

BERECHNUNGSMODELL ZUR QUANTIFIZIERUNG DES STROMVERBRAUCHS VON ELEKTROMOTORENSYSTEMEN AM BEISPIEL DER DRUCKLUFT

Ulf Lindner MSc., Prof. Dr. Peter Radgen

Universität Stuttgart – IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung,
Heißbrühlstraße 49a, D-70174 Stuttgart, +49711 685 87885, ulf.lindner@ier.uni-stuttgart.de,
www.ier.uni-stuttgart.de/

Kurzfassung: Ziel dieser Arbeit ist es, den Stromverbrauch von Druckluftanlagen in Deutschland transparent ermitteln zu können. Die dafür verwendete Methodik stellt eine Weiterentwicklung bereits eingesetzter Verfahren dar. Die Ermittlung des Stromverbrauches der Druckluftanlagen wird dadurch transparenter und präziser. Das im Rahmen dieser Methodik angewandte Rechenmodell unterteilt die installierten Druckluftanlagen zunächst in einzelne Kohorten, die durch ihre Eigenschaften z. B. die Nennleistung bestimmt werden. Mit Hilfe von Betriebsstundenmodellen, die für spezifische Branchen entwickelt werden können und einem druckabhängigen Leistungsfaktor, der die Nennleistung in den tatsächlichen Stromverbrauch umrechnet, wird der Stromverbrauch ermittelt. Der Schwerpunkt dieser Veröffentlichung liegt auf der Beschreibung und Vorstellung der neu entwickelten Methodik. Eine erste Berechnung zur Veranschaulichung der Methodik wurde für eine Kohorte, die die Kompressoren bis 5 kW beinhaltet durchgeführt. Das Modell ermittelt dabei einen Stromverbrauch von 21,681 GWh/a.

Keywords: Energieeffizienz, Stromverbrauch, Druckluft, Kompressoren, Betriebsstunden, Kosteneinsparung

1 Einführung

Diese Veröffentlichung betrachtet zunächst die Relevanz der Themenstellung. Nach einer Beschreibung der Problematik wird detailliert die Methodik mit den notwendigen Parametern vorgestellt. Zur Veranschaulichung wird im Folgenden eine Beispielrechnung für eine Kohorte durchgeführt. Abschließend werden die Vorteile und Potentiale des Modells diskutiert.

1.1 Relevanz der Themenstellung

Der Stromverbrauch der Industrie in Deutschland betrug im Jahr 2017 nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) circa 228 TWh (Rohde 2019). 68 % des Stromverbrauches in der deutschen Industrie entfallen auf die Elektromotorensysteme, die somit einen bedeutenden Beitrag zum gesamten Stromverbrauch beitragen (Sauer und Bauernhansl 2016, S. 127). Fleiter geht davon aus, dass die wirtschaftlichen Energieeinsparpotentiale der Industrie bis 2035 im Strombereich 12,7 % betragen (Fleiter

2013). Das entspricht einem Einsparpotential von 19,7 TWh über alle Elektromotorensysteme. Trotz des großen Einsparpotentials stieg der Stromverbrauch der Industrie in Deutschland zwischen 2016 und 2017 leicht um circa 2 TWh an (Rohde 2019). Auch in anderen Ländern Europas zeigt sich, dass der Bedarf an elektrischer Energie im Industriesektor steigend ist. In Österreich beispielsweise stieg der Strombedarf des produzierenden Bereiches, zwischen 2018 und 2019 um 1,4 TWh zugenommen hat (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2018, 2019).

Druckluftsysteme leisten dabei einen nennenswerten Anteil zum Stromverbrauch von Elektromotorensystemen. Seit der Studie von Radgen & Blaustein aus dem Jahr 2001 (Radgen 2001) wurden nur wenige weitere Analysen zum Stromverbrauch von Druckluftsystemen vorgenommen. Laut dieser Studie verbrauchten Druckluftsysteme in Deutschland 14 TWh oder 7 % des industriellen Stromverbrauchs. Die aktuellen Zahlen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen weisen für das Jahr 2017 einen Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung von 15,4 TWh in Deutschland aus. Dies entspricht einem Anteil von 6,7 % des industriellen Stromverbrauchs (Rohde 2019).

Die verstärkte Automatisierung in Fertigungsbetrieben auf der einen Seite, effizientere Motoren und eine gestiegene Berücksichtigung und Wahrnehmung von Verlusten durch Leckagen auf der anderen Seite, werfen die Frage auf, ob der Stromverbrauch von Druckluftsystemen in Deutschland im Zeitraum von 2001 bis 2017 tatsächlich um 1,4 TWh angestiegen ist. Da die AGEBA keine gesonderten Erhebungen, sondern nur Fortschreibungen vornimmt, ist die Gültigkeit der Angabe durchaus zu hinterfragen. Deshalb stellt sich die Frage, wie sich nachvollziehbar das aktuelle Stromverbrauchsniveau von Druckluftsystemen ermitteln lässt. Für die Initiierung von Forschungsanstrengungen und Maßnahmen für die Industrie, wie beispielsweise einer verbesserten Leckagedetektion im Druckluftnetz oder einer verbesserten Druckluftaufbereitung zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen, spielt der Stromverbrauch dieser Systeme eine wichtige Rolle.

Weitere wichtige Elektromotorensysteme sind insbesondere Pumpen, Ventilatoren und Kältemaschinen. Für Pumpen weist die AGEBA für 2017 einen industriellen Stromverbrauch von 20,7 TWh aus.

1.2 Problemstellung

Die meist fehlende Verfügbarkeit von Daten für Druckluftsysteme und andere Querschnittsanwendungen von Elektromotoren erschwert die Analyse des Gesamtstromverbrauchs der einzelnen Teilsysteme. In nur wenigen Betrieben existieren separate Messungen für den Stromverbrauch der Elektromotorenanwendungen. Zusätzlich ist die Gewinnung der Daten aus den Betrieben mit einem großen Aufwand verbunden. Die bisher veröffentlichten Werte zum Stromverbrauch von Druckluftsystemen beruhen in vielen Fällen auf Schätzungen, Expertenbefragungen oder Fortschreibungen früherer Erhebungen (Unger und Radgen). Eine nachvollziehbare Berechnung des Stromverbrauchs von Druckluftsystemen wird heutzutage noch nicht durchgeführt. Lediglich Radgen & Blaustein (Radgen 2001) haben im Rahmen ihrer EU Studie den Verbrauch mit Hilfe eines entsprechenden einfachen Modells ermittelt, wobei auch hier die Datenbasis zur Ermittlung relevanter Inputparameter eingeschränkt war.

2 Methodik

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Modells bzw. eines Verfahrens zur einfachen und kontinuierlichen Analyse des Stromverbrauchs von Druckluft- und später auch anderen Elektromotorsystemen. Mit Hilfe der aus den Sozialwissenschaften oder aus der energetischen Beurteilung von Gebäudebeständen bekannten Kohortenanalyse folgt das Modell dem Ansatz, wie er schon bei Radgen & Blaustein (Radgen 2001) verwendet wurde. Das hier entwickelte Modell verbessert die Bestimmung des Stromverbrauchs, da es deutlich genauer zwischen den Leistungsklassen der installierten Druckluftkompressoren unterscheidet und branchenspezifische Betriebsstundenmodelle berücksichtigt¹. Außerdem bezieht das Modell einen Leistungsfaktor mit ein, der die tatsächlich aufgenommene elektrische Energie der Nennleistung des Elektromotors im Kompressor gegenüberstellt. Ein Teil dieser Vorgehensweise wurde bereits erfolgreich zur Bestimmung des Stromverbrauchs von Ventilatoren angewandt (Radgen 2002). Allerdings wurden die Bestandswerte der einzelnen Leistungsklassen der Ventilatoren mit Hilfe einer Basisdatenbefragung von Herstellern bestimmt. Der Unterschied zum Berechnungsverfahren im Rahmen dieser Arbeit besteht darin, dass das hier entwickelte Modell auf Basis der Produktionszahlen und einer nennleistungs- und altersabhängigen Austrittsfunktion den Bestand der Leistungsklassen bestimmt.

Abbildung 1 zeigt schematisch die Vorgehensweise: Zunächst werden alle verkauften Kompressoren eines Betrachtungsjahres aufsummiert und in die Kohorten (hier nach Nennleistung und Typ) eingeteilt. Für den Bestand jeder Kohorte kann eine Austrittsfunktion definiert werden, die sich auf die Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Alters und damit auf das jeweilige Verkaufsjahr bezieht. Gemeinsam mit der Nennleistung (ggf. auch einem Durchschnittswert) der Kohorte ergibt sich die installierte Gesamtleistung dieser Kohorte. Danach wird über branchenspezifische Betriebsstundenmodelle definiert, wie lange die Kompressoren in den möglichen Betriebszuständen (Lastlauf, Leerlauf, Lastbereich für drehzahlgeregelte Anlagen, Aus) arbeiten. Die daraus resultierende Gesamtlaufzeit der Kompressoren in den einzelnen Betriebszuständen ermittelt mit Hilfe des druckabhängigen Umrechnungsfaktors letztlich den Strombedarf der Kohorte. Die Summe aller Kohorten ergibt somit den Strombedarf des Gesamtsystems.

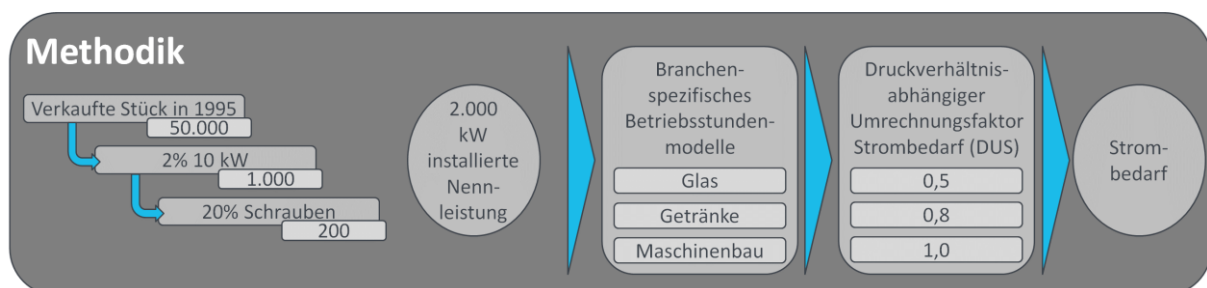


Abbildung 1: Methodik des Kohortenmodells

¹ Mit Betriebsstundenmodellen wird beschrieben, wie viele Stunden/ Jahr ein Motor in Vollast, Teillast oder Leerlauf betrieben wird. Diesen Betriebsstundenmodellen unterscheiden sich von Branche zu Branche, bspw. zwischen Glasindustrie und Maschinenbau teils sehr deutlich.

Die bisherigen Verfahren, wie bspw. das der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, werden dem hier entwickelten Modell gegenübergestellt und die Vorteile des Berechnungsmodells dargelegt. Es wird gezeigt, dass das Modell die bisherigen Angaben zur elektrischen Leistungsaufnahme von Druckluft- und anderen Elektromotorensystemen verbessert. Das Modell ist grundsätzlich für Elektromotorensysteme aller Art anwendbar und leistet damit auch für die Bewertung anderer Querschnittstechnologien einen wichtigen Beitrag. Allerdings sind die Eingangsparameter für die Analyse beispielsweise die Betriebsstundenmodelle für jede einzelne Technologie individuell zu ermitteln.

2.1 Berechnung des Bestandes im Betrachtungsjahr

Die Berechnung des Anlagenbestandes im Betrachtungsjahr erfolgt unter der Annahme, dass die in Betrieb befindlichen Druckluftkompressoren nicht älter als 20 Jahre sind. Das Modell analysiert aktuell nur die Verkaufszahlen ohne die Import- und Exportbilanz der Kompressoren und damit die jährlich in das Betrachtungssystem „Deutschland“ eintretenden Stückzahlen. Die Verkaufszahlen, die dafür berücksichtigt werden, werden aus den Kategorien gemäß den in den Prodcom-Statistiken verfügbaren Definitionen entnommen. Die Kategorien sind in diesen Statistiken wie folgt definiert und bilden Verkaufszahlen für Kolben- und Schraubenkompressoren ab:

- 28132630
Reciprocating displacement compressors having a gauge pressure capacity ≤ 15 bar, giving a flow ≤ 60 m³/hour
- 28132650
Reciprocating displacement compressors having a gauge pressure capacity ≤ 15 bar, giving a flow per hour > 60 m³,
- 28132670
Reciprocating displacement compressors having a gauge pressure capacity > 15 bar, giving a flow per hour ≤ 120 m³
- 28132690
Reciprocating displacement compressors having a gauge pressure capacity > 15 bar, giving a flow per hour > 120 m³
- 28132730
Rotary displacement compressors, single-shaft
- 28132753
Multi-shaft screw compressors

Aus den Auswertungen der Prodcom-Statistiken ergeben sich für die Jahre 1995 bis 2018 die Werte, wie in Tabelle 1 dargestellt.

ProdQNT	28132630	28132650	28132670	28132690	28132730	28132753
1995	0	1.916	2.177	0	0	49.092
1996	0	1.833	2.247	0	0	44.487
1997	66.815	1.593	2.673	5.220	0	46.090
1998	70.040	1.484	2.777	5.159	0	49.561
1999	64.622	1.257	7.947	657	0	52.550
2000	57.851	1.213	9.209	656	0	63.093
2001	53.842	1.161	9.927	790	0	68.630
2002	39.932	1.045	8.629	700	0	69.059
2003	32.614	884	18.819	960	0	77.036
2004	27.592	894	18.214	1.104	0	85.851
2005	20.912	1.418	17.817	1.394	0	107.377
2006	23.340	5.176	21.919	1.402	0	117.418
2007	27.435	0	23.325	1.721	0	132.453
2008	26.592	6.763	24.162	2.226	0	119.033
2009	21.769	5.320	17.225	2.280	0	69.731
2010	21.632	0	20.084	2.235	0	89.707
2011	21.120	0	21.476	3.000	0	100.778
2012	19.475	0	24.259	2.282	0	97.233
2013	19.086	0	24.228	951	0	86.689
2014	20.230	0	22.920	1.083	0	92.330
2015	22.895	0	23.704	986	0	90.607
2016	23.179	0	19.788	833	0	84.575
2017	34.734	0	21.717	779	0	89.347
2018	34.192	0	23.418	655	0	86.246

Tabelle 1: Verkaufszahlen gemäß PRODCOM (Eurostat 2019)

Zunächst wird für jedes Jahr die Gesamtsumme gebildet. Aus dieser Gesamtsumme werden mit Hilfe der prozentualen Anteile der Kompressoren, wie sie im Markt vorkommen, die nennleistungsabhängigen Kohorten gebildet. Abhängig von der Nennleistung des Kompressors, die aktuell in die Kategorien „klein“, „mittel“, „groß“ unterteilt werden, verlassen die Kompressoren nach einem definierten Wahrscheinlichkeitsmodell das System wieder. Das Wahrscheinlichkeitsmodell beschreibt je nach Alter des Kompressors die Wahrscheinlichkeit, dass er ersetzt wird, nur noch als Reservekompressor bei Ausfall von Kompressoren arbeitet oder defekt den Markt verlässt.

Turbokompressoren werden aktuell nicht berücksichtigt.

2.2 Die Umrechnung von Nennleistung in tatsächlichen Strombedarf

Zur Berechnung der tatsächlich aus dem Stromnetz abgerufenen elektrischen Energie bedarf es einer Umrechnung der Nennleistung in die tatsächlich aufgenommene elektrische Leistung. In der „Preparatory study on Low pressure & Oil-free Compressor Packages“ (van Elburg und van den Boorn 2017, S. 124) wird eine solche Umrechnung vorgestellt. Die Anlagen werden mit einem durchschnittlichen Leistungswert in kW klassifiziert, der die tatsächlich aufgenommene elektrische Energie einer bestimmten Kompressorklasse angibt. Im nächsten Schritt wird dieser elektrische Leistungswert mit der Anzahl der Stunden multipliziert, die der Kompressor läuft und abschließend mit einem Faktor korrigiert, der die jeweiligen Last- und

Leerlaufstunden abbildet. Die darin präsentierten Werte für Laufzeit und Korrekturfaktor der Last- und Leerlaufstunden beziehen sich auf Schätzungen von Experten aus der Industrie. Die Kompressoren werden zunächst in die Klassen „Low-Pressure“ und „Oil-free“ eingeteilt. Eine weitere Unterteilung erfolgt über die Bandbreite den Volumenstrom regeln zu können (vgl. Tabelle 2).

	Low-Pressure	Oil-Free
WFCR	Wide Flow Control Range	Wide Flow Control Range
LFCR	Limited Flow Control Range	Limited Flow Control Range
ZFCR	Zero Flow Control Range	Zero Flow Control Range
ZFCRp	Flow Control Range with pressure peak capability	

Tabelle 2: Einteilung der Kompressoren nach (van Elburg und van den Boorn 2017, S.184)

Diese Vorgehensweise ist für das vorliegende Modell nicht ausreichend präzise. Kaya et al. zeigen, dass die zu leistende Arbeit maßgeblich vom Druckverhältnis bzw. vom Druck am Kompressorausgang abhängt (Kaya et al. 2002). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt die Umrechnung daher in Abhängigkeit eines branchenüblichen Arbeitsdruckes direkt von der angegebenen Nennleistung des Kompressors in die elektrische Leistungsaufnahme. Der Umrechnungsfaktor ist dabei abhängig vom Lastgang (Leerlauf, Vollast, Teillast bei drehzahlgeregelten Kompressoren, Aus), dem maximalen Betriebsdruck des Kompressors und einem branchenüblichen Betriebsdruckniveau. Im deutschen Maschinenbau sind beispielsweise 7 – 8 bar_ü als Betriebsdruck üblich. Dafür werden Kompressoren aller Leistungsklassen eingesetzt, die einen maximalen Betriebsdruck zwischen 11 und 12 bar_ü leisten können. Das heißt, die Kompressoren arbeiten im Schnitt zwischen 60 und 70 Prozent ihres maximalen Leistungsvermögens. Dieses Druckverhältnis ist in dieser Arbeit entscheidend für den Umrechnungsfaktor. Es ist wichtig zu verstehen, dass nach dieser Vorgehensweise der Umrechnungsfaktor für bestimmte Lastbereiche über 100% betragen kann. Der erhöhte Stromverbrauch lässt sich unter anderem auf verschiedene Zusatzaggregate im Kompressor, wie beispielsweise einen internen Lüfter zurückführen.

In Abbildung 2 ist der in einer zweiwöchigen Messreihe ermittelte Leistungsfaktor eines drehzahlgeregelten Kompressors in den einzelnen Lastbereichen dargestellt. Zum Vergleich sind im Diagramm die extrapolierten Angaben des Datenblattes des Herstellers für 9 bar_ü gegenübergestellt.

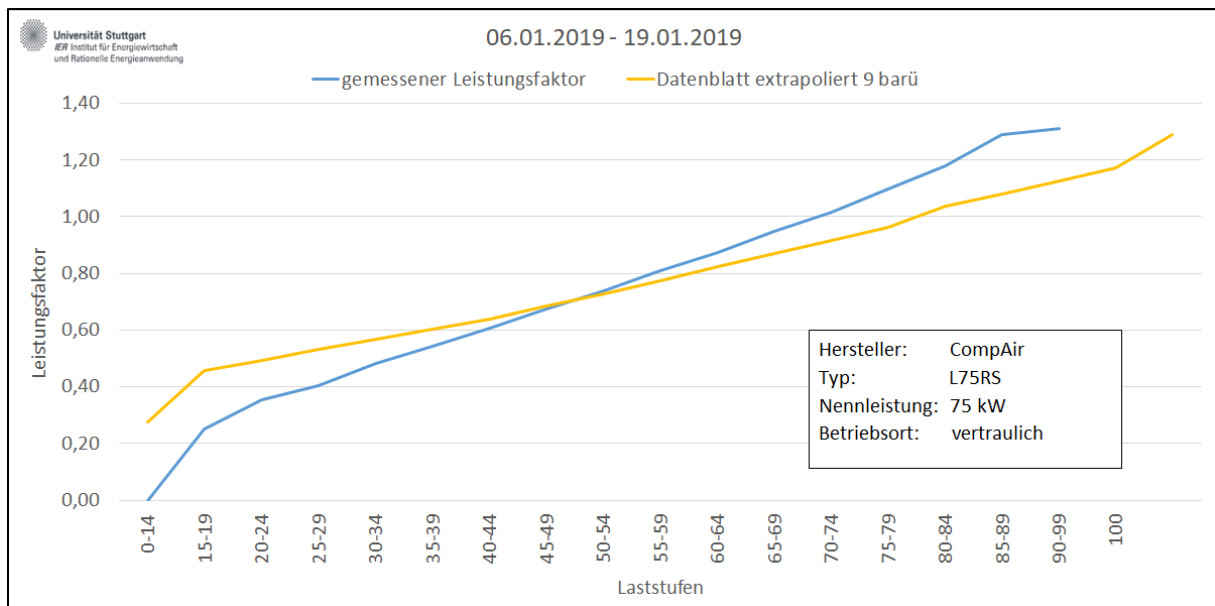


Abbildung 2: Leistungsverlauf in Abhängigkeit der Nennleistung und der Laststufen (eigene Darstellung)

2.3 Branchenspezifische Betriebsstundenmodelle

Das vorliegende Modell unterscheidet zwischen branchenüblichen Betriebsstundenmodellen. In der Behälterglasindustrie werden die meisten Kompressoren bei 4 bar_ü konstant um die 6.000 Stunden im Jahr betrieben. Die benötigte Druckluftmenge ist dabei so konstant, dass nur wenige drehzahlgeregelte Kompressoren in den Betrieben installiert sind. Das branchenspezifische Betriebsstundenmodell sieht für eine drehzahlstarre Anlage wie in Tabelle 3 dargestellt aus. Die Kompressoren aller Leistungsklassen beziehen demnach 2.322 Stunden 0 %, 438 Stunden 20 % und 6.000 Stunden 70 % ihrer Nennleistung aus dem Netz. Die angegebenen Leistungsfaktoren beruhen für dieses Betriebsstundenmodell noch auf Annahmen.

Lastbereich	Anteil Stunden	Stunden absolut	Druckabhängiger Umrechnungsfaktor Lastbereich
Aus	26,50%	2.322	0
Leerlauf	5,00%	438	0,2
Lastlauf	68,50%	6.000	0,7
Summe	100,00%	8.760	

Tabelle 3: Beispiel eines Betriebsstundenmodells einer drehzahlstarren Anlage

Entsprechend dieser Betriebsstundenmethodik sieht das Betriebsstundenmodell einer drehzahlgeregelten Anlage wie folgt aus (vgl. Tabelle 4). Das Betriebsstundenmodell der drehzahlgeregelten Anlage basiert auf tatsächlich gemessenen Werten einer Beispielfirma. Vorausgehende Überlegungen, wie die antizipierte geringere Standzeit von drehzahlgeregelten Anlagen, wie sie in der „Preparatory study on Low pressure & Oil-free Compressor Packages“ (van Elburg und van den Boorn 2017, S. 124) ausgewiesen werden, konnten nicht bestätigt werden. Die realen Messwerte in Tabelle 4 wurden an einem Kompressor eines Mittelstandbetriebes über 14 Tage gemessen. Der betrachtete Kompressor leistete dabei 9,2 bar_ü bei einem nach Datenblatt maximal möglichen Betriebsdruck von 13 bar_ü.

Lastbereich in %	Anteil Stunden in %	Stunden absolut	Druckabhängiger Umrechnungsfaktor Lastbereich
0-14	40%	3470,936837	0,000
15-19	1%	67,11994385	0,250
20-24	0%	18,63396801	0,354
25-29	1%	54,02619563	0,404
30-34	1%	106,5749993	0,483
35-39	2%	182,197189	0,543
40-44	2%	213,171725	0,606
45-49	3%	239,0695367	0,673
50-54	3%	252,7426543	0,740
55-59	12%	1041,2137	0,809
60-64	10%	883,4296882	0,875
65-69	7%	603,7825678	0,947
70-74	5%	474,6918256	1,018
75-79	4%	313,7502511	1,098
80-84	3%	240,2282755	1,180
85-89	4%	342,5666362	1,291
90-99	3%	255,8640069	1,310
Summe	100%	8760,00	

Tabelle 4: Beispiel eines Betriebsstundenmodells einer drehzahlgeregelten Anlage

3 Ergebnisse

Zur Beschreibung der Funktionsweise des Modells werden im Folgenden für die kleinsten Kompressoren (kleiner 5 kW) die Berechnungen zur Ermittlung des Energiebedarfs dargestellt. Die in diese Kohorte eingehenden Kompressoren werden aus den Verkaufszahlen aller in Tabelle 1 beschriebenen Produktionszahlen ermittelt. Die bisherige Marktanalyse zeigt, dass circa 27 % aller Kompressoren am Markt in diese Kohorte fallen.² Diese Kompressoren laufen in der Regel nicht im Dauerbetrieb. Sie sind in Werkstätten, Tankstellen und Sporthallen für kleine Druckluftanwendungen zu finden. Für die spätere Rechnung wird das in Tabelle 5 dargestellte Betriebsstundenmodell verwendet. Das bedeutet in diesem Fall für alle im System befindlichen Kompressoren dieser Kohorte wird eine durchschnittliche Jahreslaufzeit von 262,8 Stunden angenommen.

Lastbereich	Anteil Stunden	Leistungsfaktor Drehzahlbereich
Aus	97,00%	0
Leerlauf	0,00%	0,2
Lastlauf	3,00%	1,1
Summe	100,00%	1,30

Tabelle 5: Betriebsstundenmodell 5 kW Kohorte

Die mittlere Nennleistung von 2,5 kW wird als Basiswert zur Ermittlung des Stromverbrauchs herangezogen. Zur Erläuterung der Austrittsfunktion der Kompressoren werden zunächst zwei

² Die Marktanalyse besteht aus einem Datensatz mit über 300 Kompressoren aller Leistungsklassen. Die Daten dieser Kompressoren wurden von Industrieanlagen und Gebrauchtwarenmärkten erhoben.

Austrittsfunktionen vorgestellt. Abbildung 3 zeigt die Bestandsentwicklung dieser Kohorte unter der Annahme, dass alle Kompressoren nach 5 Jahren aus dem System austreten oder nicht mehr verwendet werden. Demgegenüber steht in Abbildung 4 die Bestandsentwicklung mit einer Austrittsfunktion, die in den ersten 10 Jahren alle Kompressoren im System lässt und ab dem 10. Jahr mit einer jährlichen Ausfallrate von 20 % bezogen auf den Anfangsbestand bis zum 15. Lebensjahr austreten lässt. Beide Graphen beruhen auf den Produktionszahlen wie sie in Tabelle 1 beschrieben werden. Da dort nur Produktionszahlen bis 2018 verfügbar sind, lässt sich in den Abbildungen der abnehmende Verlauf ab 2018 beobachten. Die Bestandsfunktion stellt keine Prognose dar und dient als Basis für die weitere Ermittlung des Strombedarfs.

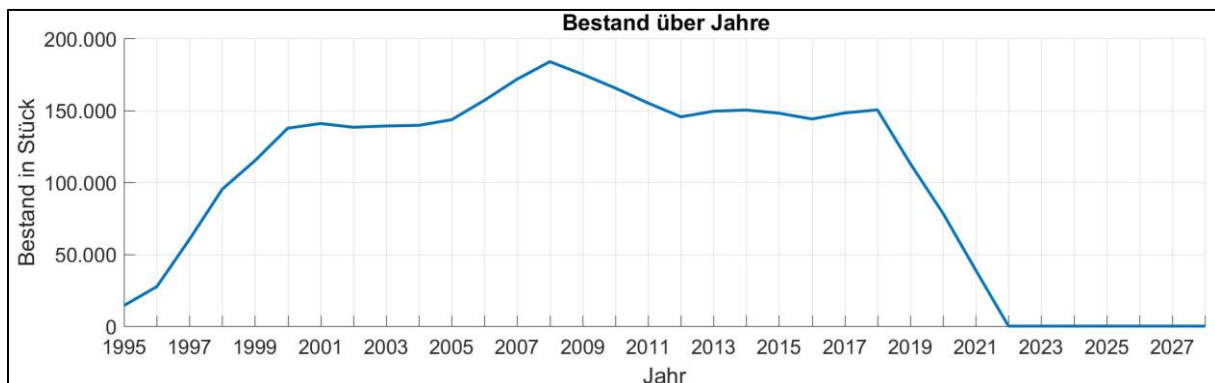


Abbildung 3: Bestandentwicklung über Jahre mit Austrittsfunktion 5 Jahre

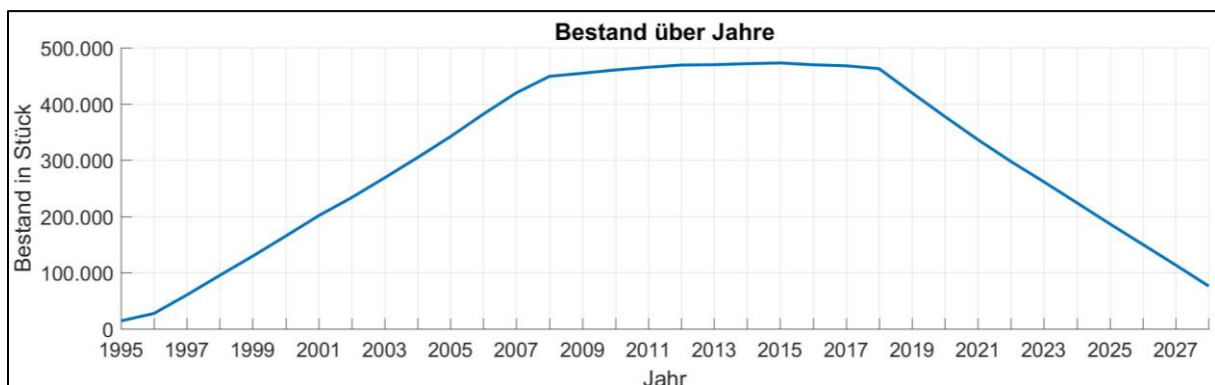


Abbildung 4: Bestandentwicklung über Jahre mit Austrittsfunktion 15 Jahre

Für die Beispielrechnung des Energiebedarfs wird hier die Bestandsfunktion wie in Abbildung 3 verwendet. Der Verlauf des Stromverbrauchs der Kohorte der 5 kW Kompressoren über die Jahre ergibt sich daraus wie in Abbildung 5 dargestellt. Für das Jahr 2018 weist das Modell einen Stromverbrauch von 21,681 GWh aus. Stellt man diesen Wert dem Gesamtverbrauch für die Druckluftherzeugung, wie er in den AGEBA (Rohde 2019) ausgewiesen wird gegenüber, so ist diese Kohorte lediglich für 0,14 % des Stromverbrauches der Druckluft verantwortlich.

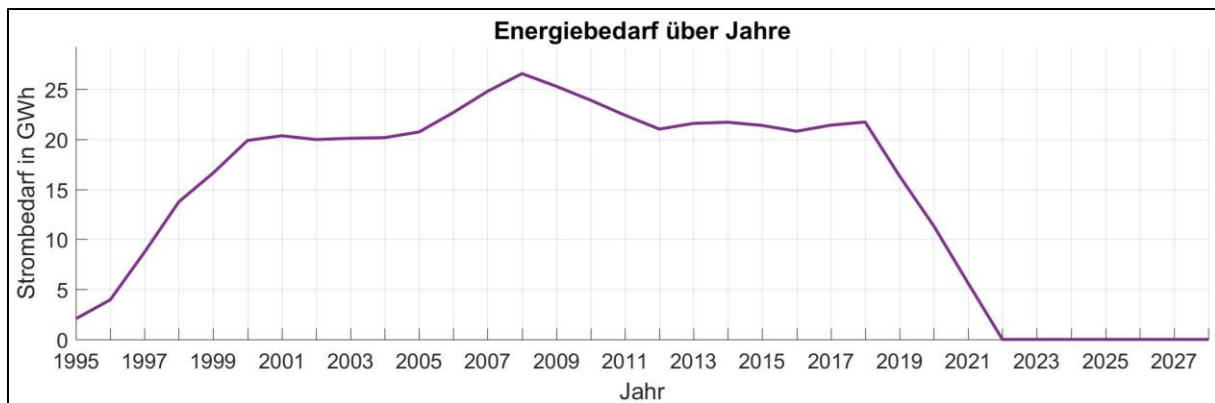


Abbildung 5: Verlauf des Stromverbrauches der 5 kW Kohorte über die Jahre

4 Diskussion

Das vorliegende Berechnungsmodell erhöht die Transparenz der Erfassung des Stromverbrauches von Querschnittstechnologien. Gegenüber des FORECAST-Modells, das im Rahmen der AGEB verwendet wird (Rohde 2019; Fleiter et al. 2018), analysiert das Modell die Marktbedingungen³ und berechnet mit Hilfe einfacher und transparenter Rechenwege kontinuierlich und jährlich den Stromverbrauch. Durch die Nutzung eines Kohortenmodells ist eine viel detailliertere Untergliederung des gesamtdeutschen Stromverbrauches der Druckluft möglich. Diese Unterteilung erlaubt es, branchenspezifische Lastprofile, Betriebsstundenmodelle und Druckniveaus zu berücksichtigen.

Das vorliegende Modell muss, um noch präzisere und umfassendere Aussagen zu den Stromverbräuchen einzelner Kohorten oder Betriebsstundenmodelle/ Branchen treffen zu können, noch auf eine breitere Datenbasis gestellt werden. Hierzu sind noch Messungen zur Bestimmung des Leistungsfaktors oder der Betriebsstundenmodelle notwendig. Für die Bestimmung des Stromverbrauches anderer Elektromotorenssysteme müssen diese beschriebenen technischen Eingangsparameter, wie der Leistungsfaktor oder die Betriebsstundenmodelle identifiziert werden. Zur Betrachtung eines anderen Systems wie bspw. Europa müssen (unter der Annahme, dass sich die Märkte europäischer Einzelstaaten ähneln) die wirtschaftlichen Eingangsparameter wie Produktionszahlen und Austrittsraten dem Betrachtungssystem entsprechend definiert werden.

Das Modell lässt außerdem Aussagen über Verbesserungspotentiale zu. Mit der Veränderung des druckabhängigen Leistungsfaktors können beispielsweise Aussagen über die Wirkung der Verbesserung der Effizienzklasse des Elektromotors getroffen werden.

³ Unter Marktbedingungen wird hier Anzahl der Kompressoren, Verteilung der Leistungsklassen und der Kompressortypen verstanden.

5 Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018): Energie in Österreich 2018 - Zahlen, Daten, Fakten. Wien. Online verfügbar unter <https://www.bmnt.gv.at/energie-bergbau/energie/Zahlen--Daten--Fakten.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Energie in Österreich 2019 – Zahlen, Daten, Fakten. Wien. Online verfügbar unter <https://www.bmnt.gv.at/energie-bergbau/energie/Zahlen--Daten--Fakten.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Eurostat (2019): Sold production, exports and imports by PRODCOM list (NACE Rev. 2) - annual data (DS-066341). Hg. v. European Commission. Luxembourg. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom/data/database/>, zuletzt aktualisiert am 31.07.2019, zuletzt geprüft am 21.02.2020.

Fleiter, Tobias (Hg.) (2013): Energieverbrauch und CO₂-Emissionen industrieller Prozesstechnologien. Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. (ISI-Schriftenreihe "Innovationspotenziale"). Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-234719.html>.

Fleiter, Tobias; Rehfeldt, Matthias; Herbst, Andrea; Elstrand, Rainer; Klingler, Anna-Lena; Manz, Pia; Eidelloth, Stefan (2018): A methodology for bottom-up modelling of energy transitions in the industry sector. The FORECAST model. In: *Energy Strategy Reviews* 22, S. 237–254. DOI: 10.1016/j.esr.2018.09.005.

Kaya, Durmus; Phelan, Patrick; Chau, David; Ibrahim Sarac, H. (2002): Energy conservation in compressed-air systems. In: *Int. J. Energy Res.* 26 (9), S. 837–849. DOI: 10.1002/er.823.

Radgen, Peter (Hg.) (2001): Compressed air systems in the European Union. Energy, emissions, savings potential and policy actions. Stuttgart: LOG_X.

Radgen, Peter (Hg.) (2002): Market study for improving energy efficiency for fans. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl.

Rohde, Clemens (2019): Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2013 bis 2017. Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) - Entwurf. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Karlsruhe. Online verfügbar unter https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=isi_-_einzebericht_industrie_2013_-_2017.pdf, zuletzt geprüft am 26.11.2019.

Sauer, Alexander; Bauernhansl, Thomas (Hg.) (2016): Energieeffizienz in Deutschland. Eine Metastudie. Analyse und Empfehlungen. 2. Auflage. Berlin: Springer-Verlag.

Unger, Manuel; Radgen, Peter Prof. Dr.: Energy Efficiency in Compressed Air Systems. A review of energy efficiency potentials, technological development, energy policy actions and future importance. In: Proceedings of the 10th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems (EEMODS' 2017), Bd. 297101, S. 207–233.

van Elburg, Martijn; van den Boorn, Roy (2017): Preparatory study on Low pressure & Oil-free Compressor Packages. Hg. v. European Commission. Brussels (Belgium). Online verfügbar unter http://www.eco-compressors.eu/downloads/DRAFT_final_LP-OF_20170210-1519.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2017.

