000	60	54	30%	18	3	2	2	2	3	2	3		
B2	Mischen	10'000	200	190	15%	30	2	2	2	2	2	2	3	Potential Messtechnik	
		20'000	200	190	15%	30	3	2	2	3	3	2	3	Potential Messtechnik	
		20'000	200	190	25%	50	3	2	2	2	3	2	3	Potential Messtechnik	
		10'000	60	57	25%	15	3	2	2	2	2	2	3		
B3	Bewegen	10'000	100	90	25%	25	2	2	2	2	2	2	3	Potential generatorischer Betrieb	
		60'000	60	57	20%	12	1	2	2	2	1	2	3		
		10'000	20	19	20%	4	3	2	2	2	3	2	3		
C1	Transport	200'000	320	176	25%	80	1	3	2	2	1	3	2	Standby dominiert	
		90'000	234	222	20%	47	1	2	2	2	1	2	2		
C2	Position	5'000'000	40	38	25%	10	3	2	2	2	3	2	3	BoN + Motor wichtig	
		5'000'000	20	12	30%	6	1	3	2	2	1	3	3	Getriebeverluste dominieren oft	
		5'000'000	20	12	30%	6	1	3	2	2	1	3	3		
Summe/Anzahl			10	31'024'000	4'114	3'269	25%	1'044							

Tabelle 11 Alle Haupt- und Unterkategorien: Energieeinsparungen und Massnahmen

Prozessgruppe	Prozessart	Verbrauchsabschätzung		Industrie, verarbeitendes Gewerbe (19 TWh/a)														Dienstleistungen					Rest
		Anlagenbestand	Elektrizitätsverbrauch	Alle	Metal	Stein	Holz	Kunststoff	Papier	Textil	Chemie	Nahrungsmittel	Rest-Industrie	Bauwesen	Gastro	Dienstleistung	Haushalte	Rest					
Details	Nr	Untergruppe	Stück	GWh/a	375'000 27'290'000	12'700 296'000	2'000 25'000	6'000 40'000	1'000 22'000	2'500 28'000	1'600 12'000	800 60'000	3'400 63'000	5'000 50'000	40'000 287'000	25'000 146'000	275'000 1'700'000						
Fertigungstechnik (Veränderung der Geometrie)	A1	Formen	4'000	160	59'300	5'000	1'000	400	500	1'500	200	3'300	2'100	4'800	500	2'200	13'300	18'800	5'700				
	A2	Trennen	40'000	1'200	160	20		80	120					20									
			200'000	150	1'200	1'000	10	80	10					100									
			60'000	90	150	100	10	20	5					10	5								
			30'000	60	60	45		15	10					10	5								
			20'000'000	20	60	45		5	1	5	1			7	1	1	1	1	1	1	1		
		A3	Umformen	20'000	20	2	1	1	1	1	1				2	3	2	2	8				
				5'000	50	40		1	1	5	1				2	1		1					
				10'000	20	20	15		1	1	2				4								
		A4	Fügen	40'000	10	10	5		1	2					2								
				10'000	80	80	55	1	1	1					20								
				35'000	140	140	100	1	1	1	1	10	1	3	20								
				40'000	160	160	32	1	1	3	2	1	10	30	60								
	Verfahrenstechnik (Veränderung der Eigenschaften)	A5	Beschichten	10'000	100	100	5	5	5	5	50	5			10								
B1		Trennen	20'000	200	200	1	20	5	2	5	30	1	80	80	30	5	1	1	1	1			
			10'000	80	80	1							10	25	12								
			20'000	40	40	4							15	10	5	1	5						
			15'000	60	60	5	20						20	10	5								
B2		Mischen	10'000	200	200	20	20			20			100	45	5	10							
			20'000	200	200	20	20			20			100	45	5	10							
			20'000	200	190		5						140	35	5	5							
			30'000	60	60		5						30	15	5	5							
		B3	Bewegen	10'000	100	100							50	45	4	1							
Fördertechnik (Veränderung der Position)	C1	Transport	60'000	60	60	5			5	30	5			14									
			10'000	20	20	5				8	1			5									
			200'000	320	320	2							2	2	4	5	100	175	30				
			90'000	234	234	40	5	5	10	5	10	5	10	10	5	60	70						
			5'000	40	40	3	12	3	3				4	5	5	5							
		C2	Position	5'000'000	20	20									2								
			5'000'000	20	20	1				1	1		5	5	2								
Summe/Anzahl			31'024'000	4'114	4'104	1'551	146	134	164	190	30	547	365	380	115	9	251	183	39				
					6.9%	31.0%	14.6%	33.5%	32.8%	12.7%	15.0%	16.6%	17.4%	7.9%	23.0%	0.4%	1.9%	1.0%	0.7%				

Tabelle 12 Alle Haupt- und Unterkategorien: Zuordnung zu den Branchen