

Fachwissenschaftliche Projektarbeit

Bestimmung des Standes der Technik der Energieeffizienz und des Energiemanagements im Bereich des Maschinenbau



Betreuer	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe Dipl. Wirt.-Ing M. Umut Sari
Vorgelegt von: Matrikelnummer	Yasir Kaynar 151954
Ausgegeben am:	04.07.2014
Eingereicht am:	19.11.2014



Dortmund, im November 2014

Yasir Kaynar

Bestimmung des Standes der Technik der Energieeffizienz und des Energiemanagements
im Bereich des Maschinenbau

Fachwissenschaftliche Projektarbeit Wirtschaftsingenieurwesen
Technische Universität Dortmund
IT in Produktion und Logistik (ITPL)



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
2. Grundlagen	2
2.1. Begriffsdefinitionen	2
2.2. Aktueller Stellenwert der Energieeffizienz in der Industrie	3
2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen	6
2.4. Systematik der Energieeffizienz	7
3. National und international anerkannte Richtlinien und Normen	9
3.1. VDI Verband Deutscher Ingenieure	9
3.1.1. Gebäudetechnik	11
3.1.2. Reinraumtechnik	12
3.1.3. Betriebstechnische Anlagen: Wärme- und Kälteschutz	13
3.1.4. Aufzüge	14
3.1.5. Energiemanagement	14
3.2. Europäische Normen	15
3.2.1. Energieaudits	15
3.2.2. Gebäudetechnik	15
3.2.3. Energieeffizienz-Dienstleistungen	16
3.2.4. Energiemanagementsysteme	18
3.3. Gemeinsamkeiten	18
4. Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz	20
4.1. Top Down und Bottom Up Methode	20
4.1.1. Merkmale	20
4.1.2. Systemgrenzen	23
4.1.3. Benchmark-Methode	23
4.1.4. Rebound Effekt	24
4.2. Pinch-Analyse	25
5. Energiemanagement	27
5.1. Organisationsstruktur	28
5.2. Systemgrenzen	30
5.3. Ziele und Anforderungen an ein Energiemanagementsystem	30
6. Zusammenfassung und Ausblick	36
Literaturverzeichnis	38

Anhang A: Ergänzungen zu Kap. 2 Grundlagen	40
A.1. Stromverbrauch diverser Sektoren	40
A.2. Werkstoffausnutzung und spezifischer Energieaufwand verschiedener Fertigungsverfahren	40

Abbildungsverzeichnis

2.1. Anteil der Investitionen für Energieeffizienz an Gesamtinvestitionen	4
2.2. Energieeinsparpotentiale Indiens in MW pro Jahr	5
3.1. Typischer Ablauf eines Prozesses zur Erbringung einer Dienstleistung zur Verbesserung der Energieeffizienz	17
4.1. Modell zur Methodik des Benchmarkings	23
4.2. Konstruktion der Composite-Kurven	26
4.3. Ermittlung des Pinch	26
5.1. Kernaspekte des Energiemanagements	27
5.2. Modell eines Energiemanagements	31
5.3. PDCA-Ansatz	32

Tabellenverzeichnis

3.1. Bewertungskriterien für Energieeffizienzmaßnahmen	10
4.1. Merkmale von Top-Down- und Bottom-Up-Berechnungsmethoden	21
4.2. Exemplarische Wärmeangebots- und Wärmenachfrageströme bei der Pinch-Analyse	25
5.1. Motivation zur Umsetzung von Energiemanament	28

Formelzeichen und Abkürzungen

Symbol	Einheit	Bedeutung
CP	kW/°C	Wärmekapazitätsstroms
Leistung	PJ	Petajoule
Energie	kW	Kilowatt

Abkürzungen

GA	Gebäudeautomation
TGM	Technisches Gebäudemanagement
GM	Gebäudemanagement
EnMS	Energiemanagementsystem

1. Einleitung

Die Notwendigkeit des Einsatzes von Energie als primärer Inputfaktor, sowohl in der Industrie als auch im modernen Leben des Menschen, begründet die zentrale Herausforderung des Themas Energieeffizienz in einer Zeit, in der der sparsame Umgang mit Energie angesichts begrenzter Ressourcen und potentiell weiter steigender Energiepreise fortlaufend an Bedeutung gewinnt. Von den enormen Vorteilen von Energieeinsparungen durch Energieeffizienzmaßnahmen profitieren viele Akteure. Der Verbraucher wird von Energiekosten entlastet, die Umwelt wird geschont, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen wird gesteigert und der Staat kann seine Abhängigkeit von Rohstoffen anderer Länder verringern und dadurch erhebliche Kosten bei Energieimporten sparen.

Mit den neuen europäischen Richtlinien und Normen gibt die EU ohnedies den Rahmen für die Entwicklung in diesem Zusammenhang vor. Bestrebungen und ambitionierte Ziele der Länder zwingen den Industriesektor, systematisch Energieeffizienzpotenzialen zu erschließen.

Während in den Sektoren Gebäudetechnik und Verkehr durch ihre vergleichsweise einfacheren Strukturierung größere Fortschritte erzielt wurden, ist der Prozess der systematischen Beschreibung des vielschichtigen Themas Energieeffizienz im Sektor Industrie und im Industriezweig Maschinenbau in den Anfangsphasen. Der ausschlaggebende Grund dafür könnte der komplexe Aufbau der angewandten Technologien sein und die Gliederung der zahlreichen Branchen in ihre teils hochspezifischen Verfahren. Der Gegenstand dieser Projektarbeit soll der aktuelle Überblick über den Stand der Technik der Energieeffizienz und Energiemanagement im Bereich des Maschinenbaus sein. Dafür stehen anerkannte Richtlinien und Normen von nationalen und internationalen Verbänden im Fokus der Arbeit. Aus der Analyse dieser werden Methoden zur Steigerungen der Energieeffizienz vorgestellt. Das Energiemanagement als übergreifendes Modell wird dazu näher untersucht.

Die Aufgabe von mir bestand darin, die Grundlagen des Themas zu verfassen und die national und international anerkannten Richtlinien und Normen zu analysieren und zu vergleichen. Die Pinch-Analyse zu den Methoden zur Steigerungen der Energieeffizienz fiel hierbei auch in meinen Aufgabenbereich.

2. Grundlagen

Um die Thematik Energie im Kontext der Effizienz und des Management analysieren zu können, ist es wichtig die Rahmenbedingungen und Instrumente in dem Zusammenhang näher zu untersuchen. Hierbei werden die *End- und Nutzenergie* beachtet. Andere Energiezustände wie *Primärenergie und Sekundärenergie* werden ausgeklammert, da diese den Rahmen der Arbeit sprengen würden.

Laut dem Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) wird der industrielle Stromverbrauch im Jahr 2008 mit 837,4 PJ geschätzt, wovon 42,3 PJ dem Sektor Maschinenbau zuzurechnen sind. Die mechanische Energie nimmt hierbei den größten Anteil am Verbrauch mit ca. 50% der Gesamtenergie ein. Andere Sektoren wie die Grundstoffchemie mit 155,5 PJ und der Metallerzeugung mit 77,7 PJ sind im Vergleich viel größere Verbraucher.[Blesl u. Kessler, 2013] Diese Tatsache verdeutlicht die Grenzen dieser Projektarbeit, die nur die Energieeffizienz im Sektor des Maschinenbaus näher behandelt. Die genauen Werte sind dem Anhang zu entnehmen.

2.1. Begriffsdefinitionen

Primärenergie

Primärenergie ist der Energieinhalt von Energieträgern, die in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden. Es wird zwischen „unerschöplichen“ bzw. regenerativen, fossilen (Erdöl, Kohle, Erdgas) und nuklearen Energieträgern klassiziert. [Blesl u. Kessler, 2013]

Sekundärenergie

Sekundärenergie ist der Energieinhalt von Energieträgern, die aus Primärenergie durch einen oder mehrere Umwandlungsschritte gewonnen wurden (bspw. Elektrizität, Kraftstoff, Heizöl). [Blesl u. Kessler, 2013]

Endenergie

Endenergie ist die Energie, die nach der Umwandlung übrig gebliebene Teil der Primärenergie, die der Erzeugung von Nutzenergie dient.

Nutzenergie

Nutzenergie ist die technische Form der Energie, welche dem Verbraucher zur Verfügung steht.

Energieintensität

Relation zwischen Energieverbrauch und Wertschöpfung in einem Sektor oder in der Gesamtwirtschaft, gemessen z.B. durch Primär- oder Endenergieverbrauch je Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP). [Gabler Wirtschaftslexikon, 2014]

Energieaudit

Systematische Inspektion und Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs

einer Anlage, eines Gebäudes, eines Systems oder einer Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potenzial für Energieeffizienzverbesserungen zu identifizieren und über diese zu berichten [DIN EN 16247-1, 2012]

Bezugsniveau

Über ein bestimmtes Zeitintervall berechneter oder gemessener Energieverbrauch, der mithilfe von Ausgleichsfaktoren normalisiert wird [DIN EN 15900, 2010]

Ausgleichsfaktoren

Quantifizierbare Einflussgröße, die sich auf den Energieverbrauch auswirkt wie beispielsweise Witterungsbedingungen, verhaltensbezogene Parameter (Innenraumtemperatur, Lichtstärke), Arbeitszeit, Produktionsdurchsatz.

Enthalpie

Ein Maß für den Energieinhalt eines thermodynamischen Systems.

Energiebereitstellung

Die Energiebereitstellung in der Industrie umfasst die Herstellung und Lieferung von Strom, Wärme, Kälte, Druckluft usw. für die Produktion. Das zeitliche Verhalten des Energiebedarfs, insbesondere größere Lastwechsel, hat maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz der Energiebereitstellung. [VDI 4602 Blatt 2, 2013]

Energieeffizienz

Die Energieeffizienz stellt das Verhältnis oder die quantitative Beziehung zwischen dem Energieaufwand und der erzielten Leistung.

2.2. Aktueller Stellenwert der Energieeffizienz in der Industrie

Das Managen und die Einsparung von Energie werden bei einer Allokation von Energieressourcen relevant, doch spielten sie bis zum 20. Jahrhundert keine wichtige Rolle. Faktoren wie Wirtschaftlichkeit, Produktivität und Qualität von Produkten wurden größere Stellenwerte beigemessen und dies hat sich nicht geändert. Allerdings gewinnt die Energieeffizienz im Zuge der Diskussion um die Verknappung des internationalen Energieangebots immer mehr an Bedeutung und ist zugegen ein aktuelles Thema.

Gründe hierfür sind der rapide steigende internationale Energiebedarf, verursacht durch eine wachsende Weltbevölkerung, die Entwicklung und Industrialisierung von Schwellenländern und die steigende Kostenintensität des Produktionsfaktor Energie. Außerdem beschließen die EU-Staaten eine Reihe von Vereinbarungen und Ziele in der Energiepolitik und setzen Anforderungen an den Umweltschutz, so dass das Thema Energieeffizienz für die Industrie und Unternehmen an Bedeutung gewinnt. Im nächsten Kapitel wird dies näher behandelt.

Industriebereiche, die im internationalen Wettbewerb stehen, unternehmen folglich seit Jahrzehnten erhebliche Anstrengungen um die Effizienz ihrer Produktionsprozesse zu verbessern. Insgesamt konnte die Industrie ihre *Energieintensität* von 1991 bis 2011 um knapp 28% auf etwa 2.401 MJ je 1000 Euro Bruttoinlandsprodukt (real) verringern. Allerdings stehen dahinter überdurchschnittliche hohe Einsparungen beim Brennstoffeinsatz und teilweise nur sehr moderate Verbrauchsrückgänge. [BMW, 2013]

Laut einer aktuellen Studie des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)

sehen die Unternehmen die Bedeutung der Energieeffizienz gleichbedeutend mit anderen Faktoren (43%) bis verhältnismäßig groß (42%) mit steigender Tendenz nach oben. Jedoch erreicht der Anteil der Energieeffizienzinvestitionen an den Gesamtinvestitionen im Maschinenbau durchschnittlich 8%, wie in der Abb.2.1 zu sehen ist. Die große Mehrheit der Unternehmer planen Energieeinsparungen bis nur maximal 5% in den nächsten 12 Monaten.

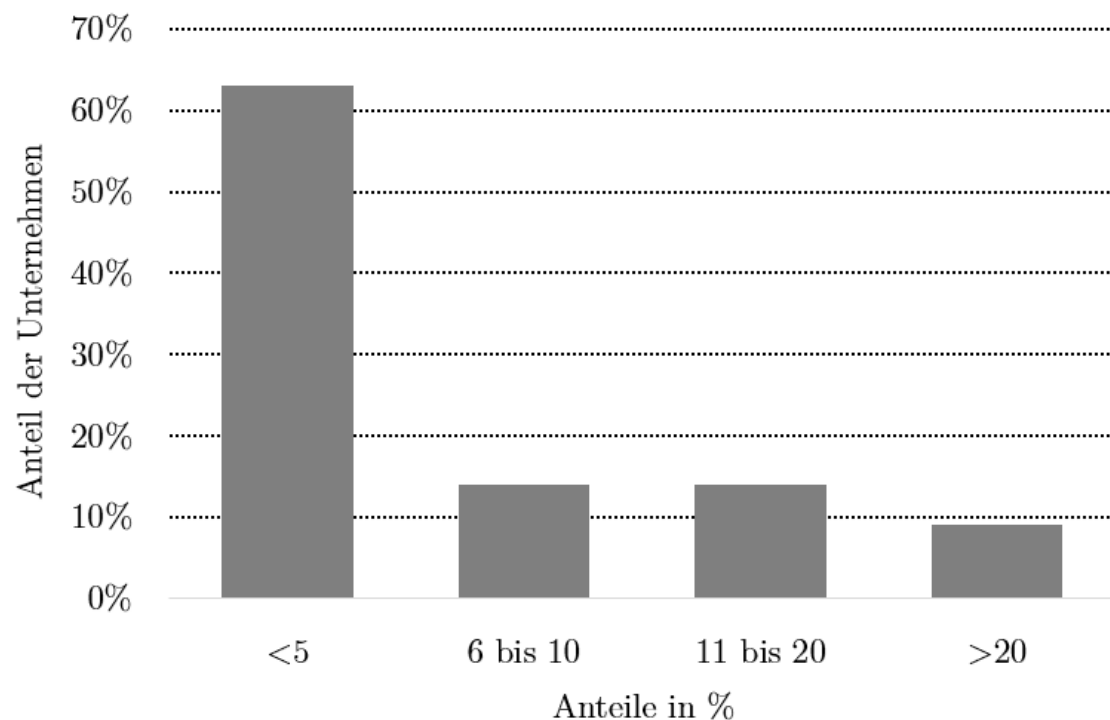


Abbildung 2.1.: Anteil der Investitionen für Energieeffizienz an Gesamtinvestitionen [Institut für Energieeffizienz in der Produktion , EEP]

Die geringe Investitionslust der Unternehmen ist begründet. Die Investition in Energieeffizienz ist teuer und hat einen sehr breiten Amortisationshorizont. Das Unternehmen muss längerfristig mit der Energieeffizienz planen und kurzfristige Risiken durch Liquidationsverluste eingehen. Im privaten Bereich wird die Energieeffizienz durch den Staat subventioniert, wogegen in der Industrie die Unternehmen auf sich alleine gestellt sind. Eine Möglichkeit wäre die Ermöglichung von Sonderabschreibungsmöglichkeiten für Energieeffizienzmaßnahmen. Solch eine Regelung ist jedoch zurzeit nicht vorgesehen. Diese Tatsachen halten viele Unternehmer davon ab, in die Einsparung von Energie zu investieren und veranlassen so lediglich bei guten Vorsätzen für die Zukunft zu bleiben.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), ein internationaler Berufsverband von Ingenieuren, die sich der Entwicklung von Innovationen sowie dem ständigen technologischen Fortschritt verschrieben haben, stellen den global größten agierenden Verband dar. Die Geschichte des IEEE-Verbands lässt sich bis zum Jahre 1884 zurückverfolgen, als Elektrizität erstmals innerhalb der Gesellschaft begann eine größere Rolle zu spielen und eine kleine Gruppe dieses Fachbereichs in New York beschlossen zwei Verbände (AIEE und

IRE) zu gründen, welche letztendlich 1963 im IEEE vereint wurden. Heute umfasst das IEEE über 425000 Mitglieder in über 160 Ländern, darunter Elektroingenieure, Physiker, Professoren und andere Wissenschaftler, 38 Fachbereiche, wobei man hier von „Societies“ spricht, 300 Journalen und Magazinen sowie 300 Konferenzen jährlich und 900 aktuell geltenden Standards.[IEEE, 2014]

Im Rahmen dieser Arbeit liegt der internationale Fokus auf dem Maschinenbausektor.

S.S. Krishnan, ein Senior-Member des IEEE, diskutiert in einem seiner Artikel die Wichtigkeit einer nachhaltigen Energieinfrastruktur, durch welche die Signifikanz der Energieeffizienz im Bezug auf die Nutzung von Maschinen im Maschinenbausektor deutlich in den Vordergrund rückt. Dabei bildet sich diese Infrastruktur nach Krishnan durch zwei Parteien. Zum einen die Energieproduzenten auf der Angebotsseite und zum anderen die Konsumenten auf der Nachfrageseite. Diese Bedeutsamkeit der Energieeffizienz zeigt sich in einem Referenzdokument der UNIDO, der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung. In diesen statistischen Auswertungen wird die steigende Energienachfrage der Industrie auf einen Wert zwischen 1.8 Prozent und 3.1 Prozent innerhalb der nächsten 25 Jahre geschätzt. [UNIDO, 2014] Weiterhin steht fest, dass das aktuelle technische Potenzial bei weitem nicht ausgeschöpft wird und Nutzungs- sowie Wirkungsgrade von Maschinen durch verschiedenste Faktoren nicht ausgereizt werden. Das Potenzial von möglichen Energie- und Emissionseinsparungen soll sich auf einen Wert zwischen 26 Prozent und 32 Prozent belaufen. So hat Indien als technologisch aufstrebendes Land, global repräsentativ mit dem Büro für Energieeffizienz eine auf statistischen Messungen basierende Einschätzung, die die Energieeinsparungen in MW aufzeigt, für Indien in Abb. 2.2 dargestellt.

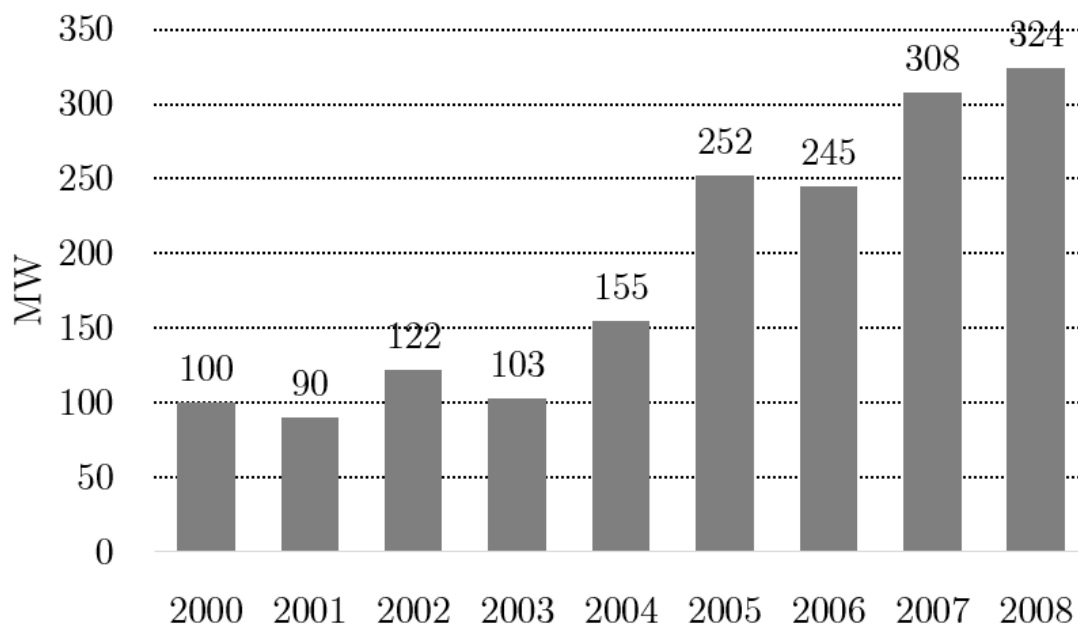


Abbildung 2.2.: Energieeinsparpotentiale Indiens in MW pro Jahr [Krishnan, 2009]

Eine erhöhte Produktion von Energieeinheiten geht bis heute mit einer äußerst kostenintensiven Aufstockung von Kapazitäten einher, welche ebenfalls kritische Fragen gegenüber negativen Umweltauswirkungen aufwerfen. Erhöhte Kapazitäten führen damit

zwangsläufig zu einem höheren Verbrauch von Kohlenstoffdioxid, der für den aktuell diskutierten Klimawandel verantwortlich ist. Demnach lässt sich die Energieeffizienz eines Prozesses bzw. einer Maschine am notwendigen Energieeinsatz feststellen: Denn umso höher der Energieeinsatz für eine Einheit innerhalb einer beliebigen Produktionskette ist, desto geringer ist die jeweilige Energieeffizienz. Als Beispiel dient nach Krishnan eine Fräsmaschine, welche statt ihrer offensichtlichen Aufgabe, dem Materialabtrag durch Fräsen, eher multifunktionell genutzt werden soll. Durch zusätzlich integrierte Funktionen reduzieren sich für eine Produktion eines beliebigen Guts erforderliche Maschinen auf ein Minimum und eine Kostenersparnis lässt sich aufgrund eines geschmälertem Energieeinsatz festhalten. Positiv wirkt sich eine solche Multifunktionalität auch auf den CO₂-Verbrauch aus, der somit ebenfalls sinkt.

Eine in 29 Provinzen durchgeführte Energieeffizienzanalyse zwischen 1995 - 2007 der Hangzhou Dianzi Universität in China, welche 2010 auf der dritten internationalen Konferenz für Informations-, Innovationsmanagement und Wirtschaftsingenieurwesen näher erörtert wurde, belegt die Annahme, dass Energieeinsparungspotenziale noch kaum wahrgenommen wurden. Es stellte sich heraus, dass die Provinzen in China im Durchschnitt deutlich höhere Energieeffizienzwerte erzielen als westliche Länder. Dabei galten die zwei effizientesten Provinzen Shanghai und Hanai als Benchmark.[Duan u. Li, 2010] Darum fordert die Europäische Union eine Steigerung der Energieeffizienz um 20 Prozent bis 2020.[Pehnt, 2010] Die vorher beschriebene Signifikanz von Energieeffizienz wird also in Hinsicht der steigenden Preise für fossile Rohstoffe¹ und der aufkommenden Umweltfrage noch deutlicher. Demnach vermag man zu sagen, dass jede gesparte Energieeinheit besser ist als jene neu produzierte, da während der Energieproduktion, -transport, -verteilung, Verluste feststellbar sind, welche auch als *Negawatt* bezeichnet werden. Aktuell werden solche Verluste besonders durch verschiedene Benchmark-Methoden ermittelt. Verbesserungs- und Berechnungsmethoden, darunter auch die zuvor erwähnte Benchmarkmethode, werden in dieser Arbeit später näher beschrieben.

2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen

Das Thema Energieeffizienz gewann nicht zuletzt an hoher Bedeutung durch den Druck seitens der Legislative. Die Europäische Union und vor allem Deutschland streben für die Zukunft ambitionierte Ziele an. Durch das Einwirken von Gesetzen und Normen, geformt auf europäischer und nationaler Ebene, wird versucht die Industrie im Rechtsrahmen zu regulieren. Dabei müssen die europäischen Staaten und Unternehmen Richtlinien der EU umsetzen und regelmäßig nach Brüssel Bericht erstatten.

Die Anfänge der Effizienz im politischen Kontext beginnen schon 1976 mit dem Energieeinspargesetz. Dieses bezog sich vorrangig auf heizungs- und raumluftechnische Anlagen. Die ersten umfassenden Schritte wurden durch das Integrierten Energie- und Klimapaket IEKP 2007 eingeleitet. Mit dem IEKP beschloss Deutschland Maßnahmen einzuleiten, um die Energieeffizienz zu steigern und den Ausstoß von CO₂ zu reduzieren. Der Energieverbrauch soll bis 2020 um 20% und bis 2050 um 50% reduziert werden und die Energie-Produktivität dabei jährlich um 2,1% ansteigen und gleichzeitig der Stromverbrauch bis 2020 um 10% und bis 2050 um 25% sinken. [BMWi, 2013] Deutschland hat jüngst bekannt gegeben, dass sie dieses Ziel verfehlen werden. [klimaretter.info, 2014] Laut aktuellen Entwicklungen im EU-Parlament soll jedoch ein neues Energieeffizienzziel

¹z.B. Erdgas, Erdöl

von 30% bis 2030 seitens der EU-Kommission vorgeschlagen werden.[Spiegel Online, 2014] Die gesetzten Ziele zeigen den guten Willen der Legislative, jedoch ist die praktische Umsetzung eine andere. Vor allem ist zu diskutieren, ob und wie solche Anforderungen durch die Industrie konkret erfüllbar sind .

Neben dem IEKP und vielen anderen Richtlinien, Entschlüssen, Anpassungs-² und Umsetzungsstrategien, wie dem zweiten nationalen Energieeffizienz-Aktionsplan (2. NEEAP), der mit 89 Maßnahmen versucht, die EU-Ziele umzusetzen, werden jedoch keine expliziten Vorgehensweisen für den Sektor Maschinenbau vorgegeben. Vielmehr wird das Ökodesign in 37 Kategorien von energieverbrauchsrelevanter Produkte näher beschrieben. In diesem Bereich wird der Schwerpunkt auf umweltgerechte Gestaltung von Produkten wie Glühbirnen oder elektrischen Haushaltsgeräten gelegt. Effizienzmethoden für die Industrie und den Maschinenbau sind nur im spezifischen Zusammenhang dargelegt und werden im Kapitel 4 untersucht.

2.4. Systematik der Energieeffizienz

In der Diskussion um Energieeffizienzmaßnahmen stellt sich ein Hauptproblem heraus: die exakte Berechnung der Effizienz. Es gibt verschiedene Kriterien und Kennzahlen um energiewirtschaftliche und technische Einsparmöglichkeiten zu systematisieren. Doch erreichen diese bei komplexen Sachverhalten schnell ihre Grenzen.

Eine grobe Richtschnur für einen rationellen Energieeinsatz sollte wie folgt aussehen:

1. Vermeidung von unnötigen Verbräuchen
2. Verringerung des Energiebedarfs
3. Vernetzung der Energieströme
4. Einsatz effizienter Technologien
5. Einsatz erneuerbarer Energien
6. Flexibilisierung von Anlagen

Der Einsatz von erneuerbaren Energien und die Flexibilisierung von Anlagen ist hierbei ein längerfristig angesiedeltes Vorhaben. In erster Linie sind die ersten vier Schritte umzusetzen. Durch die Vermeidung unnötiger Verbräucher kann der Energiehaushalt deutlich effizienter gestaltet werden. Beispielsweise sollten unbelastete Maschinen in den Standby-Modus versetzt oder ganz abgeschaltet werden und mit Verbrauchsmaterial sorgsam umgegangen werden. Eine umfassende Planung kann hierbei hilfreich sein.

Die Verringerung des Energiebedarfs als zweiter Schritt wird durch den ersten Schritt unterstützt. Eine weitere Maßnahme könnte die Einführung eines ganzheitlichen Produktionssystems mit nivelliertem Produktionsfluss darstellen, in dem durch Verringerung der Produktion der Energiebedarf gesenkt werden kann.

Als weitaus schwieriger erweist sich die Vernetzung und Integration von Energieströmen dar. In der Praxis lässt sich der Energieerhaltungssatz sehr selten zu Nutze machen. So könnte beispielsweise die Abwärme eines Betriebs zur Erwärmung einer anderen Halle verwendet werden um eine unternehmensübergreifende Vernetzung ermöglichen, doch

²Am 17. Dezember 2008 beschlossene Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel

sind solche Ideen meist optimistischer Natur. Die Pinch-Analyse in Kap. 4.2 bildet einen guten Ansatz um die Problematik der Wärmeausnutzung zu untersuchen.

Der Einsatz von effizienten Technologien setzt eine kontinuierliche Entwicklung im Bereich der Energieeinsparmöglichkeiten voraus, die im Sektor des Maschinenbaus noch in den Anfangsphasen befindet. Auf den Einsatz von erneuerbarer Energien kann das Unternehmen selbst nur sehr schwer bis gar nicht Einfluss nehmen. Sie sind abhängig vom aktuellen Energieangebot und Fortschritt der Energiewende. Das eigenständige Erzeugen und Aufbereiten von Energie und die dadurch gewonnene Flexibilisierung von Anlagen kann nur von einigen wenigen Unternehmen in Betracht gezogen werden, da dieser Schritt mit den finanziellen Ressourcen und der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens vereinbar sein muss.

Als ein erster Indikator zur Bewertung der Energieeffizienz kann der Wirkungsgrad dienen. Um die Energieeffizienz unterschiedlicher Fertigungsverfahren beurteilen zu können, gibt es generische Untersuchungen, die den Bezug zwischen einer optimalen Werkstoffausnutzung und dem erforderlichen Fertigungsenergieaufwand herstellen. Bei spanenden Fertigungsverfahren beträgt die Werkstoffausnutzung 40 - 50% bei einem Energieaufwand von 66 - 82 MJ/kg. Dagegen werden bei umformende Fertigungsverfahren wie dem Kalt- oder Halbwarmfließpressen Ausnutzungsgrade von 85% bei gerade 41 MJ/kg erreicht (siehe Anhang für weitere Verfahren). Durch das Kombinieren von Verfahren ist eine Steigerung der Energieeffizienz möglich.

Wenn die Energieeffizienz als möglichst hohes Verhältnis von Nutzen zu (Energie-)Aufwand betrachtet werden kann, bleiben prinzipiell zwei Möglichkeiten: die Maximierung des Nutzens und die Minimierung des Aufwands. Es ist zu beachten, dass der reine energetische Vergleich von einzelnen Verfahren kontraproduktiv ist. Besser ist der Vergleich von einzelnen Produkten oder Baugruppen.

Wertvolles Wissen kann darüber hinaus durch einen Vergleich mit Unternehmen innerhalb der Branche gewonnen werden. Ein branchenübergreifender Vergleich lässt den eigenen Horizont zusätzlich erweitern und insgesamt die Entwicklung in der Energieeffizienz vorantreiben.

3. National und international anerkannte Richtlinien und Normen

Für die Analyse des Standes der Technik im Sektor Maschinenbau im Kontext der Energieeffizienz und -management werden unterschiedliche Richtlinien und Normen sowohl nationaler als auch internationaler Verbände und Organisationen herangezogen. An dieser Stelle wird auch auf die Gemeinsamkeiten und Auffälligkeiten eingegangen. Die Projektarbeit fokussiert sich auf den deutschen bzw. europäischen Raum. Im Kapitel Grundlagen wurde zu dem der internationale Kontext vorgestellt. Der wichtige aber in dem Kontext des Themas in Irrelevanz fallende Verband VDE wird im folgenden nicht angeführt.

3.1. VDI Verband Deutscher Ingenieure

Der Verband Deutscher Ingenieure als größter technisch-wissenschaftlicher Verein Deutschlands stellt im Hinblick auf Entwicklungen in der Forschung im Technik-Sektor eine wichtige Organisation für die deutsche Industrie dar. Durch Aufstellen von Richtlinien in verschiedenen Fachbereichen wie Energie und Umwelt, Gebäudetechnik und Produktion und Logistik bietet die VDI eine elementare Grundlage für die Arbeiten von Ingenieuren. Im Bereich der Energie werden aktuell Konferenzen und Tagungen gehalten. Das VDI Wissensforum hatte 2006 in Berlin eine große VDI-Fachtagung veranstaltet, dessen Inhalte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in Unternehmen und die ökonomischen Vorteile effizienter Energienutzung thematisieren [VDI-Berichte 1951, 2006]. Es bot Experten aus dem Gebiet die Möglichkeit, ihre Erfahrungen auszutauschen und somit den Teilnehmern bei eigenen Plänen und Vorhaben helfen zu können.

Die Vielzahl an Konferenzen im Bereich der Energieeffizienz und -management verdeutlichen, dass es noch viel Potential in der Forschung gibt. In einer aktuellen Konferenz machte das VDI-Forum deutlich, dass sie ihren Fokus im Hinblick auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energieeffizienzsteigerung auf folgende Elemente setzt [VDI Forum, 2014]:

- Beleuchtung
- Druckluft
- Fördertechnik
- Lüftung
- Pumpen

- Kälte

An dieser Stelle wird die hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit der Maßnahmen unterstrichen. So erlaubt der aktuelle Stand der Entwicklung nur diese Empfehlungen zu geben. Die aufgezählten Elemente lassen sich in allen Bereichen des Maschinenbaus finden. Mit einfachen Mitteln wie die tageslichtabhängige Steuerung der Dimmfunktion und der Einsatz neuer hocheffizienter Leuchtmittel lassen sich erste schnelle Erfolge erzielen. In Arbeitsfeldern mit Druckluft können durch das Austauschen alter Kupplungen, regelmäßige Wartung inklusive Filterwechsel, Anpassung der Druckluftfeinheit und der Reduktion von Leckagen erhebliche Einsparpotentiale freigesetzt werden. Die Fördertechnik spielt in fast allen Produktionssystemen eine zentrale Rolle. Hier können Regelungen wie der Einsatz von hocheffizienten Antrieben und reibungsarmen mechanischen Komponenten getroffen werden. Keilriemenantriebe sollten durch Flachriemenantriebe ersetzt werden, da sie höhere Wirkungsgrade erreichen, und eine Drehzahlregelung von Antrieben installiert werden. Bei Lüftungen, Pumpen und Kälte kann durch regelmäßige Wartungsarbeiten und der Einsatz von hocheffizienten Antrieben auch das Einsparen von Energie erzielt werden.

Tabelle 3.1.: Bewertungskriterien für Energieeffizienzmaßnahmen [VDI Forum, 2014]

Kriterium/ Skala	Umsetzungskomplexität	Einsparpotenzial	Investitionskosten/ Wartungs- und Instandhaltungskosten
1	Erfordert aufwendige Neuplanung und Umbauten einer Anlage / eines Systems	<5% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie	Sehr hohe Anschaffungskosten
2	Erfordert starke Anpassungen / Eingriffe / Umbauten am System	5%<x<30% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie	Hohe Anschaffungskosten
3	Erfordert aufwendigere Auslegung neuer Systemkomponenten, aber keine weiteren Systemanpassungen oder Umbauten	30%<x<70% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie	Normale Anschaffungskosten oder Personal- / Parametereinstellungen und geringe Anschaffungskosten
4	Erfordert Installation und einfache Auslegung eines zusätzlichen neuen Gerätes	70%<x<95% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie	Günstige Anschaffungskosten
5	Erfordert einfache bis keine Hilfsmittel mit geringem Auslegungsaufwand	>95% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie	Nur Wartungs- und Instandhaltungskosten oder Parametereinstellung am System

Bei der Analyse der Maßnahmen für Energieeffizienzmaßnahmen führt das VDI-Forum Bewertungskriterien ein. Dazu werden die Kriterien Umsetzungskomplexität, Einsparpotenzial und Investitionskosten/Wartungs- und Instandhaltungskosten herangeführt wie in

der Tab. 3.1 zu sehen ist. Eine Skala von 1 bis 5 soll dabei den Grad der Ausprägung beschreiben.

Die Umsetzungskomplexität der genannten Maßnahmen ist im unteren Skalenbereich anzusiedeln und somit besser umsetzbar. So brauchen die meisten Maßnahmen einfache bis keine Hilfsmittel mit geringem Auslegungsaufwand und evtl. eine einfache Auslegung eines zusätzlichen neuen Gerätes. Die entstehenden Kosten sind auch im unteren Skalenbereich zu kategorisieren, da es sich hier nicht um umfassende Eingriffe in das System oder in die Anlage handelt. Allerdings werden dadurch keine hohen Einsparpotenziale erreicht. Mit geringem Aufwand bleiben hohe Einsparungen, die bis zu mehr als 50% der höchsten Einsparung in entsprechender Querschnittstechnologie gehen, aus. Diese Tatsache ist eines der Ursachen für die geringe Investitionslust der Unternehmen, wie in Kap. 3.1 erwähnt.

Richtlinien der VDI

„VDI-Richtlinien tragen als technische Regeln dazu bei, dass die Gesundheit von Menschen geschützt und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft gesichert wird.“ [VDI, 2014]

Auf ihrer Internetpräsenz beschreibt die VDI ihre Richtlinien als technische Regeln, die auf nationalen und internationalen Festlegungen basieren. Sie ermöglichen das Identifizieren und Verfolgen von technischen Entwicklungen. Folglich beschreiben die VDI-Richtlinien den Stand der Technik. Im Bereich der Energieeffizienz für den Maschinenbau-Sektor ist die Anzahl überschaubar. Hier ist deutlich, dass noch weite Gebiete erforscht und analysiert werden müssen, um weitere Felder abzudecken. Idealerweise ist eine allgemeine Richtlinie für die Energieeffizienz anzustreben, wie es beim Energiemanagement der Fall ist.

Die VDI hat bisher folgende Richtlinien im Zusammenhang der Energieeffizienz herausgebracht:

- Gebäudetechnik
- Reinraumtechnik
- Betriebstechnische Anlagen: Wärme- und Kälteschutz
- Aufzüge

Abgesehen von diesen Richtlinien sind noch einige andere zum Thema Energieeffizienz vorhanden, wie zum Beispiel zu Schwimmbädern. Diese sind für diese Projektarbeit jedoch nicht von Bedeutung und werden nicht näher betrachtet.

3.1.1. Gebäudetechnik

Die *VDI 2166* gibt im Zusammenwirken mit geltenden Richtlinien (dazu gehören die VDI 1000 und die EU-Richtlinie 2002/91/EG vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden) Entscheidungshilfen zur Planung von Systemen, um Investitionskosten zu optimieren sowie Verbrauchskosten in gewünschter Transparenz auf unterschiedliche Nutzer, Gewerke, Gebäudeteile und Energiedienstleistungen aufteilen zu können [VDI 2166 Blatt 1, 2008]. Hierbei wird ein betriebswirtschaftlicher Ansatz geführt. Primär wird versucht die Energiekosten zu senken. Dies ist zum einen durch

Energieeinsparungen in Form von Wirkungsgradverbesserungen möglich, zum anderen durch Energiekosteneinsparungen. Eine Wirkungsgradverbesserung der Aggregate/der Verbrauchsmittel reduziert die Kosten auf direkter Weise. Daher ist beim Kauf von neuen Aggregaten auf den Wirkungsgrad zu achten.

Bei Energiekosteneinsparmaßnahmen ist der Energievertrag zu beachten. Für einen optimalen Energielieferungsvertrag ist die Kenntnis des genauen Bedarfs und des Lastprofils von entscheidender Bedeutung. Bei Verträgen mit Leistungsverrechnung sind Leistungsschwankungen genau zu beobachten und zu kontrollieren, da sie sich stark auf die Kosten auswirken können. Ein gleichmäßig verlaufendes Lastprofil ist anzustreben. Dazu muss eine Soll-Ist-Kontrolle bzw. der Vergleich zwischen Planungswerten und tatsächlichen Verbrauchswerten ermöglicht werden. Die Betrachtung der Energieerfassung erfordert die Unterscheidung zu welchem Zweck eine Messung erfolgen soll, damit die Messinstrumente auf die Anforderungen abgestimmt sind. Grundsätzlich wird hier unterschieden nach:

- Werte und Ereignisse dokumentieren (Verbrauchswerte, Ganglinien, Meldungs- und Störungsmanagement)
- Beeinflussung der gegenwärtigen oder zukünftigen Vorgängen (Lastmanagement)
- Erstellung von Prognosen für Ausbau, Wartung, Instandhaltung, aber auch eine Optimierung des Lastmanagements

Überdies ist die Verbrauchsmittelsteuerung ein Weg, den Energiebezugsvertrag bestmöglich zu nutzen, insbesondere in Produktionsbetrieben, wo Chargen erzeugt oder bearbeitet werden und in regelmäßig wiederkehrenden Intervallen typische Energiebedarfslinien aufweisen. Der Verlauf dieser Energiebedarfslinien macht den Verbrauch prognostizierbar und ermöglicht folglich die Terminierung von Produktionsabläufen. So kann beispielsweise die Addition von Lastspitzen vermieden werden und eine nivellierte Energiebezugskurve erzeugt werden.

Durch das Einführen eines Lastabwurf-Systems kann ein gegenwärtiges System gezielt beeinflusst werden. Die Aufgabe ist die Überwachung einer vereinbarten Leistungsgrenze, die bei Überschreitung die Einsparung von Leistung erfordert. Dazu werden die Verbraucher gesperrt (Lastabwurf). Bei Unterschreitung des Limits kann Energie wieder freigegeben werden. Die Reihenfolge für das Sperren und Freigeben wird in einer Prioritätenliste festgelegt. Eigenerzeugung von Energie stellt eine weitere Möglichkeit dar, Energiebezugsüberschreitungen zu verhindern.

Die Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit und Lebensdauer der Anlagen hängen maßgeblich von der Qualifikation des Betreiberpersonals ab. Diese übernehmen die grundsätzliche Aufgabe der Betriebsüberwachung. Die Anforderungen werden durch die Art der Anlage und die durchzuführende Instandhaltungstätigkeiten bedingt. Mit dem Sammeln und Auswerten von Daten kann zudem ein Ist-Stand aufgezeigt werden und für die weitere Betrachtung und Ausarbeitung technischer Einsparkonzepte als Grundlage dienen.

3.1.2. Reinraumtechnik

Eine andere Richtlinie, die die VDI im Zuge der Energieeffizienz darlegt, ist die *VDI 2083*. Wegen des enormen Luftmengenbedarfs und der hohen Aufbereitungsqualität der Luft gehört die Reinraumtechnik zu den großen industriellen Energieverbrauchern. Reine Räume werden hierbei nicht nur in der Hochtechnologie wie beispielsweise in der Chipherstellung

oder Biotech-Forschung verwendet. In der Automobilindustrie bei der Kunststoffverarbeitung nutzen führende Unternehmen wie BMW die Reinraumtechnik. Des Weiteren gibt es energiepolitische Vorgaben bezüglich der Minderung von CO₂-Emissionen (Kyoto-Protokoll) und der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2002/91/EG). [VDI 2083 Blatt 4.2, 2011]

In Produktionsprozessen bestimmen die Prozessanforderungen und der Luft-, Energie- und Stoffaustausch zwischen Prozess und Umgebung maßgeblich den Nutz- und den Endenergiebedarf. Dabei steht die Einhaltung der Prozessanforderungen stets im Vordergrund. Energierrelevante Einflussgrößen wie Klimaparameter (Temperatur und Feuchte), Reinheit, Luftwechsel, Luftgeschwindigkeit, Filter, Partikelemission, Kühl- und Heizlast beeinflussen die Reinraumklasse und sind somit zu beachten.

Ein anderer Aspekt, der zu einer deutlich verschlechterten Energieeffizienz führen kann, ist die Redundanz/Leistungsreserve. Anlagen mit Leistungsreserven, wie z.B. Lüftungs- oder Kältetechnische Anlagen, können bei einem Ausfall zusätzlich in Bereitschaft stehen und die Sicherheit und Verfügbarkeit erhöhen. Eine Installation von Zusatzanlagen verursacht erhöhte Investitionskosten und bei überwiegender Betriebszeit im nicht energetisch optimalen Bereich kann dies einen deutlich erhöhten Energieverbrauch verursachen.

3.1.3. Betriebstechnische Anlagen: Wärme- und Kälteschutz

Der Wärme- und Kälteschutz an betriebstechnischen Anlagen hat die primäre Aufgabe, Objekte nach betrieblichen Anforderungen sowie nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu dämmen. Zusätzlich ist die Erhöhung der Energieeffizienz, Schonung der Energieressourcen und Verminderung der CO₂-Emissionen anzustreben. Die *VDI 4610* stellt ein Werkzeug bereit, mit dem Einsparpotentiale an Wärme- und Kälteverlusten ermittelt sowie Maßnahmen für eine effektive Dämmung unter Beachtung von ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten konzipiert werden können. [VDI 4610 Blatt 1, 2012]

Dämmungen verhindern mit zunehmender Dämmschichtdicke die Wärmeverluste eines Objektes, wodurch die jährlichen Betriebskosten reduziert werden können. Das Ziel einer Dämmung ist den Gesamtwärmeverluststrom minimal zu halten. Hierzu gibt die Richtlinie mathematische Formeln zur Berechnung des Wärmeverluststroms an. Dabei wird von einem Anwendungsbeispiel zum anderen unterschieden. Beispielsweise sind unterschiedliche Formeln bei ebenen Wänden anzuwenden als bei zylindrischen Behältern.

Maßnahmen zum Energiesparen können, auch in Hinblick auf den Umweltschutz, in Energieeffizienzklassen eingeteilt werden. Bei einer Reduktion des Wärmeverluststroms ist das Erreichen der Energieeffizienzklassen A, B und C möglich. Für neue Anlagen ist die Klasse C als heutiger Stand der Technik anzusehen, wobei mit den Energieeffizienzklassen A und B noch Spielräume für weitere Verbesserungsmaßnahmen und Innovationen verbleiben. [VDI 4610 Blatt 1, 2012] Die Klasse D wird erreicht, wenn alle Bauteile gedämmt sind. Falls die Dämmschichtdicke bei betriebstechnischer Auslegung dicker ausfällt als bei wirtschaftlichen Gesichtspunkten, dann wird die Klasse C erreicht. Bei immer weniger gedämmten Bauteilen bis zu völlig unzureichend gedämmt werden die Klassen E bis G erreicht.

Mit steigender Effizienzklassenqualität sinken auch die Wärmeverlustkosten. Dagegen steigen die Dämmkosten, so dass die Gesamtkosten bei den Klassen C und D vergleichsweise am niedrigsten sind. Klassen A, F und G erreichen hingegen durch das Dominieren der Dämmkosten bzw. Wärmeverlustkosten hohe Gesamtkosten. Hieraus ist zu schließen, dass die Unternehmen wegen der hohen Investitionskosten nicht in die Spitzenklassen

investieren. Die Wärmeverlustkosten dürfen aber auch nicht vernachlässigt werden und das Investieren in die unteren Klassen F und G vermieden werden.

3.1.4. Aufzüge

Die Richtlinie *VDI 4707* behandelt die Energieeffizienz von Aufzügen. Sie gilt für die Beurteilung und Kennzeichnung der Energieeffizienz von Personen- und Lastaufzügen und kann ebenfalls für die nachträgliche Feststellung der Energieeffizienz bestehender Aufzüge sowie Nachprüfung von Bedarfsangaben des Herstellers und die Ermittlung des voraussichtlichen Energieverbrauchs herangezogen werden. [VDI 4707 Blatt 1, 2009] Überdies ist der wichtige Hinweis zu beachten, dass Energieeinsparungen nicht die Sicherheit und den Nutzen des Aufzugs beeinträchtigen dürfen.

Das Ziel dieser VDI ist die Beurteilung und Kennzeichnung für den Energiebedarf und -verbrauch von Aufzugsanlagen nach einheitlichen Kriterien festzulegen und transparent darzustellen. Grundlage hierfür ist die Bedarfs- und Verbrauchsermittlung. Diese können anhand von

- Stillstandsbedarf und
- Fahrtbedarf

charakterisiert werden. Entsprechend der Bedarfswerte werden Aufzüge in Energiebedarfsklassen für den Stillstand und das Fahren zugeordnet. Die Energieeffizienzklasse wird aus den beiden Bedarfswerten ermittelt. Es gibt sieben Energiebedarfs- und Energieeffizienzklassen, die von A bis G gehen. Die Klasse A steht für den niedrigsten Energiebedarf und der besten Energieeffizienz. Auch hier gilt, dass neben der Wahl von effizienten Komponenten das regelmäßige Warten und Durchführen von Instandhaltungsarbeiten einen bedeutenden Einfluss auf den tatsächlichen Energieverbrauch hat.

3.1.5. Energiemanagement

Mit der *VDI 4602* hat die VDI im Gegensatz zur Energieeffizienz eine Richtlinie über das Energiemanagement aufgestellt. Der Zweck dessen ist nicht die Beschreibung von Methoden zur Anwendung eines Energiemanagements, die in weiterführender Literatur zu finden sind, sondern die definitorische Lücken zu schließen, die bislang auch im Fachgespräch, in der Anwendung, bei Festlegung von Anforderungsprofilen und Produkt-/Lösungsbeschreibungen immer wieder zu Missverständnissen führen. [VDI 4602, 2007] Es wird auf folgende Anwendungsbereiche eingegangen:

- Objekte öffentlicher Gebietskörperschaften
- gewerbliche und industrielle Objekte
- Objekte von Energieversorgungsunternehmen

Die Richtlinie erklärt die Platzierung des Energiemanagements in bekannten Managementsystemen und zeigt die Notwendigkeit als permanente Aufgabe in der Industrie auf. Ziele und Anforderungen der Richtlinienerstellung werden am Beispiel der industriellen Energieanwendung erläutert. An dieser Stelle wird auf das Kap. 6 verwiesen, in dem das Energiemanagement näher beschrieben wird. Die VDI 4602 teilt sich in Blatt 1 und 2 auf. Das Blatt 1 dient dem Zwecke der Definition und das Blatt 2 betrachtet Beispiele zu

diesen und stellt eine Ergänzung zur Norm dar, die Energieeffizienzmaßnahmen umfassen, die Ressourcen schonen, Energiekosten reduzieren, Emissionen mindern und eine wirtschaftliche Bewertung ermöglichen. [VDI 4602 Blatt 2, 2013]

Als Beispiele angeführt werden Energiemanagement in der *Energiebereitstellung* und betriebliches Energiemanagement als Teilaufgabe des Facility-Managements und viele weitere, die auch Bereiche wie die Gebäudewirtschaft abdecken. Die Beispiele gliedern sich inhaltlich in:

- Umfeld des Energiemanagements
- Maßnahmen und/oder Werkzeuge des Energiemanagements
- Potenzialherleitung des Energiemanagements

Sie umfassen technische als auch organisatorische Lösungen.

3.2. Europäische Normen

Zur Energieeffizienz gibt es eine Reihe von Europäische Normen, jedoch keine allgemeine Norm, welche die Energieeffizienz umfassend abdeckt. Im Vergleich zu den VDI Richtlinien sind hier einige Anwendungsgebiete mehr untersucht worden. Dazu gehören die Bereiche Beleuchtung und Baustoffe. Es fällt auf, dass der Schwerpunkt in den EU Normen mehr auf der ökologischen Gestaltung liegt und umweltpolitische Ziele angestrebt werden. So gibt es für Antriebssysteme und Leistungselektronik eine neu erschienene Entwurfsnorm, die das Ökodesign thematisiert, aber keine Norm zur Energieeffizienz. [DIN EN 50598-1, 2014]

Die Europäischen Normen müssen den Status einer nationalen Norm erhalten. Dies wird durch das Veröffentlichen eines identischen Textes oder durch eine Anerkennung erreicht.

3.2.1. Energieaudits

Ein *Energieaudit* ist ein wichtiger Schritt für eine Organisation von beliebigem Typ und Größe, die ihre Energieeffizienz verbessern, den Energieverbrauch verringern und dadurch Vorteile für die Umwelt erreichen möchte. [DIN EN 16247-1, 2012] Die *DIN 16247* legt Anforderungen, allgemeine Methoden und Ergebnisse von Energieaudits fest. Um ein Energieaudit durchführen zu können, sind gewisse Qualitätsanforderungen erforderlich, die den Energieauditor und den Energieauditprozess betreffen. Nur so ist ein vollständiges und angemessenes Ergebnis erzielbar.

Jedes Vorhaben für eine Steigerung der Energieeffizienz hängt von dem Informationsgehalt des vorliegenden Systems ab. Ist die Vollständigkeit der Informationen nicht gegeben oder sind gar Fehler enthalten, ist das Erreichen eines optimalen Zieles nicht möglich. Das Ergebnis eines Energieaudits ist eine Beschreibung des Rahmens für die Maßnahmen und Folgeaktivitäten.

3.2.2. Gebäudetechnik

Der Gebäudetechnik wird in den Europäischen Normen, wie schon in den VDI Richtlinien, eine größere Bedeutung beigemessen. Neben der DIN 16247, in welcher der Abschnitt

Gebäude aufgeführt wird, gibt es die Vornormenreihe¹ *DIN V 18599* Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung. Die *DIN V 18599* stellt ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zur Verfügung. Die Berechnungen erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Beheizung, Warmwasserbereitung, raumlufttechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind. [DIN V 18599-2, 2011] Die Vornormen bestehen aus 11 Teilen, welche die Begriffe, Zonierung und Bewertung von Energieträger umfassen, aber auch die Energiebedarfe für beispielsweise stromproduzierende Anlagen untersuchen. Es wird die gegenseitige Beeinflussung von Energieströmen berücksichtigt und auf planerische Konsequenzen hingewiesen. Zu den Berechnungsverfahren werden auch nutzungs- und betriebsbezogene Randbedingungen angegeben, die für die Bewertung des Energiebedarfs dienen. Die Vornormenreihe *DIN V 15899* ist für die Ermittlung für den langfristigen Energiebedarf für Gebäude oder auch Gebäudeteile und die Abschätzung von Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien für Gebäude geeignet.

Der Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement auf die Energieeffizienz von Gebäuden werden nochmals detailliert in der *DIN EN 15232* analysiert. Die Europäische Norm wurde erarbeitet um Konventionen und Verfahren zur Abschätzung der Auswirkung von Gebäudeautomationssystemen (GA-Systemen) und Maßnahmen des technischen Gebäudemanagements (TGM) auf die Energieeffizienz und den Energieverbrauch von Gebäuden darzustellen. [DIN EN 15232, 2012] Dazu wird das GA-Faktor-Verfahren zur Abschätzung von Energieeinsparfaktoren festgelegt, die im Zusammenhang mit der Energiebewertung von Gebäuden verwendet werden kann.

Gebäudeautomationssysteme bieten wirksame Regelungsfunktionen von Geräten für Heizung, Lüftung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Beleuchtung. an, was zu einer Verbesserung von Betriebsverhalten und Energieeffizienz führt. Die TGM liefert als Teil des Gebäudemanagements (GM) Informationen zum Betrieb, zur Wartung und zum Management von Gebäuden speziell im Hinblick auf das Energiemanagement die Fähigkeit zur Messung, Aufzeichnung, Angabe von Tendenzen und zur Warnung bei Diagnose von unnötigem Energieverbrauch. [DIN EN 15232, 2012] Das Einteilen in GA-Effizienzklassen soll die Güte der Energieeffizienz markieren. Die Klasse A entspricht hoch energieeffizienten GA-Systemen und TGM, die Klasse D GA-Systemen, die nicht energieeffizient sind. Gebäude und Werke mit derartigen Systemen sind zu modernisieren und neue Bauvorhaben dürfen nicht mit derartigen Systemen gebaut werden. Die Klasse C entspricht Standard-GA-Systemen.

Die Energieeffizienzklassen müssen auch im Gebäudeenergieausweis gekennzeichnet werden. Die Darstellung der Energieeffizienz von Gebäuden ist für die Erarbeitung von Kennzeichnungen zur Energieeffizienz von Gebäuden und als Anreiz für Gebäudeplaner und -betreiber, die Energieeffizienz von Gebäuden oder Werken zu verbessern, erforderlich. [DIN EN 15217, 2007]

3.2.3. Energieeffizienz-Dienstleistungen

Energieeffizienz-Dienstleistungen spielen eine sehr große Rolle bei der Beeinflussung des Energieverbrauchs und der Verbesserung der Energieeffizienz. Sie finden Anwendung in allen Branchen. [DIN EN 15900, 2010] Die Norm *DIN 15900* soll einen Leitfaden zur

¹Normen, die aufgrund fehlenden Konsens oder wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt nicht als DIN-Norm veröffentlicht werden können (Quelle: DIN)

Verfügung stellen, wie bei einer Energieeffizienz-Dienstleistung vorzugehen ist. In der Abb. 3.1 ist ein Diagramm zu sehen, welches den typischen Ablauf eines Prozesses zur Erbringung einer Dienstleistung zur Verbesserung der Energieeffizienz darstellt.

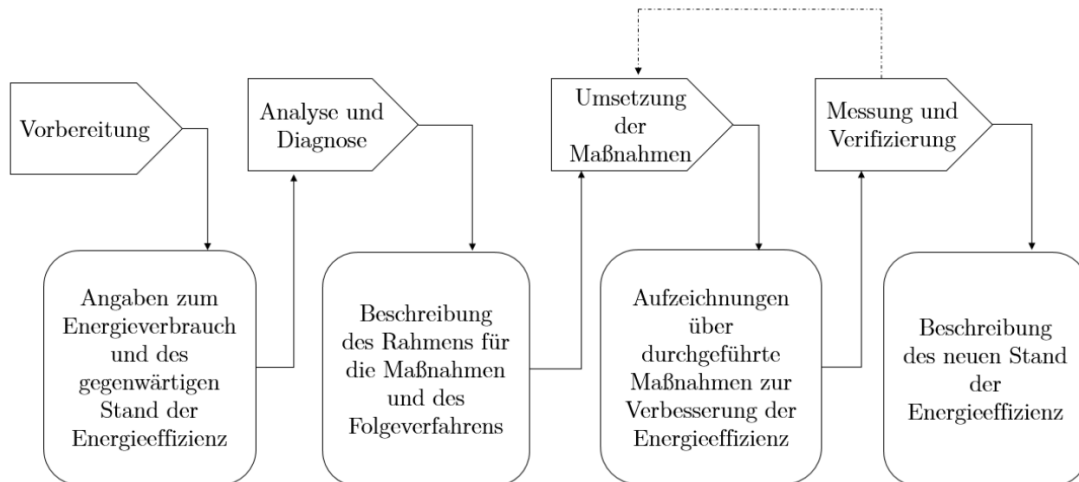


Abbildung 3.1.: Typischer Ablauf eines Prozesses zur Erbringung einer Dienstleistung zur Verbesserung der Energieeffizienz [DIN EN 15900, 2010]

Geeignete Maßnahmen umfassen:

- Verringerung des Energieverbrauchs
- Austausch, Änderung oder Hinzufügen von Ausrüstungen
- kontinuierliche Optimierung des Betriebs technischer Anlagen
- effizienter Betrieb
- Verbesserung der Instandhaltung
- Aufstellen von Programmen zur Verhaltensänderung
- Einführung eines Energiemanagementsystems

Die angewandten Methoden sollten durchgehend kontrolliert werden. Die Entwicklung und Umsetzung des Mess- und Verifizierungsplans hilft dabei die tatsächliche Verbesserung der Energieeffizienz zu bewerten. Dazu muss ein *Bezugsniveau* festgelegt werden mit den zugehörigen *Ausgleichsfaktoren* und die Verringerung des Energieverbrauchs im Vergleich zum Bezugsniveau gekennzeichnet werden. Die Verringerung des Energieverbrauchs ist durch Messung und/oder Schätzung des Verbrauchers vor und nach der Durchführung der Maßnahme unter Berücksichtigung aller vereinbarten Ausgleichsfaktoren zu bestimmen. [DIN EN 15900, 2010]

Die DIN 15900 ist sehr allgemein gehalten und dient lediglich der Orientierung im Vorgehen, um die Energieeffizienz zu steigern.

3.2.4. Energiemanagementsysteme

Mit der *DIN EN ISO 50001* werden Anforderungen zur Einführung, Verwirklichung, Aufrechterhaltung und Verbesserung eines EnMS festgelegt, mit dem Ziel, eine Organisation in die Lage zu versetzen, durch einen systematischen Ansatz eine kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung (einschließlich der Energieeffizienz, des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs) zu erzielen.[DIN EN ISO 50001, 2011]

Im Gegensatz zur VDI 4602 ist diese Norm einfacher gestaltet und lässt Beispiele aus. Sie gibt einen klar definierten Rahmen an und umreißt alle relevanten Gegenstände. Dazu gehören folgende:

- Das Top-Management, das seine Verpflichtung zur Unterstützung des EnMS sowie zur kontinuierlichen Verbesserung seiner Wirksamkeit darzulegen hat.
- Die Energiepolitik, die die Verpflichtung der Organisation zur Erreichung einer Verbesserung der energiebezogenen Leistung darzulegen hat
- Eine Energieplanung, die die Organisation bei einem Energieplanungsprozess durchführen und dokumentieren muss.
- Die Umsetzung, für die Aktionspläne und andere Ergebnisse, resultierend aus dem Planungsprozess, verwendet werden muss.
- Überprüfung von Tätigkeiten, welche die energiebezogene Leistung bestimmen; in geplanten Zeitabständen müssen diese überwacht, gemessen und analysiert werden.
- Eine Managementbewertung (Management-Review), in dem das Top-Management das EnMS der Organisation in festgelegten Zeitabständen überprüfen muss, um dessen fortdauernde Eignung, Angemessenheit und Wirksamkeit sicherzustellen.

3.3. Gemeinsamkeiten

In Betracht auf die Gemeinsamkeiten der Richtlinien und Normen im Zusammenhang von Einsparung von Energie, ist es schwierig zu einem Konsens zu gelangen. Die bis zum jetzigen Zeitpunkt erzielten Ergebnisse sind überschaubar und decken nur einen kleinen Teil des Anwendungsbereichs im Sektors des Maschinenbaus ab. Zur Zeit befindet sich die Entwicklung und Forschung im Bereich der Energieeffizienz im Umbruch. Das energiepolitische Umfeld übt Druck auf die Industrie aus, um vereinbarte Ziele einhalten zu können; international werden Konferenzen und Tagungen zum Thema Energieeffizienz gehalten und durch unterschiedliche Experten der Industrie und Forschung diskutiert. Auch werden Entwürfe und Ergänzungen zu bestehenden Normen und Richtlinien aufgestellt, wie zum Beispiel die Entwürfe zur Normenreihe Energieaudit Teil 2 bis 5 und die Ergänzung Blatt 2 zur VDI 4602 Energiemanagement - Beispiele.

Beim Vergleichen der national und international anerkannten Richtlinien fällt auf, dass im Bereich der Gebäudetechnik der Entwicklungsstand am weitesten fortgeschritten ist. Sowohl für den Wohnungs- als auch für den Nichtwohnungsbereich gibt es viele Ausarbeitungen, die sich direkt auf die Gebäudetechnik beziehen wie die DIN EN 15232, oder indirekt sich darauf beziehen wie die VDI 2166. Der aktuelle Stand in diesem Bereich ist berechtigt, da ein sehr hoher Praxisbezug besteht und die Umsetzungswahrscheinlichkeit hoch ist. Auch ist der Komplexitätsgrad geringer als bei Vorgängen in einer Maschine

in der Produktion. So lässt sich eine Fräsmaschine schwieriger effizient gestalten als ein Gebäude.

In den Richtlinien werden, wie auch schon im Konsumsegment, Effizienzklassen zur Veranschaulichung und zur Motivation verwendet. Durch die Zertifizierung mit einer Bewertungsskala lässt sich die Motivation zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz anstreben. Auch lässt sich durch eine Standardisierung ein Vergleich zwischen verschiedenen Technologien und Verbänden erzielen. Die Energieeffizienzklasse A spiegelt die erstrebenswerteste Klasse wider. Unabhängig von Richtlinien ist dem Verantwortlichen umgehend ersichtlich, wie effizient der relevante Energieverbrauch ist.

Erwähnenswert ist außerdem der erhebliche Einfluss von regelmäßiger Instandhaltung und Wartung auf die Energieeffizienz. In fast jeder Richtlinie in diesem Zusammenhang lässt sich dieser Punkt finden. Eine alleinige Effizienzsteigerung ist ohne eine angemessene Pflege nicht effektiv. Dabei ändert sich der Bedarf an Pflege bei verändertem Effizienzgrad. So ist die Wartung einer Maschine, dessen Energieverbrauch minimiert wurde, dem Umstand anzupassen. Dies kann zur Erhöhung der Instandhaltungskosten führen.

Die Unterschiede unter den Normen und Richtlinien sind zum einen die spezifischen Anwendungsbereiche, die nur einen kleinen Bereich des Gesamtanwendungsfeld im Maschinenbau belichten, und zum anderen der Relevanzbereich. Die EU-Normen betrachten die Thematik übergreifend und ganzheitlich. Die Normen betreffen die große Mehrheit der Menschen und Kunden. Eine erste Herangehensweise wird vorgestellt um Verantwortlichen das Angehen der Aufgabe der effizienten Gestaltung eines Prozesses zu ermöglichen. Auch betreffen sie Konsumenten und Dienstleister. Die VDI Richtlinien hingegen beleuchten ingenieurrelevante Bereiche, wie es ihre Vereinsphilosophie vorgibt. Der wichtige Verband Deutscher Elektrotechnik gibt zu diesem Zeitpunkt durch seine erforschten Anwendungsfelder keine dienlichen Informationen für die Aufgabenstellung her, trotz dass sich die Elektrotechnik im Relevanzbereich des Maschinenbaus befindet.

4. Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz

Energieeffizienzberechnungen sowie Energieeffizienzinsparberechnungen setzen anhand unterschiedlicher empirischer Methoden erste Schritte in einem noch kaum erforschten Bereich. Verschiedene Methoden versuchen gleichwegs Energieeffizienz zu messen und mögliche Maßnahmen zu ermitteln, um diese durch Vergleiche von Methodiken steigern zu können. Folgend werden aktuell führende Berechnungs- und Verbesserungsmethoden vorgestellt und erläutert.

4.1. Top Down und Bottom Up Methode

Die Top Down Methode bezeichnet die Analyse von Systemen „von oben nach unten“. Mögliche Energieeinsparungen werden mittels Variation von Kenngrößen für den Energieverbrauch über einen begrenzten Zeitraum auf sektoraler als auch nationaler Ebene ermittelt, wobei der gemessene durchschnittliche Energieverbrauch oder Einspareffekte hierfür entscheidend sind.

Die Bottom Up Methode bezeichnet anders zur Top Down Methode die Analyse von Systemen „von unten nach oben“. Sie liefert eine exaktere Beschreibung der Wirkung einzelner Verbesserungsmethoden und der resultierenden Steigerung der Energieeffizienz.

4.1.1. Merkmale

Für eine höhere Transparenz der Berechnungs- und Verbesserungsmethoden durch Bottom Up als auch Top Down werden beide Methoden durch vier Merkmale charakterisiert: Es wird zwischen Art der EEI-Maßnahme (Energy Efficiency Improvement), Art der ermittelten Einsparungen, Art der verwendeten Eingangsgrößen und Systemgrenzen unterschieden (siehe Tab. 4.1).

Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz können physikalischer (Bsp. industrieller Prozess), organisatorischer (Bsp. Institution) oder auch verhaltensbezogener Natur (Bsp. Mitarbeiter) sein, welche entweder direkt am Standort/an der Anlage oder auch indirekt durch beispielsweise Software durchgeführt werden. Es ist hierbei die Rede von einer Energy Efficiency Improvement-Maßnahme. Die Bedeutung dieses Begriffs wird klar abgegrenzt, denn es wird unterschieden zwischen einer Endnutzer-Aktivität (direkte Maßnahme) und einer Unterstützungsmaßnahme (indirekte Maßnahme).

Endnutzer-Aktivitäten sind Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, welche durch den Endnutzer selbst umgesetzt werden. Unterstützungsmaßnahmen dahingegen wie z.B. Subventionsregeln resultieren nicht zwangsweise direkt in einer Steigerung der Energieeffizienz, sondern unterstützen die mögliche Umsetzung von Endnutzer-Aktivitäten. Die eingeschränkte Verfügbarkeit von Informationen wirkt bei solchen Berechnungen

Tabelle 4.1.: Überblick über die Merkmale von Top-Down- und Bottom-Up-Berechnungsmethoden [DIN EN 16212, 2012]

	Top-Down	Bottom-Up
Anwendungsbereich der Methode	Sektor, Endnutzung der Endenergie, Anlage	Geplante Energienutzung, Unterstützungsmaßnahmen
EEI-Maßnahme	Endnutzer-Aktivitäten (aggregiert)	Endnutzer-Aktivitäten mit/ohne Unterstützungsmaßnahmen
Resultierende Energieeinsparung	Gesamt	Zusätzlich (politikbezogen) - Gesamt
Verwendete Daten	Repräsentative statistische Daten auf Analyseebene	Überwachung, Erhebungen, Prüfergebnisse hinsichtlich der Anlage usw.
Systemgrenzen	Statistisch festgelegt	Abhängig von der Maßnahme

erschwerend. Dabei ist jede erfolgte Top Down Einsparung das Resultat von Endnutzer-Aktivitäten. Oftmals sind Endnutzer-Aktivitäten hierbei die Folge von Unterstützungsmaßnahmen, können jedoch auch von politischen oder sonstigen Hintergründe herrühren.

Kenngroßen

Die Top Down Methode verwendet zur Durchführung von Verbesserungsmaßnahmen energiebezogene Kenngroßen/Kennzahlen auf sektoraler Ebene, wobei der energetische Verbrauch ins Verhältnis zu einem statistisch ermittelten Treiber gesetzt wird. Sie geben Auskunft über erzielbare Energieeinsparungen eines Unternehmens, eines Bereichs oder auch einer Anlage. Dabei ist die Veränderung des Wertes der Kenngröße über einen bestimmten Zeitraum für die Top-Down-Berechnung die ausschlaggebende Messgröße. Auf einer hohen Aggregationsstufe ist es hierbei jedoch wesentlich wahrscheinlicher, dass bestimmte Faktoren, Ergebnisse von Einsparberechnungen negativ beeinflussen. Man fasst diese als strukturelle Effekte zusammen, welche durch eine entsprechende Disaggregation von Aktivitäten korrigiert wird. Bei einer Korrektur wird statt eines Vergleichs des Energieverbrauchs mit der gesamten sektoralen Ebene als Treiber, eher ein subsektoraler Vergleich angestrebt.

Beispiel: Vergleich des Energieverbrauchs mit der Stahlindustrie als Treiber, statt der gesamten Industrie.

Ein besonderer Augenmerk sollte auch auf der richtigen Wahl der Kenngroßen zur Bestimmung der Einsparungen liegen. Es muss also klar sein in welchem Kontext Energieeffizienz

berechnet werden soll. In der Fahrzeugtechnik beispielsweise wird bei der Ermittlung der Energieeffizienz bezogen auf die Motorleistung unterschieden zwischen technischer Effizienz und Gesamteffizienz. Die technische Effizienz bezieht sich lediglich auf den Motor und involviert die sich im Fahrzeug befindenden Personen nicht mit ein, da diese entsprechend korrigiert werden. Die Gesamteffizienz hingegen bezieht die Motorleistung und den damit einhergehenden Energieverbrauch sowie die Mitfahrer mit ein. Dabei werden Kenngrößen in Typ A, Typ B und Typ C kategorisiert. Bei Typ A Kenngrößen wird der spezifische Energieverbrauch eines Teilssektors ins Verhältnis mit der physikalischen Produktion eines Zeitraums gesetzt (z.B. $\frac{MJ}{TonneStahl}$). Typ B Kenngrößen beschreiben etwa das Verhältnis des Gesamtverbrauchs zu der Größe des Teilssektor bzw. des Systems (z.B. $\frac{kWh}{Maschine}$). Typ C Kenngrößen werden bei mangelndem Informationsfluss zur Berechnung von Energieeinsparungen spezieller Systeme verwendet. Beispiel: Sektoraler Energieverbrauch von Raumheizungen in Relation zur Anzahl der vorhandenen Wohnungseinheiten. Die Berechnung enthält:

- Energieverbrauch für Raumheizung
- Anzahl der bewohnten Wohneinheiten
- Grundfläche je Wohneinheit bzw. Gebäudevolumen
- Korrekturen

Die Bottom Up Methode strebt einen Vergleich von Einspareffekten von EEI-Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz an. Sie gibt einen Überblick über die Wirkung von Unterstützungsmaßnahmen, mit welchen ebenfalls die Einspareffekte der Endnutzer-Aktivitäten berechnet werden können. Anders als bei der Top Down Methode lässt sich der berechnete Einspareffekt teilweise auf die einzelnen Unterstützungsmaßnahmen zurückführen.

Das Berechnungskonzept der Bottom Up Methode setzt sich aus den folgenden drei grundlegenden Grundbausteinen zusammen:

- Berechnungsmodell, das Normierungen enthält
- Informationsmodell, das notwendige Informationen als Eingangsgrößen bereitstellt
- Referenz- und Standardwerte

Beispiel: Energieeinsparungen bei Wohngebäuden
(Industriebeispiel wäre besser.....)

Unterstützungsmaßnahmen:

- Wärmedämmung
- hocheffiziente Boiler
- Wärmerückgewinnung
- solare Warmwassergeräte

4.1.2. Systemgrenzen

Inwiefern Berechnungs- und Verbesserungsmethoden umfassenden Einfluss haben, ist durch jeweilige Gegebenheiten festgelegt. Deshalb bilden Systemgrenzen die Basis einer energetischen Betrachtung, innerhalb derer Endnutzer-Aktivitäten erfolgen können. Sie definieren zu beurteilende Objekte sowie Energieeinsparungen. Demnach können sich Systemgrenzen auf einen ganzen Sektor, eine Anlage oder auch eine einzelne Komponente einer Anlage beziehen. Aufgrund dieser vielfältigen Anwendungsbereiche ergeben sich verschiedene wählbare Schwerpunkte. Erzielte Energieeinsparungen realisieren durch niedrigere Übertragungs- und Umwandlungsraten geringere Stromverbräuche¹. Dadurch ergeben sich ebenfalls Energieeinsparungen außerhalb der Systemgrenzen, welche durch eine direkte Beziehung zwischen den Bereich inner- sowie außerhalb der Systemgrenzen zu begründen sind.

Bei genauerer Berechnung der Energieeinsparungen bleibt die „nicht-energetische Nutzung“ häufig unberücksichtigt.

Dabei werden Systemgrenzen bei der Top Down Methode durch einen statistisch ermittelten Treiber festgelegt, wohingegen die Systemgrenzen bei der Bottom Up Methode stark variieren können, da es sich bei dem zu beurteilenden Objekt um ein sehr spezifisches Bauteil innerhalb einer Maschine oder auch um eine ganze Maschine selbst handeln kann.

4.1.3. Benchmark-Methode

Motiviert durch die fortschreitende technologische Entwicklung und den damit verbundenen ansteigenden Energiebedarf, sehen sich Unternehmen immer mehr dazu veranlasst effizienter mit Energie zu verfahren. Ein Schritt in diese nachhaltige Richtung, stellt Energiebenchmarking dar. Durch die energetische Optimierung von z.B. Tätigkeiten, Prozessen und Organisationen lassen sich erhebliche Einsparungen bei den Energiekosten erzielen. Der immense Aufwand, der mit der Identifikation von Einsparpotentialen verbunden ist, lässt sich durch Vergleiche einschlägiger Kenngrößen/Kennzahlen reduzieren. Sie geben Rückschlüsse auf die Energieeffizienz einzelner Unternehmensprozesse oder auch ganzer Unternehmen und zeigen Einsparpotentiale auf. Dabei bezieht sich die Methode auf den spezifischen Energieverbrauch. Die Abb. 4.1 gibt Aufschluss über das Verfahren des Energiebenchmarking.

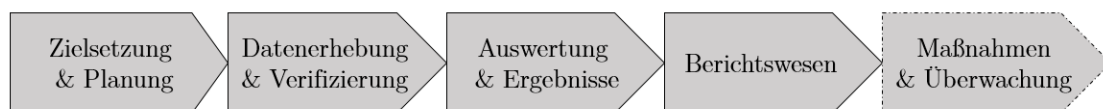


Abbildung 4.1.: Modell zur Methodik des Benchmarkings [DIN EN 16231, 2012]

Die vier Kernkomponenten Zielsetzung/Planung, Datenerhebung/Verifizierung, Auswertung/Ergebnisse sowie Berichtswesen bilden das Grundkonzept der Benchmarking Methode (Grafik 1). Darüber hinaus bietet sich noch der Punkt Maßnahmen/Überwachung gesondert an.

- Zielsetzung und Planung: Bestimmung der Zielstellung sowie Wahl geeigneter Verfahrensmethoden

¹Bei Energiebereitstellung, -verteilung, -anwendung kommt es zu Übertragungs- und Umwandlungsverlusten

und Kennzahlen, Projektplanung

- Datenerhebung und Verifizierung: Informationssystem zur Datenerhebung, Verwaltung und Verifizierung von Daten, Zuordnung der gesammelten Ergebnisse für spätere Auswertung
- Auswertung und Ergebnisse: Auswerten des Energieverbrauchs durch gesammelte Ergebnisse, Diagramme, Tabellen und sonstige Grafiken unterstützen Auswertung, mögliche Einsparpotenziale werden sichtbar
- Berichtswesen: Erkannte Einsparpotenziale werden diskutiert und schriftlich niedergelegt

4.1.4. Rebound Effekt

Erstmals formulierte William Stanley Jevons 1865, ein bedeutender britischer Ökonom und Philosoph, den Begriff des Rebound-Effekts. Er beschreibt, aufgrund von Effizienzsteigerungen resultierende Energieeinsparungen, erkennbare Verhaltensänderungen von Nutzern bzw. Konsumenten. Erzielte Einsparungen werden durch einen erhöhten Verbrauch kompensiert bis gar überkompensiert. Experimentell lässt sich der Effekt kaum bzw. nur schwer bestimmen. Es wird jedoch angenommen, dass Rebound-Effekte im Durchschnitt erfolgreiche Effizienzmaßnahmen um circa 30 Prozent gemindert werden (Madlener und Alcott 2007). Einen hohen Einfluss hat der Rebound-Effekt auf besonders schlechte Ausgangssituationen, d.h. wenn besonders viele Einsparpotenziale ermittelt werden können und die sich ergebenden ersparbaren Energiekosten einen bemerkenswerten Anteil an den Gesamtkosten haben. Dann ist ein höherer Konsum besonders attraktiv. [Pehnt, 2010]

Beispiel:

„Die kohlebefeuerte Dampfmaschine war durch die Efizienzsteigerung wettbewerbsfähiger zu betreiben, weshalb insgesamt mehr als dreimal so viele neue Maschinen eingesetzt wurden (Jevons 1866).“ [Pehnt, 2010]

Beifolgend wird zwischen direktem und indirektem Rebound-Effekt unterschieden.

Direkter Rebound: Aus erzielten Effizienzsteigerungen herrührende Energieeinsparungen, welche direkt durch erhöhten Konsum kompensiert werden, werden auf den direkten Rebound zurückgeführt.

Indirekter Rebound: Effizienzmaßnahmen, welche in einen höheren Konsum anderer Güter, Dienstleistungen o.ä. resultieren, werden als indirekter Rebound (Budget-Effekt) bezeichnet.

4.2. Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse nach Linnhoff definiert eine Analyse zur systematischen Optimierung des Energieverbrauches von Prozessen und dient insbesondere als Ansatz für die optimale Verschaltung von Wärmeübertragern. Als Ausgangsdaten dienen gemessene oder berechnete Daten über das Wärmeangebot und die Wärmenachfrage der zu optimierenden Prozesse. Durch diese und die Vernetzung von Wärmeenergieströmen und dem Abstimmen von Energieversorgung und Prozessbedingungen aufeinander kann eine Wärmerückgewinnung erzielt werden. Die Pinch-Analyse ist auch durch die Namen Energieintegration oder Wärmeintegration bekannt.

Auf Basis von Daten eines Prozess mit seinen Energieflüssen oder Energieströmen in den Dimensionen (Wärme-)leistung (kW) und Eingangs- und Ausgangstemperatur ($^{\circ}\text{C}$) werden durch das Addieren der *Enthalpien* überschneidender Temperaturintervalle zu sogenannten Composite-Kurven konstruiert. Diese teilen sich in „heiße“ und „kalte“ Kurven auf, wobei heiß für alle Ströme steht, die eine Wärmequelle darstellen und Wärme abgeben, und kalt für alle Ströme, die eine Wärmesenke darstellen und Wärme benötigen.

Der Punkt mit dem geringsten Abstand der Kurven zueinander wird als „Pinch“ bzw. Pinch-Temperatur bezeichnet. Um den Pinch herum kann ein optimiertes Netzwerk mit minimalem Energieverbrauch entworfen werden. Hierzu soll ein vereinfachtes Beispiel mit der Tab. 4.2 zur Veranschaulichung dienen.

Tabelle 4.2.: Exemplarische Wärmeangebots- und Wärmenachfrageströme bei der Pinch-Analyse [Blesl u. Kessler, 2013]

Strom	Stromtyp	Eingangstemperatur $T_S[^{\circ}\text{C}]$	Zieltemperatur $T_T[^{\circ}\text{C}]$	Leistung [kW]	CP [kW/ $^{\circ}\text{C}$]
1	Heiß	190	90	2.000	20
2	Heiß	130	40	3.600	40
3	Kalt	65	105	3.200	80
4	Kalt	30	120	3.240	36

Der CP berechnet sich aus dem Quotienten aus Leistung und der Differenz von Eingangs- und Zieltemperatur. Für den Strom 1 also: $\text{CP} = 3.600\text{kW} / (130^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C})$ und für den Strom 2: $\text{CP} = 2.000\text{kW} / (190^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C})$. Aus den berechneten CP Daten ergeben sich die „Composite-Kurven“. Bei überlappenden Temperaturintervallen werden die Enthalpien aufsummiert und somit auch die CP-Werte. So ergibt sich im Intervall $[90 - 130^{\circ}\text{C}]$ der CP-Wert: $\text{CP}_{90-130} = 20 + 40 = 60$

Die Abb. 4.2 soll die Zusammenstellung aus einzelnen CP-Bestandteilen zu einer Composite-Kurve verdeutlichen. Die Kurven-Komponenten werden von der Eingangs- zur Zieltemperatur eingetragen. Je nach Art des Stroms ist der „Pfeil“ nach unten oder oben gerichtet. Um nun den minimalen Energieverbrauch zu bestimmen, wird die „kalte“ Composite-Kurve nach links verschoben, bis der minimale vertikale Abstand zur „heißen“ Composite-Kurve

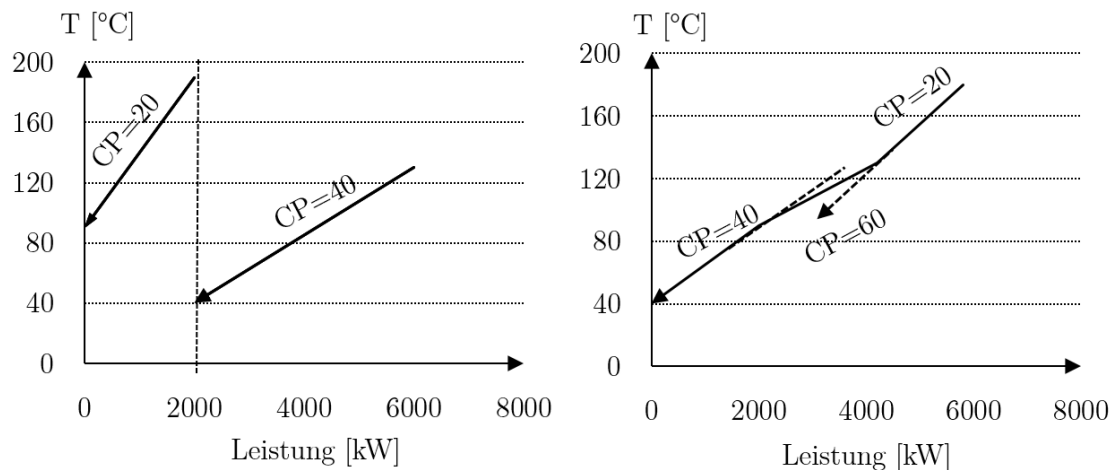


Abbildung 4.2.: Konstruktion der Composite-Kurven [Blesl u. Kessler, 2013]

der minimalen Temperaturdifferenz ΔT_{min} entspricht, der sich prozessspezifisch aus den verfahrenstechnischen Anforderungen ergibt.

In der Abb. 4.3 wird $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$ gewählt. Die maximale Prozesswärmerückgewinnung wird durch die Überlappung beider Kurven auf der Abszisse angezeigt. Der minimale Abstand zwischen der „heißen“ und „kalten“ Composite-Kurve wird als „Pinch“ bezeichnet. Oberhalb des Pinchs ist eine Wärmezufuhr notwendig (Wärmesenke), unterhalb hingegen wird Wärme abgegeben (Wärmequelle). Die verbleibende Wärmenachfrage und das verbleibende Wärmeangebot stellen hierbei den minimalen Kühlbedarf bzw. minimalen Heizbedarf dar. Beim Entwurf eines optimierten Netzwerks mit minimalem Energieverbrauch müssen zwei Regeln beachtet werden:

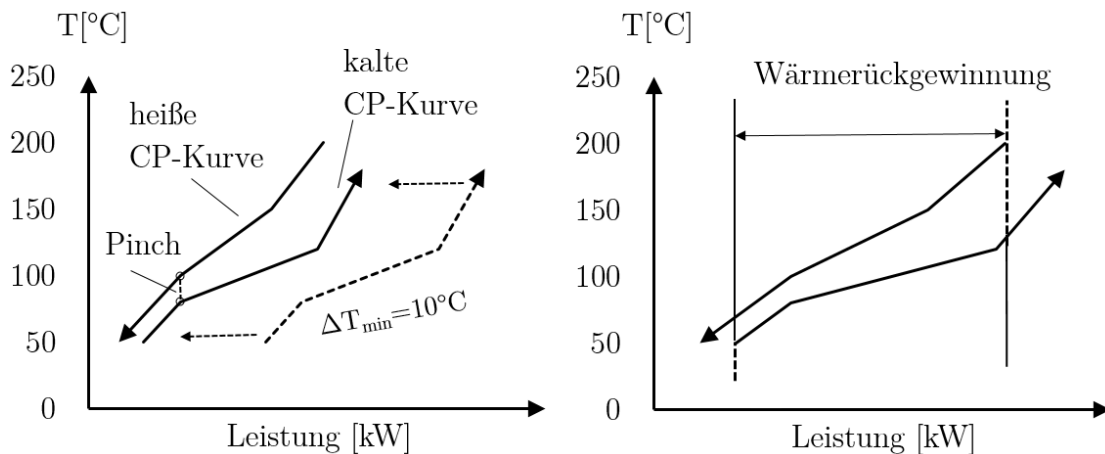


Abbildung 4.3.: Ermittlung des Pinch [Blesl u. Kessler, 2013]

- Oberhalb des Pinch darf keine externe Kühlung eingesetzt werden.
- Unterhalb des Pinch darf keine externe Wärmequelle eingesetzt werden. [Blesl u. Kessler, 2013]

5. Energiemanagement

Energiemanagement präsentiert sich heute als Säule des erfolgreichen effizienten Energiewirtschaftens im industriellen Umfeld. Hinter diesem Begriff verbirgt sich ein Gerüst, mit dem Ziel verschiedene miteinander direkt in Beziehung stehende Ziele und Anforderungen des Energiemanagements, durch strategische Operationen und Maßnahmen zu verwirklichen. So wird Energiemanagement in der VDI Richtlinie 4602 erst einmal wie folgt eingeleitet:

„Energiemanagement ist die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen.“[VDI 4602, 2007]

Energiemanagement zielt auf die Optimierung des gesamten Betriebsablaufs ab. Ziel ist die effizientere Gestaltung und Betreibung von Tätigkeiten, Prozessstrukturen oder Anlagen. Entsprechend der Abbildung 5.1, zeigt sich eine beispielhafte Zusammenstellung der Hauptaufgaben des Energiemanagements.

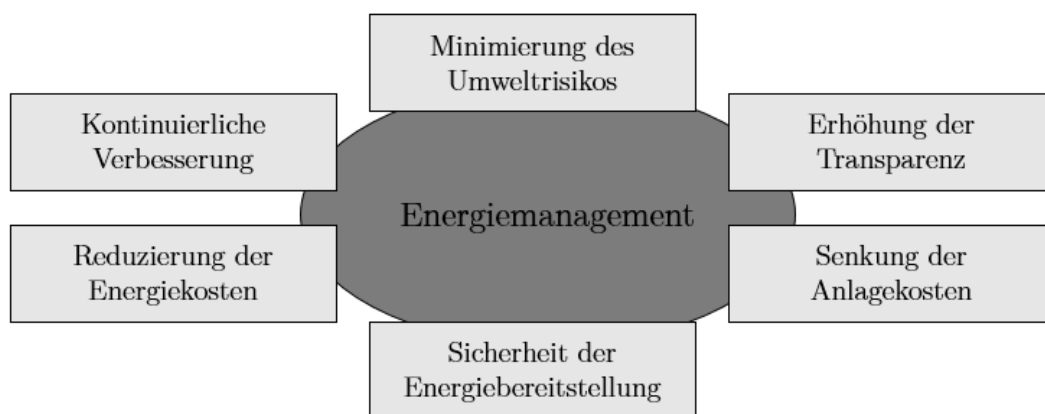


Abbildung 5.1.: Kernaspekte des Energiemanagements [Wosnitza u. Hilgers, 2012]

Man ist erpicht darauf, alle betrieblichen Prozesse transparenter zu gestalten. Auf diesem Wege soll Ineffizienz schneller aufgedeckt und beseitigt werden. Eine erhöhte Transparenz ermöglicht gebietsübergreifend, Einsparpotenziale zu entdecken, um somit beispielsweise Anlagenkosten zu senken oder Energiekosten zu reduzieren. Ein weiteres Ziel ist unter anderem auch die Minimierung des Umweltrisikos, denn man versucht langfristig unabhängiger von fossilen Rohstoffen zu werden. Dementsprechend ist auch die Sicherheit der Bereitstellung für eine unterbrechungsfreie Energieversorgung ein Kernaspekt. Aktuelle Stichworte sind hier auch eine verbesserte Nachhaltigkeitsbilanz oder Ressourcenschonung.

Dabei wird versucht nach Erreichen der Ziele, neue realistische Ziele festzulegen, diese zu erreichen und sich so kontinuierlich zu verbessern. Energiemanagement weist somit vielfältige Anwendungsfälle auf und kann sehr unterschiedliche Schwerpunkte beinhalten. Grundsätzlich wird dieses Grundleitidee als allgemeingültig und auf alle Energiemanagementsysteme referenzierbar angesehen. Die Idee dahinter ist eine effiziente Energienutzung, wobei das Energiemanagement den Weg der Energie von der Bereitstellung, auch mit unterschiedlichen Energieträgern, über die Energieverteilung bis hin zu der Energieanwendung beleuchtet und offenlegt.

„Das Energiemanagement beinhaltet folglich vom Energieeinkauf angefangen alle betrieblichen Ebenen, auf denen ein Unternehmen mit Energie konfrontiert ist.“ [Blesl u. Kessler, 2013]

Die wirkliche Umsetzung wird im weiteren Verlauf jedoch noch näher erklärt. Die Ausführung des Energiemanagements erfolgt dabei über *Energiemanagementsysteme*. Motiviert wird die Umsetzung des Energiemanagements in einer Organisation durch verschiedene Beweggründe, welche sich wie in Tab. 5.1 zu sehen ist, in intern und extern unterteilen lassen.

Tabelle 5.1.: Motivation zur Umsetzung von Energiemanament [DIN EN ISO 50001, 2011]

intern	extern
Kosten senken	Imageverbesserungen und Marketing
Effizienzpotentiale heben	
Wirtschaftlichkeit steigern	
Energieversorgung sicherstellen	
Ist-Zustandsanalyse als Basis von Optimierungsplänen	
Energiemanagement als Teil der strategischen Unternehmensführung	

5.1. Organisationsstruktur

Eine wirtschaftliche Energiebereitstellung, Energieverteilung und Energieanwendung können nur durch eine geregelte Organisationsstruktur des Energiemanagements gewährleistet werden. Diese Struktur, beginnend in der Führungsebene, durchzieht die gesamte *Organisation*. Demnach ist diese Managementaufgabe durch die strategische, operative und realisierende Ebene bestimmt, welche im Kap. 5.3 später näher behandelt werden. Zunächst ist jedoch erst einmal zu sagen, dass sich diese Ebenen in einem Konstrukt aus verschiedenen Prozessen wiederfinden.

Die oberste Leitung einer Organisation, definiert durch die *strategische Ebene*, Unternehmensziele. Dabei werden Konzepte und Strategien erarbeitet sowie der Rahmen festgelegt, innerhalb dessen Tätigkeiten und Aktivitäten durchzuführen sind. Zum anderen

werden auch Verantwortungen und Befugnisse bestimmt und kommuniziert. Weiterhin werden Energiekennzahlen zur Be- sowie Auswertung der Zielerreichung festgelegt.

Darauf aufbauend, ist das operative Management dafür verantwortlich, übermittelte Strategien der strategischen Ebene auszuarbeiten und beispielsweise Prozesse auf den Ausarbeitungen basierend zu planen und zu steuern.

Pläne und Strategien beider vorhergehenden Ebenen werden letztendlich durch die realisierende Ebene, z.B. in der Produktion, umgesetzt. Auch wenn eine solche Organisationsstruktur bereits vorhanden ist, sollte man das Energiemanagement als Ebenen übergreifendes Instrument nicht unterordnen, sondern in Strategie, Zielsetzung und Planung mit einbeziehen.

- **Führungsprozess:**

Der Führungsprozess stellt eine Kombination aus strategischer und operativer Ebene dar. Ziele sollen erreicht werden, indem Konzepte, Leitlinien, Strategien und Pläne umgesetzt werden. Dabei wird die Zielerreichung durch ein verantwortungsbewusstes Controlling überprüft.

- **Verbesserungsprozess:**

Hier setzt sich das Controlling als Instrument zur Überprüfung der Zielerreichung fort. Weiterhin wird durch das Fehlermanagement ständig versucht, Fehler aufzudecken und durch entsprechende Maßnahmen zu beseitigen.

- **Realisierungsprozess:**

Mit Blick auf wirtschaftliche und ökonomische Rahmenbedingungen fallen Beschaffung, Verwendung, Entsorgung von Energie unter anderem unter das Aufgabengebiet des Realisierungsprozesses. Weitere Aufgabenbereiche sind die Umwandlung, Verteilung und Bereitstellung der Energie.

- **Unterstützende Prozesse:**

Unter anderem Finanz- und Personalwesen sowie Verwaltung und Marketing machen das Energiemanagement transparenter und haben somit nicht unwesentliche Anteile am Gesamtsystem.[VDI 4602, 2007]

Der Stellenwert des Energiemanagements differiert je nach Branche und Größe der Organisation. Daher lassen sich verschiedene Ausprägungen, wie in der Aufzählung erkennbar, feststellen. Diese wirken sich positiv oder auch negativ auf die Definition¹ der zuvor erläuterten Prozesse, Zielvorgaben und Ergebnisgrößen aus. In der VDI 4602 werden dazu „etablierte Ausprägungen“ [VDI 4602, 2007] vorgestellt:

- „betriebliches Energiemanagement, das heißt die Abdeckung der gesamten Energiewirtschaft eines Betriebs“
- „Energiemanagement im Bereich Energieerzeugung zur Abstimmung der Lesitungspotenziale in der Energiebereitstellung unter wirtschaftlichen wie auch ökologischen Aspekten“
- „Energiemanagement im Bereich Energieverteilung, zur optimalen Bereitstellung der benötigten Energie unter Berücksichtigung von Möglichkeiten für die Ein- und Ausspeisung sowie der Netzressourcen“

¹beeinträchtigt Energiemanagement aufgrund eines eingeschränkten Energiemanagementsystems

- „Energiemanagement in der Energieanwendung, für übergreifende Methoden zur Reduzierung des Energie- verbrauchs sowie Reduzierung der Verluste“
- „kommunales Energiemanagement, häufig kommunaler Energiedienst verbunden mit der Unterstützung der Betreiber beim energiesparenden Betrieb“
- „Energiemanagement im Gebäudemanagement oder Facility Management“

5.2. Systemgrenzen

Wie auch bei den Berechnungs- und Verbesserungsmethoden bilden Systemgrenzen im Energiemanagement das Fundament energetischer Betrachtung. Sie geben den Rahmen, auf dem sich die Managementaufgaben erstrecken an. Die Systemgrenzen können sich dabei auf einzelne Teilprozesse² oder auf die gesamte Produktionsstruktur³ einer Organisation beziehen. Die angesprochene sehr variable Ausprägungsgröße des Energiemanagements in einer Organisation führt dazu, dass die vielfältigen denkbaren Ziele und Schwerpunkte, die mit diesem Konzept aus aufeinander aufbauenden Prozessen möglich sind, der jeweiligen Organisation bzw. dem *Top-Management* obliegt. Diese werden jedoch erst einmal qualitativ gewählt, bevor man bei vorliegenden Ergebnis- bewertungen und entsprechender Aggregierungsebene, quantifizierende Schritte einleiten kann. Die Quantifizierung kann hierbei eine Erhöhung oder auch eine Reduktion der Ergebnisgröße sein, welche absolut oder relativ unter der Bedingung eines Zeitrahmens angegeben wird.

Mögliche anpassbare Ergebnisgrößen innerhalb der Systemgrenzen:

- spezifische Kosten
- Höhe der energierelevanten Investitionen
- *Effizienz* (Wirkungsgrade)
- Produkteigenschaften (Qualität)
- Verfügbarkeit/ Betriebssicherheit
- Emissionen

5.3. Ziele und Anforderungen an ein Energiemanagementsystem

Energiemanagementsysteme nehmen zur Aufrechterhaltung oder Verbesserung von Tätigkeiten, Prozessen und anderen ablaufenden Systemen eine koordinierende und kontrollierende Funktion innerhalb einer Organisation ein. Erforderliche Organisations- und Informationsstrukturen sowie notwendige Hilfsmittel werden dazu bereitgestellt. Eine beispielhafte Umsetzung zeigt die Abb. 5.2 Somit versteht es sich auch als Aufgabe einer Organisation, ein solches System einzuführen, um die Leitideen des Energiemanagements umzusetzen.

²z.B. Energiebereitstellung

³Energiebereitstellung, -verteilung und -anwendung

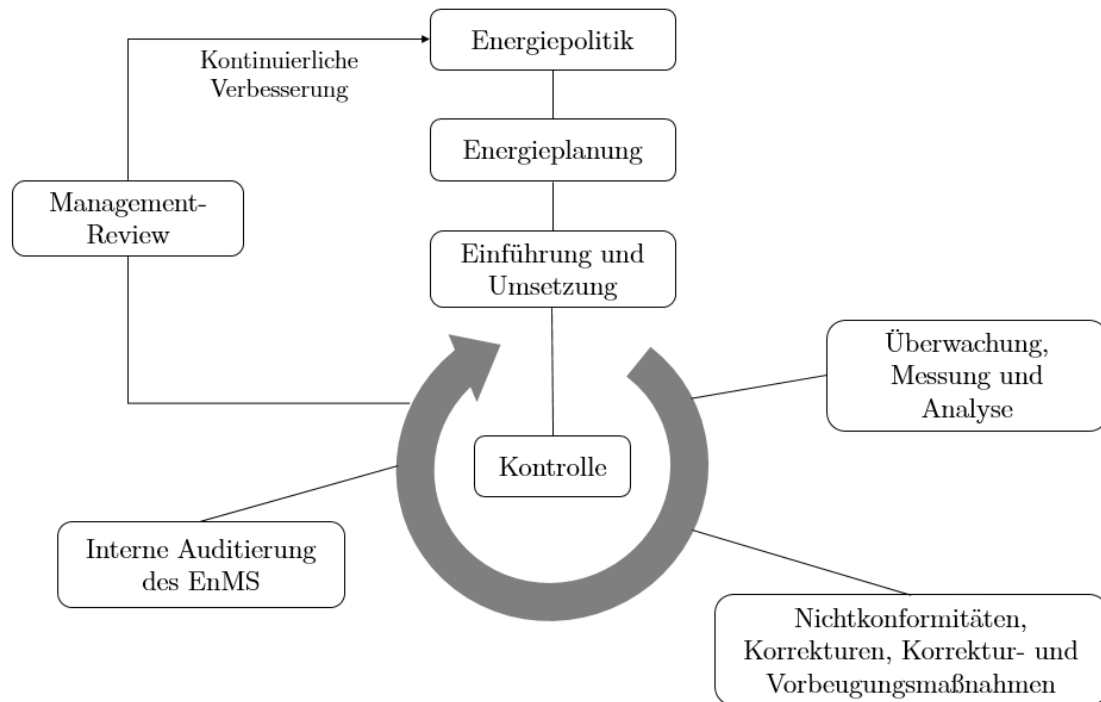


Abbildung 5.2.: Modell eines Energiemanagements [DIN EN ISO 50001, 2011]

So werden EnMs in der DIN EN 50001 definiert als:

„Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele, sowie Prozesse und Verfahren zur Erreichung dieser strategischen Ziele.“

Schwerpunkte und Ziele sind in Übereinstimmung mit der DIN EN ISO 50001 und der VDI 4602 vielfältig wählbar, binden EnMs jedoch auch an Anforderungen. Im Gegensatz zum vorher vorgestellten sehr allgemein gehaltenen Konzept, legen die DIN EN ISO 50001 und die VDI 4602 die Anforderungen für die Einführung, Verwirklichung, Aufrechterhaltung und Verbesserung an ein Energiemanagementsystem fest. Entsprechend versteht sich darunter die Möglichkeit der Entwicklung und Einführung einer Energiepolitik sowie der Bestimmung strategischer und operativer Energieziele unter Berücksichtigung gesetzlicher Anforderungen und Informationen bezüglich bedeutender Energieeinsätze. Die dargelegte Leitidee von Energiemanagementsystemen wird im Kontext eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses durch den PDCA-Ansatz verfolgt und umgesetzt. Die Abb. 5.3 fasst diesen grafisch zusammen:

- Plan⁴: Erforderliche Energiestrategien, Energieeinsparziele, Energieleistungskennzahlen und Aktionspläne, die für die Erzielung der Ergebnisse zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung nötig sind, werden auf der Basis einer energetischen Bewertung festgelegt.
- Do⁵: Einführung der Aktionspläne des Energiemanagements

⁴Planung

⁵Einführung/Umsetzung

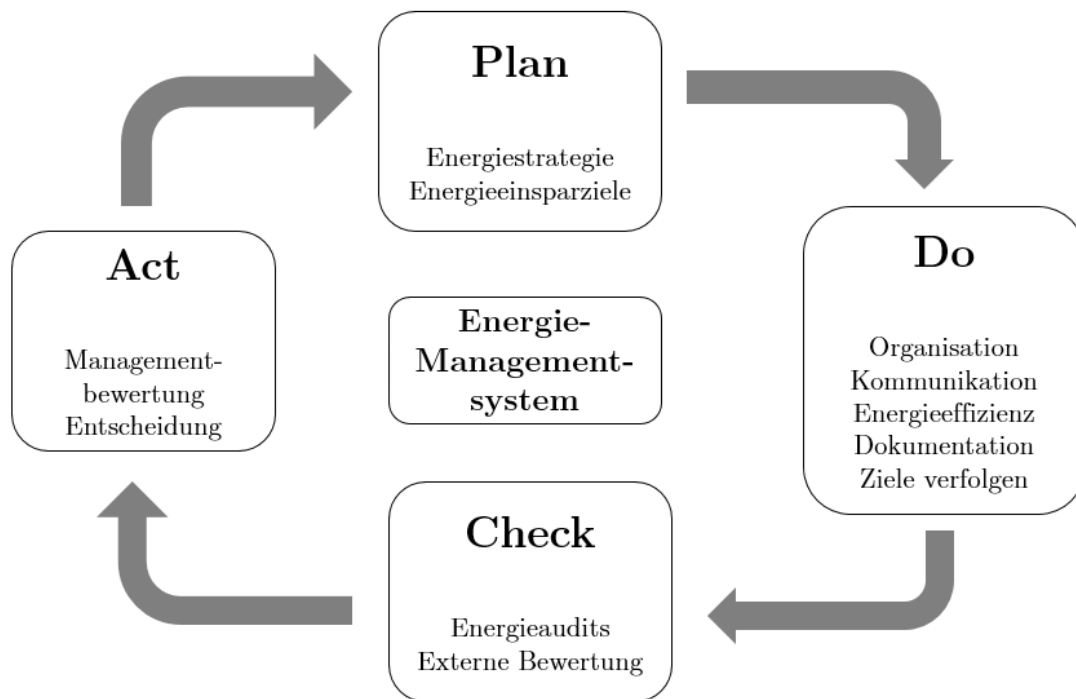


Abbildung 5.3.: PDCA-Ansatz [VDI Forum, 2014]

- Check⁶: Überwachung und Messung aller stattfindenden Prozesse und Tätigkeiten, einschließlich ihrer energiebezogenen Leistung, hinsichtlich Energiepolitik und zuvor festgelegter strategischer Ziele; Anschließende Dokumentation der Ergebnisse für spätere notwendige Rückschlüsse
- Act⁷: Kontinuierliche Verbesserung des Energiemanagements und der mit einhergehenden Energieeffizienz
- **Einführung einer allgemeinen Energiepolitik**

Das *Top-Management* ist dazu aufgefordert, eine Energiepolitik zu bestimmen, zu implementieren und aufrechtzuerhalten. Hinter diesem Begriff der Energiepolitik versteckt sich ein Gebilde aus verschiedenen Aufgaben und Zielen. Diese gibt auch die Richtung der gesamten energiebezogenen Leistung einer Organisation an. Dabei wird der Stellenwert des Verbrauchsguts Energie definiert und festgehalten. Insbesondere Prozesse und Abläufe, die einen signifikanten Anteil am Energieverbrauch einer Organisation haben, werden präzise ermittelt und geplant, um mögliche ineffiziente nicht dem Optimum entsprechende Zustände, zu vermeiden. Anhand dieser Festlegung erfolgt durch die Energiepolitik eine Anpassung der Art und des Umfangs des Energieeinsatzes. Daher müssen die geplanten Energieeffizienzsteigerungen durch Energiemanagement auch im Einklang mit der vorherrschenden Organisationsstruktur sein. So entsteht eine Leitlinie, anhand derer man bevorzugt einzusetzende Energieträger bestimmt. Des Weiteren werden durch Beobachtung von Kunden- und Markterwartungen weitere Ziele definiert.

⁶Überprüfung

⁷Verbesserung

- **Festlegung von Energiezielen**

Im Rahmen der Festlegung von Energiezielen handelt es sich meist um weitsichtige Planungen. So sollen kalkulierte Jahresplanungen, basierend auf einer direkten Kommunikation zwischen Organisation und Lieferant, den Energiebedarf decken. Daher werden erwartete Umsätze und Produktionsleistungen ebenfalls als Jahresziele aufgeführt. Die dazu notwendigen Mittel werden dementsprechend vorgegeben, sodass das Energiebudget und die maximal vertretbaren Energiekosten beschränkt sind. Weiterhin werden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen eingeplant.

- **Durchführung des Energiemanagements durch das Top-Management**

Bei der Durchführung des Energiemanagements werden Verantwortungen und Befugnisse innerhalb der Organisation durch das Top-Management festgelegt. Somit gehören die Ernennung eines Managementbeauftragten und die Bildung eines Energiemanagement-Teams zum Aufgabenportfolio. Dieses Team ist dazu verantwortlich, regelmäßige *Management-Reviews* durchzuführen und dort Ergebnisse in regelmäßigen Zeitabständen zu messen und zu bewerten. Sie diskutieren hierbei das Ausmaß geplanter und tatsächlich erreichter Ziele, erörtern Ergebnisse von Auditierungen des EnMs sowie mögliche Verbesserungen und überprüfen die Energiepolitik einschließlich ihrer energiebezogenen Leistung. Außerdem ermitteln sie eine energetische Ausgangsbasis (siehe Kap. blabla), welcher als erster Referenzwert für weitere Bewertungen notwendig ist. Der Managementbeauftragte als leitende Person des Management-Teams ist befugt Entscheidungen zu treffen, die sich positiv auf die Entwicklung des Energiemanagementsystems auswirken. Daher ist er dazu verpflichtet, dem Top-Management bezüglich der Leistung des EnMs und der energiebezogenen Leistung zu berichten. Festgehalten werden diese Verantwortungen und Befugnisse in Aktionsplänen. Darunter zählen sich u.a. auch notwendige Energiekennzahlen zur Be- sowie Auswertung der Zielerreichung sowie zulässige Maßnahmen und Zeitrahmen für die kurzfristige Energiebedarfsdeckung für operative Aufgaben und Methoden wieder. Daher müssen Aktionspläne langfristig in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden. Die Ergebnisse der Management-Reviews einschließlich aller Änderungen hinsichtlich Energiepolitik, Energiekennzahlen, Bereitstellung der Ressourcen und sonstige Änderungen werden in den Aktionsplänen dokumentiert.

- **Quantifizierung der Energieziele**

Die Quantifizierung der Energieziele, ist die Möglichkeit nach qualitativer Energiezielerreichung, die Ergebnisgröße quantitativ zu verändern (siehe Kap. Demnach werden mögliche Leistungsmaxima von u.a. Produktionsanlagen und leistungsgebundenen Energieträgern erörtert. Darunter fallen auch die Erstellung eines Produktionsplans unter Berücksichtigung von Energieaspekten und die Quantifizierung von Emissionsmengen.[VDI 4602, 2007]

- **Sicherstellung der Kommunikation**

Unter der Sicherstellung der Kommunikation versteht man die Einrichtung einer über einzelne Arbeitsbereiche hinausgehenden Kommunikationsschnittstelle. Somit wird ein Ebenen übergreifender Daten- und Informationsaustausch bezüglich Energie geschaffen. Ziel ist dabei, eine reibungslose Durchführung des Energiemanagements zu unterstützen. Hierbei werden aktuelle Ziele und erreichte Ergebnisse bekanntgegeben sowie eine Möglichkeit geschaffen, sodass Mitarbeiter einer Organisation mit der obersten Leitung oder anderen befugten Vorgesetzten, Probleme,

erreichte Ziele oder auch mögliche Verbesserungen kommunizieren können.

- **Bereitstellung der Ressourcen zur Durchführung des Energiemanagements**

Die Bereitstellung der Ressourcen zur Durchführung des Energiemanagements bedeutet die uneingeschränkte Verfügbarkeit aller notwendigen Ressourcen zu dessen Umsetzung. Laut VDI 4602 muss man also eine „geeignete Infrastruktur zur Verfügung stellen“ [VDI 4602, 2007]. Geschaffen wird eine solche Infrastruktur durch tägliche Leistungsprognosen, die eine Kalkulation des Energiebedarfs ermöglichen. Darauf basierend lassen sich *Energieportfolios* zur Bedarfsdeckung erstellen, die den separaten Bedarf eines jeden Energieträgers beleuchten. Regelmäßige Schulungen der Mitarbeiter, um notwendige Qualifikationslevel zu erhalten, gehören wie auch die vorherigen Punkte zu einer funktionierenden Infrastruktur. Dabei wird parallel auch versucht eine Bewusstseinsbildung zu vermitteln. Mitarbeiter einer Organisation soll ermöglicht werden, die Philosophie sowie die Wichtigkeit hinter Energiemanagementsystemen für sich näher zu ergründen. Dabei sollen die Vorteile einer verbesserten energiebezogenen Leistung verstanden werden, damit das Energiemanagementsystem auch durch ihr Mitwirken weiterentwickelt und somit aktiv mitgestaltet werden.

- **Kontrolle der Energieziele durch Energiecontrolling**

Um eine gesicherte Zielerreichung zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit einer regelmäßigen Kontrolle des Energiemanagements. Hierbei wird die Wirksamkeit der Managementaufgaben überprüft sowie ein Vergleich zwischen den Zielanforderungen und dem status quo angestrebt. Dieser Vergleich wird anhand aussagekräftiger Energiekennzahlen und Kriterien anschließend be- und ausgewertet, um mögliche Verbesserungsmaßnahmen realisieren zu können. Basis für diese Verbesserungsmaßnahmen sind dabei Abweichungen von vorgegebenen Soll-Größen, welche z.B. durch Benchmarking-Verfahren korrigiert werden können. Hierbei spricht man auch von *Energiecontrolling*. Es beinhaltet zu den bereits genannten Maßnahmen, weitere unterstützende Maßnahmen zu Gunsten des Energiemanagements. Demnach stellen eine individuelle Datenerfassung und -archivierung⁸ und die Pflege von Nutzerdaten⁹ zwei weitere Maßnahmen des Energiecontrollings dar. Der Grad der Detaillierung richtet sich dabei nach dem optimalen Nutzen. Dabei basiert der Grundpfeiler einer erfolgreichen Kontrolle der Energieziele auf einer in regelmäßigen Zeitabständen erfolgenden, schlüssigen, nachvollziehbaren Dokumentation. Die Kontrolle durch Energiecontrolling muss schließlich die fünf wichtigsten Punkte beinhalten:

- wesentliche Energieeinsatzbereiche und andere energetische Bewertungen
- relevante Variablen der Energieeinsatzbereiche
- Energiekennzahlen
- Wirksamkeit der Aktionspläne im Hinblick auf strategische und operative Ziele
- Vergleich des tatsächlichen und des geplanten Energieverbrauchs

⁸z.B. Verbrauch von Wärme, Strom, Gas

⁹z.B. Produktionsrate

- **operative Planung:** Die Aufgabe der operativen Planung ist, den Energieverbrauch durch *Intra-Fahrpläne* zu kontrollieren, worunter auch die Kontrolle der energiebezogenen Leistung fällt. Dabei ist zu beachten, dass die operativen Energieziele auf der Strategie aufbauend, im Rahmen von finanziellen, betrieblichen und geschäftlichen Randbedingungen sowie technologischen Möglichkeiten, umsetzbar sind.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Vor dem Hintergrund steigender Energiepreise und der sich dadurch stärker bemerkbar machende stetig wachsende Energiebedarf, steigt gleichermaßen das Bewusstsein für die Bedeutsamkeit des intelligenten Energiewirtschaftens. Aktuelle Rahmenbedingungen wie Ressourcenknappheit und der Klimawandel unterstreichen hierbei noch einmal die Problematik. Daher wurde in der Einleitung dieser Projektarbeit erstmals darauf hingewiesen, aus welchen Gründen eine nachhaltige Auseinandersetzung mit dem Thema Energieeffizienz und Energiemanagement im Maschinenbau entscheidend ist. Der Maschinenbau als ein bedeutender Energiekonsument, verzeichnet, gemessen am Gesamtenergieverbrauch Deutschlands, signifikante Energieverbrauchsanteile.

Bisher konnten im Bereich Energieeffizienz und Energiemanagement nur erste Schritte erreicht werden, sodass Wissenschaftler das noch zu erschließende Potenzial nur abschätzen können. National tätige Verbände wie der Verband Deutscher Ingenieure (VDI) und international aktive Verbände wie das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) versuchen deshalb inner- sowie außerhalb des Maschinenbaus, der Industrie Alternativen und zukunftsorientierte Modelle in Form von Normen und Konferenzen aufzuzeigen. Die Normen und die auf den Konferenzen diskutierten Themen, geben dabei Aufschluss über energiebezogene Fragestellungen. Die Richtlinien der VDI decken jedoch nur einen kleinen Teil der Anwendungsgebiete des Maschinenbaus ab, wobei der Fokus klar auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energieeffizienzsteigerung liegt. Anders beim IEEE; international führende Wissenschaftler versuchen weiträumig Verbesserungsmaßnahmen zu erforschen. Problematisch ist, dass es aktuell keine Berechnungsmöglichkeit gibt, um Energieeffizienz zu berechnen, um sie somit durch eine Zahl bzw. einen Wert auszudrücken und Rückschlüsse zu ermöglichen. Deshalb werden weltweit verschiedene Benchmark-Methoden genutzt, die aber in ihrer Grundstruktur grundsätzlich auf die Top Down oder Bottom Up Methode zurückzuführen sind. Weiterhin gibt es vereinzelt Methoden, die gezielt entwickelt wurden und keine allgemeine Verwendung finden. Als Beispiel lässt sich an dieser Stelle die Pinch-Analyse anführen. Jedoch vereint alle Methoden ein Ziel: Die Steigerung der Energieeffizienz. Bei diesem Bestreben die Energieeffizienz zu steigern, kann und kommt es in der Regel zu Rebound-Effekten. Dabei kann es passieren, dass erzielte Einsparungen durch erhöhte Energieverbräuche kompensiert bis gar überkompensiert werden, welche durch das psychologische Empfinden einer erfolgreichen Energieeinsparungsmaßnahme aber nicht als solche wahrgenommen werden. Organisiert werden die Berechnungs- und Energieeinsparungsmaßnahmen innerhalb des Energiemanagements. Es zielt darauf ab, die verschiedenen direkt miteinander in Beziehung stehenden Zielen und Anforderungen des Energiemanagements durch strategische Operationen und

Maßnahmen umzusetzen. Die grobe Struktur setzt sich hierbei aus strategischer, operativer und realisierender Ebene zusammen. Dabei gibt es europäische Normen und Richtlinien, die klar vorgeben wie ein solches Energiemanagement auszusehen hat und wie es zu implementieren ist.

Ausblick

Das anfängliche Ziel der Europäischen Union die Energieeffizienz bis 2020 um 20 Prozent zu steigern, bestätigt sich in der jüngsten Ambition der EU, die Energieeffizienz noch einmal um 10 Prozent bis 2030 zu verbessern. Theoretisch gesehen sind diese Ambitionen als realistisch festzuhalten. Jedoch muss erst einmal ein Umdenken der Unternehmer im Maschinenbau stattfinden, welchem man aktuell kritisch gegenüberstehen muss. Dazu müssen die Begriffe Energieeffizienz und Energiemanagement für Unternehmer greifbarer werden, indem sie durch den Staat subventioniert werden.

Noch wichtiger muss es jedoch sein, eine einheitliche Methode zu finden, Energieeffizienz zu berechnen, um verlässliche Benchmark-Rückschlüsse ziehen zu können. Augenscheinlich könnten dazu besonders die Top-Down Methode als auch die Bottom Up Methode, aufgrund ihres allgemein gehaltenen Konzepts als Kerngerüste dienen, um hierauf aufbauend neue Methoden zu entwickeln. Besonders für wissenschaftliches Vorgehen sind mathematische Berechnungsmöglichkeiten für die Validierung und Verifikation unabdingbar. Daher ist zu erwarten das besonders die Verbände die in dieser Arbeit genannt wurden, zukünftig noch stärker in den Vordergrund treten werden. Dabei könnte sich die Zusammenarbeit mit übergreifenden Branchen als sehr hilf- und aufschlussreich erweisen, so dass branchenübergreifend und prozessunabhängig Querschnittstechnologien angeboten werden können. Ein aktuelles Projekt von Studenten aus Istanbul zeigt jüngste Motivation, wie Energieeffizienz verstanden und umgesetzt werden kann. Sie konstruierten ein Fahrzeug mit einer Reichweite von 2500 km bei gleichzeitigen niedrigen Fahrkosten von 13 Euro [Deutsch Türkische Nachrichten, 2014].

Literaturverzeichnis

- [Blesl u. Kessler 2013] BLESLE, Markus ; KESSLER, Alois: *Energieeffizienz in der Industrie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- [BMWi 2013] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE: *Energie in Deutschland - Trends und Hintergründe zur Energieversorgung*. Version: 2013. www.bmwi.de. 11019 Berlin, 2013. – Öffentlichkeitsarbeit
- [Deutsch Türkische Nachrichten 2014] *Türkisches Elektroauto schafft 2500 Kilometer für nur 13 Euro*. Version: 2014. <http://www.deutsch-tuerkische-nachrichten.de/2014/09/505423/tuerkisches-elektroauto-schafft-2500-kilometer-fuer-nur-13-euro/>. – Zugriff am 12. Oktober 2014
- [DIN EN 2012] Richtlinie 11 2012. *2012/27/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG*
- [DIN EN 15217 2007] Norm 2007. *Energieeffizienz von Gebäuden Verfahren zur Darstellung der Energieeffizienz und zur Erstellung des Gebäudeenergieausweises*
- [DIN EN 15232 2012] Norm 2012. *Energieeffizienz von Gebäuden Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement*
- [DIN EN 15900 2010] Norm 2010. *Energieeffizienz-Dienstleistungen Definitionen und Anforderungen*
- [DIN EN 16212 2012] Norm 2012. *Energieeffizienz- und -einsparberechnung Top-Down- und Bottom-Up-Methoden*
- [DIN EN 16231 2012] Norm 2012. *Energieeffizienz-Benchmarking-Methodik*
- [DIN EN 16247-1 2012] Norm 10 2012. *Energieaudits Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung*
- [DIN EN 50598-1 2014] Norm 2014. *Ökobilanzierungskodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen Teil 1: Allgemeine Anforderungen für die Erstellung von Normen zur Energieeffizienz von Ausrüstungen mit Elektroantrieb nach dem erweiterten Produktansatz (EPA) und semi-analytischen Modellen (SAM)*
- [DIN EN 50598-3 2013] Norm 2013. *Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen Teil 3: Quantitativer Ökodesign-Ansatz mittels Ökobilanzierung einschließlich Produktkategorieregeln und dem Inhalt von Umweltdeklarationen*
- [DIN EN ISO 50001 2011] Norm 2011. *Energiemanagementsysteme Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*

- [DIN V 18599-2 2011] Norm 2011. *Energetische Bewertung von Gebäuden Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen*
- [Duan u. Li 2010] DUAN, Xiang M. ; LI, Bai Y.: Analysis of Chinas Interprovincial Energy Efficiency / College of Management Hangzhou Dianzi University. 2010. – Forschungsbericht
- [Gabler Wirtschaftslexikon 2014] Springer Gabler Verlag (2014). – Zugriff am 24.06.2014
- [Grycan 2010] GRYCAN, Wiktorja: *Analysis Load Diagrams in Industry as an Instrument for Energy Efficiency Improvement*. IEEE, 2010
- [IEEE 2012] IEEE: Energy Efficiency in Electrical Systems. In: *International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, December 16 - 19, 2012*
- [IEEE 2014] IEEE: *History of IEEE*. www.ieee.org/about/ieee_history.html. Version: 2014. – Zugriff am 11.06.2014
- [Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) 2013] UNIVERSITÄT STUTTGART: Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie 1. Auswertung. 2013. – Forschungsbericht
- [Klein et al. 2013] KLEIN, Philipp ; STRATIL, Paul ; WEYRICH, Michael: Energiekosten im Griff wie lassen sich Maahmen zur Energieeinsparung sinnvoll in die Unternehmensprozesse des Mittelstandes integrieren?, 2013
- [klimaretter.info 2014] KLIMARETTER.INFO: *Bundesregierung verfehlt Klimaziel*. <http://www.klimaretter.info/energie/nachricht/16820-bundesregierung-verfehlt-klimaziel>. Version: 2014. – Zugriff am 28.08.2014
- [Krishnan 2009] KRISHNAN, Shoba: Machine Level Energy Efficiency Analysis in Discrete Manufacturing for a Sustainable Energy Infrastructure / IEEE. 2009. – Forschungsbericht
- [Lässig 2012] LÄSSIG, Jörg: Energy Efficiency Benchmark for Industrial SME / Enterprise Application Development Group University of Applied Sciences Zittau/Gorliz. 2012. – Forschungsbericht
- [Ökotech] ÖKOTECH: Energiemanagementsysteme und Förderprogramme. In: *3. Wildauer Energiesymposium am 07.03.2014*
- [Pehnt 2010] PEHNT, Martin: *Energieeffizienz*. Bd. 1., korrigierter Nachdruck. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [Spiegel Online 2014] *Klimapolitik: Brüssel beschlie Energiesparziel von 30 Prozent*. Version: 2014. <http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/energieeffizienz-eu-kommission-will-ziel-von-30-prozent-fuer-2030-a-982471.html>. – Zugriff am 28.08.2014
- [Turyagyenda et al. 2011] TURYAGYENDA, Charles ; OFARRELL, Tim ; LOSKOT, Pavel ; J.HE: *SFBC MIMO Energy Efficiency Improvements of Common Packet Schedulers for the Long Term Evolution Downlink*. IEEE, 2011
- [UNIDO 2014] *Industrial energy efficiency and climate change*. <http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/energy-access-for-productive-uses/industrial-energy-efficiency.html>. Version: 2014. – Zugriff am 03.07.2014

- [VDI 2014a] *Energieeffizienz*. <http://www.vdi.de/studium/infos/vdi-und-asme-zeigen-weg-zu-100-nachhaltigkeit/energieeffizienz/>. Version: 2014. – Zugriff am 03.07.2014
- [VDI 2014b] *VDI-Richtlinien*. <http://www.vdi.de/technik/richtlinien/was-sind-vdi-richtlinien/>. Version: 2014. – Zugriff am 06.06.2014
- [VDI 2083 Blatt 4.2 2011] Richtlinie 2011. *Reinraumtechnik: Energieeffizienz*
- [VDI 2166 Blatt 1 2008] Richtlinie 2008. *Elektrische Anlagen in Gebäuden: Anforderungen aus dem Energiecontrolling*
- [VDI 4602 2007] Richtlinie 2007. *Energiemanagement Begriffe*
- [VDI 4602 Blatt 2 2013] Richtlinie 2013. *Energiemanagement Beispiele*
- [VDI 4610 Blatt 1 2012] Richtlinie 2012. *Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen: Wärme- und Kälteschutz*
- [VDI 4610 Blatt 2 2012] Richtlinie 2012. *Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen Wärmebrückenkatalog*
- [VDI 4707 Blatt 1 2009] Richtlinie 2009. *Aufzüge Energieeffizienz*
- [VDI 4707 Blatt 2 2009] Richtlinie 2009. *Aufzüge Energieeffizienz von Komponenten*
- [VDI-Berichte 1951 2006] GESELLSCHAFT ENERGIE-TECHNIK: Energieeffizienz - Chancen für die Zukunft - Tagung Berlin, 14. und 15. November. 2006. – Forschungsbericht
- [VDI Forum 2014] : Erneuerbare Energien - Anforderungen und Herausforderungen - Kraftwerksbeispiele, Projekte und Erfahrungen. 2014. – Forschungsbericht
- [Wosnitza u. Hilgers 2012] WOSNITZA, Franz ; HILGERS, Hansa G.: *Energieeffizienz und Energiemanagement*. Springer Spektrum - Vieweg+Teubner Verlag, 2012

Anhang A.

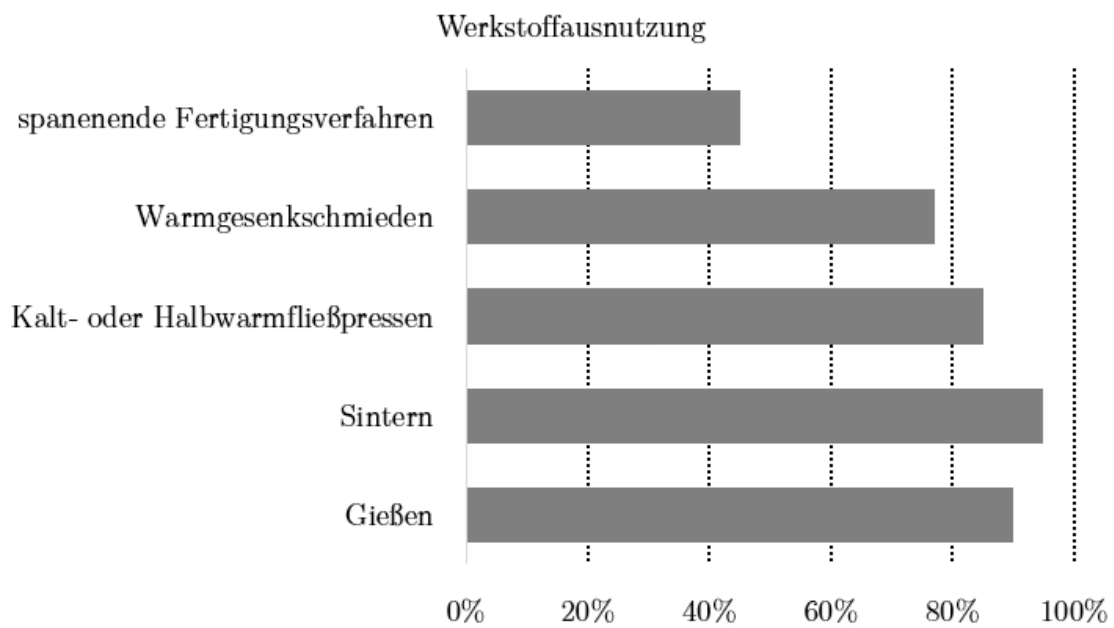
Ergänzungen zu Kap. 2 Grundlagen

A.1. Stromverbrauch diverser Sektoren

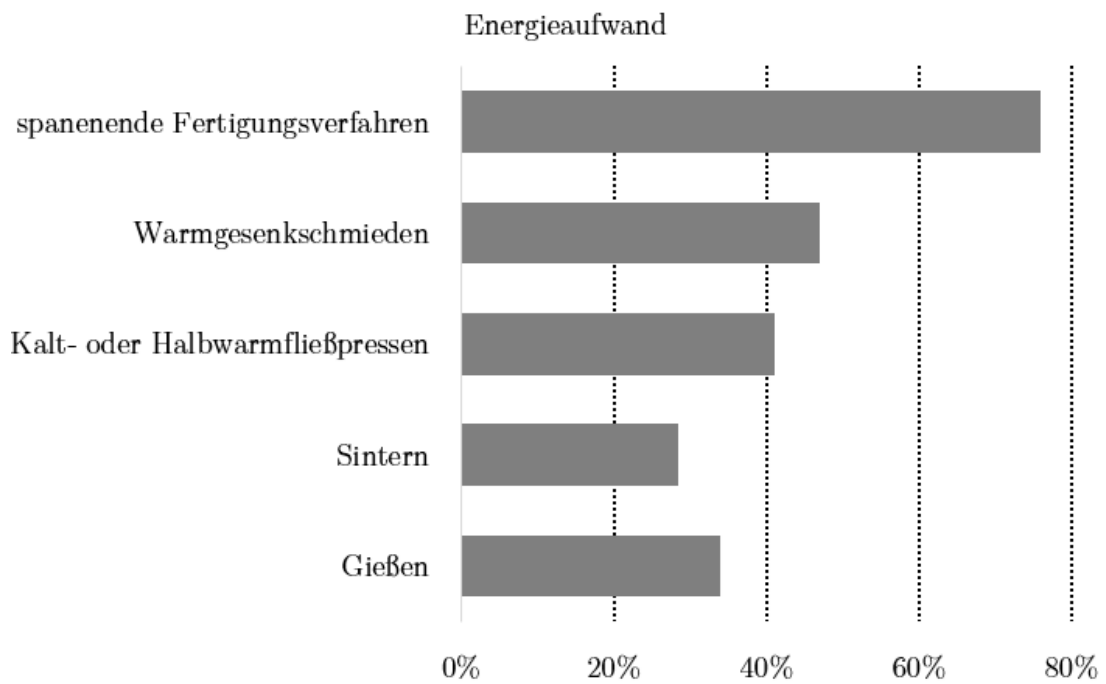
Sektor	Stromverbrauch (PJ)
Gew. v. Steinen u. Erden	8,5
Tabak	64,3
Papiergewerbe	75,4
Grundstoffchemie	155,5
Sonst. Chemische Industrie	27,4
Gummi- u. Kunststoffwaren	50,9
Glas u. Keramik	17,7
Verarb. v. Steine u. Erden	28,4
Metallerzeugung	77,7
NE-Metalle, -gießereien	77,7
Metallbearbeitung	53,2
Maschinenbau	42,3
Fahrzeugbau	66,6
Sonst. verarbeitendes Gewerbe	92

Quelle [Blesl u. Kessler, 2013]

A.2. Werkstoffausnutzung und spezifischer Energieaufwand verschiedener Fertigungsverfahren



Quelle [Blesl u. Kessler, 2013]



Quelle [Blesl u. Kessler, 2013]