



Leitfaden Energieeffizienz für die Recyclingindustrie

Ausgabe 2009

Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Recycling



Vorwort der Arbeitsgemeinschaft

Die ständig steigenden Energiepreise erhöhen den Kostendruck in der deutschen Recyclingindustrie. Um Kosteneinsparungen im Bereich Energie erzielen zu können, müssen sich daher die Verantwortlichen in den Recyclingunternehmen mit dem sparsamen und effizienten Umgang mit Energie intensiv beschäftigen.

In der Regel fehlt jedoch fachkompetente Unterstützung im Bereich des effizienten Energieeinsatzes. Der vorliegende Leitfaden soll in komprimierter und übersichtlicher Form eine Orientierungshilfe sein, um konkrete Verbesserungspotenziale und Lösungsmöglichkeiten für das eigene Unternehmen zu erkennen und so gezielt im Bereich Energie aktiv werden zu können. Er soll dabei die Umsetzung von Maßnahmen zur Kostensenkung, Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung anstoßen.

Die Arbeitsgemeinschaft dankt all denen, die zur Entstehung dieses Leitfadens beigetragen haben und uns beratend zur Seite standen.

Herrn Funk, Frau von Reis und Frau Pitsch vom Projektträger ETN danken wir für ihre hilfreiche Unterstützung während des gesamten Projektes. Dem Land Nordrhein-Westfalen danken wir für die finanzielle Förderung des Projektes. Gleichfalls gilt unser Dank Herrn Dr. Schöll, Frau Müller sowie Herrn Nahs vom Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen sowie Herrn Dr. Frielingsdorf und Herrn von de Berg von der EnergieAgentur NRW für die angenehme Zusammenarbeit.

Weiterhin gilt unser Dank allen Mitarbeitern der Recycling-unternehmen, die sich in dem Projekt sehr engagiert und uns die für unsere Arbeit notwendigen Daten und Informationen zur Verfügung gestellt haben.

Aachen, im März 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Energiewirtschaftliche Struktur der deutschen Recyclingindustrie	3
2.1	Struktur der Branche	3
2.1.1	Aufteilung der Branche auf Produktionsklassen	3
2.1.2	Die Recyclingindustrie in NRW	4
2.2	Wirtschaftliche und energiewirtschaftliche Betrachtung der Recyclingindustrie	5
2.3	Energiewirtschaftliche Strukturzahlen	7
2.3.1	Entwicklung des Energieeinsatzes	7
2.3.2	Energieeinsatz in den unterschiedlichen Zweigen	8
2.3.3	Energiebedarfsstruktur	9
2.4	Prozessorientierte Klassifizierung der Recyclingindustrie	10
2.4.1	Die Prozesse der Recyclingindustrie	10
2.4.2	Klassifikation nach Produktionsschwerpunkten	14
2.5	Betriebliche Kennzahlen	15
2.5.1	Energieeinsatz	17
2.5.2	Energiebedarfsstruktur	20
2.5.3	Energiekosten	20
2.6	Literatur zu Kapitel 2	24
3	Bewertung der Energieeffizienz und Optimierungspotentiale in der Recyclingindustrie	25
3.1	Innovationen im Anlagen- und Maschinenbau	25
3.1.1	Energietechnische Maschinenentwicklung	26
3.1.2	Kaufverhalten innerhalb Deutschlands	27
3.1.3	Ausstattung von Maschinen mit energieeinsparender Technik	27
3.2	Transport, Logistik und Aufbereitung	28
3.2.1	Primäre stationäre Technik	29
3.2.2	Sekundäre stationäre Technik	31
3.3	Querschnittstechniken	33
3.3.1	Wärmeversorgung	33
3.3.2	Druckluft- und Hydraulikversorgung	43
3.3.3	Kälteversorgung	49
3.3.4	Abluftbehandlung	53
3.3.5	Beleuchtung	54
3.3.6	Elektrische Antriebe	55
3.4	Organisatorische und allgemeine Maßnahmen	56
3.4.1	Planung und Auslegung von Anlagen	56
3.4.2	Wärme/Heizung	56
3.4.3	Senkung des Strombedarfs	57

3.4.4	Wasser	58
3.4.5	Sonstiges.....	58
3.5	Integrierte Energieversorgungskonzepte	59
3.5.1	Wärmerückgewinnung an Produktionsanlagen	59
3.5.2	Einsatz von Wärmepumpen	59
3.5.3	Kraft-Wärme-Kopplung.....	60
3.6	Nutzung alternativer Energiequellen.....	61
3.6.1	Sonnenenergie	61
3.6.2	Windenergienutzung	61
3.6.3	Wasserkraftnutzung	62
3.6.4	Recyclingmaterial zur Energiegewinnung	62
3.7	Literatur zu Kapitel 3	63
4	Praxisbeispiele.....	67
4.1	Kunststoff	69
4.2	Ersatzbrennstoffe	74
4.3	Siedlungsabfälle.....	78
4.4	Altpapier	84
4.5	Glas.....	90
4.6	Metall.....	96
4.7	Bauschutt	100
4.8	Alttextilien.....	104
5	Instrumente zur Unterstützung der rationellen Energienutzung	113
5.1	Energiemanagement.....	113
5.1.1	Zielsetzung des betrieblichen Energiemanagements	113
5.1.2	Elemente des Energiemanagements	114
5.1.3	Einführung eines Energiemanagements	115
5.1.4	Energiecontrolling.....	117
5.1.5	Energiekennzahlen.....	117
5.2	Energieorientierte Betriebsanalyse	118
5.2.1	Vorgehensweise und Systematik	119
5.2.2	Ablauf einer energieorientierten Betriebsanalyse	120
5.2.3	Messungen und Auswertungen.....	121
5.3	Literatur zu Kapitel 5	123
6	Finanzierung	125
6.1	Kredit- und Förderprogramme	125
6.2	Contracting.....	128
6.2.1	Anlagencontracting.....	128
6.2.2	Einsparcontracting.....	129
6.3	Literatur zu Kapitel 6	130
Anhang.....		A-1
Verwendete Abkürzungen		A-1
Indizes		A-3
Umrechnungsfaktoren		A-3
Energie		A-3

Druck	A-3
Temperatur	A-3
Primärenergiefaktoren	A-4
Heizwerte und Stoffdaten	A-4
Emissionsfaktoren	A-5
Glossar	A-6
Adressen	A-12

1 Einleitung

Die effiziente Energienutzung und der rationelle Umgang mit Ressourcen gewinnen auch in den Unternehmen der Recyclingindustrie zunehmend an Bedeutung. Immer mehr Verantwortliche in den Unternehmen erkennen, dass nicht nur der preisgünstige Bezug von Energie die Kosten senkt, sondern insbesondere auch der sparsame Umgang mit Energie. Die fortschreitenden Entwicklungen bei Aufbereitungs- und Sortiertechniken lassen den Recyclingprozess auf der einen Seite effizienter und auf der anderen Seite immer weniger personalintensiv und gleichzeitig immer kapitalintensiver werden. Mit steigender Automatisierung steigt der Energiebedarf der Betriebe an und wird somit zu einem bedeutenden Kostenfaktor.

Die Entwicklung bzw. fortschreitende Liberalisierung der nationalen und internationalen Energiemärkte sind wesentliche Einflussgrößen auf die Kostenstruktur der Betriebe. Es ist damit zu rechnen, dass die Energiebezugsbedingungen für industrielle Verbraucher komplexer werden. Um optimale Bezugsbedingungen zu erreichen, wird es erforderlich sein, die Strukturen im eigenen Unternehmen hinreichend genau zu kennen. Dies führt zwangsläufig zu einer wachsenden Beschäftigung mit dem Thema.

Für die Unternehmen der Recyclingindustrie ist daher ein Leitfaden hilfreich, welcher in systematischer Form bei allen Fragestellungen zum Thema Energie unterstützt. Der Leitfaden beginnt mit der Erfassung und Strukturierung der innerbetrieblichen Energiebedarfs- und Versorgungssituation. Er umfasst weiterhin die Aufdeckung möglicher Optimierungspotenziale durch detaillierte Analyse der vorhandenen Situation. Als Konsequenz ergeben sich investive und nicht investive Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz bis hin zur Systematisierung des Energiemanagements.

Hauptsächlich soll der Branchenleitfaden den Verantwortlichen und den zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern praxisnahe Vorschläge zur Reduzierung des Energieverbrauchs sowie Hilfestellung zur Identifizierung dieser Möglichkeiten unterbreiten.

In Kapitel 2 wird zunächst die energiewirtschaftliche Struktur der Branche anhand von Kennzahlen dargestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den umfangreichen energetischen Untersuchungen in verschiedenen Recyclingbetrieben sowie aus der Auswertung einer bundesweiten Befragung von Recyclingunternehmen ermöglicht die Ermittlung verlässlicher Kennzahlen für die Branche, wobei jeweils charakteristische Produktionsschwerpunkte zusammengefasst wurden. Innerhalb einer Produktklasse helfen diese Energiekennzahlen bei der ersten Bewertung, ob und in welcher Höhe Energieeinsparpotenziale zu erwarten sind.

Maßnahmen zur Bewertung der Energieeffizienz von energierelevanten Produktions- und Querschnittstechniken und zur Optimierung des Energieeinsatzes in der Recyclingindustrie sind in Kapitel 3 dargestellt. Dies geschieht zunächst anhand einer Betrachtung wesentlicher Produktionsprozesse mit detaillierten Ausführungen zu prozess- und verfahrenstechnischen Verbesserungsmaßnahmen sowie zu Innovationen im Anlagenbau (Kapitel 3.1). Die Querschnittstechniken Dampf-, Kälte-, Druckluft- und Hydraulikversorgung, Beleuchtung, etc. werden in Kapitel 3.2,

allgemeine – teilweise organisatorische – Maßnahmen in Kapitel 3.3 aufgeführt. Der Einsatz integrierter Energieversorgungskonzepte wird in Kapitel 3.4 beschrieben. Abgerundet wird die Betrachtung durch eine kurze Übersicht der Einsatzmöglichkeiten regenerativer Energiequellen (Kapitel 3.5).

Selbstverständlich können nicht alle in Kapitel 3 aufgeführten Maßnahmen in jedem Recyclingbetrieb umgesetzt werden. In Kapitel 4 sind einige konkrete Praxisbeispiele aufgeführt. Insbesondere werden Betriebe folgender Branchen betrachtet: Kunststoff, Ersatzbrennstoffe, Siedlungsabfälle, Altpapier, Glas und Altholz, Metall, Bauschutt und Alttextilien. Eine weitere Hilfestellung für die praktische Umsetzung enthält Kapitel 5. Hier werden Vorschläge zur Durchführung von betrieblichen Energieanalysen sowie die Einführung eines Energiemanagements beschrieben. Der Leitfaden schließt mit Informationen zu Finanzierungsmodellen und Förderprogrammen (Kapitel 6).

Der Anhang beinhaltet Kontaktadressen, ein Abkürzungsverzeichnis, eine Übersicht wichtiger Umrechnungsfaktoren, einige Heizwerte und Emissionsfaktoren wichtiger Energieträger sowie ein Glossar. Literaturhinweise sind am Ende des jeweiligen Kapitels aufgeführt.

Die Branche der Recyclingindustrie erhält mit dem hier vorliegenden Branchenleitfaden eine umfassende Hilfestellung bei der Optimierung des Energiebedarfs und der Reduzierung von CO₂-Emissionen.

Die Kernaussage dieses Branchenleitfadens ist es, dass sich oft bereits ohne hohen investiven Aufwand beträchtliche Einsparungen des Energiebedarfs realisieren lassen.

2 Energiewirtschaftliche Struktur der deutschen Recyclingindustrie

2.1 Struktur der Branche

Nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2003 (WZ03) wird die Recyclingindustrie in die sieben Klassen unterteilt: „Eisen und Stahl“, „NE-Metalle“, „Textilien“, „Papier u.Ä.“, „Glas“, „Kunststoffe“ und „Sonstige“ [5].

Die Unternehmen der deutschen Recyclingindustrie sind typischerweise kleine Betriebe. Die durchschnittliche Beschäftigtenzahl der vom Statistischen Bundesamt erfassten 258 Betriebe lag im Jahr 2005 deutschlandweit bei etwa 43 Beschäftigten, der durchschnittliche Jahresumsatz bei ca. 15,2 Mio. € pro Betrieb, der Gesamtumsatz der Branche Recycling lag bei etwa 3,9 Mrd. € [1]. Für diese Betrachtungen berücksichtigt das statistische Bundesamt allerdings nur Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten.

Um ein klareres Bild der Branche zu erhalten, wird daher auch die statistische Erfassung der industriellen Kleinbetriebe in Deutschland aus dem Jahr 2002¹ herangezogen [1]. Für das Jahr 2002 ergibt sich demnach folgendes Bild: Deutschlandweit wurde in 1.058 Recyclingbetrieben mit durchschnittlich etwa 14 Beschäftigten ein Gesamtjahresumsatz von 3,3 Mrd. € erzielt. Etwa 30% der Betriebe waren Schrottreycler, der Rest verarbeitete nicht metallische Reststoffe.

Eine weitere Gruppe, die statistisch nicht erfasst wird, sind Betriebe, die einzelne Recyclinganlagen oder einen kleinen Recyclingbereich haben. Das sind beispielsweise Betriebe aus der Glas-, Metall- oder Papierindustrie.

2.1.1 Aufteilung der Branche auf Produktionsklassen

Eine statistische Erfassung der deutschen Recyclingbetriebe nach Produktionsklassen existiert nicht. Um dennoch einen Eindruck von der Struktur der deutschen Recyclingindustrie zu erhalten, kann die Umsatzsteuerstatistik herangezogen werden. Sie enthält Daten von 2.423 steuerpflichtigen Unternehmen der Recyclingindustrie, die entsprechend Abbildung 2-1 auf verschiedene Klassen verteilt sind.

¹ Aktuellere Daten lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Leitfadens nicht vor.

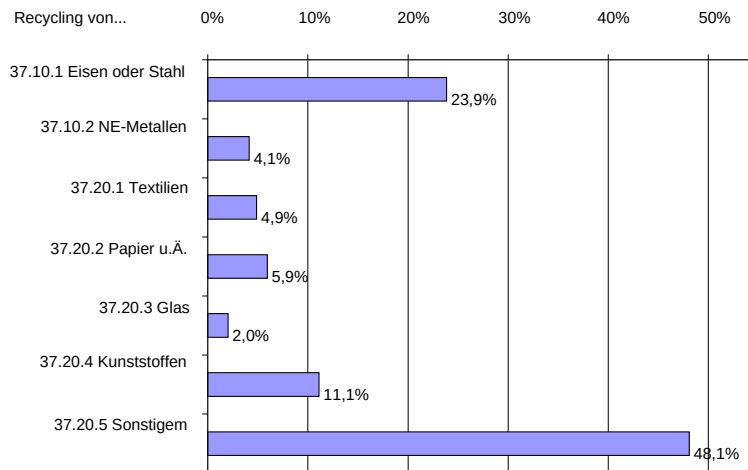


Abbildung 2-1: Aufteilung der steuerpflichtigen Unternehmen der Recyclingindustrie in Deutschland auf die unterschiedlichen Klassen im Jahr 2004 [4].

Die Dominanz der Schrottrecyclingbetriebe und der Betriebe, die nicht eindeutig zugeordnet werden können, wird in der Aufteilung des Umsatzes auf die verschiedenen Klassen der Recyclingindustrie deutlich, die in Abbildung 2-2 dargestellt ist.

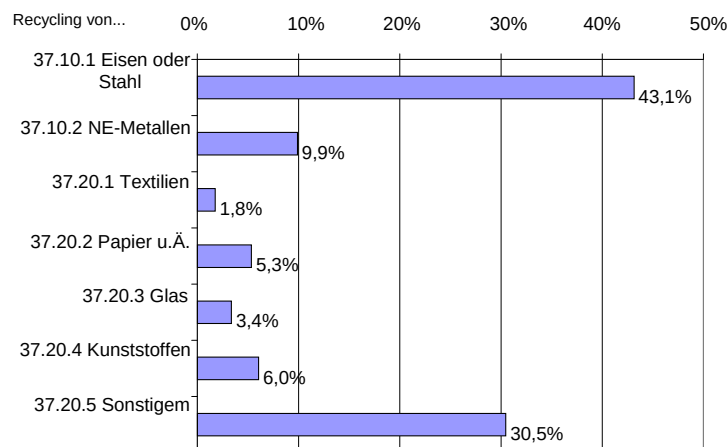


Abbildung 2-2: Aufteilung des Umsatzes steuerpflichtiger Unternehmen der Recyclingindustrie in Deutschland auf die unterschiedlichen Klassen im Jahr 2004 [4].

2.1.2 Die Recyclingindustrie in NRW

Das Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW gibt die Anzahl der nordrhein-westfälischen Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten des Wirtschaftszweiges Recycling in 2005 mit 36 an [3]. Eine aussagekräftigere Beschreibung der Anlagen der nordrhein-westfälischen Recyclingindustrie bietet der Entsorgungsatlas NRW mit Daten aus dem Jahr 2001 [2], die Erfassungseinheit sind hier jedoch „Anlagen“ und nicht „Betriebe“.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Begriffe „Betrieb“ und „Anlage“ getrennt betrachtet werden müssen. Betriebe sind örtlich getrennte Niederlassungen von Unternehmen. Sie werden wirtschaftlich nach dem Schwerpunkt der Tätigkeit zugeordnet und statistisch anhand der Beschäftigtenzahl erfasst. Ein Betrieb kann mehrere Anlagen umfassen. Bei der Betrachtung von Anlagen anstelle von Betrieben werden

also auch Recyclinganlagen aus Betrieben betrachtet, die nicht dem Wirtschaftszweig 37 (Recycling) zugeordnet sind. Außerdem werden Standorte mit mehreren Anlagen (Sortier-, Aufbereitungsanlagen, etc.) mehrfach gezählt.

Laut Entsorgungsatlas existierten in der Recyclingindustrie in Nordrhein Westfalen insgesamt etwa 900 Recyclinganlagen. 186 Anlagen sind Sortieranlagen. Davon stammen 131 aus dem Bereich der Gewerbe- und Baumischabfallsortierung, 38 aus der Papier- und 17 aus der DSD-Abfall-Sortierung. Zum Teil kann bei den modernen Sortieranlagen keine klare Abgrenzung zu den einzelnen Stoffströmen gezogen werden, da sie unterschiedliche Abfälle sortieren. Der Durchsatz dieser Sortieranlagen beträgt rund 5,1 Millionen Tonnen pro Jahr. Die rund 700 Aufbereitungsanlagen lassen sich wie folgt aufteilen: 272 Bauschutt-, 115 Ausbauasphalt-, 62 Metallaufbereitungsanlagen, 43 industrielle mineralische Abfall-, 41 Kunststoff- und 43 Elektronikschrottaufbereitungsanlagen. 15 Anlagen gehören zur Altholzaufbereitung, 20 zur Ersatzbrennstoff-erzeugung, 19 zur Aufbereitung von Speisefetten und die restlichen 62 sind sonstige Anlagen. Die Aufbereitungsanlagen haben einen Gesamtdurchsatz von ca. 33 Mio. Tonnen pro Jahr [3]. Mit Inkrafttreten der Elektronikschrott-, Gewerbeabfall- und Altautoverordnung ist davon auszugehen, dass die Zahl der Sortier- und Aufbereitungsanlagen in den nächsten Jahren erheblich steigen wird.

2.2 Wirtschaftliche und energiewirtschaftliche Betrachtung der Recyclingindustrie

Die im Folgenden dargestellten Daten beziehen sich auf die Erfassung des Statistischen Bundesamtes, das heißt auf Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten, die Aussagen sind also nicht zwangsläufig für die gesamte Branche repräsentativ. Die bedeutendsten Kostenfaktoren in der deutschen Recyclingindustrie sind der Materialverbrauch mit etwa 39,2% des Bruttoproduktionswertes (Gesamtleistung des Unternehmens), der Einsatz von Handelsware mit etwa 27,3% und die Personalkosten mit 9,9% (siehe Abbildung 2-3) [1]. Die Entwicklungen in der Aufbereitungs- und Sortiertechnik lassen den Recyclingprozess immer weniger personalintensiv und gleichzeitig immer kapitalintensiver werden, weshalb Maßnahmen zur Energieeinsparung eine immer bedeutsamere Stellung einnehmen.

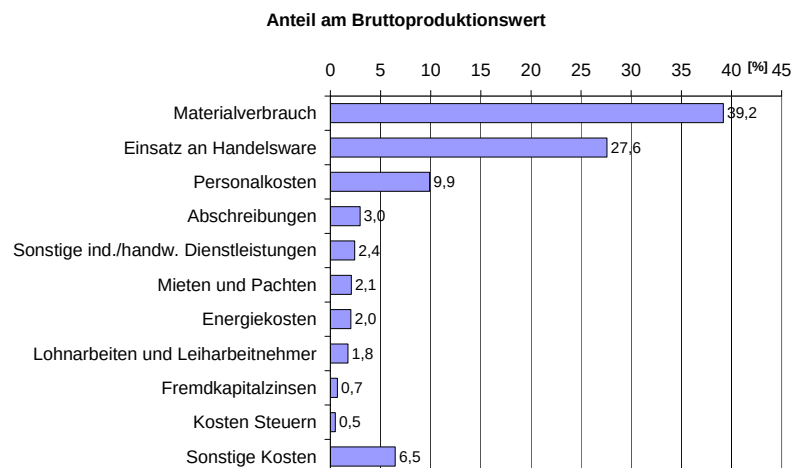


Abbildung 2-3: Kostenstruktur der deutschen Recyclingindustrie 2002 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Die durchschnittlichen Energiekosten pro Umsatz betrugen in 2002 2,0% des Bruttoproduktionswertes [1].

Dass die Energiekosten für einzelne Bereiche der Recyclingindustrie eine höhere oder eine geringere Bedeutung erlangen können, veranschaulicht Abbildung 2-4, in der die Energiekostenanteile der beiden Sparten „Recycling von nichtmetallischen Altmaterialien und Reststoffen“ (2004, ca. 4,1%) und „Recycling von Schrott“ (2004, ca. 1,2%) für die Jahre 2002 bis 2004 aufgeführt sind. So wird deutlich, dass der Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert für das Schrottreycling unterdurchschnittlich ist und gegenüber anderen Recyclingsparten einen um die Hälfte niedrigeren prozentualen Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert besitzt.

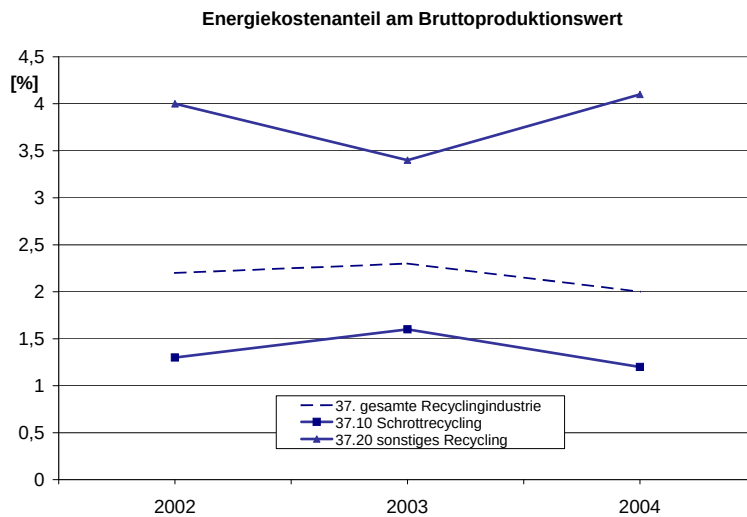


Abbildung 2-4: Energiekostenanteile in den einzelnen Sparten der deutschen Recyclingindustrie von 2002 bis 2004 [1].

Die Entwicklung des Primärenergieeinsatzes in der Recyclingindustrie seit 1998 ist in Abbildung 2-5 in absoluten Zahlen dargestellt [1].

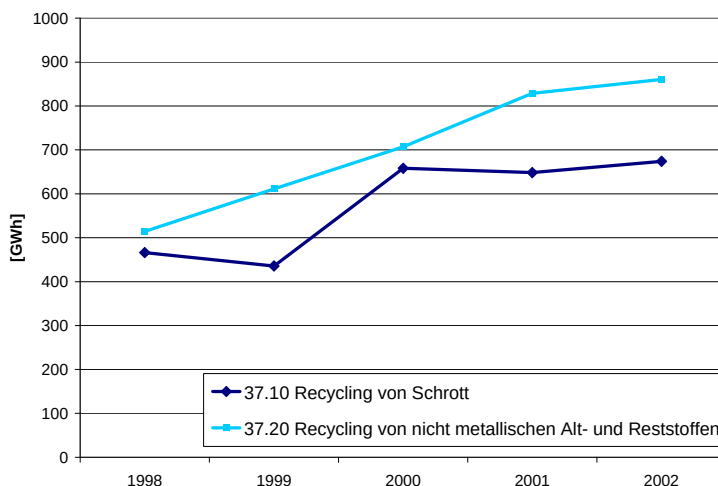


Abbildung 2-5: Entwicklung des Primärenergiebedarfs der deutschen Recyclingindustrie von 1998 bis 2002 [1].

Im Jahr 2002 betrug der Endenergieeinsatz in der Recyclingindustrie etwa 768.243 MWh. Die eingesetzten Energieträger sind zu 54% Strom und zu 46% Brennstoffe [1]. Bezogen auf die Beschäftigtenzahl lag der Endenergiebedarf 2002 in der Recyclingindustrie bei 77 MWh pro Mitarbeiter. Auf den Gesamtumsatz bezogen betrug der Endenergiebedarf etwa 292 MWh/Mio. € [1].

2.3 Energiewirtschaftliche Strukturzahlen

Zur besseren Einordnung der Bedeutung des Produktionsfaktors Energie für die Recyclingindustrie wird im Folgenden ein Überblick über die energierelevanten Branchencharakteristika gegeben. Die angegebenen Zahlen sind Durchschnittswerte über die einzelnen Wirtschaftszweige und treffen in der Regel nicht auf den einzelnen Betrieb zu. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Indikatoren für die bundesdeutsche Recyclingindustrie auch weitgehend für das Land Nordrhein-Westfalen zutreffen, insbesondere da sowohl bezüglich des Umsatzes als auch hinsichtlich der Beschäftigtenzahl und des Energieeinsatzes etwa ein Drittel der gesamten Recyclingindustrie in Nordrhein-Westfalen angesiedelt ist.

2.3.1 Entwicklung des Energieeinsatzes

Auf die deutsche Recyclingindustrie fällt ein Endenergieeinsatz von 768.243 MWh pro Jahr (Wert für 2002) [1]. Als Endenergieeinsatz wird der Primärenergieeinsatz abzüglich der Verluste im Umwandlungssektor und der Mengen an Energieträgern, die nicht zur Energiegewinnung eingesetzt werden, definiert. Für die Unternehmen entspricht dies der Menge an Strom, Erdgas und anderen Energieträgern, die sie von den Versorgungsunternehmen beziehen bzw. die sie selbst erzeugen (z.B. in betriebseigenen Kraftwerken), abzüglich der Strom- und Wärmeabgabe an das öffentliche Netz oder standortnahe Verbraucher. Die eingesetzten Endenergiemengen sind auf Bundesebene zu 54% Strom und zu 46% Brennstoffe. In der Recyclingindustrie wird demnach schwerpunktmäßig elektrische Energie eingesetzt.

Im Zuge der Diskussion um die Erwärmung der Atmosphäre durch anthropogene Einflüsse sollte der rationellen Energieverwendung in der Recyclingindustrie ein erhöhter Stellenwert eingeräumt werden. Zudem ist seit der Öffnung der Energiemärkte neben der Optimierung der Energiebezugsverträge eine deutliche Sensibilisierung für das Thema der betrieblichen Energienutzung zu verzeichnen. Die Entwicklung in der Recyclingindustrie zeigt ähnlich wie in der gesamten deutschen Industrie einen Anstieg des Stromverbrauchs und einen Rückgang des Brennstoffverbrauchs (Abbildung 2-6). Dies ist sowohl auf eine zunehmende Automatisierung als auch auf optimierte thermische Prozesse sowie auf eine verstärkte Abwärmenutzung zurückzuführen.

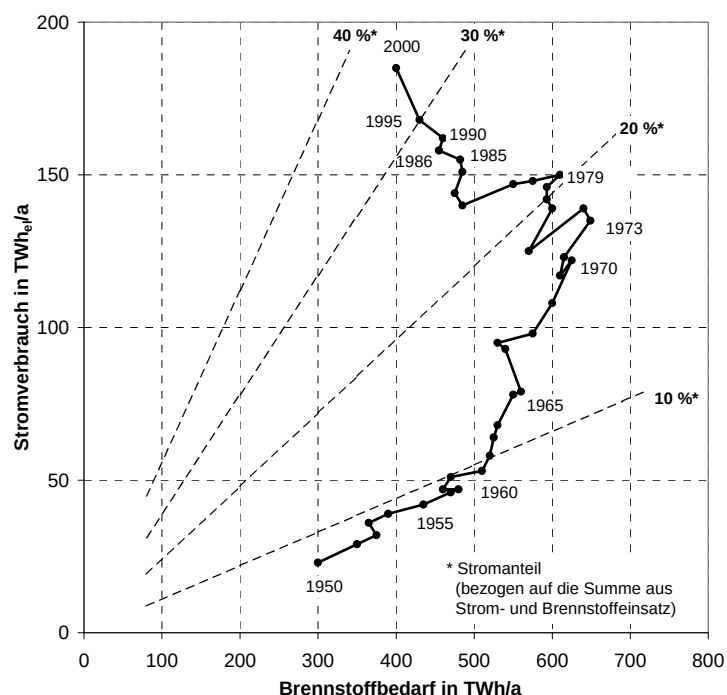


Abbildung 2-6: Entwicklung des jährlichen Strom- und Brennstoffverbrauchs der deutschen Industrie (1950 - 2000) [6]

2.3.2 Energieeinsatz in den unterschiedlichen Zweigen

In **Abbildung 1-7** ist der Primärenergieeinsatz der einzelnen Zweige dargestellt, in welche die Recyclingindustrie nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige WZ03 des Statistischen Bundesamtes unterteilt wird. Für die Ermittlung des Primärenergieeinsatzes werden die Primärenergiefaktoren für Strom- und Brennstoffverbräuche von 2,7 bzw. 1 angesetzt.

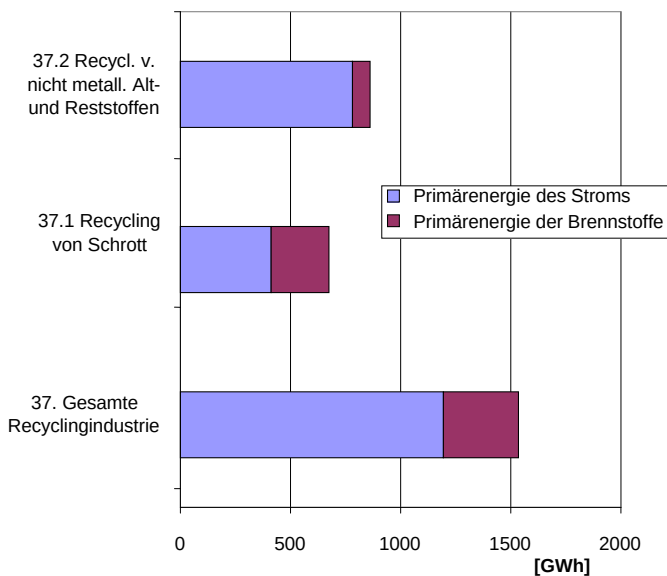


Abbildung 2-7: Primärenergieeinsatz der unterschiedlichen Zweige der deutschen Recyclingindustrie (absolute Zahlen, Werte für das Jahr 2002 [1])

Spezifische Kennzahlen für die Recyclingindustrie sind in Tabelle 2-1 dargestellt. Die beiden dargestellten Sparten unterscheiden sich in ihren Kennzahlen erheblich. Es ist zudem davon auszugehen, dass sich auch die einzelnen Unterklassen des Nicht-Metallrecyclings stark voneinander unterscheiden. Aufgrund einer fehlenden Aufteilung der statistischen Daten können entsprechende Zahlen jedoch nicht angegeben werden. Die Daten in Tabelle 2-1 können insofern nur als grober Anhaltswert gesehen werden.

WZ93	Primärenergieverbrauch pro...	Betrieb MWh/a	Umsatz kWh/TEuro	Mitarbeiter MWh/a
37	Recycling	6703	609,2	161,1
37.10	Recycling von metallischen Altmaterialien und Reststoffen	8001	380,6	177,5
37.20	Recycling von nicht metallischen Altmaterialien und Reststoffen	5922	1130,8	150,5

Tabelle 2-1: Energiewirtschaftliche Kennzahlen der Branchen der deutschen Recyclingindustrie (Werte für das Jahr 2002 [1]).

2.3.3 Energiebedarfsstruktur

In der Recyclingindustrie wird elektrische Energie hauptsächlich zur Deckung des Kraftbedarfs von Anlagen eingesetzt. Querschnittstechniken mit hohem elektrischem Energiebedarf sind die Druckluftherzeugung und die Hallenlüftung bzw. -entstaubung.

Brennstoffe werden meist für die Beheizung und für den Transport – sowohl innerbetrieblich mit Radladern, Gabelstaplern usw. als auch außerbetrieblich zur An- und Ablieferung – eingesetzt. Gerade letzterer Bereich nimmt in vielen Recyclingbetrieben eine wichtige Rolle ein. Thermische Prozesse spielen nur eine untergeordnete Rolle.

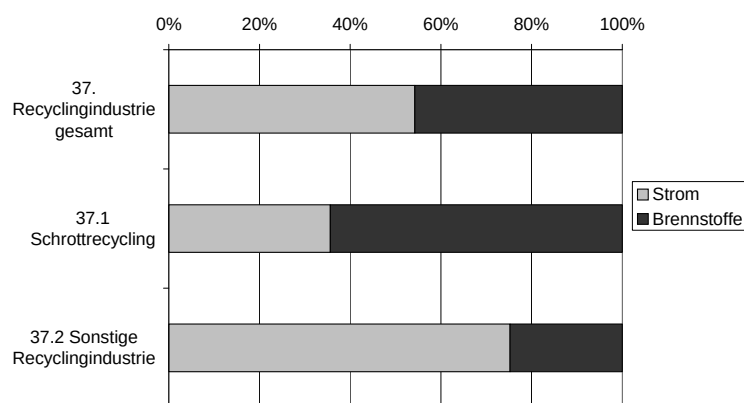


Abbildung 2-8: Anteil des Strom- bzw. Brennstoffeinsatzes am Endenergiebedarf der einzelnen Sektoren der Recyclingindustrie (Werte für das Jahr 2002 [1])

In Abbildung 2-8 ist die Aufteilung des Endenergiebedarfs in elektrische Energie und Brennstoffe für die deutsche Recyclingindustrie dargestellt.

2.4 Prozessorientierte Klassifizierung der Recyclingindustrie

Neben der markt- und damit produktorientierten Einteilung der Wirtschaftszweige ist aus energiewirtschaftlicher Sicht durch eine prozessorientierte Klassifikation der Recyclingindustrie sinnvoll. Damit können Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinsichtlich der energierelevanten Strukturen der einzelnen Betriebe aufgezeigt werden. Dies gilt umso mehr vor dem Hintergrund, dass Industriebetriebe mit vergleichbaren Produktionsprozessen ähnliche Energienutzungsstrukturen und vergleichbare Energieeinsatzkennzahlen sowie wiederholt auftretende Verbesserungsmöglichkeiten in der Energieversorgung und -nutzung aufweisen.

2.4.1 Die Prozesse der Recyclingindustrie

Um alle in der Recyclingindustrie vorkommenden Anlagen und Maschinen mit ihren Energieeinsparpotentialen beschreiben zu können, werden die Prozesse der Recyclingindustrie wie folgt gegliedert:

- Zerkleinern
- Klassieren
- Sortieren
- Kompaktieren
- Fördern
- Trocknen

Die oben genannten Prozessschritte, die im Wesentlichen mechanische Verfahren beinhalten, finden sich in den meisten Produktionsschwerpunkten der Recyclingindustrie. Den einzelnen Prozessschritten sind bestimmte Maschinen- und Anlagentypen zuzuordnen, die demnach in vielen Produktionsschwerpunkten Anwendung finden. Deshalb sind Energieeinsparpotentiale über alle Schwerpunktgruppen hinweg vergleichbar. Energieverbräuche hingegen sind nicht vergleichbar, da die Leistungsaufnahme von dem jeweilig verarbeiteten Material abhängt. Die spezifische Zerkleinerungsarbeit von technischen Kunststoffen ist beispielsweise größer als die von Glas.

Außerdem finden sich gegebenenfalls produktspezifische Anlagen, wie beispielsweise Extruder im Kunststoffrecycling.

Neben den reinen Produktionsmaschinen werden so genannte Querschnittsanlagen (Peripherie oder Nebenanlagen) eingesetzt, z.B. Anlagen für die Drucklufterzeugung oder die Entstaubung.

Alle wesentlichen Maschinen und Anlagen der Recyclingindustrie sowie die eingesetzten Querschnittstechniken sind in Tabelle 2-2, Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 aufgeführt.

Prozessschritt	Maschinen / Anlagen
Zerkleinern	Brecher <i>Backenbrecher, Schlagbrecher, Steikegelbrecher, Kegelbrecher, Flachkegelbrecher, Schlagwalzenbrecher, Prallbrecher, Hammerbrecher</i> Mühlen <i>Prallmühlen, Hammermühlen, Shredder, Kugelmühlen, Rohrmühlen, Kaskadenmühlen, Schneckenmühlen, Schraubenmühlen, Schneidmühlen</i> Scheren <i>Schrottscheren, Sperrgutscheren, Rotorscheren</i> sonstige Zerkleinerer <i>Kammwalzenzerkleinerer, Hammelzerkleinerer, Einwellenzerkleinerer, Gebindeöffner, Kartonzerkleinerer, Styroporzerkleinerer, Stofflöser</i>

Tabelle 2-2: Maschinen und Anlagen des Zerkleinerns in der Recyclingindustrie (eigene Darstellung).

Prozessschritt	Maschinen / Anlagen
Klassieren	Schwinger
	Siebe <i>Plansieb, Taumelsieb, Spannwellensieb, Bogen-sieb, Trommelsieb, Bechersieb</i>
	Sizer
	Scheibenseparator
Sortieren	Magnetscheider (Band-, Trommel-, Überband-)
	Wirbelstromscheider
	Metallsuchgeräte
	Allmetallabscheider
	Walzenscheider
	Freifallscheider
	Sichter (Wind-, Querstrom-, Zick-Zack-, Zellenrad-, Paddel)
	Luftherd
	Rollgutscheider
	Prallscheider
	Sensorgestützte Sortiersysteme
	Schwimm-Sink-Scheider
	Sortierzyklon
	Sortierzentrifuge
	Setzmaschinen
	Wendelscheider

Tabelle 2-3: Maschinen und Anlagen des Klassierens und des Sortierens in der Recyclingindustrie (eigene Darstellung).

Prozessschritt	Maschinen / Anlagen
Kompaktieren	Pressen <i>Kanalballenpressen, Rundballenpressen, Schneckenpressen, Dosenpressen, Paketpressen</i> Matrizenpressen <i>Flachmatrizenpressen, Ringmatrizenpressen</i> Agglomeratoren <i>Scheibenagglomerator, Topfagglomerator</i>
Fördern	Gurtförderer, Kettengurtförderer Plattenbandförderer Trogkettenförderer Schwingförderer Schneckenförderer, Spiralförderer Rutschen, Schurren Becherwerke Magnetbandförderer pneumatische Förderer hydraulische Förderer Radlader, Gabelstapler
Querschnittstechnologien	Druckluft, Entstaubungs/Abluftanlagen

Tabelle 2-4: Maschinen und Anlagen der Kompaktierung, der Fördertechniken und Querschnittstechnologien in der Recyclingindustrie (eigene Darstellung).

In den einzelnen Schwerpunktgruppen werden weder sämtliche Prozessschritte auftreten, noch werden sie in einer feststehenden Reihenfolge durchlaufen. Der typische Verfahrensablauf beispielsweise eines Kunststoffrecyclers sieht so aus, dass dem Ablauf der Hauptbehandlung eine große Vielfalt verschiedener Verfahrensschritte wie der Vorwäsche, der Magnetabscheidung, des Mahlens etc. vorgeschaltet sind (siehe Abbildung 2-9) [2].

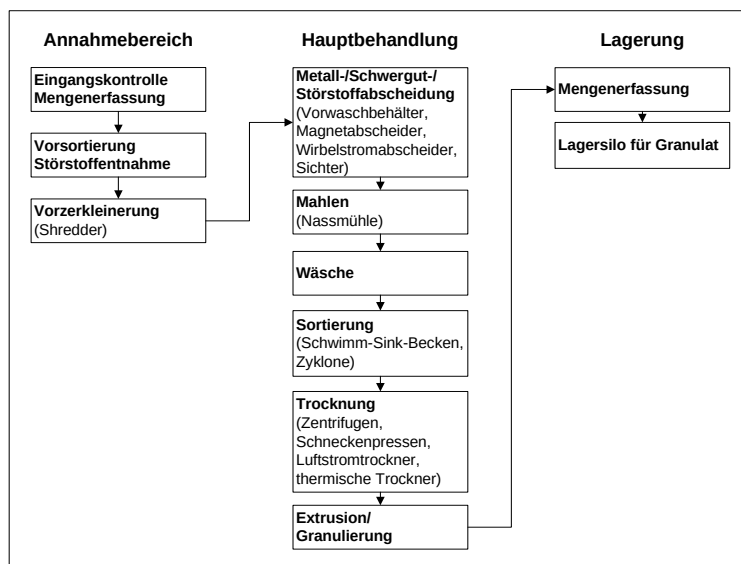


Abbildung 2-9: Beispiel für einen Verfahrensablauf in einer Aufbereitungsanlage für Kunststoffabfälle (aus [2]).

2.4.2 Klassifikation nach Produktionsschwerpunkten

Unter Berücksichtigung der einzelnen Produktionsbereiche wurden von der Arbeitsgemeinschaft Recyclingindustrie elf so genannte Hauptproduktionsschwerpunkte definiert, wie sie in Tabelle 2-5 aufgeführt sind. Diese Klassifikation ermöglicht in der Regel eine eindeutige Zuordnung jedes Betriebes und wird im Folgenden für den energieorientierten Vergleich unterschiedlicher Betriebe der Recyclingindustrie angewendet.

Hauptproduktionsschwerpunkt (HPSP)	
1	Leichtstoffverpackungen
2	Ersatzbrennstoffe
3	Siedlungs-, Gewerbe-, Baumischabfall
4	Papier, Pappe, Kartonage (PPK)
5	Kunststoffe
6	Mineralische Reststoffe, Bauschutt
7	Altreifen/Gummi
8	Glas
9	Textilien
10	Rückstände aus dem Lebensmittelbereich
11	Metalle

Tabelle 2-5: Prozessorientierte Klassifikation der Recyclingindustrie nach Produktionsschwerpunkten (eigene Darstellung)

Neben den auftretenden Prozessen haben die hergestellten Endprodukte einen bedeutenden Einfluss auf den Energiebedarf des Betriebes. Beispielsweise kann es sein, dass ein Betrieb nur ein gewisses Zwischenprodukt herstellt, welches ein anderer Betrieb bis zu einem Endprodukt weiterverarbeitet. Bei der Zuordnung zu den Hauptproduktionsschwerpunkten werden beide Betriebe jedoch zunächst dem gleichen Produktionsschwerpunkt, z.B. „Papier“, zugeteilt. Um solche Einflüsse zu berücksichtigen, muss bei der Interpretation der ermittelten Kennzahlen

die jeweilige Produktpalette des betrachteten Betriebes berücksichtigt werden.

2.5 Betriebliche Kennzahlen

Zur Bewertung der Energieeffizienz von Industriebetrieben werden häufig Standortkennzahlen herangezogen und miteinander verglichen. Derartige Kennzahlen werden z.B. aus den gesamtbetrieblichen Energie-, Produktions- oder Umsatzdaten gebildet. Sie dienen den Betrieben insbesondere zur kontinuierlichen Beobachtung und Kontrolle ihres Energieeinsatzes.

Der Vergleich dieser globalen Kennzahlen mit denjenigen anderer Betriebe bietet die Möglichkeit einer ersten Positionierung eines Betriebes innerhalb seiner Branche. Die Kennzahlen erlauben allerdings keine direkten Aussagen über die Produktions- oder Betriebsstrukturen und sie berücksichtigen nur bei geeigneter Klassifizierung die Produktpalette der zu vergleichenden Betriebe. Unternehmen mit sehr ähnlichen Prozessen und Prozessketten, zum Beispiel Kunststoffrecycler mit ähnlichen Produktpaletten, können aus der Abweichung der Kennzahlen interessante Rückschlüsse auf die Energieeffizienz ihrer Betriebe ziehen. Für Unternehmen mit sehr unterschiedlicher Stufigkeit bzw. mit unterschiedlichen Prozessketten liefert der Vergleich von Standortkennzahlen ohne Kenntnis der Produktpalette kaum belastbare Aussagen. Das häufig vorgeschlagene so genannte „Energiebenchmarking“, also der Vergleich der Energieeffizienz eines Betriebes mit dem „Besten“ der Branche, ist daher nur eingeschränkt möglich. Zudem sind die Mengen und die Beschaffenheit der angelieferten Abfälle starken regionalen und jahreszeitlichen Schwankungen unterlegen, beispielsweise durch den Wassergehalt in den Abfällen.

Im Folgenden werden – unter Berücksichtigung ihrer eingeschränkten Aussagekraft – Energiekennzahlen für ausgewählte Betriebe der Recyclingindustrie aufgeführt. Sie stammen aus der Analyse der Energiedaten von insgesamt 16 Betrieben der deutschen Recyclingindustrie. Die bundesweite Umfrage wurde 2006 von der Arbeitsgemeinschaft BEK durchgeführt. Die Energiedaten stammen aus den Jahren 2004 und 2005. Tabelle 2-6 gibt – sortiert nach den Hauptproduktionsschwerpunkten, die in Abschnitt 1.4.2 festgelegt wurden – eine Übersicht über die Betriebe, die sich an der Befragung beteiligt haben. Insgesamt haben sich nur Betriebe aus den vier Produktionsschwerpunkten „Leichtstoffverpackungen“, „Papier“, „Kunststoffe“ und „Metalle“ an der Befragung beteiligt. Der Betrieb aus der Gruppe „Ersatzbrennstoffe“ (HPSP 2) wurde aufgrund vergleichbarer Prozesse den Kunststoffrecyclern (HPSP 5) zugeordnet.

	Hauptproduktionsschwerpunkt (HPSP)	Anzahl der Betriebe
1	Leichtstoffverpackungen	1
2	Ersatzbrennstoffe	0
3	Siedlungs-, Gewerbe-, Baumischabfall	0
4	Papier, Pappe, Kartonage (PPK)	8
5	Kunststoffe	3
6	Mineralische Reststoffe/Bauschutt	0
7	Altreifen/Gummi	0
8	Glas	0
9	Textilien	0
10	Rückstände aus dem Lebensmittelbereich	0
11	Metalle	3
-	nicht zuzuordnen	1

Tabelle 2-6: Übersicht über die Beteiligung an der Befragung nach Hauptproduktionsschwerpunkten (eigene Darstellung).

Ein Vergleich mit der Größenstruktur der deutschen Recyclingindustrie zeigt, dass sich an der Umfrage tendenziell Unternehmen mit großer Mitarbeiterzahl beteiligt haben (siehe Abbildung 2-10).

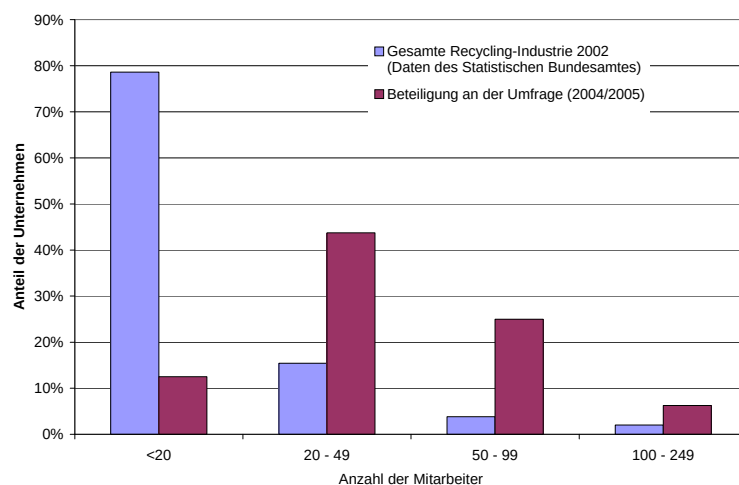


Abbildung 2-10: Größenstruktur der an der Umfrage beteiligten Betriebe im Vergleich zur deutschen Recyclingindustrie [1].

Die folgenden Ergebnisse aus der Umfrage müssen vor dem Hintergrund gesehen werden, dass nur ein Teil der Branchenschwerpunkte betrachtet wird. Weiter wird die Größenstruktur der Recyclingindustrie durch die Umfrage nicht einwandfrei wiedergegeben, da kaum kleine Betriebe (weniger als 20 Mitarbeiter) an der Umfrage teilgenommen haben, die in der deutschen Recyclingindustrie jedoch überwiegend vorherrschen.

Abbildung 2-11 zeigt, sortiert nach Hauptproduktionsschwerpunkten den Jahresumsatz pro Mitarbeiter der beteiligten Unternehmen. Die Durchschnittswerte der Umfrage sind in etwa vergleichbar mit den Durchschnittswerten der gesamten Recyclingindustrie. Für das Metallrecycling lag der entsprechende Wert im Jahr 2004 bei etwa 400.000 €, für die restlichen Recyclingbetriebe bei durchschnittlich etwa 140.000 € pro Mitarbeiter und Jahr (Schätzung nach[8],[7]).

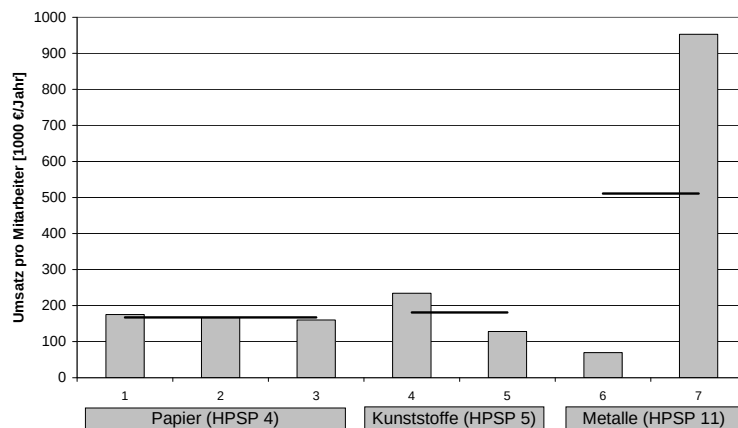


Abbildung 2-11: Jahresumsatz pro Mitarbeiter an der Umfrage beteiligter Unternehmen (Daten aus 2005), (eigene Darstellung).

2.5.1 Energieeinsatz

Der spezifische Endenergieeinsatz (das Verhältnis von Endenergie, also der Energiemenge, die in Form von Strom, Erdgas, Heizöl oder anderer Brennstoffe durch den Betrieb bezogen wird, und Produktmenge) ist innerhalb der Recyclingindustrie nur für Betriebe mit sehr ähnlichen Produktpaletten miteinander vergleichbar. In Abbildung 2-12 sind spezifische Endenergieeinsätze für ausgewählte Betriebe, die an der Umfrage teilgenommen haben, dargestellt.

Für die Metall- und Papier-Recyclingbetriebe liegt der Wert weitgehend unter 50 kWh/t. Hervorstechend sind vor allem die Kunststoffrecyclingbetriebe mit einem gegenüber den restlichen Betrieben sehr hohen spezifischen Stromeinsatz von bis zu etwa 450 kWh/t. Dieser lässt sich auf die höhere spezifische Zerkleinerungsarbeit zur Verarbeitung des zähen Materials zurückführen.

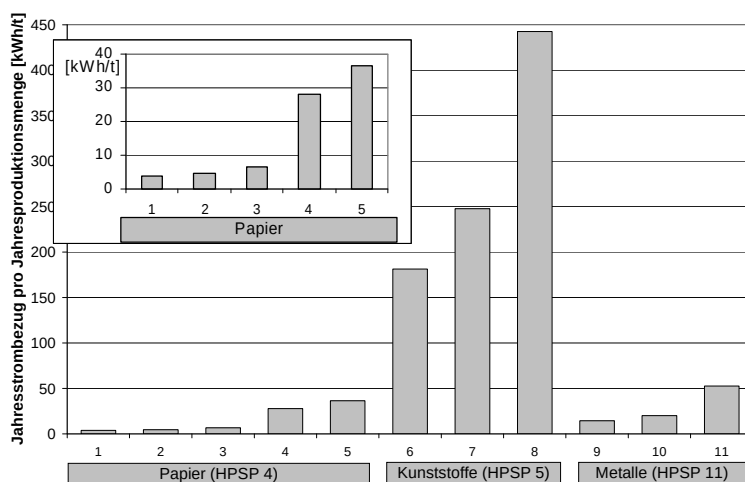


Abbildung 2-12: Spezifischer Stromeinsatz ausgewählter Betriebe der Recyclingindustrie (2004-2005), (eigene Darstellung)

Es ist zu erkennen, dass die Werte selbst innerhalb der Hauptproduktionsschwerpunkte um bis zu einem Faktor zehn auseinander liegen, was besonders in der Gruppe HPSP 4 „Papier“ auffällt. Die Gründe hierfür können vielfältiger Natur sein. Wichtige Einflussfaktoren

auf den Energiebedarf sind neben der Betriebsgröße und der Stufigkeit der Prozesse, die eingesetzten Rohstoffe, die gewünschte Produktqualität, aber auch das Alter und der Zustand der Anlagen sowie die Effizienz der Betriebe im Umgang mit den Ressourcen. Es muss also im Detail geprüft werden, in wie weit die Prozesse optimiert werden können oder welche produktionsspezifischen Besonderheiten des einzelnen Betriebes zu einem auffällig hohen spezifischen Endenergieeinsatz führen.

Der größte Anteil des Stromverbrauches in den Betrieben des Papierrecyclings fällt auf den Produktionsschritt des Pressens. Die Betriebe 4 und 5, die den höchsten Strombedarf pro Produktmenge aufweisen, nehmen - im Gegensatz zu den restlichen Betrieben - zusätzlich eine energieintensive Zerkleinerung des Papiers mit Hammermühlen vor. Unterschiede wie diese führen auf die stark unterschiedlichen spezifischen Stromeinsätze.

Neben elektrischem Strom findet sich als zweitwichtigster Energieträger in den betrachteten Betrieben Diesel. Das wesentliche Einsatzgebiet für Diesel in der Recyclingindustrie ist der außerbetriebliche Transport, also der Einsatz in Fahrzeugen, die Abfälle zum Betrieb transportieren und Produkte abtransportieren. Dieser Dieseleinsatz kann für verschiedene Betriebe nur schlecht miteinander verglichen werden, da keine geeignete Bezugsgrundlage abgefragt wurde. Beispielsweise wird ein Betrieb, der dafür eigene Fahrzeuge einsetzt, einen höheren Energieeinsatz haben, als ein Betrieb, der Speditionen beauftragt.

Der innerbetriebliche Transport verschiedener Betriebe ist besser vergleichbar, wobei auch hier zahlreiche betriebsspezifische Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Im Gegensatz zum außerbetrieblichen Transport können für den innerbetrieblichen Transport geeignete Maßnahmen zur Senkung des Endenergieeinsatzes abgeleitet werden. Beispielsweise können Fahrzeuge durch Transportbänder substituiert, die innerbetrieblichen Transportwege minimiert oder alternative Energieträger für Fahrzeuge eingesetzt werden. Innerbetrieblich kommen Fahrzeuge wie Gabelstapler, Bagger oder Radlader zum Einsatz. Abbildung 2-13 zeigt den innerbetrieblichen Dieseleinsatz bezogen auf die Jahresproduktionsmenge für ausgewählte Betriebe, die an der Umfrage teilgenommen haben. Die Werte unterscheiden sich für verschiedene Betriebe stark voneinander. Zum Teil stellen diese Differenzen Einsparpotenziale einzelner Betriebe dar, zum Teil gründen sich die Unterschiede aber auf unveränderlichen betriebsspezifischen Besonderheiten. Der innerbetrieblich verwendete Diesel findet hauptsächlich Einsatz in Staplern, Baggern und Radladern.

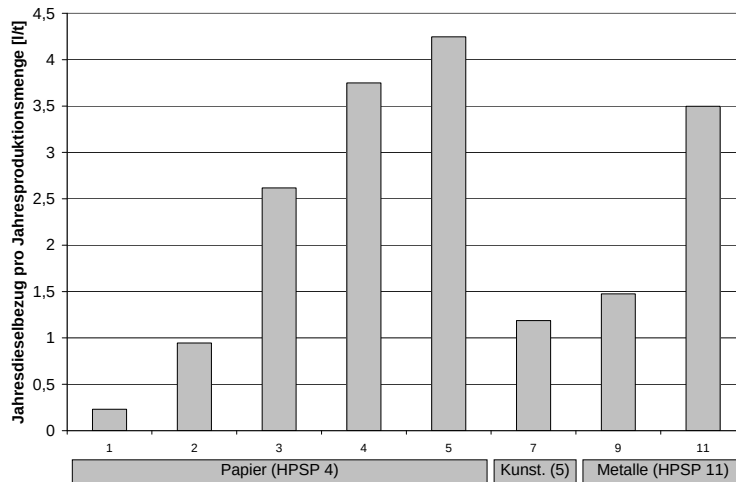


Abbildung 2-13: Spezifischer innerbetrieblicher Dieseleinsatz ausgewählter Betriebe der Recyclingindustrie (2004-2005), (eigene Darstellung).

In den Betrieben können sich Energieträger gegenseitig substituieren. Beispielsweise kann ein Stapler in einem Betrieb mit Diesel, in einem anderen elektrisch angetrieben werden, was zu unterschiedlichen Energieeinsätzen der einzelnen Energieträger führt. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass die starken Unterschiede der spezifischen Treibstoffverbräuche nicht durch andere Energieträger kompensiert werden können.

Der spezifische Primärenergieeinsatz der Betriebe ist in Abbildung 2-14 dargestellt. Der Energieinhalt von Brennstoffen ist mit einem Primärenergiefaktor in Höhe von 1 und der von elektrischer Energie mit dem Faktor in Höhe von 2,7 bewertet worden. Es ist tendenziell festzustellen, dass das Kunststoffrecycling deutlich energieintensiver ist als die restlichen Recyclingprozesse.

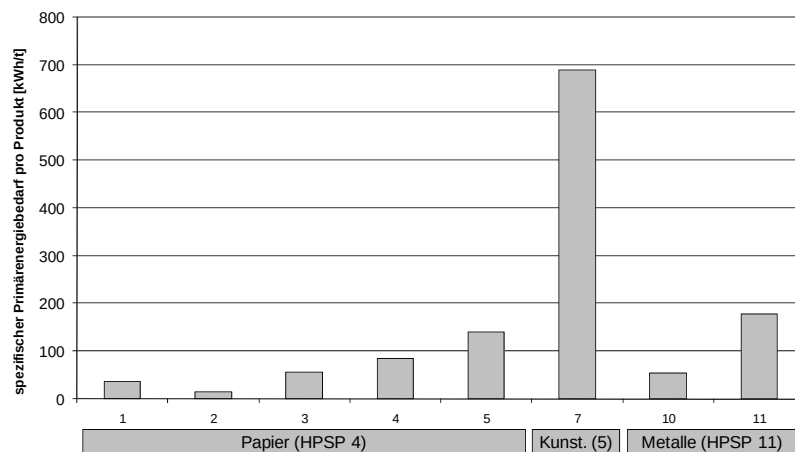


Abbildung 2-14: Spezifischer Primärenergieeinsatz ausgewählter Betriebe der Recyclingindustrie (2004-2005), (eigene Darstellung).

Es sei an dieser Stelle erneut darauf hingewiesen, dass der Energieeinsatz von vielen Faktoren abhängt und prinzipiell nicht linear mit der Produktmenge zunimmt. Dennoch können die Vergleichswerte der Branche herangezogen werden, um zu detaillierten Analysen im eigenen Betrieb anzuregen.

2.5.2 Energiebedarfsstruktur

Abbildung 2-15 gibt den durchschnittlichen Stromanteil am Endenergieeinsatz der an der Umfrage beteiligten Betriebe wieder. Außerdem ist der jeweilige Wertebereich durch Angabe der auftretenden Minimal- und Maximalwerte der Betriebe dargestellt.

Zunächst überrascht die Streubreite, insbesondere bei den Papier- und Metallrecyclern (HPSP 4 und 11). Bei denjenigen Betrieben, die einen hohen Anteil an Brennstoffen einsetzen, handelt es sich vorwiegend um kleinere Betriebe, bei denen der inner- und außerbetriebliche Transport eine wichtige Rolle spielt, so dass der Einsatz von Diesel überwiegt.

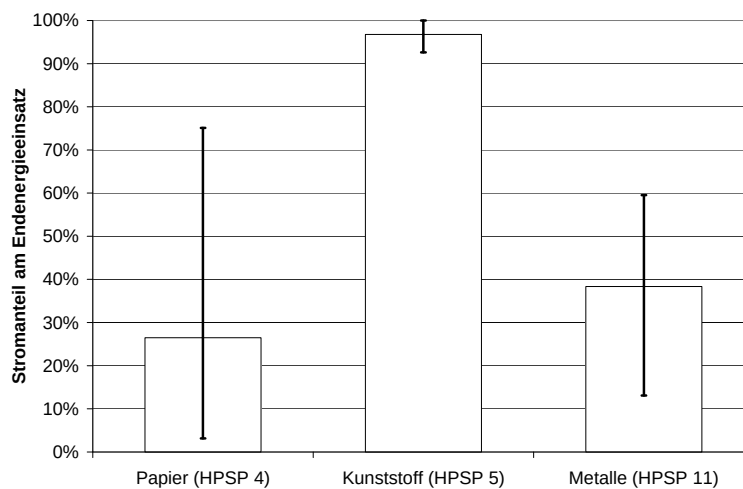


Abbildung 2-15: Durchschnittlicher Stromanteil am Endenergieeinsatz der an der Umfrage beteiligten Betriebe (eigene Darstellung).

Erwartungsgemäß ist der Stromanteil bei den Kunststoffrecyclern (HPSP 5) am höchsten, da bei diesen Betrieben der Transport eine untergeordnete Rolle spielt und die Produktionsprozesse stromintensiver sind (vgl. Kapitel 2.5.1).

2.5.3 Energiekosten

In Abbildung 2-16 sind die prozentualen Anteile der Stromkosten (Fremdstrom) am Jahresumsatz ausgewählter Betriebe der Recyclingindustrie dargestellt. In den Betrieben des Schrott- und Papierrecyclings liegt dieser Anteil zumeist unter 1 %. Wegen des oben beschriebenen hohen spezifischen Energieeinsatzes (vgl. 2.5.1) heben sich bei dieser Kennzahl die Kunststoffrecyclingbetriebe mit Werten bis zu 15% deutlich ab.

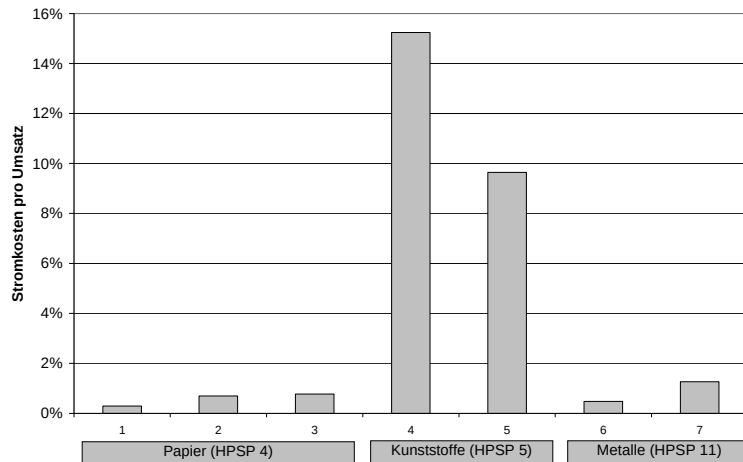


Abbildung 2-16: Jährliche Stromkosten im Verhältnis zum Umsatz ausgewählter Unternehmen der Recyclingindustrie (2005), (eigene Darstellung)

Abbildung 2-17 zeigt die prozentualen Anteile der Dieseldkosten für innerbetrieblichen Dieseleinsatz am Jahresumsatz ausgewählter Unternehmen der Recyclingindustrie.

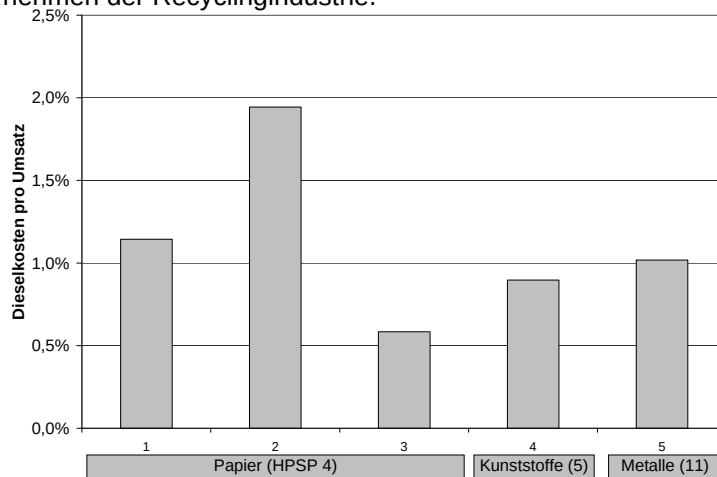


Abbildung 2-17: Jährliche Dieseldkosten (innerbetrieblicher Einsatz) im Verhältnis zum Umsatz ausgewählter Unternehmen der Recyclingindustrie (2005), (eigene Darstellung)

Hier zeigt sich mit Werten zwischen etwa 0,5% bis 2% ein zwischen den drei betrachteten Zweigen wesentlich einheitlicheres Bild als bei den Stromkosten. Die Angaben zu den Energiekosten stammen aus den Jahren 2004 bzw. 2005. Es ist zu berücksichtigen, dass sich Energiepreise ständig ändern.

Möglicherweise große Abweichungen von den Durchschnittswerten können sich unter anderem durch produktspezifische, stark voneinander abweichende Energiebedarfswerte ergeben. Zudem sind die Recyclingunternehmen häufig zusätzlich in anderen Bereichen tätig, die Einfluss auf den Umsatz des Unternehmens nehmen, aber nicht gleichzeitig auf den Energiebedarf. Konkrete Aussagen zur Effizienz des Energieeinsatzes bedürfen einer detaillierten Untersuchung. Die aufgeführten Werte

sollen an dieser Stelle in erster Linie der Einordnung der Betriebe nach wirtschaftlichen Kenngrößen dienen.

Abbildung 2-18 gibt den spezifischen Strompreis in ct/kWh über dem Jahresstrombezug in MWh/a für alle an der Umfrage beteiligten Betriebe der Recyclingindustrie wieder. Als dünne Linie sind Referenzpreise aus dem zweiten Halbjahr des Jahres 2005 in Abhängigkeit der Strombezugsmenge eines Jahres angegeben [9]. Es ist zu erkennen, dass die meisten Betriebe unterhalb dieser Referenzpreise liegen, sie also im Allgemeinen ihren Bezugsverhältnissen angemessene Strompreise bezahlen.

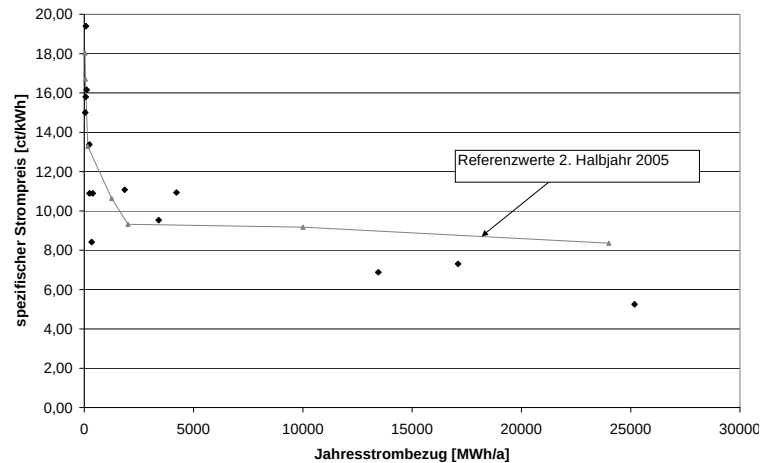


Abbildung 2-18: Spezifischer Strompreis aufgetragen über dem Jahresstrombezug für Betriebe der Recyclingindustrie, Referenz-Strompreise von Eurostat (2. Halbjahr 2005) [9].

Strompreise sind jedoch nicht nur von der Jahresstrombezugsmenge, sondern auch von den Jahresbenutzungsstunden abhängig. Daher können bei einem großen Verhältnis zwischen der Gesamtjahresarbeit und der Verrechnungsleistung deutlich günstigere Bezugsbedingungen erzielt werden, da in diesem Fall ein sehr gleichmäßiger Bezug vorliegt.

Durch ein Spitzenlastmanagementsystem kann dieses Verhältnis deutlich angehoben und somit eine bessere Ausgangssituation für Vertragsverhandlungen erzielt werden. Spezifische Preise von unter 8 ct/kWh waren im Bezugsjahr 2005 nur mit einem relativ konstanten Strombedarfsprofil mit hohen Jahresbenutzungsstunden auszuhandeln. Lastmanagementsysteme rentieren sich besonders bei Strombezugsverträgen mit hohen Leistungspreisen. Wenn die monatlichen Lastspitzen stark schwanken, kann ein Bezugsvertrag, der einen monatlichen Leistungspreis vorsieht, günstiger sein als eine jährliche Abrechnung der Maximalleistung.

Dieselpreise sind kaum beeinflussbar und unterliegen ständigen Schwankungen. Günstig kann jedoch beispielsweise der Betrieb einer Betriebstankstelle sein, die Preisvorteile beim Kauf größerer Mengen und/oder Kauf zu einem günstigen Zeitpunkt erzielen kann.

Weitere Energieträger, z.B. Erdgas, wurden in der Auswertung größtenteils vernachlässigt, da sie in den untersuchten Betrieben im allgemeinen nur in einem geringen Umfang eingesetzt werden (zumeist zu Heizzwecken und der Warmwasserbereitung in einem Verwaltungsgebäude).

Aufgrund der Verknappung der fossilen Energieträger ist mittelfristig ein weiterer Anstieg der Energiepreise zu erwarten, so dass jedes Industrieunternehmen gut beraten ist, den eigenen Energieverbrauch transparent zu halten und soweit wie möglich zu minimieren.

2.6 Literatur zu Kapitel 2

- [1] N.N.: Statistisches Bundesamt
- [2] Entsorgungsatlas NRW, 2001
- [3] N.N.: Landesamt für Statistik NRW
- [4] Statistisches Bundesamt: Fachserie 14, Reihe 8, Finanzen und Steuern – Umsatzsteuer 2004. Wiesbaden, 2006.
- [5] Statistisches Bundesamt: Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 (WZ03). Wiesbaden, 2004.
- [6] Dehli, M.: Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe. Praktische Möglichkeiten des Rationellen Energieeinsatzes in Betrieben. Expert-Verlag, 1998.
- [7] Statistisches Bundesamt: Fachserie 4, Reihe 4.1.2, Beschäftigte, Umsatz und Investitionen der Unternehmen und Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2004. Wiesbaden, 2006.
- [8] Statistisches Bundesamt: Fachserie 14, Reihe 8, Finanzen und Steuern – Umsatzsteuer 2004. Wiesbaden 2006.
- [9] Eurostat-Internetdatenbank: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

3 Bewertung der Energieeffizienz und Optimierungspotentiale in der Recyclingindustrie

Ein wesentliches Ziel dieses Leitfadens ist es, konkrete Möglichkeiten aufzuzeigen, mit deren Hilfe Betriebsleiter und technisches Personal in Unternehmen der Recyclingindustrie den Energieeinsatz und somit auch die Energiekosten senken können. Zu den hier beschriebenen Möglichkeiten gehören sowohl Vorschläge für investive Maßnahmen im Bereich der technischen Anlagen oder der Gebäude, als auch Vorschläge für rein organisatorische Veränderungen, die auf das Nutzerverhalten abzielen.

Zuerst wird in Kapitel 3.1 kurz auf die Innovationen im Anlagen- und Maschinenbau eingegangen, die maßgeblich für die Recyclingindustrie sind. In Kapitel 3.2 werden die für die Recyclingindustrie wichtigen Bereiche, Transport und Logistik, beleuchtet. Die übergreifenden Bereiche, die so genannten Querschnittstechnologien, wie Dampfversorgung, Druckluft- und Hydraulikversorgung, Klimatisierung oder Beleuchtung sind Themen von Kapitel 3.3. In Kapitel 3.4 folgt eine ganze Reihe von Vorschlägen, wie mit allgemeinen, organisatorischen Maßnahmen der Energiebedarf gesenkt werden kann. Kapitel 3.5 beschäftigt sich mit den integrierten Energieversorgungskonzepten, wie beispielsweise der Wärmerückgewinnung oder der Kraft-Wärme-Kopplung. Abschließend wird in Kapitel 3.6 die Möglichkeit der Nutzung alternativer Energieversorgung aufgezeigt.

Die in diesem Kapitel 3 beschriebenen Empfehlungen sind selbstverständlich von jedem Verantwortlichen auf ihre Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen. Es hängt von den jeweiligen Gegebenheiten in einem Unternehmen ab, welche Maßnahmen sinnvoll und praktikabel sind.

3.1 Innovationen im Anlagen- und Maschinenbau

Umfragen zufolge spielt der effiziente Einsatz von Energieträgern bei der Planung und dem Betrieb von Recyclinganlagen eine nur untergeordnete Rolle. Maßgeblich sind hier zunächst die Auslegung der Maschinen für eine möglichst robuste und flexible Arbeitsweise und die maximale Anschlussleistung des Standorts. Die Zusammensetzung der angelieferten Abfälle ist in der Regel nur bedingt vorhersagbar, was eine effiziente Gestaltung der Technik erschwert.

Innovationen zur Energieeinsparung sind vor allem in der Betriebsweise von Anlagen und der effizienten Nutzung von Abwärme sowie der Substitution von Verfahren mit gleicher Flexibilität bei geringerem Energieeinsatz zu sehen. Die energieeffiziente Betriebsweise von Aufbereitungsmaschinen und notwendiger peripherer Technik setzt dabei auf die Schulung des Bedienpersonals und die Vermeidung von Bedienungsfehlern.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der bundesweiten Befragung von Maschinen- und Anlagenherstellern in der Recyclingindustrie dargestellt,

die im Rahmen des Projektes stattgefunden hat. Dabei werden anhand der Umfrageergebnisse erste Tendenzen zum Energiebewusstsein in der Recyclingbranche aufgezeigt. Insbesondere wird beabsichtigt, die Entsorgungs- und Abfallbehandlungsunternehmen durch die Darstellung auf bereits vorhandene Innovationen aufmerksam zu machen.

Von insgesamt 167 Maschinen- und Anlagenherstellern in Deutschland haben 16 an der detaillierten Umfrageaktion teilgenommen und Angaben zu energierelevanten Informationen ihrer Produkte bereitgestellt.

3.1.1 Energietechnische Maschinenentwicklung

Die wichtigsten mutmaßlichen Faktoren für die Entwicklung einer energiesparenden Maschine werden im Folgenden aufgeführt. Über 60% der befragten Hersteller sehen Kundenwünsche und Marktbedarf als bedeutendstes Argument für eine energieeffiziente Konstruktion. Über die Hälfte der Unternehmen sind der Meinung, dass Marketingaspekte und steigende Kosten für Energieträger eine Entwicklung in dieser Richtung positiv beeinflussen. Umweltschutz, Ordnungspolitik und der Druck der Öffentlichkeit werden nur von weniger als einem Drittel der Befragten als Grund für eine energiebewusste Entwicklung angesehen.

Fast die Hälfte der Hersteller von Anlagen und Maschinen in der Recyclingindustrie ist der Meinung, dass sich die höheren Kosten einer energiesparenden Entwicklung nicht umwälzen lassen (siehe Abbildung 3-1). 38% der Befragten befürchten einen höheren Investitionsaufwand bei gleichzeitigem Fehlen eines Marktes für eine energieoptimierte Technik. Bei der Behandlung von Abfällen werden wegen der Inhomogenität und der ständig wechselnden Zusammensetzung des aufzubereitenden Materials hohe Anforderungen an die Flexibilität der eingesetzten Aggregate und Maschinen gestellt. Dabei ist für ca. ein Drittel der Befragten offensichtlich, dass, vermutlich unter diesen Randbedingungen, keine geeigneten Technologien für eine energieeffiziente Konstruktion verfügbar sind. Ein Viertel der Hersteller sieht in dem Fehlen von gesetzlichen Regelungen einen Grund, dass nicht mehr energieoptimierte Maschinen und Anlagen gebaut werden. 19% sehen sich dabei mit einer fehlenden Unterstützung der Kunden konfrontiert. Der erhöhte Aufwand durch Reparatur, Wartung und Unterhaltung stellt kaum ein Hemmnis dar.

Durch gemeinsame Projekte von Herstellern und Anwendern lassen sich mögliche Energiesparpotenziale aufdecken und in der Konstruktion neuer Geräte umsetzen. Die Befragung ergab weiterhin, dass nur in seltenen Fällen gemeinsame Projekte zur Energieeinsparung von Herstellern und Kunden (Entsorgungs- und Abfallbehandlungsunternehmen) durchgeführt werden.

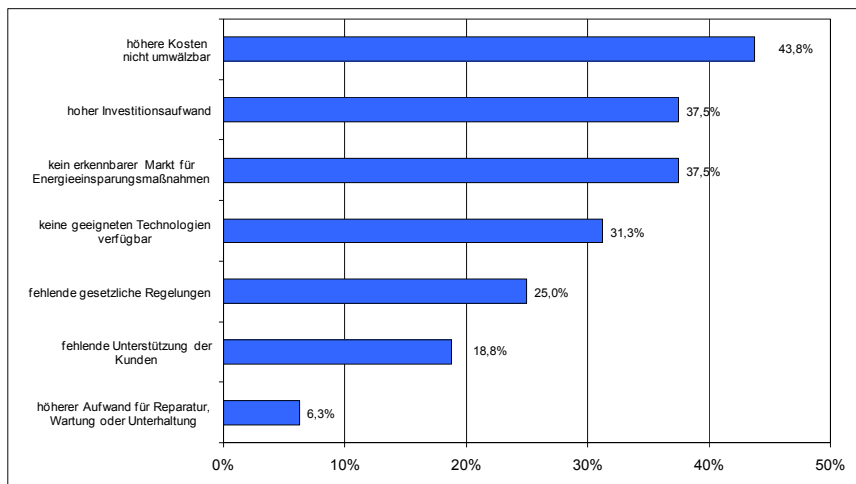


Abbildung 3-1: Hemmnisse für die Verwirklichung von Energieeinsparmaßnahmen bei der Maschinenentwicklung (eigene Darstellung)

3.1.2 Kaufverhalten innerhalb Deutschlands

Bereits 30% der Hersteller gehen davon aus, dass sich das Kaufverhalten der Kunden zum Zweck der Energieoptimierung geändert hat. Die Hälfte der Unternehmen ist davon überzeugt, dass der Energieverbrauch einer Maschine ein Kaufargument gegenüber der Konkurrenz darstellt. Bei 60% der Hersteller führen die Kunden keine eigenen Energieanalysen in ihren Anlagen durch. Bei den übrigen 40% führen lediglich wenige Kunden Untersuchungen durch, wie Energie in der bestehenden Recyclinganlage besser und effizienter genutzt werden kann.

3.1.3 Ausstattung von Maschinen mit energieeinsparender Technik

Um eine Energieeinsparung im Anlagenbetrieb zu ermöglichen ist gemäß Angaben der befragten Anlagenhersteller bereits die Mehrheit der Maschinen mit konventioneller energieeinsparender Technik ausgerüstet. Dies sind z.B. Vorrichtungen zur Einbindung in ein Lastmanagement-System (61%), die Anpassung der Energieaufnahme der Maschinen an den Durchsatz (76%) und das Ab- und Anschalten der Maschinen bei kurzen Stillstandzeiten (87%). Andererseits sind ein Drittel der Befragten die innovativeren „Energieeffizienzmotoren“ noch nicht bekannt. Bezüglich der Abwärmenutzung der Maschinen sind nur 20% der Befragten davon überzeugt, dass ihre Maschinen nutzbare Abwärme produzieren.

Eine hohe Bedeutung für die kontinuierliche Überwachung des Energieeinsatzes hat die Erfassung der Energiedaten der einzelnen Maschinen und Anlagen. Bei 40% der Maschinen lässt sich der Stromverbrauch bzw. die Leistungsaufnahme ihrer Aggregate zeitgenau elektronisch auslesen bzw. werden Informationen hierzu gespeichert.

Im Zuge des politischen Interesses an einer verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen werden in Zukunft sicherlich auch diese Möglichkeiten in der Industrie vermehrt genutzt. Etwa ein Drittel der Befragten ist sicher, dass der Einsatz von regenerativen Energien mit ihren Maschinen möglich ist. 42% der Anlagenhersteller haben bereits

Kenntnis über die staatliche Förderung zum Einsatz von regenerativen Energieträgern.

Die Einsparung von Energie bei der Konstruktion von Aufbereitungsmaschinen hat niedrigste Priorität. Die Hersteller konstruieren hauptsächlich optimiert hinsichtlich Anlagenstandzeit, Flexibilität und Aufbereitungsleistung. Der Einsatz energiesparender Technik wird dabei vom Kunden nicht nachgefragt, eine Optimierung in dieser Richtung findet demzufolge nicht statt. Einzig die maximal verfügbare Spitzenlast eines Standorts stellt eine Obergrenze der einsetzbaren Energie eingesetzter Aggregate dar.

3.2 Transport, Logistik und Aufbereitung

Sowohl bei der Sammlung von Abfällen und dem Transport zu Aufbereitungsanlagen als auch beim Materialtransport innerhalb von Anlagen wird überwiegend Dieselmotorkraftstoff als Energieträger verwendet. Der Verbrauch hängt vom Fahrzeuggewicht, der Fahrstrecke, der Effizienz der Antriebstechnik und dem Fahrverhalten des Bedieners ab. Im Bereich der Sammlung werden Fahrzeuge eingesetzt, die zur Abfallverdichtung mit integrierten Pressen ausgestattet sind. Diese bewirken ein höheres Fahrzeuggewicht bei einer geringeren maximalen Zuladung. Eine Innovation ist in der Entwicklung von leichten und kompakten Pressen zu sehen, die möglichst nicht auf dem Abfallfahrzeug mitgeführt werden müssen und somit stationär vor Ort sind.

Zur Minderung des Kraftstoffverbrauchs ist eine optimierte logistische Planung der Fahrtrouten und Abholzeiten notwendig. Da bei jedem Anfahrvorgang erheblich mehr Kraftstoff verbraucht wird als im Fahrbetrieb muss die Zahl der Haltevorgänge möglichst gering gewählt werden. Einfluss hierauf haben der Aufstellungsort der Müllbehälter, der tageszeitabhängige Straßenverkehr und die Wahl der Fahrtrouten. Durch den Einsatz von intelligenten Getrieben kann trotz der ständig wechselnden Anforderungen an die Antriebstechnik eine energieeffiziente Bedienung sichergestellt werden, ohne dass eine besondere Schulung des Personals erforderlich ist [56].

Durch eine zentrale Informationsverwaltung von Aufbereitungsmöglichkeiten und Kapazitäten von Entsorgungsstandorten kann eine individuelle Routenplanung für Sammel- und Transportfahrzeuge realisiert werden, die hinsichtlich kurzer Routen und Wartezeiten optimiert ist. Dies mindert den Kraftstoffverbrauch. Hilfreich ist hierbei der Einsatz des „Global Positioning Systems“ (GPS), einem satellitengestützten Navigationssystem mit dem Koordinaten, Höhe und Zeit bestimmt werden können. Die offiziell zugängliche GPS-Ortung hat eine Genauigkeit von ca. 10 m, die eine ausreichend genaue Positionsbestimmung von Fahrzeugen ermöglicht um eine empirische Optimierung der Routenplanung, auch auf dem Gelände von Entsorgungsanlagen, durchführen zu können.

Für die konkrete Routenplanung innerhalb eines Geländes ist jedoch eine Genauigkeit von ca. 1 m sinnvoll. Diese Genauigkeit kann mit dem auf der Laufzeitmessung basierenden „Differential Global Positioning System“ (DGPS) erreicht werden [55]. Hierzu wird auf einem bekannten und genau vermessenen Punkt eine Referenzstation installiert. Die dort empfangenen GPS- und die bekannten tatsächlichen Positionsdaten werden miteinander verglichen und zur Ermittlung von Korrekturdaten für die Positionsbestimmung herangezogen. Unter der Annahme, dass ein

zu ortendes Fahrzeug in der Nähe der Referenzstation in gleicher Weise wie die Referenzstation durch Fehler des Systems beeinflusst wird, werden den Nutzern des Navigationsverfahrens die Korrekturdaten zur Verfügung gestellt. Mit diesen Daten können die Nutzer ihre eigene Ortung korrigieren und ihre Ortungsgenauigkeit verbessern.

Eine andere Möglichkeit für die Erhöhung der Positionierungsgenauigkeit ist das europäische Satellitennavigationssystem Galileo, das bis 2013 betriebsbereit sein soll. Galileo basiert auf 30 Satelliten und einem Netz von Bodenstationen, die die Daten der Satelliten empfangen. Das Satellitennavigationssystem bietet gegenüber dem jetzigen GPS eine größere Genauigkeit. Mit dem Offenen Dienst wird eine Positionierungsgenauigkeit bis auf ca. 4 bis 15 m erwartet [55]. Bei Verwendung von Zusatzinformationen und/oder -diensten lässt sich ähnlich wie bei anderen satellitengestützten Navigationssystemen die Positionsgenauigkeit in den Zentimeterbereich steigern.

Beim Transport von Abfällen, Zwischen- und Endprodukten innerhalb von Recyclinganlagen ist vor allem die Auswahl und Dimensionierung von Radladern und Greifkränen für eine effiziente Energienutzung notwendig. Bereits bei der Planung von Entsorgungs- und Recyclinganlagen sollten ausreichend große Rangierflächen und Fahrwege ohne Wendezwang vorgesehen werden, um einen Fahrbetrieb mit minimierten Wartezeiten realisieren zu können. Eine Schulung des Bedienpersonals zur energiesparenden Fahrweise verhindert zudem den unnötigen Verbrauch von Energieträgern. Durch die Aufzeichnung von Fahrwegen innerhalb der Anlage im täglichen Betrieb können Kreuzungspunkte und Engpässe erkannt und Transportabläufe empirisch optimiert werden. Die Optimierungsmöglichkeiten im Bereich von Transport und Logistik liegen somit vor allem in einem integrativen Ansatz von Planung, Überwachung, empirischer Optimierung und Schulung des Personals.

Durch den Einsatz von Verbrennungsmotoren mit optimiertem Wirkungsgrad oder Hybridantrieben können zudem Energieträger eingespart werden, ohne dass sich hierdurch Nachteile für den Aufbereitungsbetrieb ergeben. Eine Innovation stellt hier vor allem der Einsatz von hydraulischen oder mechanischen Energiespeichern dar. Durch das hinzufügen eines Elektromotors kann vor allem bei dieselgetriebenen Radladern Energie zurück gewonnen werden, die bisher bei häufigen Anfahrt und Bremsvorgängen verloren geht [57].

3.2.1 Primäre stationäre Technik

Aufbereitungsanlagen bestehen aus primärer und sekundärer Maschinentechnik. Die primäre Technik dient dem Zweck der Aufbereitung selbst. Sie wird üblicherweise nach der Beschaffenheit und Menge der angelieferten Abfälle sowie den Anforderungen an die Endprodukte ausgewählt und gebaut. Als primäre Technik sind vor allem Maschinen zur Zerkleinerung, Klassierung, Sortierung und Förderung zu sehen. Hier wird überwiegend elektrischer Strom als Energieträger verwendet.

Zerkleinerungsmaschinen werden entweder direkt mit Elektromotoren oder indirekt über Hydraulikmotoren angetrieben. Beim Einsatz von Elektromotoren sind Verfahren bekannt, die mit möglichst geringen Verlusten die eingesetzte Energie besonders effizient in ein hohes Drehmoment überführen können.

Antriebseinheiten können mit einer energiesparenden Drehzahlregelung betrieben werden. Ein Beispiel für einen energieeffizienten Antrieb ist der patentierte HiTorc-Antrieb der Firma Vecoplan, ein getriebeloser Antrieb mit wassergekühltem „HiTorc“-Motor für Zerkleinerungsmaschinen in Größen von 75 bis 250 kW mit stufenlos regelbarer Drehzahl von 0 bis 360 oder 420 UpM. Durch das getriebelose Konzept entfallen die Getriebeverluste und der drehzahlvariable Betrieb erhöht die Verfügbarkeit. Die automatische Drehzahlregelung lässt den Rotor bei leicht zu zerkleinernden Stoffen schnell laufen. Bei schwierigen Materialien dreht der Rotor langsamer mit einem hohen Drehmoment. Das System nimmt dabei immer nur soviel Energie auf wie gerade benötigt wird. Mit dieser Technik sind Stromeinsparungen, in Abhängigkeit von der Maschinenauslastung, von bis zu 60% möglich [53].

Bei Verwendung hydraulischer Antriebe wird bei der Verdichtung des Hydrauliköls Wärme produziert, die zur Temperierung von Arbeitsräumen oder zum Vorwärmen von Einsatz- und Hilfsstoffen verwendet werden kann. Bereits bei der Planung sollten die Standorte der Hydraulikpumpen und der möglichen Nutzungsbereiche so gewählt werden, dass die Wege zur Wärmeübertragung möglichst kurz gehalten werden.

Für den Betrieb von Maschinen zur Zerkleinerung von Abfällen ist eine Schulung des Personals zur effizienten Betriebsweise essentiell. Langsam laufende Zerkleinerer, wie sie bei der Vorzerkleinerung von Abfällen üblicherweise eingesetzt werden, sind gegen Überlast mit einer Überstrom- oder Drehmomentüberwachung ausgestattet. Beispielsweise wird bei scherender oder reißen der Beanspruchung sehr schwer zerkleinerbarer Inhaltsstoffe das Drehmoment stetig erhöht, bis ein Maximalwert erreicht wird. Um eine Beschädigung des Aggregats zu vermeiden reversiert der Zerkleinerer und startet einen neuen Zerkleinerungsvorgang. Ist die Zerkleinerung nicht möglich, so müssen die betreffenden Abfallstücke manuell aus dem Zerkleinerungsbereich entnommen werden. Bei dieser Betriebsweise wird durch den Einsatz von hohen Drehmomenten viel Energie benötigt. Die Vorsortierung der angelieferten Abfälle und eine Entfernung von Problemstoffen durch geschultes Personal reduzieren diese Betriebszustände und leisten somit einen Beitrag zur Energieeinsparung.

Neben radgetriebenen Förderfahrzeugen sind zum Transport von Abfallströmen in Anlagen hauptsächlich Förderbänder und Schwingrinnen im Einsatz. Die Dimensionierung von Förderbandmotoren sollte auf die Materialart und die daraus resultierenden Schüttgewichte angepasst sein. Der Verbrauch von elektrischer Energie kann durch den Einsatz von Energieeffizienzmotoren reduziert werden. Ein regelmäßiges Abreinen der Umlenkrollen, Getriebe und Gleitlager vermindert Verluste durch Reibung und reduziert neben der Senkung des Energieverbrauchs auch den Verschleiß von Bauteilen. Eine wirkungsvolle Überwachungsmethode ist die Messung der Last an Motoren. Durch die Messung können der Einfluss der Reibung über die Zeit festgestellt, auf den Grad der Verschmutzung rückgeschlossen und Maßnahmen eingeleitet werden.

Neben der energieeffizienten Gestaltung der Förderbänder durch Vermeidung von unnötigen Steigungen und Förderwegen sollten Förderaggregate automatisch abgeschaltet werden können, wenn kein Material gefördert werden muss. Diese Überwachung kann durch Bandwaagen oder Lichtschnittsensoren realisiert werden.

Nach der Zerkleinerung und Klassierung des Abfalls kommt Sortiertechnik zum Einsatz. Auch hier wird überwiegend elektrischer Strom als Energieträger genutzt. Beim Betrieb der Aggregate ist neben der Einstellung eines optimalen Betriebspunktes zur Trennung von Material auch der optimale Betriebszustand für den Einsatz von Energie zu berücksichtigen. So können beispielsweise bei Trennprozessen mit Windsichtern und Luftherden die Luftströme im Kreislauf gefahren werden. Da bei dieser Betriebsweise anstatt 100% nur ca. 30% der Sichtluftmenge in einen nachgeschalteten Filter geleitet werden muss, können die Größe des Staubabscheiders und die Antriebsleistung des zugehörigen Ventilators deutlich reduziert werden. Durch eine eventuelle sensorische Überwachung der Ausgangsströme und einer damit verbundenen automatischen Steuerung der Sichtluftgeschwindigkeit kann zudem ein energieeffizienter Betriebspunkt gefunden werden.

Zur Abtrennung von Eisenmetallen werden Magnetscheider eingesetzt, die überwiegend mit Elektromagneten betrieben werden. Je höher die Energiedichte des magnetischen Feldes der Magneten ist, desto mehr Kühlung ist für den Betrieb nötig. Die abgeführte Wärme kann zur Heizung von Schaltwarten oder Betriebsgebäuden genutzt werden. Je nach Sortieraufgabe ist zu prüfen, ob auch ein Einsatz von Scheidern mit Permanentmagnetsystemen möglich ist, die zur Erzeugung von Magnetfeldern keine elektrische Energie benötigen.

Bei der sensorgestützten Sortierung von Abfällen werden fast ausschließlich Druckluftdüsen zur mechanischen Trennung des Stoffgemischs eingesetzt. Durch einen Druckluftstoß von bis zu 8 bar werden die erkannten Abfallbestandteile aus dem bewegten Stoffstrom „herausgeschossen“. Häufig ist auch bei geringerem Arbeitsdruck noch ein erfolgreiches Sortieren möglich. Je niedriger der Arbeitsdruck ist, desto weniger Druckluft muss produziert und vorgehalten werden. Zudem sinken bei fallendem Systemdruck die Verluste durch Leckagen im System. Durch den Einsatz von präzise arbeitenden und verwirbelungsarmen Luftdüsen kann der Systemdruck weiter gesenkt werden. Für einige Anwendungen sind Druckluftdüsen nicht zwingend erforderlich und können auch in bestehenden Aggregaten durch schnell schaltende Ablenklappen ersetzt werden [58]. Diese Klappen werden mit Elektromotoren angetrieben und können mehrere Male in der Sekunde schalten. Sie stellen einen energieeffizienten Ersatz zur Drucklufttechnik dar, können jedoch nicht für jedes Material und jede Korngröße verwendet werden.

3.2.2 Sekundäre stationäre Technik

Neben der primären Aufbereitungstechnik ist in einem Recyclingbetrieb sekundäre Technik notwendig. Zu den sekundären Aggregaten zählen etwa Druckluftkompressoren, Heizungen, Klimaanlage, Filter, Entstaubungsanlagen, regenerative thermische Oxidation (RTO) und Beleuchtungstechnik (siehe auch Kapitel 3.3 Querschnittstechniken).

Entstehender Staub sollte direkt am Entstehungsort erfasst werden. In Stillstandzeiten sollte – entgegen der gängigen Praxis – eine automatische Abschaltung der Entstaubungsgebläse erfolgen. Die Abreinigung der Filterschläuche kann dabei entweder durch Druckluft oder Rütteltechnik erfolgen. In manchen Fällen reicht der Einsatz von Rütteltechnik aus und ist damit aus Energieeffizienzgründen der Drucklufttechnik vorzuziehen. Durch die stetige Überwachung der

Abluftqualität und Staubkonzentrationen kann die Steuerung der Gebläsetechnik automatisiert werden. Zur Reinigung von Filtermaterialien wird ebenfalls Energie benötigt, deren Einsatz durch die Verwendung moderner Filtermaterialien vermindert werden kann.

Die modernste Filtertechnologie im Bereich der Oberflächenfiltration stellt die Nanofaser-Technik dar. Nanofasern sind feine, regelmäßige Fasern mit einem Durchmesser von 0,2 – 0,3 μm . Bei Verwendung dieser Fasern arbeiten Filter mit hoher Effizienz und geringem Differenzdruck. Auch die aufzuwendende Abreinigungsenergie (Druckluft) kann mindestens um 50% gegenüber Tiefenfiltern reduziert werden. Grundsätzlich kann Energie eingespart werden, wenn die Gesamtanlagen von der Staubluftefassung über die Rohrleitungen, dem Filterhaus mit optimaler Luftführung und bestgeeignetem Filtermedium bis zur Reinluftführung (Wärmerückgewinnung, Reinlufrückführung oder Abluft) aufeinander abgestimmt sind [52].

Der Einsatz von Beleuchtung, vor allem bei mehrschichtig betriebenen Anlagen, sollte insofern automatisiert sein, dass nur die notwendige, an das Umgebungslicht angepasste Lichtmenge emittiert wird. Durch den Einsatz von lichtdurchlässigen Fassadenbausteinen kann Tageslicht optimal genutzt werden und macht damit eine Zusatzbeleuchtung an hellen Tagen fast überflüssig [60].

Schließlich ist durch die Schulung von Personal ein effizienter Umgang mit Heizungswärme und der von Klimaanlage erzeugte Kälte möglich. Dies sollte durch den Einsatz von automatischer Regelungstechnik zur Einstellung der Arbeitstemperaturen unterstützt werden.

Anlagen die zur Aufbereitung von Abfällen verwendet werden, sind in den meisten Fällen an den Standort angepasste Systeme in denen die in diesem Abschnitt vorgestellten Möglichkeiten zur effizienten Energienutzung einzeln überprüft und soweit wie möglich eingesetzt werden sollten. In einigen Fällen erlauben die lokalen Gegebenheiten dies jedoch nur mit Einschränkungen. Ein Beispiel sind im Baugelände vorhandene Gefälle und Höhenunterschiede, die sich nachteilig auf den Kraftstoffverbrauch von Transportfahrzeugen auswirken. Das Ziel sollte also eine Einführung von, unter den gegebenen Umständen, höchstmögliche Anzahl an effizienzsteigernden Maßnahmen sein.

3.3 Querschnittstechniken

Unter dem Begriff Querschnittstechniken werden alle Energieumwandlungsanlagen zusammengefasst, die in fast jeder Branche zum Einsatz kommen. Hierunter fallen insbesondere die Druckluftherzeugung, die Wärme- und Kälteherzeugung, Lüftung sowie Beleuchtung.

In der Recyclingindustrie haben diese Anlagen der Querschnittstechnik einen maßgeblichen Anteil am Energieeinsatz und bieten beträchtliche Optimierungspotenziale. Im Folgenden wird detailliert auf folgende Bereiche eingegangen, wobei der Schwerpunkt auf die Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz gelegt wird:

- Wärmeversorgung
- Druckluft- und Hydraulikversorgung
- Kälteversorgung
- Abluftbehandlung
- Elektrische Antriebe
- Beleuchtung

3.3.1 Wärmeversorgung

Manche Bearbeitungsstufen in der Recyclingindustrie benötigen thermische Energie. Aufgrund des guten Wärmeübergangs bei der Dampfkondensation werden diese Wärmemengen häufig über Dampf bereitgestellt. Selbst Heißwasser wird oftmals sekundär mittels Dampf erhitzt. Zum Teil werden aber auch Thermoölsysteme eingesetzt. In der Regel wird die benötigte Wärme zentral in einem oder auch mehreren parallel arbeitenden Kesseln erzeugt und über ein Rohrleitungssystem zu den verschiedenen Verbrauchern geführt. Bei Dampfsystemen wird das Kondensat, soweit möglich, zurückgeleitet, in einem Sammelbehälter aufgefangen und dem Kesselsystem wieder zugeführt. Abbildung 3-2 zeigt das Schema eines typischen Dampfsystems für Betriebe der Recyclingindustrie.

Für den Betrieb von Produktionsanlagen sind Kesseldrücke von 3-8 bar üblich. Dies entspricht Sattedampftemperaturen zwischen 140 und 175°C. Nur in wenigen Betrieben sind höhere Temperaturen und damit auch höhere Dampfdrücke erforderlich. Die Kesselnutzungsgrade liegen meist zwischen 80 und 92%. Die Wärmeverluste im Rohrleitungssystem betragen bis zu 15%, so dass letztlich nur 65-77% der eingesetzten Brennstoffenergie für die Produktion genutzt wird.

Im Folgenden wird auf unterschiedliche Möglichkeiten zur Steigerung des Umwandlungswirkungsgrades von Dampfsystemen eingegangen.

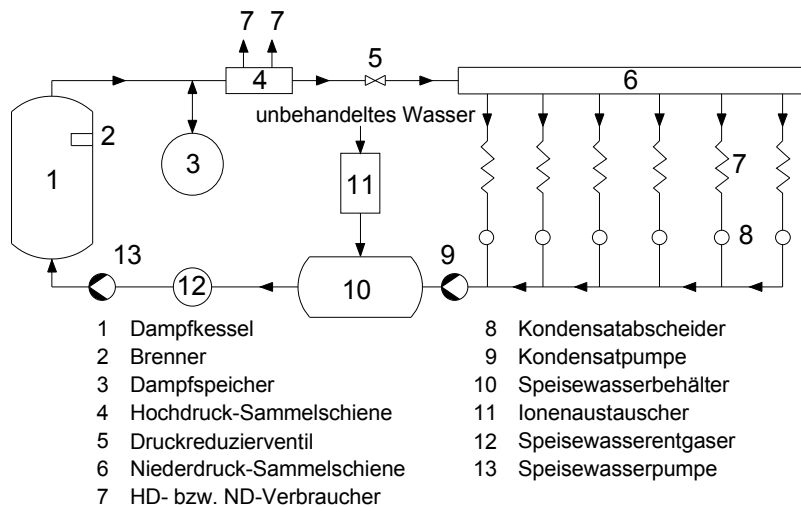


Abbildung 3-2: Typisches Dampfsystem eines Recyclingbetriebes (eigene Darstellung)

Kesseltypen

Für die Dampferzeugung werden zwei verschiedene Kesseltypen eingesetzt:

- Großwasserraumkessel ausgeführt als Flammrohr-Rauchröhrenkessel (Abbildung 3-3) und
- Wasserrohrkessel ausgeführt als Steilrohrkessel oder Schnelldampferzeuger (Abbildung 3-4).

Welcher Typ verwendet wird, ist von der Bedarfsdynamik (Menge, zeitliches Bedarfsprofil) und der Dampfqualität (Feuchtigkeit, Druck und Temperatur) abhängig.

Großwasserraumkessel wurden früher als einfache Flammrohrkessel ausgeführt. Dies ist heute nur noch bei Kleinanlagen anzutreffen. Moderne Großwasserraumkessel werden mehrzünftig als Flammrohr-Rauchröhrenkessel (siehe Abbildung 3-3) konzipiert. Flammrohr-Rauchröhrenkessel sind für Dampfdrücke bis 32 bar und in Doppelflammrohrbauweise für Dampfmenen bis 28 t/h einsetzbar.

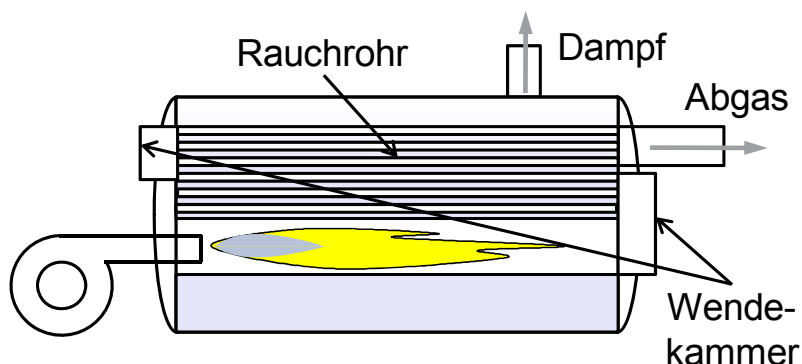


Abbildung 3-3: Aufbau eines Rauchröhrenkessels (eigene Darstellung)

Der Großwasserraumkessel hat den einfachsten Aufbau. Ein Vorteil liegt in der vergleichsweise großen Speicherfähigkeit von Dampf, so dass bei Bedarfsschwankungen die Schaltvorgänge des Brenners auf ein

Minimum reduziert werden. Dies setzt jedoch einen großen Regelbereich des Brenners voraus. Ein weiterer Vorteil liegt in der hohen Dampfqualität (trocken gesättigter Dampf mit konstantem Druck). Dreizügige Flammrohrkessel, weisen durch ihre große Wärmeübertragungsfläche Wirkungsgrade von 85 bis 90% auf. Ein Nachteil der Großwasserraumkessel besteht im Kaltstartverhalten. Das Anfahren des Kessels aus kaltem Zustand muss bei kleiner Leistung erfolgen, um Werkstoffüberlastungen zu vermeiden. In Abhängigkeit der Kesselgröße (Wasserraum) kann der Anfahrvorgang mehrere Stunden benötigen.

Das Prinzip des Steilrohrkessels (siehe Abbildung 3-4) besteht darin, dass sich das Kesselspeisewasser in Röhren im oberen Bereich des Flammraumes befindet und über große Flächen schnell erhitzt und verdampft werden kann. Zusätzlich enthält ein Steilrohrkessel meist zwei Obertrommeln und eine oder auch zwei Untertrommeln (Dome), zwischen denen die Wasserrohre schräg oder steil angeordnet sind. Das Wasser steigt in dem vorderen, stark beheizten Rohrbündel nach oben zur vorderen Obertrommel. Der enthaltene Dampf wird abgegeben, das Wasser strömt in die hintere Obertrommel hinüber und fällt durch das senkrechte, schwächer beheizte Rohrbündel in die Untertrommel zurück. Es entsteht ein natürlicher Umlauf mit hoher Wärmeübertragung und effizienter Dampferzeugung.

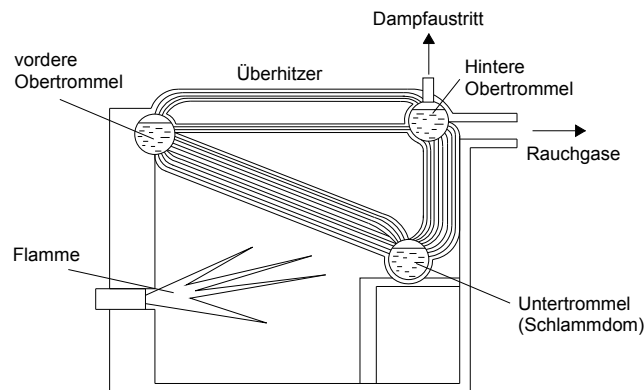


Abbildung 3-4: Aufbau eines Steilrohrkessels (nach [30])

Nachteilig ist bei diesem Kesseltyp die in der Regel höhere Dampf-feuchte sowie die geringere Druckkonstanz. Ein bei speziellen Bautypen oberhalb der Obertrommeln zusätzlich angeordnetes Rohrbündel ermöglicht die leichte Überhitzung des Dampfes, so dass trotz der Wärmeverluste in den Rohrleitungen am Einsatzort noch Sattedampf-zustände vorliegen, die Dampfqualität also gesteigert wird.

Kleinere Steilrohrkessel sind für Dampfmengen bis etwa 1 t/h als so genannte Schnelldampferzeuger auf dem Markt. Ihr Einsatz ist bei zeitlich stark wechselndem und spontanem Dampfbedarf oder geringer Laufzeit sinnvoll.

Größere Bauformen werden für große Dampfmengen bei höheren Drücken eingesetzt, sind jedoch dann aufgrund ihres komplizierteren Aufbaus kostenintensiver in der Anschaffung. Weitere Kesselcharakteristika sowie Kriterien für die Entscheidung, welcher Kesseltyp für welchen Einsatzzweck am besten geeignet ist, sind exemplarisch in der Veröffentlichung „Welcher Dampfkessel für welchen Bedarf?“ zu finden [31].

Der Dampfbedarf eines Betriebes ist, wie die übrige Energieversorgung auch, stark von der jeweiligen Struktur und dem Produktionsprofil geprägt. Eine genaue Mengenmessung der einzelnen Verbraucher ist die wesentliche Grundlage für die Optimierung des Dampfverbrauchs. Die Überwachung und Aufzeichnung des Dampfbedarfs einzelner Anlagen ist in den Betrieben der Recyclingindustrie eher die Ausnahme, sollte in Zukunft aber stärker Beachtung finden. Hierfür bieten sich klassische und kostengünstige Messverfahren mit Blenden oder Staudrucksonden an.

Zentrale erdgas- oder heizölbefeuerte Thermoölkessel werden in der Recyclingindustrie nur für besondere Anforderungen eingesetzt. Der Vorteil des Thermoöls gegenüber Dampf oder Heißwasser besteht vor allem darin, dass keine Korrosionsgefahr besteht und hohe Temperaturniveaus drucklos erreicht werden können. Ein weiterer Vorteil ist die gute Temperaturregelbarkeit. Der Einsatz dieser Kesseltypen ist aber möglichst zu vermeiden, da Thermoöl teurer als die Speisewasseraufbereitung für Dampfkessel und nur eingeschränkt haltbar ist. Daher sollten die Thermoölmengen im Umlauf möglichst gering gehalten werden. Zusätzlich werden hohe Anforderungen an die Dichtheit des Systems und dem Brandschutz gestellt. Ein weiterer Nachteil ist, dass Erweiterungen nur mit hohem Aufwand realisierbar sind.

Dampfdruckniveau

Überaus wichtig ist die richtige Dimensionierung des Kessels und vor allem die Anpassung des Betriebsdrucks an die tatsächlichen betrieblichen Erfordernisse. Höhere Dampfdrücke als erforderlich verursachen aufgrund der höheren Temperaturen entsprechend größere Verluste in den Dampfleitungen. Gegebenenfalls sollten entsprechende Abstufungen vorgesehen werden.

Häufig werden bei bestehenden Systemen Dampfdruck und -temperatur bewusst über einen gezielten Wärmeverlust in unisolierten Teilen des Leitungssystems reduziert. Zum Teil wird die gewünschte Abkühlung sogar durch äußere Berieselung der heißen Rohre mit Wasser erzielt. Dies alles sollte aus energetischer Sicht vermieden werden. Stattdessen sollte eine Reduzierung auf die gewünschte Dampftemperatur durch Kondensateinspritzung erfolgen.

Speisewasservorwärmung

Eine Maßnahme zur Verbesserung der Brennstoffausnutzung bei Dampfkesselanlagen ist der Einbau einer Vorrichtung zur Speisewasservorwärmung im Abgasstrang (Economizer).

Das auf Kesseldruck gepumpte Speisewasser wird hierbei durch einen außen berippten Rohrbündel-Wärmeübertrager zwischen Kessel und Kamin geleitet und von beispielsweise 100°C auf bis zu 140°C aufgeheizt. Das Abgas kühlt sich dadurch von etwa 180°C auf etwa 130°C ab und der Kesselwirkungsgrad steigt um fünf bis sechs Prozentpunkte an. Die Amortisationszeit kann bei etwa einem halben Jahr (Preise von 2008) liegen. Bei Einsatz von Heizöl ist diese Maßnahme mit stark erhöhtem technischem und finanziellem Aufwand verbunden, da der im Heizöl enthaltene Schwefel zur Bildung von Schwefelsäure führt. Dementsprechend müssen Kamin und Anlagenteile säurefest ausgelegt werden.

In Betrieben mit direktem Dampfeinsatz ist die weitere Wärmeausnutzung des Abgases zur Vorwärmung von kaltem zuströmendem

Kesselspeisewasser – bis hin zur Brennwerttechnik – auch bei Großkesselanlagen durchaus denkbar [32]. Abbildung 3-6 zeigt die mögliche, in Stufen durchgeführte, Wärmeausnutzung der Rauchgase.

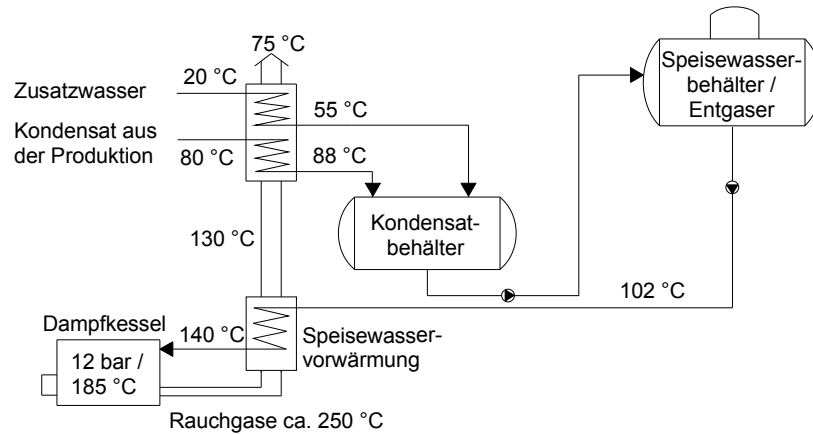


Abbildung 3-5: Abwärmenutzung aus Rauchgasen [30]

Die bekannten Schwierigkeiten des reduzierten Kaminzugs und der sicheren Abführung anfallender Kondensatmengen durch entsprechend ausgekleidete Abgasanlagen müssen auch hier beachtet werden. Der wachsende Einsatz von Erdgas bei der Dampferzeugung begünstigt den Einsatz der Brennwerttechnik. Eine Abkühlung des Abgases auf bis zu 50°C mit der daraus resultierenden hohen Wärmeausnutzung, wie sie bei Hausfeuerungsanlagen seit einiger Zeit schon erreicht wird, sind bei guter Kesseldimensionierung auch in Betrieben der Recyclingindustrie zu erzielen. Dies ist dann sinnvoll, wenn die Niedertemperaturwärme zur Erwärmung von Prozess- bzw. Kesselzusatzwasser genutzt werden kann. Die Amortisationszeit liegt in der Regel trotz relativ aufwändiger Kaminauskleidung und kostenintensivem Wärmeübertrager unter einem Jahr (Preise von 2008).

Bilanzierung von Dampferzeugungssystemen

Die Dampferzeugung verursacht häufig einen hohen Anteil der Energiekosten eines Betriebes. Neben den Kosten für den Brennstoffeinsatz fallen weitere Kosten zur Aufbereitung des Speisewassers an. Bei einem derzeit anzusetzenden spezifischen Dampfpreis von etwa 45 € pro Tonne Dampf verursachen die Brennstoffkosten 80 bis 85% und die Aufbereitungskosten etwa 15 bis 20%. Indirekt enthalten sind darin auch die Kosten für Abschlammung, Kondensatverluste, Abwasser und Isolationsverluste. Personal- und Kapitalkosten sind hingegen nicht enthalten. Insbesondere bei älteren Kesselsystemen kann eine sorgfältige Bilanzierung der Energieströme zur Aufdeckung von Verbesserungspotenzialen führen. Die Kenntnis über die zu veranschlagenden Kosten für die Dampferzeugung ist von großer Bedeutung.

Abbildung 3-7 zeigt eine schematische Darstellung eines Kesselsystems mit sämtlichen relevanten Energieströmen. Die Bewertung der Effizienz eines Dampferzeugungssystems geschieht über den thermischen Wirkungsgrad.

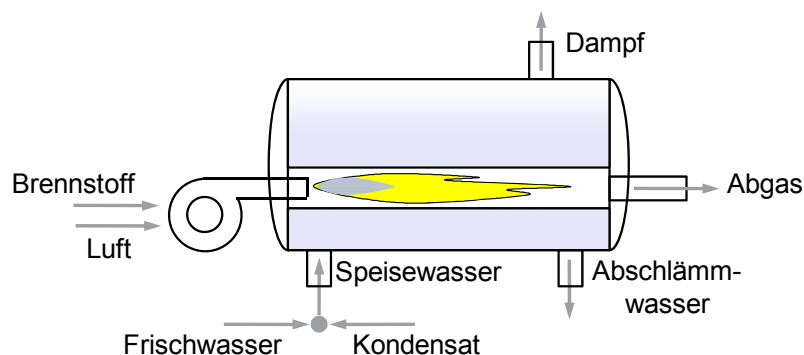


Abbildung 3-6: Bilanzierung eines Dampferzeugungssystems (eigene Darstellung)

Der Wirkungsgrad der, im Gegensatz zum Nutzungsgrad, nur bei einem bestimmten Lastpunkt als Verhältnis von nutzbarer thermischer Dampfleistung zu zugeführter Brennstoffleistung definiert ist, lässt sich durch folgende Gleichung bestimmen:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{m}_{\text{Dampf}} \cdot h''_{\text{Dampf}}(p_{\text{Dampf}}) - \dot{m}_{\text{SpW}} \cdot h_{\text{SpW}}(\vartheta_{\text{SpW}})}{\dot{m}_{\text{Brst.}} \cdot H_{\text{u}}}$$

mit:	$\dot{m}_{\text{Dampf}}$	Dampfmassenstrom in tDampf/h
	h''_{Dampf}	Energiegehalt des Sattdampfes in kWh/tDampf, abhängig vom Dampfdruck p_{Dampf}
	$\dot{m}_{\text{SpW}}$	Speisewassermassenstrom in tSpW/h
	h_{SpW}	Energiegehalt des Speisewassers in kWh/tSpW, abhängig von der Speisewassertemperatur ϑ_{SpW}
	$\dot{m}_{\text{Brst.}}$	Brennstoffmassenstrom bzw. Brennstoffvolumenstrom in kg/s bzw. m ³ N/s (ggf. aus Jahreswerten zu berechnen)
	H_{u}	Heizwert des Brennstoffes (s. Anhang Heizwerte und Emissionsfaktoren)

Der Energiegehalt von Dampf und Wasser ist in Abbildung 3-8 dargestellt. Darin ist der Wert für Sattdampf und siedendes Wasser als Funktion des Druckes über die linke und die untere Achse abzulesen. Der Wert von flüssigem Wasser kann als nahezu reine Temperaturfunktion über die rechte und obere Achse abgelesen werden.

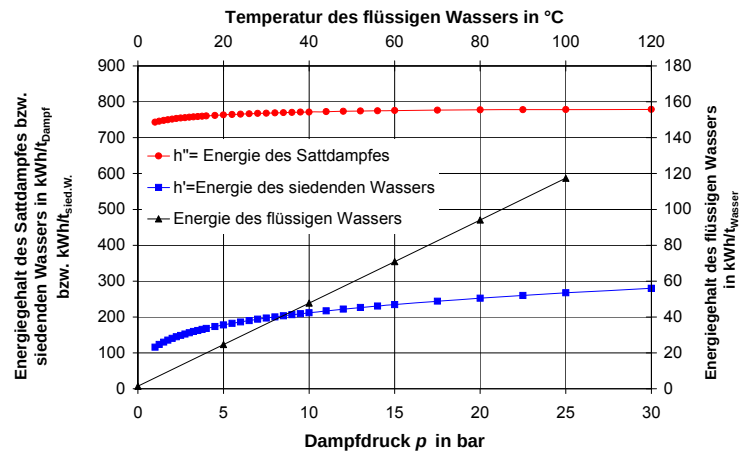


Abbildung 3-7: Energiegehalt von Dampf und Wasser (eigene Darstellung)

Entscheidend für die Kosten eines Dampfsystems ist in der Regel der Nutzungsgrad, bei dem, im Unterschied zum Wirkungsgrad, sämtliche Lastzustände, also auch die Teillastzustände mit niedrigeren Wirkungsgraden, über den Bilanzierungszeitraum betrachtet werden. Die Bestimmung erfolgt anhand derselben Gleichung wie zur Bestimmung des Wirkungsgrades. Zur Bilanzierung werden anstatt der Leistungswerte die Jahresverbrauchswerte für Dampf, Speisewasser und Brennstoff herangezogen. Moderne Kesselsysteme erreichen Nutzungsgrade von 85 bis 90%.

In der Praxis wird davon ausgegangen, dass ab einem Alter von etwa 15 Jahren die Betriebskosten um etwa 10% höher liegen als die von neuen Kesselanlagen.

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad eines Kessels ist ein Maß für die Qualität des Wärmeübergangs zwischen der im Kessel zur Umwandlung von Speisewasser in Dampf aufgenommenen und der durch den Brenner erzeugten Wärme. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad berücksichtigt demnach die Abgasverluste, die Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion über die Kesseloberfläche sowie andere Verlustquellen.

$$\eta_F = \frac{\dot{m}_{\text{Dampf}} \cdot h''_{\text{Dampf}} + \dot{m}_{\text{Abschl.}} \cdot h_{\text{Abschl.}} - \dot{m}_{\text{SpW.}} \cdot h_{\text{SpW.}}}{\dot{m}_{\text{Brst.}} \cdot H_u + \dot{m}_L \cdot c_{pL} \cdot (t_L^q - 25^\circ\text{C}) - \dot{m}_{\text{Abg.}} \cdot \bar{c}_{p\text{ Abg.}} \cdot (t_{\text{Abg.}}^q - 25^\circ\text{C})}$$

mit:	$\dot{m}_{\text{Dampf}}$	Dampfmassenstrom in t_{Dampf}/h
	h''_{Dampf}	Energiegehalt des Sattdampfes in $\text{kWh}/t_{\text{Dampf}}$
	$\dot{m}_{\text{Abschl.}}$	Menge Abschlammwasser in $t_{\text{Abschl.}}/h$
	$h_{\text{Abschl.}}$	Energiegehalt des Abschlammwassers
	$\dot{m}_{\text{SpW.}}$	Speisewassermassenstrom in $t_{\text{SpW.}}/h$
	$h_{\text{SpW.}}$	Energiegehalt des Speisewassers in $\text{kWh}/t_{\text{SpW.}}$
	$\dot{m}_{\text{Brst.}}$	Brennstoffmassenstrom (Heizöl) bzw. Brennstoffvolumenstrom (Erdgas)
	H_u	Heizwert des Brennstoffes in kWh/kg bzw. kWh/m^3_N (s. Anhang <i>Emissionsfaktoren</i>)
	$\dot{m}_L$	Verbrennungsluftmassenstrom in t_L/h

c_{pL}	mittlere spez. Wärmekapazität der Verbrennungsluft. Liegt im betrachteten Temperaturbereich bei etwa 1,04 kJ/kgK.
$\dot{m}_{Abg}$	Abgasmassenstrom in kg/h, über Messungen des Volumenstroms mit temperaturabhängiger Dichte zu berechnen
$\bar{c}_{pAbg.}$	mittlere spez. Wärmekapazität des Abgases, abhängig von Temperatur und Zusammensetzung (Brennstoff, Luftverhältnis) des Abgases
t_L	Temperatur der Zuluft in °C
$t_{Abg.}$	Temperatur der Abgase in °C

Die Speisewassermenge kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\dot{m}_{SpW} = \dot{m}_{Kond.} + \dot{m}_{FW}$$

Sie setzt sich zusammen aus dem Rücklauf aus dem Kondensatnetz, welcher in der Regel bei Atmosphärendruck und etwa 90°C vorliegt, und der nachzuspeisenden Frischwassermenge, die in der Wasseraufbereitungsanlage vorbehandelt werden muss und eine Temperatur von etwa 15 bis 20°C hat. Eine Steigerung der Kondensatrücklaufquote bedeutet, dass eine größere Menge des eingesetzten Dampfes als Kondensat zum Dampferzeuger zurückgelangt. Die Kosten für den Brennstoff, der zum Aufheizen des Zusatzwassers auf Kesseleintrittstemperatur benötigt wird, können somit deutlich reduziert werden. Ebenso sinken die nicht zu vernachlässigenden Kosten für die Kessel-speisewasseraufbereitung bei einer höheren Rücklaufquote.

Abbildung 3-9 zeigt unter Annahme eines idealen Dampferzeugers (thermischer Wirkungsgrad $\eta_{th} = 1$) die Berechnung des Wärmebedarfs zur Dampferzeugung des benötigten Dampfes bei unterschiedlichen Kondensatrücklaufquoten und Dampfdrücken.

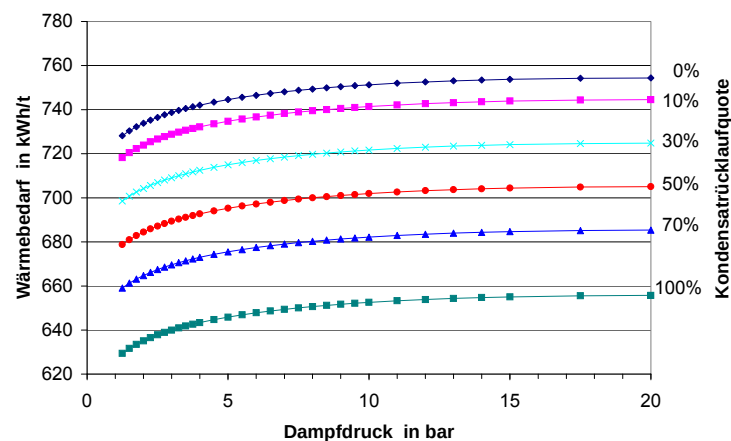


Abbildung 3-8: Thermischer Energiebedarf für die Dampferzeugung in Abhängigkeit von Dampfdruck und Kondensatrücklaufquote (idealer Dampferzeuger mit $\eta_{th} = 1$), (eigene Darstellung)

Im Vergleich zu einer vollständigen Rückführung des Kondensates (100%) liegt der Wärmebedarf bzw. Brennstoffeinsatz bei einem Dampfsystem ohne Kondensatrückführung (0%) um etwa 15% höher. Da das nicht genutzte Kondensat in der Regel als Abwasser abgeführt wird, fallen zusätzlich Kosten in Form der Abwassergebühren an, die

regional sehr unterschiedlich sind und durchaus 3,5 € pro Kubikmeter Abwasser und mehr betragen können. Die abgeführte Kondensatmenge muss in Form von Speisewasser nachgespeist werden, wodurch zusätzlichen Kosten entstehen. Demnach sollte eine möglichst große Menge an Kondensat aus dem Betrieb zurückgewonnen werden. Eine Rücklaufquote oberhalb von 60% sollte in Betrieben der Recyclingindustrie auch bei direktem Dampfeinsatz zu erreichen sein.

Als Problem bei der Bilanzierung des Dampfsystems stellt sich oftmals heraus, dass aufgrund fehlender Zähler nicht alle Größen (wie beispielsweise der eingesetzte Dampfmassenstrom) erfasst werden. Sie lassen sich häufig jedoch über Querbilanzen herleiten. So ist z. der relativ aufwändig zu messende Dampfmassenstrom in der Regel als Differenz aus dem Kesselspeisewasser und der sich aus den Aufzeichnungen des Kesselhausbuches ergebenden Abschlammmenge darzustellen:

$$\dot{m}_{\text{Dampf}} = \dot{m}_{\text{SpW}} - \dot{m}_{\text{Abschl.}}$$

Für die messtechnisch einfach zu ermittelnden Wasserströme sollte eine umfangreiche Zählerstruktur in jedem Fall vorhanden sein, die eine Bilanzierung des Dampfsystems mit einem geringen Aufwand erlaubt.

Bei der Verteilung des Dampfes kommt es zu Wärmeverlusten im Dampfnetz. Diese Verluste sind von den Abmaßen der Leitungen und Isolierungen, von der Art der Isolierungen sowie von den Temperaturen von Dampf und Umgebungsluft abhängig. Mit diesen Faktoren kann der Wärmeverlust anhand folgender Formel näherungsweise berechnet werden, wobei k der Wärmedurchgangskoeffizient ist:

$$\dot{Q}_V = k \cdot 2\pi \cdot r_{\text{Rohr}} \cdot l_{\text{Rohr}} \cdot (T_{\text{Dampf}} - T_U)$$

Der k -Wert ist von den Wärmeübergangsbedingungen außerhalb und innerhalb der Leitungen, von den Rohr- und Isolierungsmaterialien sowie von den geometrischen Dimensionen der Leitungen abhängig. Die Berechnung des k -Wertes für Rohre kann nach dem VDI-Wärmeatlas erfolgen [33].

In Abbildung 3-10 sind die längenspezifischen Wärmeverluste der Dampfleitung (W/m_{Rohr}) bei Dampfdrücken bis 20 bar für verschiedene k -Werte dargestellt. Für ein mittleres Unternehmen ($p_{\text{Dampf}} = 8 \text{ bar}$, $k = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $l_{\text{ges}} = 5.000 \text{ m}$) lässt sich beispielweise eine Verlustleistung von etwa 750 kW über die unisolierten Dampfleitungen berechnen, was etwa einer Dampfleistung von 1,2 Tonnen Dampf pro Stunde entspricht.

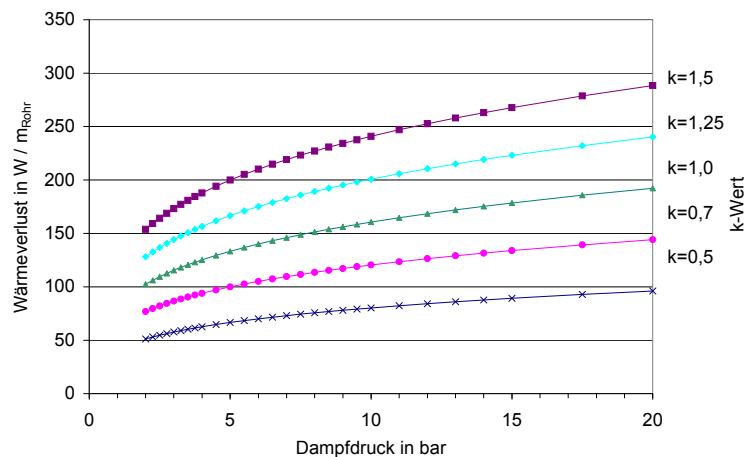


Abbildung 3-9: Wärmeverluste in den Rohrleitungen in Abhängigkeit von k-Wert und Dampfdruck (eigene Darstellung)

Brenner und Brennerregelung

Der für die Verbrennung erforderliche Sauerstoff wird durch Luftzuführung aus der Umgebung gedeckt. Der in der Luft enthaltene Stickstoff (etwa 79%) wird dabei zwangsweise mit aufgeheizt. Die mittels Gebläse kontrollierte Luftzufuhr ist daher auf ein Minimum an Luftüberschuss einzuschränken, wodurch auch schädliche Abgasemissionen auf ein Minimum reduziert werden.

Bei den mit Heizöl befeuerten Anlagen arbeiten moderne Blaubrenner effizienter und schadstoffärmer als die älteren Gelbbrenner. Insbesondere bei ölbefeuerten Kesseln führt eine schlechte Brennerauslegung oder -wartung zu Rußablagerungen an den Wärmeübertragungsflächen im Kessel. Eine Rußschicht von 0,1 mm senkt dabei den Kesselwirkungsgrad bereits um einen Prozentpunkt.

Neben der Abgastemperatur ist der CO_2 -Gehalt im Abgas ein Überwachungsindikator für einen guten Kesselbetrieb.

Aus wirtschaftlicher Sicht bietet sich aufgrund unterschiedlich schwankender Preise für Brennstoffe der Einsatz von Mehrstoffbrennern an. So kann, abhängig vom Marktpreis, entweder Erdgas, Flüssiggas oder Heizöl eingesetzt werden. Dabei empfiehlt sich der Abschluss eines Erdgasversorgungsvertrages mit Abschaltklausel. Durch derartige Verträge lassen sich in der Regel sehr viel günstigere Bezugskonditionen für Erdgas aushandeln. Ein solcher Vertrag erlaubt dem Energieversorger, eine von ihm zeitlich festgelegte und mit dem Kunden abgestimmte Abschaltung vorzunehmen (beispielsweise im Winter bei sehr hohem regionalem Erdgasverbrauch). In dieser Zeit muss der Kessel dann mit Heizöl oder Flüssiggas betrieben werden. Unter Berücksichtigung der CO_2 - und Schadstoffemissionen ist der Einsatz von Erdgas jedoch generell vorzuziehen.

Besonders in Betrieben mit nur einem Kessel und schwankendem Dampfbedarf sollte die Möglichkeit der Brennerregelung beachtet werden. Bei kleineren Anlagen können zweistufige Brenner (Regelbereich bis auf etwa 50% Teillast) oder dreistufige Brenner (Regelbereich bis auf etwa 35% Teillast) eingesetzt werden. Bei Dampfkesseln größerer Leistung empfehlen sich stufenlos modulierende Brenner. In jedem Fall sollten die Brennerkennlinie und die jeweils angestrebten Betriebspunkte aufeinander angepasst sein.

Kondensatrückführung und Brüdennutzung

In der Regel erfolgt die Rückführung des Kondensats unter Entspannung auf Atmosphärendruck in einem offenen Kondensatbehälter, wodurch es zu einer Nachverdampfung kommt. Entweichen diese sogenannten Brüden ungenutzt, führt dies zu einem zusätzlichen Wärmeverlust bei der Dampferzeugung in Höhe von 6 bis 16% je nach Druckniveau. In der Regel sollte es möglich sein, die Brüden beispielsweise zur Vorwärmung von Kesselspeise- oder Reinigungswasser zu nutzen. Die geringsten Wärmeverluste treten auf, wenn das Kondensat in einem geschlossenen Kreis unter Druck dem Kessel wieder zugeführt wird.

Reduzierung der Absalzmengen

Durch die Salze im Zusatzwasser reichert sich das Kesselwasser mit Salz an. Eine zu hohe Salzkonzentration führt zum Schäumen des Kesselwassers, woraus sich die Notwendigkeit einer regelmäßigen Absalzung ergibt. Die Absalzmenge ist von der Kesselbauart abhängig und liegt bei Großkesseln zwischen 2,5 und 10% bezogen auf die Speisewassermenge und bei Wasserrohrkesseln bei 1%. Mit jeder Absalzung sind aufgrund des Wärmegehalts der Absalzmenge Verluste verbunden, die möglichst gering gehalten werden sollten. Hierzu ist der Einsatz automatischer Absalzregelungen, die über die Leitfähigkeit des Kesselwassers gesteuert werden, mit Absperrung bei Regelabschaltung der Feuerung zu empfehlen. Die Kosteneinsparung für diese Maßnahme liegt bei bis zu 5%. Darüber hinaus sollte die Wärme des Absalzwassers über entsprechende Wärmeübertrager zurückgewonnen und zur Aufheizung des Kesselspeisezusatzwassers genutzt werden.

Dezentrale Warmwassererzeugung

Bei Prozessen mit Warmwasserbedarf auf niedrigerem Temperaturniveau kann die dezentrale Warmwassererzeugung über kleine Warmwasserkessel wirtschaftlicher als die Warmwassererzeugung mit Dampf aus einem zentralen Heizkessel sein. Die dezentrale Lösung vermeidet die Wärmeverluste aufgrund langer Transportwege und hoher Temperaturen. Des Weiteren können in Zeiten mit niedrigem Wärmebedarf (beispielsweise im Sommer) einzelne zentral aufgestellte Kessel abgeschaltet und die anfallenden Bereitschaftsverluste gesenkt werden. Anlagen- und Betriebskosten sollten auch hier im Einzelnen gegenübergestellt werden.

3.3.2 Druckluft- und Hydraulikversorgung

Bei Hydraulikanlagen wie bei der Druckluftherzeugung handelt es sich um Systeme zur Bereitstellung von Druck mit teilweise ähnlichen Einsparpotenzialen. Diese werden zunächst für den Bereich Druckluft detailliert ausgeführt und anschließend für den Bereich Hydraulik grob skizziert.

Druckluftversorgung

Wie in fast allen Branchen ist auch in der Recyclingindustrie eine zunehmende Automatisierung festzustellen. Während es früher nur einige wenige Einsatzbereiche für Druckluft gab, ist heute in einer Vielzahl von Prozessen, wie etwa Sortierung, Reinigung von Filtern, in der Steuer- und Regelungstechnik etc., auf den Drucklufteinsatz nicht mehr zu verzichten.

In der Recyclingindustrie werden je nach Art der Betriebe zwischen 3 und 35% der elektrischen Energie für die Druckluftherzeugung eingesetzt.

In kleineren Betrieben mit Einschichtbetrieb ist der Einsatz von Kolbenkompressoren energetisch und damit auch wirtschaftlich nach wie vor sinnvoll. In größeren Betriebsstätten mit ihrer stark gewachsenen Anzahl an Druckluftverbrauchern ist wegen der häufig hohen benötigten Liefermenge in den weit verzweigten Netzen der Einsatz von Schraubenkompressoren inzwischen gängige Praxis.

Druckluft ist eine sehr kostenintensive Form der Energie. Der Umwandlungswirkungsgrad ist bei der Druckluftherzeugung äußerst gering. Abbildung 3-11 zeigt, dass letztlich nur etwa 4% der eingesetzten elektrischen Energie in Form von Druckenergie zur Verfügung steht. Der Rest wird in Wärme umgewandelt, die jedoch mit geeigneten Wärmeübertragern zum großen Teil genutzt werden kann, beispielsweise zur Hallenbeheizung oder Warmwasserbereitung.

Für eine wirtschaftliche Druckluftherzeugung ist die Anpassung des Netzdrucks und der Kompressorfördermengen an die jeweiligen betrieblichen Erfordernisse notwendig. Eine Absenkung des Betriebsdrucks von 8 bar auf 7 bar verringert beispielsweise den elektrischen Energiebedarf um etwa 6%. Bei stärker voneinander abweichenden Betriebsdrücken einzelner Anlagen kann die Aufstellung mehrerer dezentraler Kompressoren mit kleineren Netzen auf unterschiedlichen Druckniveaus wirtschaftlich sinnvoll sein.

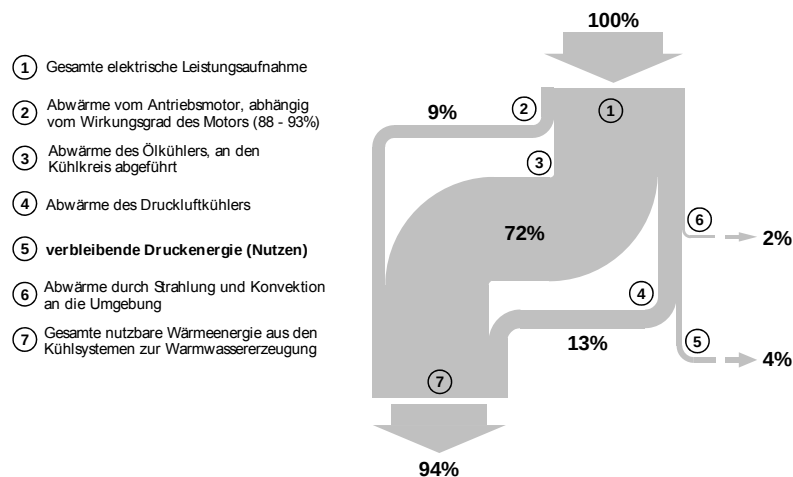


Abbildung 3-10: Energieflussdiagramm bei der Druckluftherzeugung (nach [34])

Der Betrieb großer Produktionsanlagen verursacht oft stoßartig schwankende Abnahmemengen aus dem Druckluftnetz. Dies kann zu häufigen An- und Abschaltvorgängen bzw. einem ständigen Wechsel zwischen Last- und Leerlaufbetrieb des Kompressors führen. Beides sollte im Sinne einer effizienten Druckluftherzeugung vermieden werden. Die Installation ausreichend dimensionierter Speicherbehälter bzw. großzügig ausgelegter Druckluftleitungen (wie etwa die Hauptleitungen) hat eine Vergleichmäßigung des Kompressorbetriebs zur Folge. Oft ist der kombinierte Einsatz von zwei bis drei kleineren Kompressoren unterschiedlicher Größe dem eines großen Kompressors vorzuziehen, um eine bessere Leistungsausnutzung und damit einen höheren Wirkungsgrad der Elektromotoren zu erzielen. Eine Alternative hierzu bieten moderne drehzahlgeregelte Kompressoren, deren Förderleistung

automatisch dem tatsächlichen Druckluftbedarf angepasst wird. Die Entscheidung, wie die Druckluftherzeugung im Einzelfall zu gestalten ist, bedarf einer sorgfältigen Prüfung.

Abbildung 3-12 zeigt die Leistungsaufnahme von Schraubenverdichtern mit unterschiedlichen Regelprinzipien. Zu erkennen ist, dass unterhalb eines Kompressorauslastungsgrades von etwa 85% des Fördervolumenstroms die Drehzahlregelung durch einen Frequenzumrichter die energetisch günstigste Variante ist. Bei darüber liegenden Auslastungswerten ist der Einsatz einer Ansaugdrosselung zu empfehlen. Mit modernen drehzahl-geregelten Kompressoren können Energieeinsparungen von bis zu 35% gegenüber herkömmlich taktenden Kompressoren erreicht werden [35].

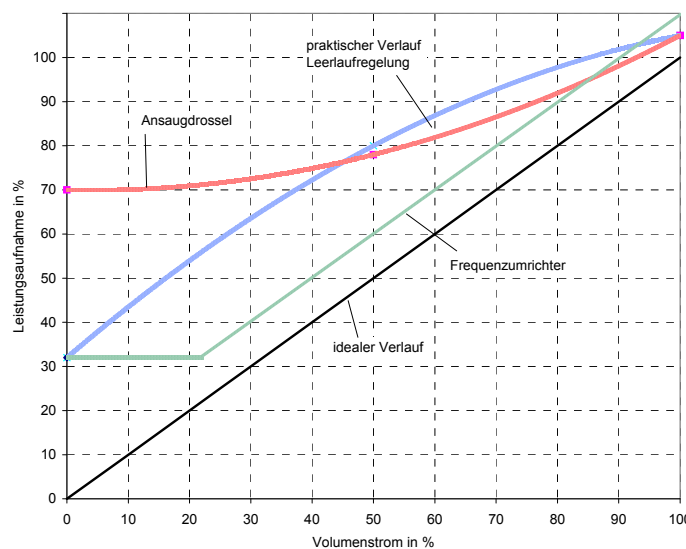


Abbildung 3-11: Leistungsaufnahme bei verschiedenen Schraubenverdichterregelungen (nach [36])

Bei parallelem Betrieb mehrerer Kompressoren kann der Einsatz einer übergeordneten Steuerung sinnvoll sein, um die Ein- und Ausschalt drücke der verschiedenen Kompressoren in ein schmaleres Druckband zu integrieren. Als Folge ist die Absenkung des Maximaldruckes möglich.

Die Verdichtung von Luft ist mit einer Temperaturerhöhung verbunden. Die Kondensationstemperatur (Taupunkt) der Druckluft – d.h. die Temperatur, bei der die relative Luftfeuchtigkeit 100% beträgt – ist abhängig vom Druck und wird durch die Verdichtung angehoben. Bei der Abkühlung der Druckluft im Leitungsnetz kann diese Temperatur unterschritten werden und die enthaltene Luftfeuchtigkeit beginnt zu kondensieren. Dies kann Korrosion in den Rohren und ggf. Funktionsstörungen der angeschlossenen Verbraucher verursachen. Daher sollte im Anschluss an die Kompression eine Drucklufttrocknung durchgeführt werden. Hierfür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung:

- **Kältetrocknung**

Die Druckluft wird mit einer Kälteanlage gekühlt. Bei Unterschreitung des Taupunktes kondensiert die Feuchtigkeit aus. Ein Drucktaupunkt von etwa 3 °C ist in der Regel ausreichend.

- *Adsorptionstrocknung*
Die Feuchtigkeit wird der Druckluft aufgrund von Oberflächenadsorption durch ein Trockenmittel entzogen, welches regelmäßig (warm oder kalt) regeneriert wird. Je nach Verfahren sind Drucktaupunkte von -30 bis -80 °C erreichbar.
- *Absorptionstrocknung*
Die Feuchtigkeit wird durch eine chemische Reaktion vom Absorptionsmittel aufgenommen. Je nach eingesetztem Mittel ist eine externe Regeneration möglich. Es können sehr niedrige Restfeuchten erreicht werden.

Je kühler die vom Verdichter angesaugte Außenluft ist, desto höher ist die Luftdichte und umso geringer der Energieaufwand zur Erzeugung des gewünschten Betriebsdrucks. Die vom Kompressor angesaugte Luft sollte daher so kühl wie möglich sein. In der kalten Jahreszeit bietet sich Außenluft an, im Sommer dagegen sollte die Luft eher aus kühlen Keller-räumen o.ä. angesaugt werden. Dementsprechend sind umschaltbare Ansaugkanäle aus energetischer Sicht empfehlenswert.

Druckluftnetze sollten regelmäßig gewartet werden. Flexible Schläuche und die verschiedenen Verbindungsstellen der Netzkomponenten altern und neigen im Laufe der Zeit zu Undichtigkeiten, die sich jedoch bei Betriebsstillstand akustisch leicht orten und beheben lassen.

Die Durchführung eines Aufpumpversuches bei abgeschalteten Druckluftverbrauchern kann Aufschluss über das Maß der Netzleckagen liefern. Dazu wird ein Kompressor mit bekannter Fördermenge gestartet. Bei Erreichen des eingestellten maximalen Netzdruckes (p_A) schaltet er in den Leerlauf. Infolge der Undichtigkeiten fällt der Druck im Netz allmählich ab, bis der Kompressor bei Erreichen des Einschaltdruckes (p_E) wieder auf Lastbetrieb schaltet und erneut zu fördern beginnt. Die Be- und Entlastungszeiten (t_1 und t_2) werden mehrmals gemessen und gemittelt. Der Zusammenhang von Netzdruck und Zeit ergibt dann ein charakteristisches Sägezahnprofil, aus dem sich, wie in Abbildung 3-13 dargestellt, die mittlere zeitliche Leckagemenge bestimmen lässt.

$$\frac{\text{Leckage}}{\dot{V}_{\text{Förder}}} = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

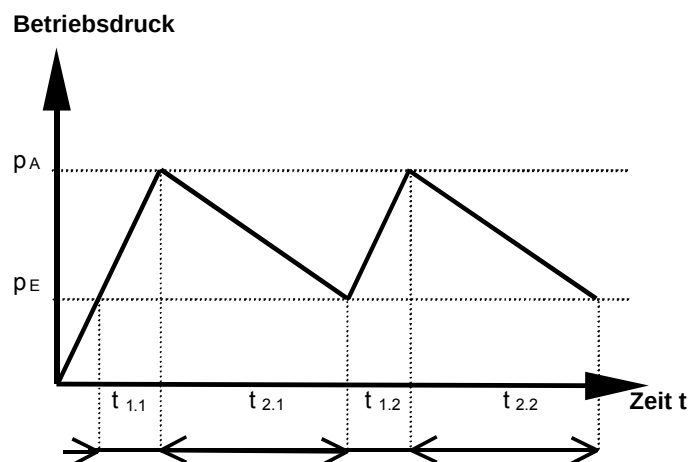


Abbildung 3-12: Bestimmung der Leckagemenge durch einen Aufpumpversuch (nach [41])

In Tabelle 3-1 sind die Kosten, die durch Leckageverluste im Druckluftnetz entstehen können, exemplarisch aufgeführt. Selbst in einem gut gewarteten Druckluftnetz ist mit Leckageverlusten von 5 bis 10% zu rechnen [37].

Der maximale Druckabfall in der Leitung zwischen Kompressor und Anschlüssen sollte auch bei größeren Netzen nicht mehr als 0,1 bar und an den angeschlossenen Armaturen bzw. dem sonstigen Anschlusszubehör nicht mehr als 0,9 bar betragen [38]. Die regelmäßige Wartung von Filtern im Druckluftnetz hilft, den Druckabfall über das Netz zu minimieren.

Tabelle 3-1: Leckagekosten in Druckluftnetzen [40]

Lochdurchmesser	Luftverlust (7 bar Netzdruck)	Kompressorleistung	Resultierende Stromkosten
mm	m3/h	kW	EUR/a
1	4,5	0,3	120,-
3	40,1	3,1	1.240,-
5	111,4	8,3	3.320,-
10	445,7	33,0	13.200,-

Netzdruck: 7 bar; Strompreis: 5 €/kWh; Netzbetriebsdauer: 8.000 h/a

Während des Betriebes sollte darauf geachtet werden, alle Absperrventile vollständig zu öffnen, um Druckverluste in den Ventilen zu minimieren. Querschnittsverengungen bei Leitungsverbindungen und Knicke in flexiblen Gewebesläuchen sind ebenfalls zu vermeiden. Bereits bei der Planung von Druckluftleitungen bzw. -netzen sollte daher auf ausreichende Leitungsquerschnitte – auch im Hinblick auf einen zukünftigen Anstieg des Druckluftbedarfs im Betrieb – geachtet werden. Die Rohrdimensionierung kann auf der Basis von Näherungsformeln, Tabellen, Nomogrammen oder speziellen Rechenschiebern erfolgen [38]. Hersteller von Druckluftanlagen und Rohrarmaturen sowie unabhängige Planungsbüros führen häufig kostengünstige Analysen der Leitungssysteme durch. Die Energieagentur NRW bietet eine erste Analyse kostenfrei an.

Eine gute und übersichtliche Zusammenfassung der physikalischen und thermodynamischen Grundlagen der Druckluftherzeugung sowie Aussagen zum rationellen Umgang mit Druckluft sind in der Veröffentlichung „Druckluft rationell nutzen“ [38], oder in der Broschüre der Energieagentur NRW, zu finden. Noch detailliertere Informationen bietet das Buch „Die wirtschaftliche Druckluftstation“ [41].

Eine weitere gute Möglichkeit, die Druckluftkosten dauerhaft zu senken, ist Druckluft-Contracting. Mit dem Druckluft-Contracting können sich Betriebe das Prinzip anderer Energieträger wie Strom oder Kraftstoffe zu Nutze machen, so wird hierbei ein fester Bezugspreis pro verbrauchten Kubikmeter Druckluft gezahlt. Unabhängig vom Gesamtverbrauch. Investitionen und Wartung werden von Experten durchgeführt und finanziert.

Hydraulikversorgung

Neben pneumatischen Stellvorrichtungen sind in der Recyclingindustrie auch hydraulisch angetriebene Anlagen stark verbreitet. Die Hydraulik spielt insbesondere bei der Aufbringung von großen Kräften, beispielsweise bei Pressen eine entscheidende Rolle. Bei kleineren

Kräften werden häufig elektrische Direktantriebe (Getriebemotoren) eingesetzt. Auch in der Recyclingindustrie ist dieser Trend zu erkennen.

Viele der im Abschnitt Druckluftversorgung beschriebenen Energieeinsparpotenziale sind auf Hydrauliksysteme übertragbar:

- *Pumpensteuerung*
Verminderung/Vermeidung von Leerlaufbetrieb der Pumpe durch Steuereinrichtung; Regelung der Pumpenleistung
- *Druckniveau*
Vermeidung von unnötig hohen Förderdrücken an der Hydraulikpumpe
- *Leitungsquerschnitte*
zu klein dimensionierte Leitungsquerschnitte führen zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten und damit zu Druckverlusten
- *Wärmerückgewinnung*
Nutzung der Pumpenabwärme

Auf diese Möglichkeiten wird hier nicht näher eingegangen. Detaillierte Ausführungen zu diesen Energieeinsparpotenzialen sind im vorangehenden Kapitel 3.3.2 zu finden.

Getriebemotoren zeichnen sich gegenüber Hydraulikantrieben durch einen wesentlich höheren Wirkungsgrad aus. Ein weiterer Vorteil ist der geringere Wartungsaufwand. Ebenso entfallen die mit dem Einsatz von Hydraulikflüssigkeiten verbundenen Einschränkungen (Abhängigkeit der Viskosität von der Betriebstemperatur), Risiken (Leckagen) und Arbeiten (Entsorgung). Mit dem Einsatz von Getriebemotoren können darüber hinaus die Schaltzeiten deutlich verringert werden, da die sehr kleinen Massenträgheiten und das geringe Gewicht eine hohe Dynamik, ein schnelles Verfahren sowie eine deutliche Verbesserung des Anfahr- und Bremsverhaltens ermöglichen.

Getriebemotoren finden u.a. bereits Anwendung als Antrieb von Lackierrobotern, als Schwenkantrieb sowie in der Verpackungstechnik.

Bei Maschinen, die große Kräfte benötigen, sind hydraulische Antriebe immer noch dominierend. Verantwortlich hierfür sind die auf den Bauraum bezogene hohe Kraftdichte der Hydraulikantriebe, da weniger Masse beschleunigt und abgebremst werden muss. Insbesondere bei der Verarbeitung inhomogener Materialien sind vollhydraulische Pressen wegen der Regelungstechnik, dem Verschleiß und der Verstellbarkeit der Presswege von Vorteil.

In der Recyclingindustrie sind im Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus Komplett-Lösungen gängige Praxis. Alle für den Betrieb einer Anlage notwendigen Aggregate sind integriert, so beispielsweise auch die Hydraulikversorgung. Dies hat zur Folge, dass in größeren Betrieben häufig eine Vielzahl von Hydraulikanlagen unabhängig voneinander auf engem Raum kontinuierlich, d.h. mit entsprechend niedriger Auslastung bzw. hohen Bereitschaftsverlusten, betrieben werden. Daher scheint es angeraten, im Einzelfall die Möglichkeit einer zentralen Hydraulikversorgung in Verbindung mit einem Verteilungsnetz hinsichtlich der technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Die zentrale Hydraulikversorgung bietet eine Reihe von Vorteilen, die im Folgenden exemplarisch aufgelistet werden:

- Optimierung der Betriebsweise der Hydraulikpumpen
(höhere Auslastung, geringerer Leerlauf, geringerer Regelaufwand)
- Senkung der elektrischen Leistungsspitzen
- höhere Betriebssicherheit (Redundanz)

- geringerer Aufwand für Wärmerückgewinnung

Immer häufiger werden auch Druckverstärker in Hydraulik Aggregaten installiert. Der entscheidende Vorteil ist die Erzeugung der hohen Drücke erst beim Verbraucher. Der Aggregatteil bzw. das Hydrauliksystem bis zum Verstärker ist für den Niederdruckbereich ausgelegt. Dadurch sinken die Aggregats- bzw. Netzkosten deutlich. Ein Nachteil ist der reduzierte Förderstrom.

Entscheidend für den zusätzlichen Einbau eines Druckverstärkers anstelle eines Aggregats mit höherer Druckleistung ist der erforderliche Hochdruckvolumenstrom.

Eine weitere Anwendung, in der Druckverstärker in der Praxis immer häufiger eingesetzt werden, ist bei der Nachrüstung, d.h. wenn der Druck einer bestehenden Anlage für den gewünschten Prozess produktbedingt nicht mehr ausreicht. Die bestehenden Hydraulikanlagen können mit geringem Aufwand den höheren Anforderungen angepasst werden.

3.3.3 Kälteversorgung

Kältebedarf besteht in der Recyclingindustrie vorwiegend bei der roh- und werkstofflichen Verwertung von Kunststoffen zur Werkzeug- und Produktkühlung. In diesen Betrieben liegt der Anteil des Strombedarfs, der für die Kälteerzeugung aufgewendet wird, häufig in der Größenordnung von 5-15% des Gesamtstrombedarfs, was den hohen Stellenwert einer energieoptimierten Kälteversorgung verdeutlicht.

Die Kälteversorgung kann auf unterschiedliche Weise realisiert werden. Zu nennen sind die Verdunstungskühlung, die Luftkühlung und die Kühlung mit Kompressions- und Absorptionskälteanlagen. Die Frischwasserkühlung ist aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen nicht vertretbar. In Abbildung 3-13 sind die typischen Einsatzbereiche der genannten Kühlarten dargestellt.

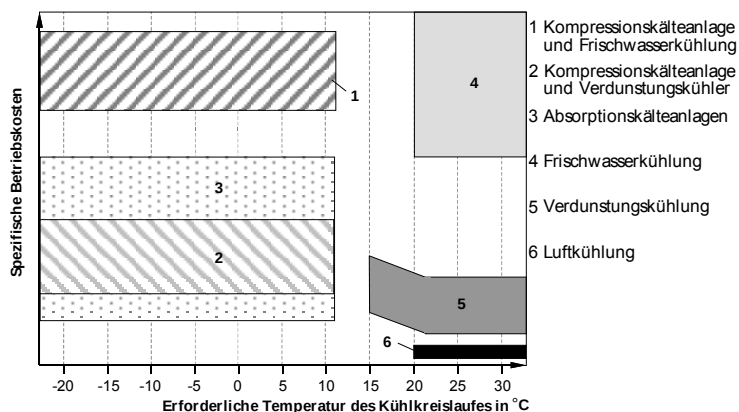


Abbildung 3-13: Typische Einsatzbereiche für verschiedene Kühlarten (eigene Darstellung)

Luftkühler werden in der gesamten Recyclingindustrie zum Beispiel für die Kühlung der Hydrauliksysteme von Pressen eingesetzt. Beim Kunststoffrecycling werden Luftkühler z.B. zur Extruderkühlung eingesetzt. Mit diesem Kühler werden Kühlkreislauftemperaturen von 20°C erreicht, die in den Wintermonaten auch deutlich niedriger liegen können. So kann sich der Luftkühler auch für eine Entlastung von Kompressions- oder Absorptionskälteanlagen zu kalten Jahreszeiten

eignen. Kühlttemperaturen unter 10°C können hingegen nur mit Hilfe von Kälteanlagen bereitgestellt werden.

Gängig ist der Einsatz von Kompressionskälteanlagen aufgrund der niedrigen Investitionen und der gegenüber Absorptionskälteanlagen geringeren Systemkomplexität. Den typischen schematischen Aufbau einer Kompressionskälteanlage zur Prozesskälteerzeugung, wie sie prinzipiell in der Recyclingindustrie anzutreffen ist, zeigt Abbildung 3-14.

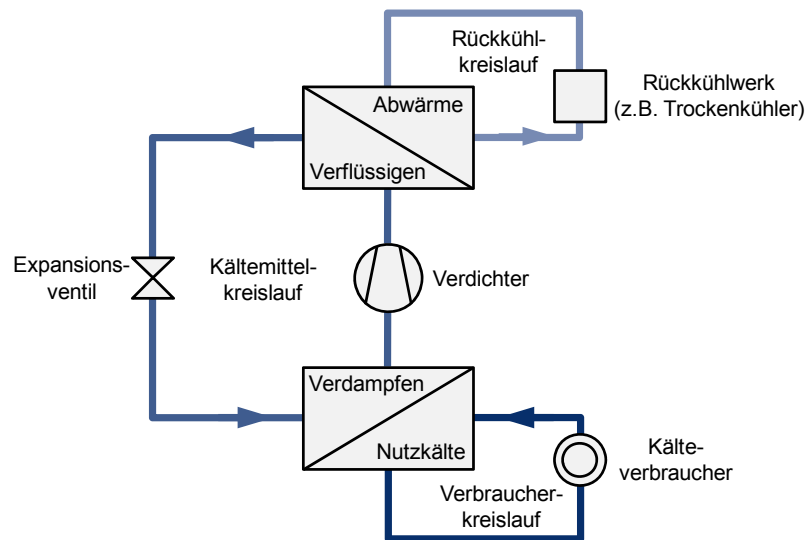


Abbildung 3-14: Schema einer Kompressionskälteanlage (eigene Darstellung)

Das Kältemittel nimmt im Verdampfer Wärme auf und geht dabei in die Gasphase über. Nach Passieren eines Flüssigkeitsabscheiders wird der gesättigte Dampf über den Verdichter auf den Verflüssigungsdruck komprimiert. Im Verflüssiger kühlt sich der überhitzte Dampf ab und kondensiert vollständig. Bei der nachfolgenden Expansion geht das siedende Kältemittel in die Nassdampfphase über und gelangt in den Flüssigkeitsabscheider. Eine Pumpe pumpt das flüssige Kältemittel in den Verdampfer und der Kreislauf beginnt von neuem.

Absorptionskältemaschinen, etwa auf der Basis Ammoniak/Wasser oder auch Lithium-Bromid/Wasser, werden aufgrund der hohen Anlagenkosten derzeit in Deutschland noch selten eingesetzt. Hinzu kommt, dass die Temperaturniveaus der üblichen Abwärmequellen (Druckluftherzeuger, Abluft aus Trockenanlagen, Restwärme im Abgas von Kesselfeuerungen etc.) oft nicht zur alleinigen Energieversorgung einer Absorptionskälteanlage ausreichen oder die Abwärme zeitlich versetzt zum Kühlbedarf anfällt. In diesen Fällen muss Wärme zusätzlich zum Beispiel aus dem betrieblichen Dampfnetz eingekoppelt werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Anlage verschlechtert.

Wirtschaftlich interessant wird der Betrieb von Absorptionskälteanlagen überall dort, wo größere, möglichst konstante Abwärmequellen mit Temperaturen oberhalb von 120°C vorliegen. Dies kann zum Beispiel in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage realisiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Kopplung und „Aufwertung“ eines auf niedrigerem Temperaturniveau anfallenden Abwärmestromes mit einer Wärmepumpe, wobei diese Option jedoch infolge des hohen Anlagenaufwands derzeit wirtschaftlich wenig attraktiv ist.

Verdampfungs- und Kondensationstemperatur

Das größte Einsparpotenzial bei Kälteanlagen liegt in der optimalen Auslegung von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur. Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Verdampfung und Kondensation ist, desto geringer ist die Druckdifferenz, die vom Verdichter überwunden werden muss, und somit der Energieaufwand für den Betrieb der Kälteanlage.

Als Verdampfer werden hauptsächlich feuerverzinkte Rohrschlangen eingesetzt. Übliche Verdampfungstemperaturen in langen, durchgängigen Rohrschlangen liegen zwischen -8 und -10°C , während mit den zwar in der Anschaffung etwas teureren Parallelverdampfern Temperaturen von etwa -4°C erzielt werden. Dabei gilt, dass eine um 1°C höhere Verdampfungstemperatur etwa 4% weniger Energieaufwand am Verdichter erfordert.

Die Abkühlung und Kondensation des Kältemittels erfolgt in der Regel über Luftkühler, Wasserkühler oder Verdunstungsrückkühler. Letztere werden häufig eingesetzt, da mit diesen eine nahezu ganzjährig konstante Rückkühltemperatur erreicht werden kann. Das in dem Verdunstungsrückkühler zirkulierende Wasser nimmt die Kondensationswärme des Kältemittels auf und verdunstet im Rückkühlturm teilweise. Durch diese Verdunstung, die von der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängig ist, wird dem Kühlwasser Wärme entzogen. Die dabei erreichte Temperatur des Rückkühlwassers wird Kühlgrenz- oder Feuchtkugelttemperatur genannt.

Mit Rückkühlwassertemperaturen von etwa 20°C (Mitteleuropa), können Kältemittelverflüssigung bei unter 30°C erreicht werden. Deutlich höhere Kondensationstemperaturen deuten entweder auf unzureichende Wärmeabgabeflächen im Verdunstungsrückkühler oder auf starke Verunreinigungen zum Beispiel durch Kalkablagerungen oder Algenbewuchs hin. Eine regelmäßige Überprüfung und Wartung beziehungsweise Reinigung von Kältemittelverflüssigungssystemen ist zu empfehlen.

Analog zur Verdampferauslegung bewirkt die Absenkung der Kondensationstemperatur um 1°C eine Reduzierung des Verdichterenergiebedarfs um etwa 3%. Aus Abbildung 3-16 lässt sich die mittlere spezifische Verdichterleistung pro erzeugter Kälteleistung (entspricht dem Kehrwert der Leistungsziffer) bei marktgängigen NH_3 -Kompressionskälteanlagen für verschiedene Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen ermitteln. Das Diagramm ist im Anhang als Arbeitsblatt abgebildet.

Für eine Kälteanlage mit -4°C Verdampfungstemperatur und $30,5^{\circ}\text{C}$ Kondensationstemperatur ergibt sich demnach 0,22 kWh Energieaufwand am Verdichter je kWh Kälte beziehungsweise eine Leistungsziffer von 4,5. Bei einer Anlage mit -8°C Verdampfungstemperatur und 38°C Kondensationstemperatur beträgt die Leistungsziffer nur noch 2,9.

Für eine Kälteanlage mit 500 kW Kälteleistung und den oben genannten Temperaturniveaus ergibt sich bei einer Betriebszeit von 6.000 h/a ein Jahresstrombedarf von 1.035 MWh/a (Leistungsziffer 2,9) gegenüber 666 MWh/a (Leistungsziffer 4,5). Die scheinbar geringe Differenz der Betriebstemperaturen von 4 K bzw. 8 K verursacht also einen Mehrbedarf von über 50%. Bei einem durchschnittlichen Strompreis von 0,075 €/kWh beträgt die Kostendifferenz 27.700 € pro Jahr. Besonders bei der Kälteerzeugung sind daher in Betrieben mit hohem Kühlbedarf

häufig große Einsparpotenziale vorhanden. Die für diese Maßnahme erforderlichen Investitionen lassen niedrige Amortisationszeiten erwarten.

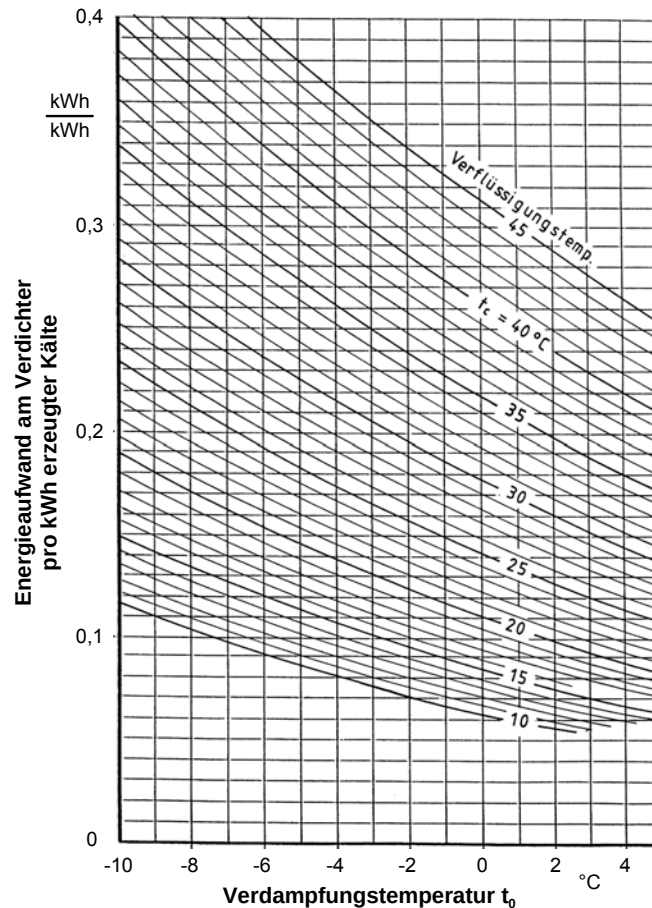


Abbildung 3-15: Notwendiger Energieaufwand am Verdichter pro erzeugter Kälte in Abhängigkeit von Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur, gemittelte Werte für NH₃-Kompressionskälteanlagen mit 100 bis 1.000 kW Kälteleistung [44].

Abwärmenutzung

Das aus dem Verdichter austretende Kältemittel (vergleiche Abbildung 3-15) kann je nach Auslegung der Anlagenkomponenten hohe Temperaturen aufweisen. Für die Verdichterendtemperatur gilt dabei näherungsweise:

$$t_{\text{Verdichter}} \leq 3 \cdot (t_{\text{Kondensation}} - t_{\text{Verdampfung}})$$

Dies führt bei einer Verdampfungstemperatur von -5°C und einer Verflüssigungstemperatur von 35°C zu einer Verdichteraustritts-temperatur von etwa 120°C . Dieses Temperaturniveau ist zur Warmwassererzeugung gut geeignet.

Die Temperatur dieser sensiblen Wärme fällt zwar bei der Wärmeübertragung – anders als bei der isothermen Kondensations-

wärmeabfuhr – schnell ab, dennoch lassen sich mittlere Warmwassertemperaturen von etwa 50 bis 60°C erzielen.

Ein weiteres Beispiel, in dem zusätzlich noch die Abwärme des Ölkühlers der modernen Schraubenverdichtereinheit zurückgewonnen wird, zeigt **Abbildung 3-17**. Hier ist neben dem Hauptwärmetauscher (oben rechts) eine weitere, im Bedarfsfall zuschaltbare, Kühlwasserkühlung (unten rechts) vorgesehen. Damit wird sichergestellt, dass die Kältemaschine auch dann betrieben werden kann, wenn der Warmwasserspeicher keine Wärme mehr aufnehmen kann.

Die eigentliche Kondensation erfolgt in der Regel über Verdunstungsrückkühler. Als Alternative zur ungenutzten Wärmeabgabe an die Umgebung kann auch die vollständige Einkopplung der Kondensationswärme zum Beispiel zur Vorwärmung von Brauchwasser erwogen werden.

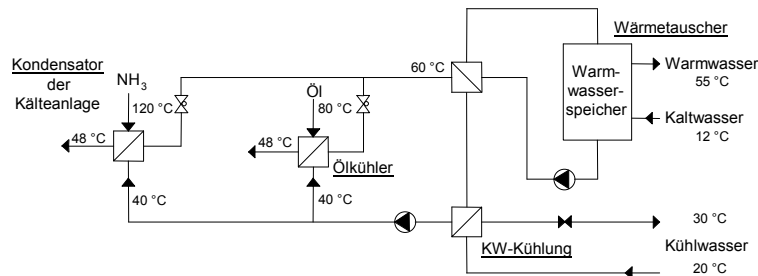


Abbildung 3-16: Beispiel für eine Wärmerückgewinnung aus einer Kälteanlage (nach [45])

3.3.4 Abluftbehandlung

Häufig kann die produktionsbedingt entstehende Abluft nicht unbehandelt an die Umgebung abgegeben werden. Gründe hierfür liegen in der Belastung der Abluft, beispielsweise mit Staubpartikeln oder Schadstoffen. Teilweise wird eine Nachbehandlung aber auch aufgrund von Geruchsbelästigungen erforderlich. Um Geruchsbelästigungen durch Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelanteile zu vermeiden, bietet sich eine Nachbehandlung mittels Biofiltern an.

Die thermische Oxidation ist ein Verfahren, bei dem sich die Lösemittel und Kohlenwasserstoffe mit Sauerstoff verbinden und als Wasserdampf und Kohlendioxid abgebaut werden. Sie können daher problemlos ins Freie abgeführt werden.

Die thermische Oxidation wird durch die Erhitzung des Abgases auf eine Temperatur zwischen 750 °C und 1.200 °C eingeleitet. Diese Temperatur wird bis zu zwei Sekunden gehalten. Bei diesen Temperaturen zersetzen sich die Moleküle. Um Partikel, die nicht in die Umgebung gelangen sollen, aus einem Abluftstrom abzuscheiden, stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Das Verfahren, welches zur Abscheidung der Partikel ausgewählt wird, variiert je nach Volumenstrom des Abgases, bzw. Art und Größe der enthaltenen Partikel. Grundsätzlich stehen vier Gruppen von Abscheidern zur Verfügung: Fliehkraftabscheider, Nassabscheider, Filter und Elektrofilter.

Zur biologischen Abgas- oder Abluftreinigung verwendete Filter, z. B. aus Torf oder Kompost können insbesondere bei geruchsintensiven Schadstoffen geringer Konzentration eingesetzt werden.

Zur effizienten Betriebsweise von Absauganlagen zur Abluftbehandlung können verschiedene technische Maßnahmen umgesetzt werden. Hierzu zählen die Anpassung der Förderleistung an den Bedarfsfall durch Drehzahlregelung der Absaugeinrichtung (Frequenzumformer), die Regelung der Absaugleistung an der jeweiligen Bedarfsstelle durch Drosselklappen und nicht durch Nebenluftklappen bzw. die richtige Anordnung des Gebläses im Strömungskanal (hinter Filtereinrichtung). Ein weiterer Punkt ist die bedarfsgerechte Dimensionierung des Rohrleitungsnetzes. Hierzu gehört sowohl der Querschnitt der Rohrleitung – zu kleine Querschnitte bedeuten hohe Strömungsgeschwindigkeiten und somit höhere Druckverluste, zu große Querschnitte führen zu evtl. zu geringen Strömungsgeschwindigkeiten für den Partikeltransport – als auch die Leitungsführung und der damit verbundene Strömungswiderstand in der Leitung.

3.3.5 Beleuchtung

Im Allgemeinen ist die Beleuchtung kein besonders energieintensiver Bereich innerhalb der Betriebe der Recyclingindustrie. Dennoch wenden einige Betriebe bis zu 5% ihres Gesamtstromeinsatzes für die Innenraumbelichtung auf.

Die Beleuchtungsanlagen fast aller Betriebe können aus energie-wirtschaftlicher Sicht verbessert werden. Bei Neuplanungen von Büros und Produktionshallen kann durch architektonische Maßnahmen (Anordnung, Ausrichtung und Gestaltung von Fensterflächen und Lichtkuppeln, Verschattungseinrichtungen, Lichtleitsysteme etc.) und eine entsprechende Gestaltung der Inneneinrichtung eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz der Beleuchtung erreicht werden.

Im Folgenden werden die wichtigsten Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz der betrieblichen Beleuchtungsanlagen aufgeführt.

Einsatz alternativer Leuchtsysteme

Moderne Dreiband-Leuchtstofflampen haben eine um etwa 35% höhere Lichtausbeute als die konventionellen Leuchtstofflampen. In hohen Räumen bietet der Einsatz von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen eine Verbesserung von 5 bis 10% gegenüber Leuchtstofflampen. Die Installation von Spiegelrasterleuchten und anderen modernen Lampen kann eine erhebliche Verringerung der notwendigen Leistung und damit des Energieeinsatzes bewirken. Weitere Vorteile sind die Verringerung der Blendwirkung und die Verbesserung der Helligkeitsverteilung.

Elektronische Vorschaltgeräte

Für die heute in Industriebetrieben weitverbreiteten Leuchtstofflampen ergibt sich bei einem Wechsel von einem konventionellen Vorschaltgerät (KVG) auf ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG) - bei gleichem Lampenlichtstrom - eine Stromeinsparung von etwa 22% (siehe Tabelle 3-2).

Die Einführung elektronischer Vorschaltgeräte bietet überdies die Möglichkeit, die Beleuchtungsstärke in Bereichen mit starker Außenlichteinstrahlung tageslichtabhängig zu steuern. Über eine bedarfsabhängige Steuerung der Beleuchtung in den einzelnen Hallen, zum

Beispiel über Zeitschaltung, Bewegungsmelder oder über die zentrale Leittechnik kann sichergestellt werden, dass Räume und Hallen nicht unnötig beleuchtet werden. Darüber hinaus ist es sinnvoll, die Beleuchtungsanlagen ganzer Hallen in einzelne Beleuchtungsfelder aufzuteilen und diese getrennt anzusteuern.

Weiterhin erhöht sich die Lebensdauer von Leuchtstofflampen durch die Nutzung elektronischer Vorschaltgeräte um ca. 50% von etwa 10.000 auf 15.000 Betriebsstunden. Dies ermöglicht entsprechende Kosteneinsparungen bei der Instandhaltung.

Tabelle 3-2: Leistungsaufnahmen von Leuchtstofflampe und Vorschaltgerät [46]

	Konventionelles Vorschaltgerät (KVG)	Verlustarmes Vorschaltgerät (VVG)	Elektronisches Vorschaltgerät (EVG)
Vorschaltgerät	14 W	8 W	4,5 W
Leuchtstofflampe	58 W	58 W	50,5 W
Gesamtsystem	72 W	66 W	55 W

3.3.6 Elektrische Antriebe

In der Recyclingindustrie kommt eine Vielzahl elektrischer Antriebe zum Einsatz. Durch den Einsatz von Frequenzumrichtern zur Drehzahlregelung des Elektromotors können die Betriebskosten signifikant gesenkt werden. In der Regel werden Frequenzumrichter derzeit nur bei technischer Notwendigkeit eingesetzt, dabei sind insbesondere bei strömungstechnischen Anlagenkomponenten hohe Einsparpotenziale vorhanden. So bewirkt eine Halbierung der Motorendrehzahl eine Energieeinsparung von etwa 75%.

Der breite Einsatz induktiver bzw. kapazitiver Verbraucher in der Recyclingindustrie führt zu verhältnismäßig hohen Blindstrombezugs-mengen. Dabei wird Ladung kurzzeitig im Verbraucher gespeichert. Ein Teil der elektrischen Energie wird durch die ständige Umpolung beim Wechselstrom wieder an das Netz zurückgegeben. Der Blindstrom wird zwar nicht „verbraucht“, indem er in eine andere Energieform umgewandelt wird, pendelt aber dennoch ständig zwischen Erzeuger und Verbraucher hin und her. Dadurch entstehen eine zusätzliche Netzbelastung und eine Zunahme der Übertragungsverluste, weshalb das gesamte Netz stärker dimensioniert werden muss. Die entstehenden Mehrkosten werden dem Blindstromverursacher in Rechnung gestellt. Durch den Einbau geeigneter Kompensationstechnik pendelt der Blindstrom nicht mehr zwischen Kraftwerk und Verbraucher sondern nur noch innerhalb des Unternehmens zwischen Verbraucher und Kompensationsanlage. Die statische Amortisationszeit für eine Kompensationsanlage liegt fast immer unter zwei Jahren.

3.4 Organisatorische und allgemeine Maßnahmen

In den meisten Betrieben besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den Energiebedarf durch organisatorische und gering-investive Maßnahmen zu senken. Im Folgenden sind einige mögliche Maßnahmen aufgeführt, die zum Teil auch ohne Investitionen umgesetzt werden können.

3.4.1 Planung und Auslegung von Anlagen

Bei der Planung und Auslegung können bereits zu einem frühen Zeitpunkt und mit relativ geringem Aufwand die Voraussetzungen für niedrige Betriebskosten geschaffen werden. Oft werden jedoch Maßnahmen wie frequenzgesteuerte Motoren, Überwachungssensoren oder Wärmerückgewinnung zugunsten niedrigerer Investitionen nicht berücksichtigt. Ein weiteres Hemmnis ist die oft größere Komplexität der Planungsaufgabe, die sich durch die Berücksichtigung von Zusatzanlagen ergibt.

3.4.2 Wärme/Heizung

Bei der Produktionsplanung sollte berücksichtigt werden, dass Anlagen gut ausgelastet werden. Eine hohe Auslastung und auf den Bedarf angepasste Dimensionierung der Versorgungsanlagen senkt bei heiz-technischen Prozessen die Bereitschaftsverluste.

Die regelmäßige Wartung der Anlagen und Überprüfung der Einstellung von Brennern sowie die regelmäßige Reinigung von Heizkörpern, Lüftungsgittern, Filtern etc. gewährleisten einen optimalen und sparsamen Heizbetrieb.

Zur Senkung des Heizwärmebedarfs sollten Produktionshallen (insbesondere im Winter) kontrolliert be- und entlüftet werden. Durch eine gezielte Wärmerückgewinnung können bis zu 75% des Wärmebedarfs ersetzt werden. Ebenso tragen Doppeltore oder automatisch schließende Hallentore, intakte (und geschlossene) Fenster sowie eine dichte Gebäudehülle zur Energieeinsparung bei.

Beheizte Maschinenelemente sollten möglichst gut isoliert sein. Dies gilt natürlich auch für Wärmeleitungen.

Bei den meisten elektrisch angetriebenen Anlagen fällt Abwärme in nennenswertem Umfang an. Hier sind aufgrund ihrer häufig hohen Laufzeiten beispielsweise Kompressoren zu nennen. Die abzuführende Wärme kann entweder mittels Wärmeübertrager direkt, über elektrisch betriebene Wärmepumpen oder Absorptionswärmepumpen (siehe auch Kapitel 3.5.2) zur Warmwasserbereitung oder zu Heizzwecken in Luftheizungen beziehungsweise konventionellen Wasserheizungen oder allgemein zur Vorwärmung von Prozess- oder Waschwasser genutzt werden.

Beheizte Bereiche sollten ebenso wie klimatisierte Bereiche soweit wie möglich geschlossen sein. Zugluft sollte zum Beispiel durch selbsttätig schließende Türen, Streifen-Vorhänge oder ähnliches vermieden werden. Dadurch kann gleichzeitig eine Reduzierung des Krankenstandes erreicht werden. Für den Erfolg der Maßnahmen ist der bewusste Umgang mit Kunststoffvorhängen und Rolltoren etc. durch die Belegschaft erforderlich. Oft sind automatische Steuerungen (Fernbedienung durch Gabelstaplerfahrer, Lichtschranken) sinnvoll.

In Recyclingbetrieben sind Hallen zum Teil halb offen ausgeführt. Eine Beheizung findet dort lediglich zur Frostfreihaltung von Nasssprinkleranlagen statt. Bei neueren Gebäuden wird der Teilumbau zur Trockensprinkleranlage von der VdS Schadenverhütung GmbH¹ zertifiziert. In diesen Bereichen ist dann keine Beheizung mehr notwendig. Die Wirtschaftlichkeit eines Umbaus ist von der Steigung der Leitungen sowie von der Anordnung der Sprinklerköpfe im Bezug zur Leitung abhängig.

3.4.3 Senkung des Strombedarfs

Elektrisch betriebene Anlagen sollten eine möglichst hohe Maschinenausnutzung, am besten über 70%, aufweisen. Ansonsten werden systembedingt relativ geringe Wirkungsgrade erreicht.

Außerhalb der Produktionszeiten (nachts und am Wochenende) sollten nicht benötigte Anlagen und Beleuchtung abgeschaltet werden. Dies kann manuell, besser jedoch automatisch, über die Gebäudeleittechnik oder über einfache Zeitschaltuhren beziehungsweise Dämmerungsschalter erfolgen.

Nachgeschaltete Anlagen beziehungsweise Sekundäranlagen (zum Beispiel Transporteinrichtungen, Trocknergebläse etc.) sollten bei Stillstand der jeweiligen Produktionsanlagen ebenfalls automatisch abgeschaltet werden.

Durch organisatorische oder steuerungstechnische Maßnahmen sollte sichergestellt werden, dass Leerlaufzeiten von Motoren und Anlagen minimiert werden, zum Beispiel zu Schichtbeginn oder Schichtwechsel. Transport- und Förderbänder sollten bei Produktionsstillstand angehalten werden.

Die regelmäßige Wartung und Kontrolle der technischen Anlagen (Kompressoren, Lüftungs- und Absauganlagen etc.) sowie die regelmäßige Reinigung der Beleuchtungseinrichtungen (Reflektoren) gewährleisten einen optimalen und sparsamen Betrieb.

Die elektrische Beheizung von Produktionsmaschinen sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Es ist wenig sinnvoll, zunächst in einem Kraftwerk mit einem verhältnismäßig niedrigen Wirkungsgrad aus Wärme Strom zu erzeugen, um diesen anschließend mit weiteren Verlusten wieder in Wärme umzuwandeln. Zudem ist die Kilowattstunde Strom teurer als Erdgas oder Heizöl.

Elektrische Beheizung ist nur dann energetisch sinnvoll, wenn beim Einsatz von konventionellen Heizanlagen hohe Stillstands-, Bereitschafts- oder Transportverluste zu erwarten sind. Dies ist zum Beispiel bei Anlagen in entlegenen Betriebsbereichen oder diskontinuierlich und selten betriebenen Prozessen der Fall.

Viele ältere Motoren und Antriebe sind überdimensioniert. Im Rahmen von Ersatzinvestitionen sollte darauf geachtet werden, dass richtig dimensionierte Motoren eingesetzt werden. In vielen Fällen eignen sich auch drehzahlgeregelte oder mehrstufige Motoren, Gebläse, Ventilatoren etc.

¹ VdS Schadenverhütung ist ein Unternehmen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). Die VdS Schadenverhütung GmbH in ihrer heutigen Form ging 1997 aus den technischen Abteilungen des Verbandes der Sachversicherer e.V. hervor.

Die Optimierung des Lastprofils eines Betriebes bewirkt zwar keine Energieeinsparung, führt aber je nach Strom- oder Gasliefervertrag unmittelbar zur Kostensenkung. Bei Strom kann neben der Verlagerung von Teilprozessen in die Niedertarifzeit insbesondere ein Lastmanagementsystem zur Senkung der Lastspitzen beitragen. Möglichkeiten hierzu bieten

- die Vermeidung der Überlagerung von Lastspitzen bei diskontinuierlichen Prozessen (oft über die vorhandene speicherprogrammierbare Steuerung regelbar),
- die Leistungsreduzierung größerer Maschinen oder
- lastabhängige Einschaltsperrern für ausgewählte Anlagen und Maschinen (zum Beispiel Recyclinganlagen und Nebenanlagen wie Klimaanlage, Lüftungsventilatoren, Kompressoren).

Konkrete Beispiele zur Optimierung des Lastprofils sind in Kapitel 4 und Kapitel 5 beschrieben.

3.4.4 Wasser

Wasser wird in der Recyclingindustrie vorwiegend zu Kühlzwecken eingesetzt. Dabei wird das Wasser nach der Wärmeaufnahme häufig in die Kanalisation eingeleitet. Möglichkeiten der Kreislaufführung des Kühlwassers bestehen in Verbindung mit Verdunstungskühlern, Rückkühlern mit Wärmeübertragern oder Kältesätzen.

Durch die regelmäßige Kontrolle von Wasseraufbereitungsanlagen (zum Beispiel Osmoseanlagen zur Weichwassererzeugung für Dampferzeuger, Waschmaschinen etc.) wird der optimale und sparsame Betrieb der jeweiligen Anlagen gewährleistet.

3.4.5 Sonstiges

Die regelmäßige Erfassung und Auswertung der Energiedaten (zum Beispiel Ablesung der Strom-, Gas-, Wasserzähler, der Heizölstandsanzeigen oder der Betriebsstundenzähler an Kompressoren etc.) ermöglicht das schnelle und frühzeitige Erkennen von Unregelmäßigkeiten und ungewöhnlichen Verbrauchszunahmen. Die Ursache für den Verbrauchsanstieg kann auf Grundlage der erfassten Daten leicht gefunden und anschließend beseitigt werden. Weitere Anregungen zur Energiedatenerfassung sind in Kapitel 5 zu finden.

Ein Unternehmen lebt von der Motivation seiner Mitarbeiter. Das Verhalten der Mitarbeiter hat einen spürbaren Einfluss auf den Erfolg von Energiesparmaßnahmen. Daher ist es sehr zu empfehlen, das Bewusstsein jedes Einzelnen für die Bedeutung der Senkung des Energieverbrauchs innerhalb des Betriebes durch Informationsveranstaltungen und Schulungen zu entwickeln.

3.5 Integrierte Energieversorgungskonzepte

3.5.1 Wärmerückgewinnung an Produktionsanlagen

Häufig wird die Abwärme der Produktionsanlagen ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Durch den Prozess freigesetzte Wärmemengen können aber wieder in den Prozess zurückfließen, indem sie zum Beispiel für die Materialvorwärmung oder zu Heizzwecken genutzt werden. Dadurch kann der Energieeinsatz reduziert werden. Die Wärmerückgewinnung aus Abluftströmen kann beispielsweise über Rotationswärmeübertrager realisiert werden. Die über den Produktstrom abgegebene Wärmemenge kann entweder mit Hilfe von Schüttgutwärmeübertragern oder wasserdurchströmten Transportschnecken zurückgewonnen werden. Treten Wärmeabgabe und Wärmebedarf zeitlich versetzt auf, bietet sich der Einsatz eines Wärmespeichers an.

3.5.2 Einsatz von Wärmepumpen

Bei der Nutzung von Wärme, beispielsweise aus natürlichen Energiequellen, oder als Abwärme der Produktionsanlagen im Sinne einer Wärmerückgewinnung, spielt die Wärmepumpe eine wichtige Rolle. Wärmepumpen nehmen Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau auf und geben diese auf einem höheren Temperaturniveau wieder ab. Dazu wird Antriebsenergie benötigt, die in Form von mechanischer Energie (Kompressions- oder Gasmotorwärmepumpen) oder Wärme (Absorptionswärmepumpe) bereit gestellt werden muss. Das System selbst arbeitet in einem geschlossenen Kreislauf und ist daher wartungsfrei.

Je nach Art der Anwendung und der geforderten Leistung ist der entsprechende Wärmepumpentyp auszuwählen. Derzeit können Kompressionswärmepumpen für einen Leistungsbereich von 5 kW bis hin zu mehreren Megawatt eingesetzt werden. Für Absorptionswärmepumpen ist der Leistungsbereich ähnlich groß, wobei hier die Anwendungserprobung und die technische Marktreife noch nicht soweit fortgeschritten sind.

Eine verallgemeinernde Aussage zur Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen ist schwierig, da die Erschließungskosten der Wärmequelle einen wesentlichen Kostenanteil darstellen und von einer Vielzahl von Parametern abhängig sind.

Fördermaßnahmen des Bundes, der Länder aber auch einzelner Energieversorgungsunternehmen sind in der derzeitigen Einführungsphase besonders wichtig und werden angeboten. Langfristig bleibt zu hoffen, dass die Wärmepumpentechnik sich am Markt behaupten kann und somit einen Beitrag zur Ressourcenschonung liefert. Weitere Informationen finden sich auch im Leitfaden „Wärmepumpe – Systemlösung aus einer Hand“, der von der Energieagentur NRW herausgegeben wurde [50].

3.5.3 Kraft-Wärme-Kopplung

Unter dem Begriff Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sind Anlagen zusammengefasst, die gleichzeitig Wärme und mechanische Energie erzeugen und zur weiteren Nutzung bereitstellen. Bei den meisten Anwendungen wird die mechanische Energie weiter in Strom umgewandelt. Die hohe Brennstoffausnutzung von 85% bis 95% der KWK-Anlagen setzt sich aus dem elektrischen Wirkungsgrad (bis zu 35%) und dem thermischen Wirkungsgrad (etwa 55%) zusammen. KWK-Anlagen zeichnen sich im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Wärme und Strom vor allem durch einen reduzierten Primärenergiebedarf und die damit verbundenen reduzierten CO₂- und Schadstoffemissionen aus. Der modulare Aufbau der Anlagen ermöglicht einen dezentralen Einsatz. Des Weiteren bieten sie zusammen mit Speichermöglichkeiten den Vorteil der zeitlichen Entkopplung von Wärme- und Strombedarf.

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen werden anhand ihrer Verbrennungskonzepte unterschieden. Dampfturbinen, die den größten Anteil der konventionellen Stromerzeuger ausmachen, sind technisch aufwendig und daher für Anwendungen im niedrigen Leistungsbereich ungeeignet. Für dezentrale Anlagen mit einer Leistungsgröße von mehr als 500 kW können Gasturbinen zum Einsatz kommen. Für kleine Anlagen bis 2 MW_{el} eignen sich Gas-Otto-, Gas-Diesel- und Diesel-Motoren, die als Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet werden und sich schon seit Jahren bewährt haben. Als Brennstoffe dienen je nach Motortyp Diesel-Kraftstoff beziehungsweise Heizöl, Erdgas oder Brenngase, wie Flüssig-, Klär-, Deponie- oder Restgase aus Produktionsanlagen. Gleichfalls zu den Blockheizkraftwerken zählen aufgrund ihrer Kompaktheit die Mikrogasturbinen. Sie haben zwar gegenüber der Gasturbine einen um etwa 10 bis 20% geringeren elektrischen Wirkungsgrad, können aber den Vorteil des hohen Abgastemperaturniveaus ausspielen. Mikrogasturbinen werden derzeit im Leistungsbereich von 30 bis 100 kW angeboten.

Ein Zukunftskonzept kann der Einsatz von Brennstoffzellen sein. Das Funktionsprinzip der Brennstoffzelle basiert auf der Umkehrung der Elektrolyse, bei der die im Brenngas gespeicherte chemische Energie direkt in elektrische Energie und Reaktionswärme umgewandelt wird. So lassen sich höhere elektrische Wirkungsgrade als bei konventionellen KWK-Anlagen erreichen. Die Eignung der Brennstoffzelle für verschiedenste Einsatzbereiche, unter anderem auch in der Industrie, wird derzeit anhand mehrerer Demonstrationsanlagen geprüft.

Bei der Durchführung der Wirtschaftlichkeitsrechnung müssen für die KWK-Anlage Investitionen von etwa 750 € pro Kilowatt elektrisch für beispielsweise eine 60 kW_{el}-Anlage (Gas-Diesel-Motor) kalkuliert werden. Dieser Preis wird mit größer werdender Leistung geringer und kann auf rund 400 bis 450 €/kW_{el} sinken. Als Lebensdauer der Aggregate werden etwa 80.000 Betriebsstunden angegeben. Für eine wirtschaftliche Nutzung sollten mindestens 4.500 Vollbenutzungsstunden im Jahr erreicht werden. Bei der Kalkulation sind auch die strom- und wärmeseitige Einbindung, die Abgaseinrichtung, zusätzliche bauliche Maßnahmen und laufende Wartungs- und Reparaturkosten zu berücksichtigen. Für bestimmte Einsatzgebiete bestehen Fördermöglichkeiten (siehe Kapitel 6).

3.6 Nutzung alternativer Energiequellen

Der Einsatz regenerativer Energien in der Industrie erfolgt heute entweder zur Ergänzung der betrieblichen Energieversorgung oder zur kommerziellen Stromerzeugung und Einspeisung in das elektrische Netz. Im ersten Fall werden Produktionsprozesse oder haustechnische Anlagen in der Regel mit Solarenergie betrieben beziehungsweise unterstützt. Für diesen noch sehr seltenen Fall können oftmals Förderprogramme zur Finanzierung der Anlagen genutzt werden. Im zweiten Fall sind die Stromerzeugung und der (staatlich reglementierte) Stromverkauf an den lokalen Netzbetreiber ein weiteres Geschäftsfeld des Unternehmens und dienen nicht der Energieversorgung des Betriebes.

Im Zuge des politischen Interesses an einer verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen werden in Zukunft sicherlich auch diese Möglichkeiten in der Industrie vermehrt genutzt. In Kapitel 6 wird auf die Fördermöglichkeiten zu diesem Thema näher eingegangen.

3.6.1 Sonnenenergie

Die Stromerzeugung aus Sonnenenergie (Photovoltaik) erfährt auch nach Inkrafttreten der Novellierung des Erneuerbare-Energien Gesetzes (EEG) zum 1.1.2009 weitere Unterstützung. Hierin wird den Betreibern der Anlagen über eine Dauer von 20 Jahren in Abhängigkeit der Anlagengröße ein fixer Vergütungssatz je erzeugter kWh Photovoltaikstrom für Anlagen die 2009 in Betrieb gegangen sind zugesichert. Der über 20 Jahre konstante Vergütungssatz ist abhängig vom Inbetriebnahmejahr der Anlage. Ab dem Jahr 2010 findet eine jährliche Degression des Vergütungssatzes um 9% statt. Damit erreichen diese Anlagen in der Regel eine akzeptable Wirtschaftlichkeit. Für Industrieunternehmen ist diese Investition aufgrund der hohen Kapitalbindung aber oft uninteressant. Eine attraktive Möglichkeit ist allerdings die „Vermietung“ der großen Dachflächen an Betreibergesellschaften, die Photovoltaik-Anlagen im großen Maßstab installieren wollen.

Weiter verbreitet ist die solarthermische Energienutzung, die zum Beispiel zur Warmwasserbereitung und Raumheizung eingesetzt wird, aber auch für die Prozesswasservorwärmung genutzt werden kann. Auf diese Weise lässt sich der Brennstoffeinsatz stark reduzieren. Je nach Kollektortyp und örtlichen Verhältnissen können 200 bis 500 kWh_{th} pro Quadratmeter und Jahr gewonnen werden. Industriegebäude besitzen oft große Dachflächen, die für das Aufstellen von Kollektoren genutzt werden können.

3.6.2 Windenergienutzung

Die betriebliche Nutzung von Windenergie fällt in der Regel ebenfalls unter den Bereich der kommerziellen Stromerzeugung und wird daher hier nicht näher erläutert. Es sei aber erwähnt, dass die Stromerzeugung aus Windenergie – obwohl sie kein Kerngeschäft für die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes ist – unter Umständen eine lukrative Anlageoption darstellt, weshalb immer mehr Unternehmen an günstigen Standorten in Windkraftanlagen investieren.

3.6.3 Wasserkraftnutzung

Wasserkraft kann nur dort zur Energiegewinnung genutzt werden, wo der Betrieb sich in unmittelbarer Nähe zu einem fließenden Gewässer befindet. Bei Betrieben, die bereits über ein Laufwasserkraftwerk verfügen (diese sind häufig 60 bis 80 Jahre alt), bietet sich – insbesondere vor dem Hintergrund der Vergütung des Stroms aus Wasserkraft durch das Gesetz zum Vorrang der erneuerbaren Energien (EEG) – eine Erneuerung oder ein Ausbau für eine größere elektrische Leistung an. Hinzu kommt die außerordentliche Langlebigkeit der Anlagen, weshalb Investitionen in Wasserkraft auch ohne staatliche Förderung wirtschaftlich sein können.

3.6.4 Recyclingmaterial zur Energiegewinnung

Kunststoffe sind aufgrund ihres hohen Anteils an Kohlenstoffverbindungen für eine thermische Verwertung besonders geeignet. Der Heizwert von Kunststoff liegt leicht über dem des Heizöls. Primärrohstoffe wie Erdöl, Erdgas oder Kohle können somit durch eine thermische Verwertung eingespart werden. Mögliche Technologien zur Kunststoffverbrennung sind die Mono-Verbrennung in Wirbelschichten, die Co-Verbrennung mit fossilen Brennstoffen, die Verbrennung mit Hausmüll und die thermische Verwertung durch die Duale System Deutschland GmbH (DSD). Bislang sind die Verbrennung des Kunststoffes als Teil des Hausmülls und die Verbrennung als Sekundärbrennstoff in Zementwerken, Kalkwerken und Großkraftwerken die derzeit einzigen großtechnischen angewandten thermischen Verwertungsmöglichkeiten. Bis Unternehmen der Recyclingindustrie ihre Abfälle ökologisch und wirtschaftlich vertretbar energetisch selbst verwerten können werden noch einige Aufgaben zu lösen sein. Als zusätzliche Hürde ist die Genehmigung nach dem BImSchG erforderlich.

Das Institut für Maschinenwesen der RWTH Aachen betreibt derzeit eine Pilotanlage zum rohstofflichem Recycling von Kunststoffen. Dabei wird der Kunststoff zu einer rohölähnlichen Substanz gecrackt.

3.7 Literatur zu Kapitel 3

- [1] Schwarz, O.; Ebeling, F.-W.; Furth, B.: Kunststoffverarbeitung, Vogel Buchverlag, 7. Auflage 1997
- [2] Stricker, U.: Infrarot Schnelltrocknung mit kühler Luft, Kunststoffe 87(1997)10, Seite 1358 ff
- [3] Gonser, J.: Kunststoffverarbeitung Umweltschutz in der Kunststoffverarbeitung, Ratgeber der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, November 2000
- [4] Produktinformation der Firma SIAC GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROTECHNIK UND MASCHINENBAU GMBH & CO KG
- [5] IRD-Anlage Baureihe C, Produktinformation der Firma SIAC GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROTECHNIK UND MASCHINENBAU GMBH & CO KG
- [6] Granulattrocknung mit Erdgas, Produktinformation der Firma Motan GmbH, Isny/Allgäu
- [7] N.N.: Informationsunterlagen zu elektromechanischem Dosieren (ED), Arburg GmbH + Co, Arthur-Hehl-Str., 72290 Loßburg, Tel.: +49/744633-0
- [8] Oberbach, K.: Kunststoff-Taschenbuch/Saechtling, Carl Hanser Verlag, 26. Auflage 1995
- [9] Robers, T. F.: Analyse des Betriebsverhaltens von vollelektrischen gegenüber hydraulisch angetriebenen Spritzgießmaschinen basierend auf Vergleichsmessungen Aachener Beiträge zur Kunststoffverarbeitung Band 27, 1994
- [10] Wortberg, J.; Michels, R.; Neumann, M.: Kunststoffverarbeitung bietet Potential für deutliche Energieeinsparung, Maschinenmarkt 105(1999)1, Seite 22-25
- [11] Lampl, A.: Gegenüberstellung verschiedener Antriebstechniken bei Spritzgießmaschinen, 13. Loebener Kunststoffkolloquium 1994
- [12] N.N.: Informationsunterlagen Dr. Boy GmbH & Co. KG Spritzgießautomaten Neustadt-Fernthal, 1999/2000
- [13] Wipperbeck, P.: Werkzeuge als Innovations- und Leistungsträger, KU Kunststoffe 91(2001)12, Seite 98-102
- [14] Wortberg, J.; Michels, R.; Neumann, M.: Energieeinsparpotentiale in der kunststoffverarbeitenden Industrie, Frauenhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI, Fachpublikation Mai 2000
- [15] Produktinformation der Firma esde Maschinentechnik GmbH Valdorfer Straße 15, 32545 Bad Oeynhausen
- [16] Produktinformation der Firma REIFENHÄUSER GmbH & Co Maschinenfabrik, Spicher Straße 46-48, 53839 Troisdorf
- [17] Kaczmarek, D.: Rohr- und Profilextrusion, KU Kunststoffe 91(2001)12, Seite 104-107
- [18] Spigatis, J.: Folien-und Plattenextrusion, KU Kunststoffe 91(2001)12, Seite 108-112
- [19] Produktinformation der Firma EXTRUDEX Kunststoffmaschinen GmbH, In den Waldäckern 16, 75417 Mühlacker

- [20] WEMA gibt Vollgas Erdgastechnologie für Zylinderbeheizung, Produktinformation der Firma WEMA GmbH, Kalver-Straße 28, 58515 Lüdenscheid in Kooperation mit ruhrgas AG und der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg
- [21] Michaeli, W.; Grünewald, J.: Ausstoßleistung und Produktivität steigen, *Plastverarbeiter* 51(2000)10, Seite 62-64
- [22] N.N.: Produktinformation der Firma CAD-FEM GmbH, 85567 Grafing bei München
- [23] Wirtz, J.: Thermoformen, *KU Kunststoffe* 91(2001)2, Seite 115-117
- [24] Holzner, S.: Des Rätsels Lösung – Simulation des Thermoformens, *Plastverarbeiter* 52(2001)2, Seite 60-62
- [25] Produktinformation der Firma DIEFFENBACHER GMBH & CO., Heilbronner Straße, 75031 Eppingen
- [26] N.N.: Faserverbundwerkstoffe – Handbuch, R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH, 71111 Waldenbuch
- [27] BMU-Umwelt Nr. 11/93, Seite 440, Bundesumweltamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin, 1992
- [28] Mujumdar, A.S.: *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker, Inc., 1987
- [29] N.N.: Produktinformation, Orbi-Tech GmbH, 42799 Leichlingen
- [30] Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: *Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie*, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 2000
- [31] N. N.: Welcher Dampfkessel für welchen Bedarf? Zwei Arten der Dampferzeugung: eine Gegenüberstellung von Großwasserraum- und Wasserrohrkesseln. Loos International, Fachbericht, www.loos.de/fach13.pdf, Zugriffsdatum 2000
- [32] N. N.: Industrieller Dampferzeuger mit Brennwerttechnik. Loos International, Fachbericht, www.loos.de, Zugriffsdatum 2000
- [33] VDI-Wärmeatlas, CD-ROM Version, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1998
- [34] Kaeser Kompressoren GmbH, Ratgeber Drucklufttechnik, Coburg 1998
- [35] Stapel, A. G.; Schöppl, T.: Drehzahlregelung bei Kompressoren spart 35 % an Strom. *Drucklufttechnik* 5-6/98, Seite 29-32, 1998
- [36] N. N.: Firmeninformation, Boge Kompressoren, Bielefeld 2000
- [37] Energieagentur NRW: Energiemanagement in der Industrie mit RAVEL NRW, Seminarunterlagen, REN Impuls-Programm, Wuppertal, o. J.
- [38] N. N.: Druckluft rationell nutzen mit RAVEL NRW – Energie- und kosteneffiziente Bereitstellung von Druckluft. Energieagentur NRW, Wuppertal, o. J.
- [39] Feldmann, K.-H.: Optimale Druckluftverteilung, ein Beispiel aus der Getränkeindustrie. In: *Der Energieberater – Handbuch für wirtschaftliche und rationelle Energienutzung*, Kap. 5.1.2.15., Karl Heinrich Maier (Hrsg.), Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst GmbH, Köln 1996

- [40] Energieagentur NRW: Energiepfade durch den Betrieb: ein Leitfaden für Industrie und Gewerbe, Wuppertal, o. J.
- [41] Wieczorek, J.: Die wirtschaftliche Druckluftstation – Planung, Installation, Betrieb. Resch-Verlag, München 1991
- [42] Recknagel, H.; Sprenger, E., Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 69. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München Wien 2000
- [43] Energieagentur NRW: Energieeinsparung in Hallen- und Freibädern, Wuppertal, o. J.
- [44] N.N.: Firmeninformationen der Witt Kältemaschinen GmbH, Aachen.
- [45] Ersing, M.: VDI-Bericht 1296, S. 429-445, 1997
- [46] Dehli, M.: Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe. Praktische Möglichkeiten des rationellen Energieeinsatzes in Betrieben, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1998
- [47] Brehmer, H.: Verfahren und Einrichtung zum abwechselnden Heizen und Kühlen in Pressen Patentschrift 1013 962 Fa. H. Krantz, Aachen Januar 1958
- [48] Richarts, F.: Energieeinsparung und Verbesserung des Prozessverlaufes an industriellen Heiz-Kühl-Prozessen mittels Pendspeicher, Ausarbeitung Fachhochschule Gießen 1996
- [49] Kleemann, M.; Meliß, M.: Regenerative Energiequellen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1993
- [50] „Wärmepumpe – Systemlösung aus einer Hand“ - ein Leitfaden, Energieagentur NRW, REN Impuls-Programm RAVEL NRW, Wuppertal o. J.
- [51] Hans-Jürgen Bittermann: Elektromotoren: Energieeffiziente Antriebskonzepte amortisieren sich in kürzester Zeit. In: http://www.process.vogel.de/_misc/print/print.cfm?ct=10&pk=113864&fk=0 Abfragedatum: 07/2008
- [52] Internetabfrage: Ultra-Web Nanofaser-Hochleistungs-Filterelemente. <http://www.emea.donaldson.com/de/industrialair/support/datalibrary/055436.pdf> Abfragedatum: 07/2008
- [53] Jens Heinz: Energiesparende Antriebstechnik für Zerkleinerer VECOPLAN HiTorc™ – die Revolution der Antriebstechnik. In: International Symposium MBT 2005
- [54] Internetabfrage: <http://www.ultraair-group.com/de/> Abfragedatum: 07/2008
- [55] Jean-Marie Zogg: Grundlagen der Satellitennavigation: [http://www.u-blox.de/customersupport/docs/GPS_Basics\(GPS-X-01006\).pdf](http://www.u-blox.de/customersupport/docs/GPS_Basics(GPS-X-01006).pdf) Online-Publikation, Abfragedatum: 07/2008
- [56] Mercedes-Benz Österreich Vertriebsgesellschaft m.b.H., Presseabteilung, Salzburg „Mercedes Power-Shift: Vorteile für Fahrer und Unternehmer“, 2006
- [57] o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers, Dipl.-Ing. Sascha Ott, Dipl.-Ing. Achim Seifermann, „Potenziale von Hybridantrieben in mobilen Arbeitsmaschinen“, Institut für Produktentwicklung Karlsruhe
- [58] „ProSort sortiert Metalle kostengünstig und sauber“, RECYCLING magazin 17/2007

[59] „Drucklufttechnik Grundlagen, Tipps und Anregungen“, KAESER
KOMPRESSOREN GmbH, 96410 Coburg

[60] „Sekundärrohstoffe aus Bochum“, Sekundär-Rohstoffe 09/2005

4 Praxisbeispiele

In Kapitel 3 werden zahlreiche Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduzierung der Energiekosten beschrieben. Für verschiedene Bereiche und Anlagen wurde in diesem Kapitel systematisch aufgezeigt, welche Maßnahmen möglich sind. Sicher können nicht alle Maßnahmen in jedem Unternehmen der Recycling-Branche umgesetzt werden. Daher wurden im Rahmen des Projektes zehn Recycling-Betriebe in Nordrhein-Westfalen detailliert untersucht, um aufzuzeigen, welche Erfolge im Einzelnen erzielt werden konnten.

Aus diesen Energieanalysen wurden verschiedene Beispiele ausgewählt, die im Folgenden näher beschrieben werden. Dabei wurden die Beispiele in die Kategorien Kunststoff, Papier und Metall unterteilt.

Die Praxisbeispiele beginnen mit einer kurzen Beschreibung der untersuchten Betriebe. Anschließend werden die wichtigsten vorgefundenen Verbesserungspotenziale erläutert und die erzielbaren Kosten- und Energieeinsparungen soweit wie möglich quantifiziert. Am Ende jedes Praxisbeispiels sind die Maßnahmen, die möglichen Einsparungen sowie – sofern im Rahmen der Analysen ermittelbar – die erforderlichen Aufwendungen und die Vermeidung von CO₂-Emissionen in einer Übersicht (Maßnahmenkatalog) zusammengestellt und bewertet (+/o/-). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Ersparnisse der Einzelmaßnahmen unter Umständen gegenseitig beeinflussen können.

Die in den Maßnahmenkatalogen aufgeführten Energieeinsparungen in Megawattstunden pro Jahr (MWh/a) beziehen sich auf den Primärenergieeinsatz. Für elektrische Energie wird bei der Umrechnung mit einem Erzeugungswirkungsgrad von 37% (1.000 kWh Primärenergie = 370 kWh elektrischer Strom) gerechnet, Wärme mit 85% (1.000 kWh Primärenergie = 850 kWh Wärme).

Bei der Bewertung wurde neben der praktischen Umsetzbarkeit und der absoluten Höhe der nötigen Investitionen auch die statische Amortisationszeit berücksichtigt, die sich als Quotient aus Aufwand (Kosten in Euro) und Einsparung (€/a) ergibt. Die Bewertung ist somit subjektiv und speziell für den jeweils betrachteten Betrieb erstellt.

Die für die Berechnung der Einsparpotenziale verwendeten Strompreise verstehen sich inklusive aller Abgaben (wie EEG-, KWK- und Konzessionsabgaben sowie Stromsteuer¹) aber ohne Umsatzsteuer. Die verwendeten Erdgaspreise enthalten die Erdgassteuer und die Konzessionsabgabe exklusive Umsatzsteuer. Die zugrundegelegten Preise stammen aus den Jahren 2005 und 2006.

Da seitdem die Energiepreise bereits deutlich gestiegen sind – und davon ausgegangen werden kann, dass sich dieser Trend fortsetzt –, sind die hier beschriebenen Einsparungen als Minimalwerte anzusehen. In Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 ist die Preisentwicklung der letzten vier Jahre für Strom bzw. Erdgas für Industriekunden in Deutschland

¹ Auf den Strompreis werden grundsätzlich die Belastungen aus dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien und dem Gesetz zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung sowie die Konzessionsabgaben und die Stromsteuer aufgeschlagen.

grafisch dargestellt. Der Preisdurchschnitt des Jahres 2005 dient dabei als Bezugsgröße.

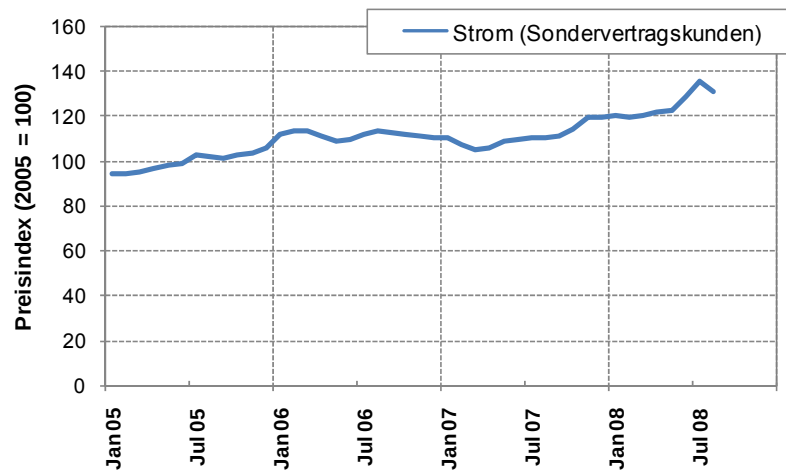


Abbildung 4-1: Strom-Preisentwicklung 2005-2008
(Quelle: Destatis, Sondervertragskunden)

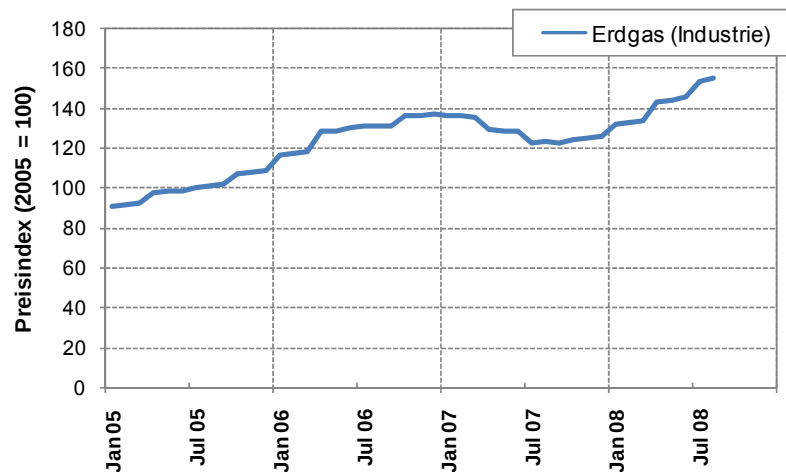


Abbildung 4-2: Erdgas-Preisentwicklung 2005-2008
(Quelle: Destatis, Industrie)

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle noch einmal den Mitarbeitern der analysierten Betriebe für die Unterstützung bei der Erarbeitung dieser Beispiele aus der Praxis. Sie haben durch Ideen und Engagement zur erfolgreichen Durchführung der Energieanalysen beigetragen.

4.1 Kunststoff

Das Recycling von Kunststoffen umfasst ein breites Spektrum an Prozessen, da sich die zu verwertenden Ausgangsmaterialien, die Endprodukte sowie die Verarbeitungstiefe stark unterscheiden können. Grundsätzlich muss zwischen werkstofflicher, rohstofflicher und energetischer Verwertung unterschieden werden. Besonders für die wert- und rohstoffliche Wiederverwertung werden homogene Materialfraktionen benötigt.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Betrieb untersucht, in dem sortenreine Kunststoffabfälle für die werkstoffliche Wiederverwertung zu Granulat oder homogenisiertem und entstaubtem Mahlgut aufbereitet werden.

Als Grundmaterial dienen Industrieabfälle und Ausschussware. Die Rohstoffe werden in Form von Granulat, Folien, Stäuben, Bauteilen (Ausschussware) und größeren Agglomeraten, z.B. Abfälle aus Anfahrvorgängen von Spritzgussmaschinen, angeliefert.

Die Aufbereitungsschritte unterscheiden sich je nach Anlieferungsform der Materialien. Aufgrund der unterschiedlichen Chargen arbeiten alle Maschinen im Batchbetrieb.

Während Folien agglomeriert werden, müssen Brocken und Ausschussware in Schneidmühlen vermahlen werden. Falls Metalle enthalten oder die Abmessungen entsprechend groß sind, muss das Material im Vorzerkleinerer zunächst zerlegt und das Metall abgeschieden werden. Zur Abtrocknung der Oberflächenfeuchte von tropfnassem Material wird ein Trockner eingesetzt. Als nächstes folgt die Homogenisierung der einzelnen Materialchargen in Mischern. Den Mischern sind Zykclone zur Staubabscheidung vorgeschaltet. Weitere mögliche Arbeitsschritte sind die Mischung von Blends aus verschiedenen Chargen, die Zugabe von Additiven zur Erzielung gewünschter Produkteigenschaften oder – falls die Materialbeschaffenheit dies erfordert – das Aufschmelzen mit anschließender Granulierung.

Das Material wird vor der Extrusion in elektrisch beheizten Trockenlufttrocknern auf eine Feuchte von maximal 0,02% getrocknet. Von den Trockenlufttrocknern wird das Material direkt über Saugförderanlagen in die Einzugtrichter der Extruder befördert. Den Extrudern sind Wasserbäder nachgeschaltet, in denen der erzeugte Materialstrang direkt abgekühlt wird. Die Kühlung der Wasserbäder und der Plastifiziereinheiten der Extruder erfolgt durch ein aus Freikühlern und einer Kompressionskälteanlage kombiniertes zweikreisiges Kühlsystem. Luft, die über den Extrudern abgesaugt wird, wird über eine Biofilteranlage geführt, um geruchsneutralisiert an die Umgebung abgeführt zu werden. Als letzte Prozessschritte erfolgen die Verarbeitung zu Granulat in einer Schneidmaschine und die Verpackung in Säcke.

Beim Recycling von Kunststoffen ist Strom der dominierende Energieträger, in diesem Beispiel mit 85% am Gesamtenergieeinsatz. Erdgas wird lediglich zur Raumheizung und Brauchwassererwärmung eingesetzt.

In Abbildung 4-3 ist die Verteilung des Strombedarfs dargestellt. Demnach werden etwa 80% der elektrischen Energie direkt in den Produktionsanlagen und etwa 20% in den Nebenanlagen eingesetzt.

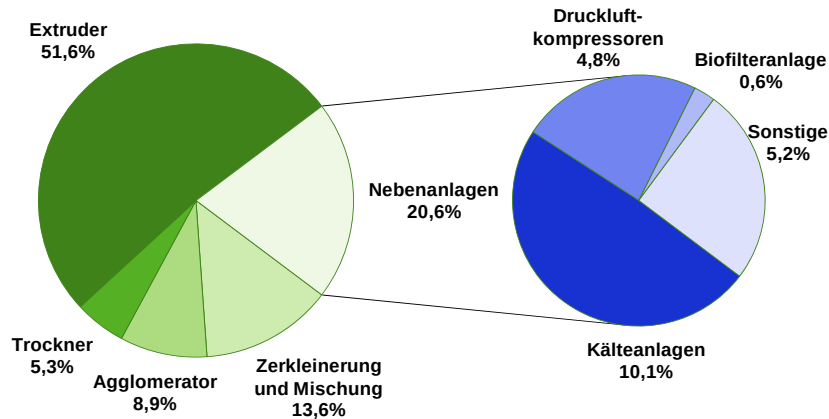


Abbildung 4-3: Stromverteilung im Betrieb (eigene Darstellung)

Im Rahmen der Energieanalyse konnten Schwachstellen aufgedeckt sowie Verbesserungsmaßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes aufgezeigt werden. Es wurden Maßnahmen erarbeitet, die bei vollständiger Umsetzung eine Kosteneinsparungen von etwa 38.000 €/a ermöglichen. Im Folgenden sind die wesentlichen Maßnahmen aufgeführt.

STROM(-KOSTEN)EINSPARUNG

Einsparpotenziale bezüglich des Stromeinsatzes konnten in den Bereichen Extrusion, Trocknung, Kälte- und Druckluftherzeugung aufgedeckt werden. Darüber hinaus wurde ein Einsparpotenzial durch die Absenkung der Stromspitzenlast erzielt.

Spitzenlastmanagement

Zur Einführung eines Spitzenlastmanagements werden abschaltbare Verbraucher benötigt. In dem hier untersuchten Betrieb sind die Vorbehandlungsanlagen, wie Mühlen und Mischer, besser geeignet als die Extruderlinien und die zugehörigen Trockenlufttrockner, deren Abschaltung großen Einfluss auf den Produktionsablauf haben würde. Darüber hinaus sind die Kälteanlagen geeignet. Insgesamt bieten diese Anlagen die Möglichkeit zur Senkung der Spitzenlast um 75 kW. Basierend auf dem Jahresleistungspreis von 60 €/kW ergibt sich ein Einsparpotenzial von 4.500 €/a.

Ein Lastoptimierungssystem inklusive der Anbindung der Verbraucher an das System erfordert eine Investition von etwa 9.000 €. Daraus ergibt sich eine statische Amortisationszeit von etwa 2 Jahren.

Extruderantriebe

Der Austausch des Gleichstrommotors gegen einen frequenzgeregelten Asynchronmotor bietet beim ineffizientesten Extruder ein Einsparpotenzial von etwa 2.200 €/a. Allerdings entstehen Kosten in Höhe von 15.800 € für Frequenzumrichter und Asynchronmotor, so dass die Rentabilität nur bei einer ohnehin anstehenden Ersatzinvestition gegeben ist.

Trockner

Einige Maßnahmen sind alleine aufgrund der kleinen Anlagengrößen nur als Ersatzinvestitionen wirtschaftlich umsetzbar. Dazu gehören alle Maßnahmen im Bereich der Trockenlufttrockner, wie die Umrüstung auf Erdgasbetrieb oder der Wechsel zu Infrarottrocknern. Durch diese Maßnahmen können jährliche Einsparungen von etwa 950 € bis 6.000 € erzielt werden. Die Nutzung der Abwärme der Regenerationsluft zur Beheizung des Trockenluftstromes ist prinzipiell möglich und wird bei größeren Anlagen angewendet.

Optimierung der Kältemaschinen

Kälte wird zur Regulierung der Temperatur in den Plastifiziereinheiten der Extruder, zur Kühlung des in den Extrudern erzeugten Produktstrangs sowie im Agglomerator benötigt.

Im Jahr 2005 wurden die alten Kältemaschinen ersetzt. Zuvor hatte jeder Extruder einen eigenen Kühlkreislauf. Die Kühlung erfolgte über vier Freikühler und eine Kompressionskälteanlage. Die Unterdimensionierung der Freikühler machte im Sommer die Zusatzkühlung mit Brunnenwasser erforderlich. Zuletzt wurden die Freikühler komplett durch die Brunnenwasserkühlung ersetzt.

Im neuen System sind vier Extruder an einen gemeinsamen Kühlkreislauf angeschlossen, der ganzjährig über einen ausreichend dimensionierten Freikühler rückgeköhlt wird. Ein Extruder und der Agglomerator, die ein niedrigeres Temperaturniveau benötigen, werden halbjährig über einen Freikühler, im Sommer über eine neue, effizientere Kompressionskältemaschine geköhlt. Insgesamt beträgt die Einsparung 13.300 €/a.

Drucklufterzeugung

Druckluft wird im untersuchten Betrieb im Wesentlichen zur manuellen Reinigung der Trockenlufttrockner, zur periodischen Filterabreinigung und zur Steuerung der Maschinen eingesetzt. Die Druckluft wird durch drei Kompressoren bereitgestellt. Das Druckluftnetz wird auf einem Druckniveau von 10 bar betrieben. Da mittlerweile die Silos, die dieses Druckniveau benötigten, nicht mehr in Betrieb sind, kann der Netzdruck auf 7,5 bar gesenkt werden. Dies führt zu einer jährlichen Einsparung von etwa 41 MWh Strom, entsprechend 3.000 €.

Durch die Beseitigung der im Druckluftnetz festgestellten Leckagen können etwa 6 MWh Strom bzw. etwa 320 € pro Jahr eingespart werden.

Die Kompressoren saugen wegen fehlender Zu- und Abluftkanäle warme Raumluft an. Je kühler die für die Verdichtung angesaugte Luft jedoch ist, umso geringer der Energieaufwand des Kompressors – gleichzeitig wird der Verschleiß der Kompressoren vermindert. Es ist daher zu empfehlen, kühle Außenluft (am besten von der Gebäude-Nordseite) anzusaugen. Die Installation von Außenluftzuführungen ist mit Kosten von etwa 1.700 € verbunden. Die Maßnahme bietet ein Einsparpotenzial von etwa 600 € pro Jahr und amortisiert sich somit in knapp drei Jahren.

Nutzung der Abwärme der Druckluftkompressoren

Zur Vortrocknung von tropfnassem ABS und ABS/PC Blends wird ein Schleifentrockner eingesetzt. Dabei wird Umgebungsluft angesaugt und das zu trocknende Gut über eine Zellenradschleuse in den Luftstrom eindosiert. Das Trockengut wird mittels des Luftstroms durch den schleifenförmig aufgebauten Trockner befördert. Die Materialfeuchte wird hier von etwa 3,4% auf durchschnittlich 0,5% reduziert. Derzeit wird der Trockner mit einem Durchsatz von 330 kg/h bis 410 kg/h betrieben.

Die Trockenluft kann durch die beim Betrieb der Kompressoren anfallende Abwärme vorgewärmt werden. Dies ermöglicht eine Steigerung des Trocknerdurchsatzes um etwa 200 kg/h. Daraus ergibt sich eine spezifische Einsparung von 17 kWh/t. Legt man die Ausbringungsmenge des Jahres 2005 zugrunde, resultiert eine jährliche Einsparung von etwa 1.300 €.

Ein Luftkanal als Verbindung zwischen Kompressorenbetriebsraum und Schleifentrockner erfordert eine Investition von etwa 1.600 €.

WÄRME (-KOSTEN)EINSPARUNG

Wärmerückgewinnung am Agglomerator

Der im Agglomerator entstehende Abwärmestrom von etwa 47 kW wird ungenutzt an die Umgebung abgeführt. Dieser kann nach dem Heißgranulator ausgekoppelt werden und steht dann je nach verarbeitetem Material auf einem Temperaturniveau von 60-80°C zur Verfügung. Eine Nutzungsmöglichkeit besteht in der Vorwärmung der Luft in den Trockenlufttrocknern.

Durch den Ersatz von Strom bei der Vorwärmung der Luft in den Trockenlufttrocknern wäre mit einem Wärmetauscherwirkungsgrad von 80% und einem Gleichzeitigkeitsfaktor von Erzeugung und Bedarf von 0,8 eine jährliche Einsparung von 6.800 € möglich.

WASSER(-KOSTEN)EINSPARUNG

Durch den Defekt einer Brunnenwasserpumpe entstanden innerhalb von drei Monaten zusätzlich Stadt- und Abwasserkosten in Höhe von 9.500 €.

Durch die regelmäßige und vorbeugende Wartung und Instandhaltung der Anlagen können solch hohe ausfallbedingte Folgekosten vermieden werden.

ALLGEMEINE MAßNAHMEN

Der Einbau von Unterzählern an geeigneten Stellen erhöht die Transparenz der Verteilung von Energie und Energiekosten innerhalb des Betriebs. Erst durch eine ausreichende Transparenz lassen sich Energiekosten wirkungsvoll und dauerhaft senken.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/O/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Lastspitzen im Strombezug → Installation eines Lastmanagementsystems	4.500	0	0	9.000	+
2	Gleichstrommotor als Extruderantrieb → im Ersatzfall gegen Asynchronmotor austauschen	2.200	79	18	15.800	+
3	elektrische betriebener Trockenlufttrockner → im Ersatzfall auf Erdgas betriebenen Trockner umsteigen	950	63	13	n.b.	O
4	elektrische betriebener Trockenlufttrockner → im Ersatzfall auf Infrarot-Trockner umsteigen	6.000	222	52	110.000	-
5	Kälteanlagen unterdimensioniert, Anteil der Freikühler ist gering → erhöhter Anteil der Freikühler, Kompressionskälteanlage mit verbesserter Effizienz	13.300	523	120	n.b.	+
6	Drucklufterzeugung auf 10 bar Niveau → Reduzierung auf 7,5 bar	3.000	111	25	1.000	+
7	Leckagen im Druckluftnetz → Reduzierung der Leckagemenge	320	16	4	0	+
8	Druckluftkompressoren saugen warme Abluft an → Ansaugung von Außenluft	600	32	8	1.700	+
9	Schleifentrockner arbeitet mit Umgebungsluft → Nutzung der Druckluftkompressorenabluft	1.300	48	10	1.600	+
10	Agglomeratorenabwärme ungenutzt → Vorwärmung der Luft in Trockenlufttrocknern	6.800	270	55	n.b.	O

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.2 Ersatzbrennstoffe

Die beiden untersuchten Betriebe verarbeiten Abfallstoffe zu Ersatzbrennstoffen. Diese können als Zufeuerung zu herkömmlichen Brennstoffen eingesetzt werden. Eine eigene Verwendung der Ersatzbrennstoffe findet nicht statt.

Die Verarbeitung der Abfallstoffe zu Ersatzbrennstoffen erfolgt primär durch mechanische Verfahren. Das Ausgangsmaterial liegt in trockener Form vor. Die Hauptaufgaben des Verarbeitungsprozesses liegen in der Erzeugung von passenden Korngrößen und Zusammenmischungen.

Die Korngröße bestimmt das Brennverhalten der Ersatzbrennstoffe. Die Zusammenmischung wird so gewählt, dass der Heizwert den Kundenanforderungen entspricht und Abgasgrenzwerte durch die Verbrennung der Ersatzbrennstoffe nicht überschritten werden.

Die Verarbeitungsschritte beginnen mit der Aufgabe der Materialien in die Verarbeitungsanlage. Dazu werden Radlader eingesetzt, die die Rohstoffe aus einem Lagerbereich entnehmen. Die verwerteten Abfälle sind meist Papier-, Kunststoff-, Holz- und Textilabfälle.

Das Rohmaterial wird über Dosierungsanlagen gleichmäßig auf die Transportbänder aufgegeben. Es erfolgt eine Abtrennung von Metallen sowie schweren Bestandteilen der Fraktion. Dazu werden Magnetabscheider und Windsichter eingesetzt. Die darauf folgenden Schritte haben die Aufgabe, die Fraktion gleichmäßig zu mischen und auf einheitliche Korngrößen zu verkleinern. Dies wird durch Shredder sowie Zyklone erledigt. Als Ergebnis dieser Verarbeitungsschritte entsteht ein vergleichsweise leichtes und weiches Material, das als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden kann. Das Endprodukt wird in Lagerhallen zwischengespeichert, bevor es per LKW zum Kunden gelangt.

Zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen wird primär elektrische Energie in den Verarbeitungsanlagen eingesetzt. Die Radlader zur Beschickung der Anlage benötigen Dieselkraftstoff. Trocknungsprozesse finden keine Anwendung. Lediglich einzelne Büroräume sind beheizt, teils mittels elektrischer Radiatoren, teils durch ein Warmwasser-Heizungsnetz.

Die Verarbeitungskapazität der Ersatzbrennstoffanlagen liegt zwischen 30.000-50.000 t/a. Der spezifische Einsatz an elektrischer Energie der Anlagen liegt zwischen 60 kWh/t und 172 kWh/t. Als Gründe für den weiten Bereich der Kennzahl für den spezifischen Energieeinsatz sind zum einen die deutlichen Unterschiede in der Anlagentechnik zwischen den einzelnen Betrieben zu nennen und zum anderen die weite Streubreite der Art der Rohstoffe. Die Untersuchungen zeigten, dass innerhalb eines Betriebes die jährliche Schwankung des spezifischen Energieeinsatzes von 10-25% durch die Art der Rohstoffe bestimmt sind.

Durch die Energieanalyse konnten Möglichkeiten zur Energieeinsparung aufgedeckt werden. Insgesamt wurde ein Einsparpotenzial von pro Betrieb von 7.500-10.500 € aufgedeckt.

STROM(-KOSTEN)EINSPARUNG

Elektrische Antriebe

Generell ist der Einsatz von Energieeffizienzmotoren im Bereich der Antriebe für die Maschine empfehlenswert. Die Umstellung von normalen Antrieben auf energieeffiziente Antriebe ist technisch kein

Problem, weil EFF1-Motoren baulich und hinsichtlich Ansteuerung identisch zu herkömmlichen Motoren sind.

Der Austausch von funktionierenden Aggregaten gegen EFF1-Typen erfüllt meistens die Kapitalrücklaufvorgaben nicht. Die Amortisationszeit der Mehrinvestition gegenüber herkömmlichen Motoren liegt dagegen im allgemeinen unter 1,5 Jahren.

Druckluftherzeugung

Druckluft wird für viele Anlagen zur pneumatischen Steuerung und Schaltung verwendet. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Reinigung von Filterelementen durch Druckluft. Bei den untersuchten Betrieben wird die Druckluft durch Schraubenkompressoren erzeugt. Für den Einsatz als Steuerluft ist meist ein Druckniveau von etwa 6 bar ausreichend. Bei der Reinigung von Filtern und Filteranlagen gibt es einen weiteren Schwankungsbereich, von etwa 4 bar bis hin zu 8 bar. Untersuchungen zeigten jedoch, dass sich die Reinigung der Filteranlagen meist auch mit geringeren Drücken als spezifiziert durchführen lässt. Daher wurde die Absenkung des Netzdrucks empfohlen und von den untersuchten Betrieben vorgenommen. Durch diese einfache Maßnahme konnten Einsparungen von bis zu 16% der Stromkosten für Druckluft erreicht werden.

WÄRME (-KOSTEN)EINSPARUNG

Kompressorenabwärme

Bei einem der Betriebe kann darüber hinaus die Abwärme der Kompressoren zur Beheizung eines anliegenden Gebäudes während der Heizperiode genutzt werden. Durch die Kompressoren steht eine Heizleistung von 42 kW zur Verfügung, von der maximal 30 kW im angrenzenden Gebäude genutzt werden können.

FÖRDERFAHRZEUGE

Bereifung

Radlader sind in den untersuchten Betrieben mit Reifen ausgestattet, deren Profil für Geländetypen wie z.B. Steinbrüche und Baustellen ausgelegt ist. Das relative grobe und weiche Profil erlaubt in diesen Umgebungen einen sicheren Betrieb der Radlader.

Im Recyclingbereich werden die Radlader dagegen ausschließlich auf befestigtem Untergrund (asphaltiert, betoniert, usw.) betrieben. Das Profil der Reifen kann in dieser Umgebung durchaus gering ausgeprägt sein, ohne die Traktionseigenschaften zu beeinträchtigen. Durch andere Reifen kann der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge reduziert werden. Seitens der Reifenhersteller lagen keine genauen Angaben zu den erzielbaren Kraftstoffeinsparungen vor. Es ist plausibel, analog zu der Verbrauchssenkung durch Nutzung von Sommerreifen im Vergleich zu Winterreifen, einen ähnlichen Effekt zu erwarten. Bei der Umsetzung dieser Maßnahme ist lediglich sicherzustellen, dass die Reifen mit geringem Profil gleichen Schutz gegen Beschädigungen gewährleisten wie herkömmlich profilierte Reifen. Denkbar sind hier beispielsweise aufgeschäumte Reifen, die gegen Beschädigungen wie Durchstechen unempfindlich sind.

Eine weitere Einsparung kann durch den Einsatz schmalere Reifen – beispielsweise 17,5" anstelle von 20,5" Reifen erzielt werden. Auch hier ist individuell zu prüfen, ob durch die schmalere Pneu eine ausreichende Traktion gesichert ist. Bei der Umschichtung von

Ersatzbrennstoffen (geringes Gewicht und Widerstand) ist dieser Aspekt unkritisch.

Gegengewichte

Ersatzbrennstoffe zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass sie eine geringe Dichte haben. Förderfahrzeuge, wie z.B. Radlader sind für einen weiten Bereich an Lasten ausgelegt. Diese Auslegung betrifft sowohl die Hydraulik als auch die Ausrüstung der Fahrzeuge mit Gegengewichten, um die Stabilität beim Heben von Lasten zu sichern. An beiden Punkten sind Energieeinsparungen möglich.

Der Einsatz von Gegengewichten sollte nur dann erfolgen, wenn von entsprechend schweren Hebelasten ausgegangen werden kann. Im Bereich Ersatzbrennstoffe war das bei den untersuchten Betrieben nicht der Fall. Auf den Einsatz von Gegengewichten kann verzichtet werden. Je nach Fahrzeugtyp ist die Montage unterschiedlich aufwendig. Bei Anschaffung von Fahrzeugen sollte auf die Möglichkeit zur leichten Montage und Demontage von Gegengewichten geachtet werden.

Hydraulikauslegung

Die Hydraulik der Radlader arbeitet bei der Beförderung von Ersatzbrennstoffen bei geringer Auslastung. Verschiedene Hersteller bieten die Ausrüstung ihrer Fahrzeuge mit modernen Hydrauliksystemen an, die auch für geringe Lasten optimiert sind. Die Regelung der Hydraulik ist so ausgeführt, dass auch bei geringen Lasten ein möglichst effizienter Betriebspunkt genutzt wird, bei dem vor allem Leerlaufverluste reduziert werden. Ein Einsatz dieser Technik ist nur bei Neukauf eines Radlader möglich, eine Nachrüstung ist finanziell nicht lohnend.

Antrieb

Bei der Neuanschaffung von Radlader sollte der Einsatz von Hybridfahrzeugen in Erwägung gezogen werden. Verbrennungsmotoren weisen in Abhängigkeit von Drehzahl und Last starke Wirkungsgradschwankungen auf. Beim Hybridantrieb werden Elektro- und Verbrennungsmotor in Kombination so eingesetzt, dass insgesamt ein besserer Wirkungsgrad erzielt werden kann. Mit dieser Technik sind laut Herstellerangaben Einsparungen von etwa 20% der Kraftstoffkosten möglich.

ALLGEMEINE MAßNAHMEN

Trockensprinkleranlage in ungeheizten Bereichen

Die Betriebs- und Lagerhallen der untersuchten Betriebe sind teilweise mit Nasssprinkleranlagen ausgerüstet. Damit diese Anlagen auch bei niedrigen Temperaturen arbeiten, werden entsprechende Hallenbereiche beheizt, mit dem Ziel, unter der Hallendecke im Bereich der Sprinkleranlagen eine geforderte minimale Temperatur einzuhalten.

Alternativ zu den Nasssprinkleranlagen lassen sich Trockensprinkleranlagen einsetzen. Bei diesen Anlagen steht kein Wasser in den Rohrleitungen und eine Beheizung ist nicht notwendig. Allerdings ist bei den Leitungen ein Gefälle zwingend erforderlich, um sicherzustellen, dass sich kein Wasser in den Rohrleitungen befindet.

Weiterhin ist der Einsatz von Trockensprinkleranlagen mit der Versicherung abzustimmen und genehmigen zu lassen. Durch diese Umstellung können Heizkosten reduziert werden. Bei den untersuchten Betrieben steht das Ergebnis der Abstimmung mit den Versicherungen noch aus.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer). Die Maßnahmen betreffend der Radlader wurden nicht quantifiziert, weil keine ausreichenden Vergleichsdaten durch die Betreiber verfügbar waren. Die Machbarkeit der Einsparpotenziale wurde v. a. durch Gespräche mit Herstellern überprüft.

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/O/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Einsatz normaler Elektromotoren → Umstellung auf EFF1 Elektromotoren	2.600	72	17	7.000	+
2	Druckluftniveau bei über 8 bar → Absenkung des Druckniveaus auf 6,5 bar	24.800	85	20	0	+
3	Kompressorenabwärme ungenutzt → Beheizung des angrenzenden Gebäudes	1.500	45	9	3.000	o
4	Grob profilierte und breite Bereifung → Schmale und gering profilierte Reifen	n.b.	n.b.	n.b.	2.400	+
5	Gegengewichte immer montiert → Gegengewichte passend zur Last auswählen	n.b.	n.b.	n.b.	0	o
6	Konventionelle Verbrennungsantriebe → Hybridantriebe mit optimiertem Betriebsverhalten	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	o
7	Nasssprinkleranlage wird beheizt → unbeheizte Trockensprinkleranlage	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	o

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.3 Siedlungsabfälle

Am untersuchten Standort werden Gewerbeabfall, Sperrmüll und Restmüll entsorgt. Auf dem Betriebsgelände befinden sich mehrere Hallen, die durch geschlossene Förderanlagen miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht eine stoffspezifische Weiterbehandlung bzw. Weiterleitung der Abfälle.

Nach der Anlieferung des Sperrmülls erfolgt eine Grobsortierung und Zerkleinerung. Im ersten Schritt der Grobsortierung werden Eisenmetalle mit Hilfe eines Magnetscheiders aussortiert. Der weitere Stoffstrom wird durch Siebmaschinen geleitet, in denen kleinere Stücke aussortiert und der Holzverladung zugeführt werden. Kunststoffe werden mittels eines NIR-Trenners (Nahinfrarot) aussortiert und zur Gewerbeabfallhalle transportiert. Bevor der verbleibende Sperrmüllstrom der Holzverladung zugeführt wird, werden die übrigen Metalle mittels eines Bandrollenmagnetscheiders und eines Wirbelstromscheiders aussortiert.

Die mehrstufige Aufbereitung des Gewerbeabfalls beginnt ebenfalls mit einer Grobsortierung und Zerkleinerung. Nach einer Größen-Vorsortierung mittels Trommelsieben werden die Stoffströme mittels Windsichtern in Leicht- und Schwergut getrennt. Kleinere Stücke werden direkt der Feinkorn-Verladung zugeführt. Größere Leichtgut-Stücke werden zunächst zerkleinert und dann mit dem übrigen Leichtgut in Trommelmagneten weiter sortiert und schließlich dem Ersatzbrennstoff(EBS)-Lager zugeführt. Aus dem Schwergut werden Eisenmetalle in Magnetabscheidern abgeschieden. Anschließend werden die übrigen Nichteisenmetalle (NE-Metalle) in Wirbelstromscheider aussortiert, bevor NIR-Trenner den Stoffstrom in einen Holz- und einen Störstoffstrom trennen. Schließlich werden die NE-Metalle, der Holzstrom sowie die Störstoffe separat verladen und abtransportiert.

In der Müllumladestation werden die Restmüll-Sammelfahrzeuge entladen. Der Abtransport erfolgt mit Walking-Floor-LKW.

Etwa zwei Drittel der betrieblichen Energiekosten entfallen auf den Strombezug, 30% werden durch Dieselmotorkraftstoff und 2% durch Propan (Heizzwecke) verursacht (s. Abbildung 4-4).

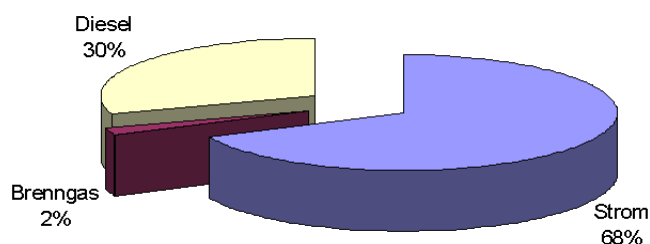


Abbildung 4-4: Energiekostenverteilung (eigene Darstellung)

Die Analyse der elektrischen Verbraucher ergab die in den folgenden Abbildungen dargestellte Verteilung der Leistungsaufnahme auf die verschiedenen Betriebsbereiche (Abbildung 4-5) bzw. Anlagen/Verbrauchergruppen (Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7).

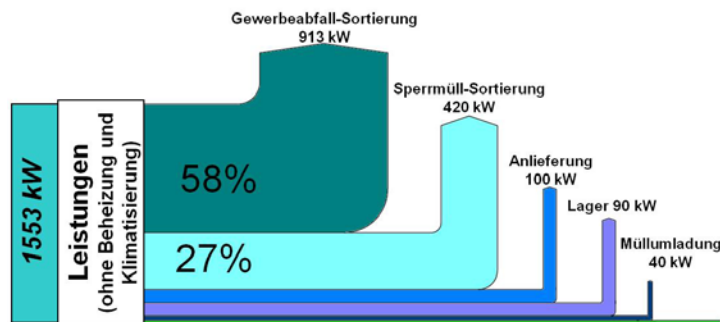


Abbildung 4-5: Stromverteilung im Betrieb (eigene Darstellung)

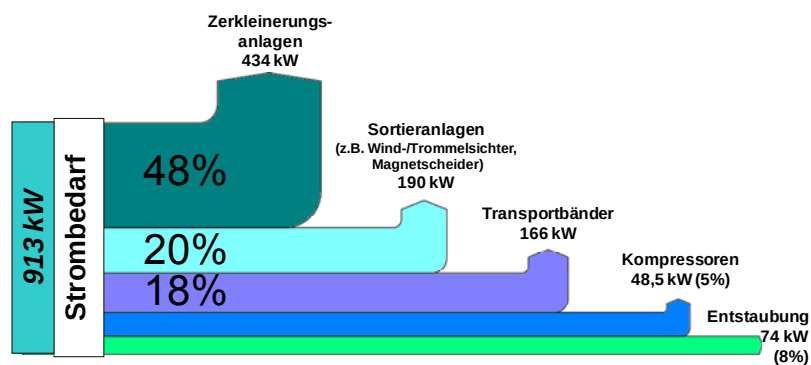


Abbildung 4-6: Stromverteilung Gewerbeabfallhalle (eigene Darstellung)

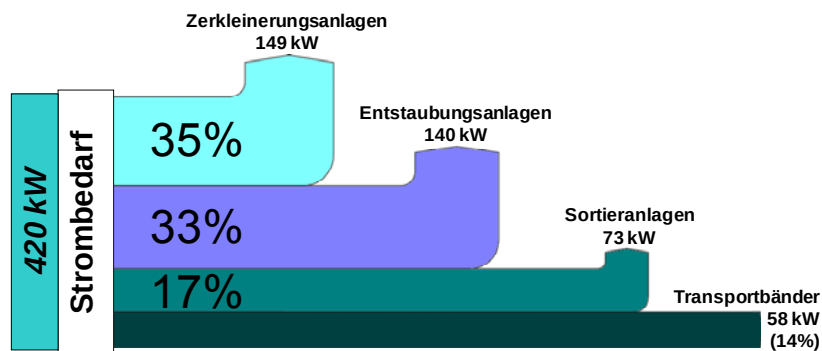


Abbildung 4-7: Stromverteilung Sperrmüllhalle (eigene Darstellung)

Wie zu erwarten, erweisen sich die Zerkleinerungsanlagen als größte elektrische Verbraucher gefolgt von Sortieranlagen und Transporteinrichtungen.

STROM (-KOSTEN)EINSPARUNG

Druckluftzeugung

Das Druckluftnetz wird mit einem Netzdruck von 9 bar betrieben. Für die angeschlossenen Verbraucher ist jedoch ein Druckniveau von 7 bar ausreichend.

Die Senkung des Netzdruckes um 1 bar bietet ein Energieeinsparpotenzial von etwa 6%. Im vorliegenden Fall ergibt sich eine jährliche Kosteneinsparung von 900 €.

Kompressorenabwärme

Die Druckluftbereitstellung erfolgt mittels zweier baugleicher Kompressoren (75 kW; 11,9 m³/min) auf einem Überdruckniveau von 9 bar. Die Druckluftproduktion wird nicht erfasst. Nach Aussage des Personals und eigenen Erfahrungen während der Messkampagne befinden sich beide Kompressoren nie gleichzeitig im Druckaufbaubetrieb, sie arbeiten jedoch durchgängig mindestens im Druckhaltebetrieb. Die elektrische Antriebsleistung für diesen Betriebszustand liegt bei 17,1 kW. Die in den Kompressoren der Gewerbeabfallhalle entstehende Abwärme wird ungenutzt an die Umgebung abgeführt. Es wird empfohlen, diese Abwärme zur Raumbeheizung zu nutzen.

Für die direkte Abluftnutzung muss ein Luftkanal zwischen Kompressor und den zu beheizenden Räumlichkeiten bzw. der Umgebung installiert werden. So kann die Kompressorabwärme während der Heizzeit zu Heizzwecken genutzt und im Sommer an die Umgebung abgeführt werden. Nach Aussage des Kompressoren-Herstellers Kaeser steht im Druckhaltebetrieb eine nutzbare Wärmeleistung in Form der Abluft der beiden Kompressoren in Höhe von 16 kW je Kompressor zur Verfügung. Diese Abluft besitzt eine Restpression von 60 Pa, welche für einen Transport der Luft entlang eines etwa 60 m langen, geraden Kanals ausreicht. Demnach wird kein zusätzlicher Ventilator nötig sein. Die Installationskosten belaufen sich im konkreten Fall auf etwa 1.500 €. Bei Investitionen in Höhe von 1.500 € zur Installation der Wärmerückgewinnung zur direkten Abluftnutzung ergibt sich eine Amortisationszeit von 2,3 Jahren.

Im Falle einer indirekten Abluftwärmenutzung muss der Kompressor mit einem Wärmetauscher ausgestattet werden. Ferner muss ein Heizwassersystem inklusive einer Netzpumpe und ggf. einem Wasserspeicher samt Zusatzheizung installiert werden. Der grundsätzliche Vorteil dieser Alternative liegt darin, dass mit einem solchen Heizsystem neben dem Raumwärmebedarf auch der Bedarf an Warmwasser gedeckt werden kann. Neben den erhöhten Investitionen zur Installation eines solchen Systems – allein die Installation eines Wärmetauschers führt zu Investitionen in Höhe von ca. 5.000 € – und den erhöhten Betriebskosten durch Betrieb der Netzpumpe liegt ein weiterer Nachteil darin, dass wegen der Wärmeübertragung von der Abluft auf das Heizwasser im Druckhaltebetrieb nur 12 kW und nicht wie im Falle der direkten Abluftnutzung 16 kW Abwärme je Kompressor zu Verfügung stehen.

Der Jahreswärmebedarf zur Beheizung der Schaltwarte inklusiver angeschlossener Waschräume, WCs und des Aufenthaltsraums sowie der sich unter diesen Räumen befindlichen Werkstatt wird nach VDI 2067 abgeschätzt. Die inneren Wärmequellen (7 Computer, 4 Flach- und 3 Röhrenmonitore sowie ein Kaltgetränke-Automat) erbringen in der Heizzeit eines Jahres bereits 9,6 MWh. Damit ergibt sich ein zu deckender Jahreswärmebedarf von 6,8 MWh/a. Dieser wird vollständig von elektrischen Heizkonvektoren gedeckt. Der Normwärmestrom wird nach DIN 4701 zu 6 kW abgeschätzt.

Die Wärmeleistung der Abluft der Kompressoren ist zu jedem Zeitpunkt eines Jahres größer als der Normwärmestrom der zu beheizenden Räume. Somit reicht die von einem Kompressor produzierte Wärmemenge aus um die betrachteten Räumlichkeiten mittels der direkten Abluftnutzung zu beheizen.

Bei einem zu deckenden Jahreswärmebedarf von 6,8 MWh/a ergibt sich mit einem Strompreises von 95,5 €/MWh eine Kostenersparnis in Höhe

von 650 €/a bei Heizung mittels der Kompressorabwärme. Der Warmwasserbedarf ist im betrachteten Betrieb zu niedrig, als dass die indirekte Abluftnutzung zu empfehlen ist.

Spitzenlastmanagement

Die Analyse der Lastgangdaten ergibt für das erste Halbjahr 2006 die in Abbildung 4-8 dargestellte Dauerlinie. Es sind deutlich ausgeprägte Lastspitzen über 1,4 MW zu erkennen, die nur während insgesamt 2% der Produktionszeit auftreten. Die auftretenden Lastspitzen entstehen zu verschiedenen Zeiten und es können keine regelmäßigen Verursacher identifiziert werden.

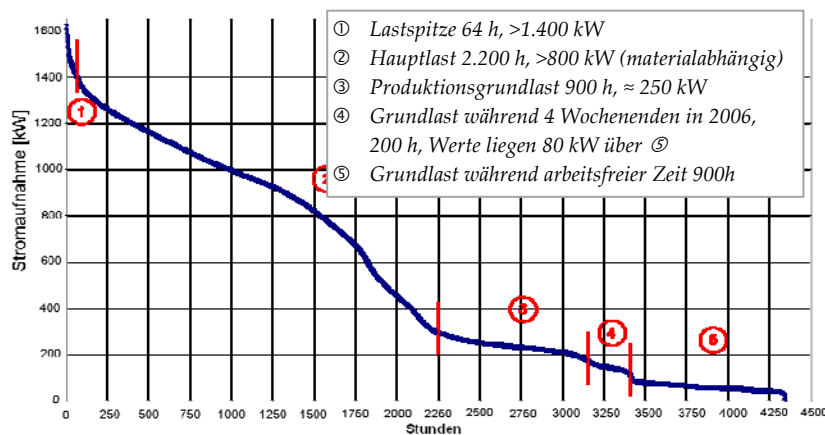


Abbildung 4-8: Dauerlinie 2006, 1. Halbjahr (eigene Darstellung)

Durch ein Lastmanagementsystem kann die Spitzenleistung reduziert werden. Um ein Spitzenlastmanagement umzusetzen, werden stets abschaltbare Verbraucher benötigt. Prinzipiell sind z.B. die Nachzerkleinerer der Gewerbeabfallbehandlung zeitweise abschaltbar.

Mit einem Jahresleistungspreis von 9 €/kW führt eine Spitzenlastsenkung um 200 kW zu einer jährlichen Kostenersparnis von 1.800 €. Ein Lastmanagementsystem inklusive der Anbindung der ausgewählten Verbraucher erfordert eine Investition von etwa 7.000 €, zuzüglich ergeben sich Kosten in einer Höhe von 2.000 € für Installation und Inbetriebnahme.

Grundlastreduzierung

Die Analyse des betrieblichen Lastgangs zeigte deutliche Unterschiede der elektrischen Grundlast. So betrug diese im Februar in der arbeitsfreien Zeit (Wochenende) tagsüber 70 kW, nachts 85 kW. Die Differenz von 15 kW ist auf die Außenbeleuchtung zurückzuführen. Es wurden aber auch wiederholt Werte von 45 kW/60 kW erreicht. Vereinzelt stieg die Wochenendgrundlast aber auch auf Werte um 140 kW (s. Abbildung 4-9). Es ist anzunehmen, dass ein Großteil dieser Grundlastschwankungen durch das Nicht-Abschalten von Produktionsanlagen verursacht wird.

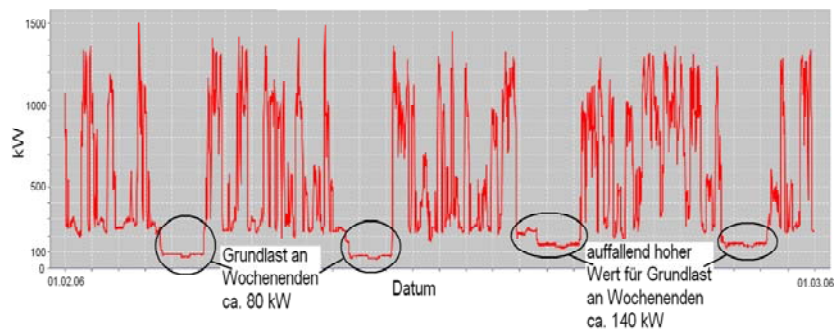


Abbildung 4-9: Lastgang Februar 2006 (eigene Darstellung)

Das Einsparpotenzial durch Grundlastreduzierung beträgt etwa 40 MWh/a bzw. 3.800 €/a. Die Maßnahme ist ohne nennenswerte Investitionen (ggf. Zeitschaltuhr etc.) umsetzbar.

Nutzerverhalten

Die Beheizung und Klimatisierung (Kühlung) von Räumlichkeiten wie der Schaltwarte, den Pausenräume und des Verwaltungsgebäudes werden dezentral über Thermostate geregelt. Während der Messkampagne im Sommer 2006 waren einige der Thermostate der Klimaanlage auf eine Solltemperatur von 18°C eingestellt (Beispiel Kranführerzentrale), Türen zu den entsprechenden Räumen standen teilweise offen, und die Mitarbeiter in den Räumen trugen Jacken.

Eine vernünftige Temperaturregelung sowie das Schließen der Türen und Fenster sollte angestrebt werden, um unnötigen Energieeinsatz zu vermeiden. An heißen Sommertagen wird im Allgemeinen vorgeschlagen, die Räumlichkeiten auf 26°C zu klimatisieren. In kalten Wintermonaten sollten die Räumlichkeiten auf 21°C beheizt werden. Weiterhin sollten die Heizkonvektoren nicht auf voller Leistungsstufe, sondern in der niedrigsten oder mittleren Stufe, benutzt werden. Türen sollten geschlossen gehalten werden. Die Einsparung wurde nicht berechnet.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/0/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Druckluftherzeugung auf 9 bar Niveau → Reduzierung auf 7 bar	900	26	6	0	+
2	Kompressorenabwärme ungenutzt → Beheizung des angrenzenden Gebäudes	650	18	4	1.500	+
3	Lastspitzen im Strombezug → Installation eines Lastmanagementsystems	1.800	0	0	9.000	o
4	Schwankende Grundlastbezüge → Produktionsanlagen bedarfsgerecht schalten	3.800	108	25	0	+

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.4 Altpapier

Der untersuchte Standort eines Recyclingunternehmens für gewerbliche und kommunale Abfälle ist auf das Recycling von Altpapier und Pappe spezialisiert. Ein Großteil der angelieferten Rohstoffe wird direkt vor Ort in hochwertige gefärbte Papiere und Spezialkartons weiterverarbeitet. Der kleine Teil der Papiere und Pappen, der sich nicht in der aktuellen Produktpalette wiederverwenden lässt, wird in einer Ballenpresse verpresst und weiterverkauft. Am Standort des mittelständischen Unternehmens arbeiten etwa 80 Mitarbeiter, hiervon etwa 55 Mitarbeiter in der Papier- und Kartonproduktion, 20 im Fuhrpark sowie fünf bei der Sortierung und Verpressung der Papier- und Kartonballen.

Pro Jahr werden etwa 45.000 t Altpapier recycelt sowie etwa 10.000 t zu Ballen verpresst. Der überwiegende Anteil des recycelten Altpapiers ist Mischpapier und Restpapier aus Kaufhäusern, aber auch Tetra-Paks und DSD-Verbunde können in der Anlage aufbereitet werden, so dass der Papierfaseranteil in der Kartonproduktion weiterverwendet werden kann. Die Bestandteile aus dem „gelben Sack“ machen etwa 25% der Gesamtrohstoffe aus. Die separierten Folienanteile werden ebenfalls gesammelt und in der Ballenpresse verpresst.

Im Folgenden sind einige der identifizierten Maßnahmen aufgeführt, die zu einer deutlichen Reduktion des betrieblichen Energieeinsatzes bzw. der Energiekosten führen.

STROM(KOSTEN-)EINSPARUNG

In Abbildung 4-10 ist die Verteilung des Strombedarfs dargestellt. Demnach wird gut ein Drittel des Stromes für die Aufbereitungsanlagen eingesetzt. Weiterhin wird über die Hälfte des Stromes von den Produktionsmaschinen benötigt, wobei die etwas größere Kartonmaschine etwa ein Drittel mehr Strom benötigt als die Papiermaschine.

Die in den Bereichen energieeffiziente Antriebe, Anlagensteuerung und Auslegung der Vakuumpumpen sowie Druckluftherzeugung und –verteilung identifizierten Einsparpotenziale entsprechen insgesamt etwa 7% des Stromeinsatzes am Standort.

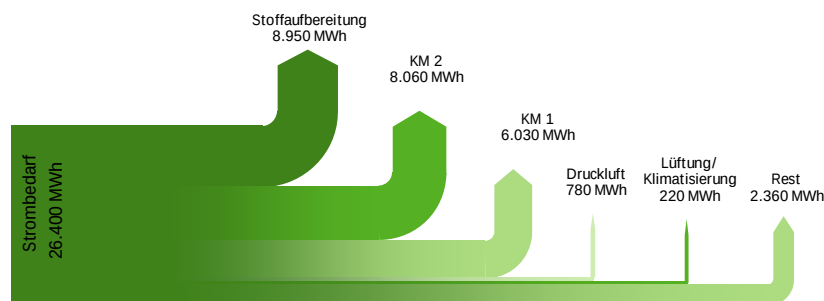


Abbildung 4-10: Verteilung des Stromeinsatzes (eigene Darstellung)

Vakuumpumpen

Zur Vakuumerzeugung werden überwiegend Wasserringpumpen eingesetzt, von denen etwa die Hälfte mit geringem Unterdruck (< 500 mbar) arbeiten und aus technischer Sicht durch effiziente Drehkolbengebläse mit einer deutlich geringeren spezifischen Leistungsaufnahme ersetzt werden könnten. Die Messung der Stromaufnahme im

Betrieb ergab zudem, dass die Motoren aller Pumpen teilweise stark überdimensioniert waren, vgl. Tabelle 4-1. Hierdurch entstehen zusätzliche Verluste aufgrund der geringen Motorwirkungsgrade im Teillastbereich (in Summe rd. 15 MWh/a).

Tabelle 4-1: Übersicht Drehkolbengebläse

Nr.	Einsatzfeld	installierte Leistung WRP*	Leistungs-aufnahme WRP**	Leistungs-aufnahme DKB **	Differenz
1	Filze I	200 kW	120 kW	72 kW	48 kW
2	Filze II	140 kW	80 kW	58 kW	22 kW
3	Siebpartie	90 kW	75 kW	58 kW	17 kW
4	Siebpartie	65 kW	40 kW	25 kW	15 kW

* WRP: Wasserringpumpe

** Leistungsaufnahme gemessen im Produktionsbetrieb

*** DKG: Drehkolbengebläse, Auslegungspunkt lt. Angebot

Durch die geringere Leistungsaufnahme der Drehkolbengebläse können über 800 MWh/a eingespart werden, s. Tabelle 4-2 Die Amortisationszeit für den Austausch der Anlagen beträgt etwas mehr als zwei Jahre.

Tabelle 4-2: Einsparung durch den Einsatz von Drehkolbengebläsen

Nr.	Einsparung (8.000 h/a)	Einsparung Energiekosten	Investition	Amortisation (statisch)
1	384 MWh/a	24.960 €/a	41.000 €/a	1,6 a
2	176 MWh/a	11.440 €/a	27.000 €/a	2,5 a
3	136 MWh/a	8.840 €/a	27.000 €/a	3,1 a
4	120 MWh/a	7.800 €/a	22.000 €/a	2,8 a
Summe	816 MWh/a	53.000 €/a	rd.125.000 €/a*	2,2 a

* Investitionen inkl. der Kosten für einen Wasserabscheider

Drehkolbengebläse haben bauartbedingt einen wesentlich größeren Platzbedarf als Vakuumpumpen. Die Eignung dieser Maßnahme ist daher von den Randbedingungen vor Ort abhängig und muss im Einzelfall genau geprüft werden.

Bei unplanmäßigen Stillständen der Kartonmaschinen werden die Vakuumpumpen (Presspartien) nicht abgeschaltet. Bei Abrissen, die nicht binnen weniger Minuten behoben werden können, sollten die Vakuumpumpen der Presspartie automatisch abgeschaltet werden. Eine nachzurüstende einfache Anlagensteuerung (rd. 4.000-7.000 €) sorgt für eine automatische Einschaltung der Pumpen, sobald die Papierbahn die Presspartie wieder passiert. Die erzielbare Einsparung wurde im vorliegenden Fall zu etwa 65 MWh/a ermittelt. Die statische Amortisationszeit der Maßnahmen beträgt damit zwischen ein und zwei Jahren.

Elektrische Antriebe

Die leistungsstarken Elektromotoren der Aufbereitungsanlagen Pulper, Fibersorter, Refiner und Entstipper (90-250 kW) entsprechen der niedrigsten Energieeffizienzklasse EFF3. Insgesamt ergibt sich allein bei den Aufbereitungsanlagen ein Einsparpotenzial von über 30 MWh/a bzw. 2.000 €/a. Hinzu kommen die Vorteile der längeren Wartungsintervalle und damit geringeren Wartungskosten sowie die insgesamt zu erwartende längere Lebensdauer der Energieeffizienz-Motoren. Langfristig sollten die EFF3-Motoren daher gegen EFF1-Motoren ausgetauscht werden (z.B. bei Austausch eines Motors).

Die Mehrinvestitionen für EFF1-Motoren betragen je nach Motorgröße zwischen wenigen hundert und mehreren Tausend Euro. Die statische Amortisationszeit dieser Mehrinvestitionen beträgt durchschnittlich etwa 5 Jahre, reduziert sich jedoch bei kleineren Motoren auf unter zwei Jahre, da bei diesen eine prozentual größere Effizienzsteigerung erzielt wird als bei größeren Motoren. Prinzipiell ist ein Wechsel daher insbesondere bei kleineren Aggregaten (unter 100 kW) empfehlenswert, z.B. bei Wasserpumpen, die ebenfalls häufig eine hohe Betriebsdauer aufweisen.

Drucklufterzeugung

Zum Betrieb diverser Ventile und Schieber, für die Rollenschneider sowie für die Steuer- und Regeltechnik wird 6 bar Druckluft benötigt. Ein moderner, frequenz geregelter Kompressor (Baujahr 2006) liefert etwa 10 m³/min Druckluft auf einem Druckniveau von 8 bar. Die Verteilung der Druckluft erfolgt in einem Ringnetz, dessen Druckverlust aufgrund ungünstiger Leistungsabschnitte (Rohrverengungen, mehrfache 90°-Winkel) mit 1,5 bar verhältnismäßig hoch ist.

Die Leckageverluste des Druckluftsystems wurden bei Produktionsstillstand zu 3,2 m³/h ermittelt und betragen damit über 30% der Liefermenge. Beim Rundgang während des Produktionsstillstandes konnten mehrere größere Leckagen ermittelt werden, die zumeist auf alte, poröse Schläuche und fehlende Schlauchschellen zurückzuführen waren. Insgesamt erscheint im untersuchten Betrieb eine Reduzierung der Leckagen auf 15% wirtschaftlich möglich. Mit einer spezifischen Leistungsaufnahme des Kompressors von 0,093 kWh/m³ bei 8 bar ist eine Einsparung von etwa 70 MWh/a bzw. etwa 4.550 €/a erzielbar.

Blindstromkompensation

Die Ballenpresse bezieht ihren Strom über einen separaten Trafo und besitzt einen eigenen Stromzähler. Durch die Art der Nutzung der Presse (häufige Leerlaufzeiten und ungünstige Arbeitspunkte) entsteht ein erheblicher Blindstromanteil ($\cos \rho = 0,72$), der mit 780 €/a vom Versorger in Rechnung gestellt wird.

Um die Blindarbeit zu reduzieren, empfiehlt sich eine Blindstromkompensationsanlage. Dadurch könnten die Blindarbeitskosten vollständig eingespart werden. Laut Hersteller belaufen sich die Kosten für die Nachrüstung der Blindstromkompensation auf etwa 500 € zzgl. Montagekosten vor Ort. Die Maßnahme rechnet sich somit bereits im ersten Jahr.

WÄRME(KOSTEN-)EINSPARUNG

Effiziente Dampfblaskästen

Zur Erwärmung der Papier- und Kartonbahnen in der Presspartie von 40°C auf etwa 70°C werden Dampfblaskästen eingesetzt, in denen die Bahnen von oben bedampft werden. Der Dampfbedarf beträgt etwa 3 t/h für alle sechs Dampfblaskästen. Trotz der installierten Absaugung geben die Kästen erhebliche Dampfmenen in die Halle ab. Die Dampfverluste der Dampfblaskästen der Kartonmaschine betragen annähernd 50%, die der Papiermaschine etwa 35%. Stand der Technik sind hingegen Dampfverluste von 10% sowie – bei den hier vorliegenden Papierstärken/Stoffgewichten – die beidseitige Bedampfung (was ebenfalls zu einer Effizienzsteigerung führt).

Im Ergebnis könnten die bestehenden sechs Dampfblaskästen durch je einen neuen, effizienten Dampfblaskasten pro Maschine ersetzt werden. Der vom Hersteller berechnete Dampfbedarf der neuen Dampfblas-

kästen beträgt für die Papiermaschine etwa 0,75 t/h und für die Kartonmaschine etwa 0,95 t/h. Der Gesamtdampfbedarf der neuen Dampfblaskästen ist damit um 1,3 t/h niedriger als der der bestehenden Anlagen. Dies entspricht einer Dampfeinsparung von gut 40%. Bei jährlich über 7.600 Produktionsstunden und einem DampfpPreis von rd. 37 €/t entspricht dies einer jährlichen Einsparung von knapp 10.000 t/a Dampf bzw. etwa 365.000 €/a. Die Kosteneinsparung erhöht sich mit steigender Produktionsstundenzahl bzw. steigenden DampfpPreisen.

Die Investitionen für die neuen Dampfblaskästen inkl. der Installation wurden vom Hersteller mit je 118.000 € veranschlagt. Damit ergibt sich eine statische Amortisationszeit des Maßnahmenpakets von acht Monaten.

Verbesserte Wärmeintegration

Die Trockenhauben der Papier- und Kartonmaschinen besitzen eine Wärmerückgewinnung. Bei der Papiermaschine wird die rückgewonnene Wärme wieder vollständig der Trockenhaube zugeführt. Ein Teil des Abluftstroms der Kartonmaschine wird im Winter und in den Übergangszeiten zur Erwärmung der Hallenzuluft genutzt.

Die Zuluft zu den Trockenhauben sollte möglichst warm und trocken sein. Die Ansaugung der Trockenhaubenzuluft der Kartonmaschine befindet sich jedoch in der Siebpartie der Maschine (Stoffauftrag), die Ansaugung der Papiermaschine erfolgt in den Dachhauben des Hallendachs, in denen sich die warme, aber sehr feuchte Hallenluft sammelt. Auch produktionsbedingt ergeben sich bei dieser Verschaltung zahlreiche Abhängigkeiten zwischen Hauben- und Hallenklimateuerung (siehe Abbildung 4-11).

Die innerhalb der Halle angesaugte Trockenluft ist zwar deutlich wärmer als Frischluft, besitzt aber aufgrund ihrer hohen absoluten und relativen Feuchte nur eine geringe Wasseraufnahmekapazität. Zudem sind zur Erwärmung dieses Wassers im Zuluftstrom beträchtliche Energiemengen notwendig. Die Verwendung der Hallenluft als Trockenhaubenzuluft erweist sich daher als ungünstig.

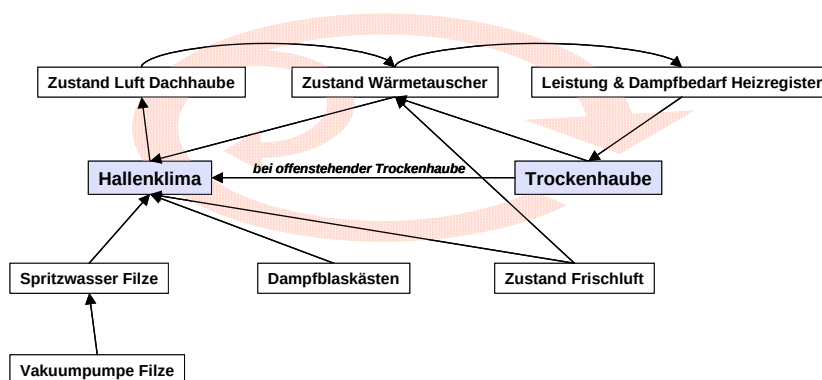


Abbildung 4-11: Abhängigkeiten der Hauben- und Hallenklimateuerung (eigene Darstellung)

Eine Messung der Luftströme und -zustände (Temperatur, Feuchte) zeigte, dass bei der bestehenden Wärmerückgewinnung nur ein Bruchteil der zur Verfügung stehenden Wärme tatsächlich genutzt wird. Zudem deuten die Messungen darauf hin, dass beide Wärmetauscher vermutlich defekt sind, denn es wurde eine Veränderung der absoluten Luftfeuchtigkeit innerhalb der Wärmetauscher festgestellt. Dies deutet

darauf hin, dass die Wärmetauscher Falschluff ziehen, also eine Leckage aufweisen. Die Wirkungsgrade der Wärmetauscher sind nicht zufriedenstellend, im Wärmetauscher der Kartonmaschine wurde eine Temperaturerhöhung der Zuluft um weniger als 1°C erzielt. Neben den Leckagen können auch Ablagerungen im Wärmetauscher (verursacht durch mangelhafte Wartung der Zuluft-Filter) zu einem schlechten Wirkungsgrad führen.

Eine weitere Folge der ungünstigen Verschaltung und der vermutlich defekten Wärmetauscher ist, dass die in den Trockenhauben zu- und abgeführten Luftströme hinsichtlich ihres Volumenstroms und der Zustandsparameter Temperatur und Feuchte deutlich von den in der Papierindustrie üblichen Sollwerten abweichen.

Nach der Optimierung der Wärmerückgewinnung (siehe Abbildung 4-12) kann der Soll-Zustand wieder erreicht werden. Dazu werden die Abluftströme der Trockenhauben zunächst vollständig zur Aufheizung der Zuluft genutzt werden (anders als derzeit bei der Kartonmaschine realisiert). Der Abwärmestrom stellt auch nach Erwärmung der Trockenhaubenzuluft ausreichend Energie zur Verfügung, um in einem nachgeschalteten Wärmetauscher die Hallenzuluft in ausreichendem Maße zu erwärmen (auf ca. 30°C). Um die Investitionen für neue Wärmetauscher möglichst gering zu halten, werden beide Abluftströme vor der Wärmerückgewinnung zusammen- und einem gemeinsamen Plattenwärmetauscher zugeführt.

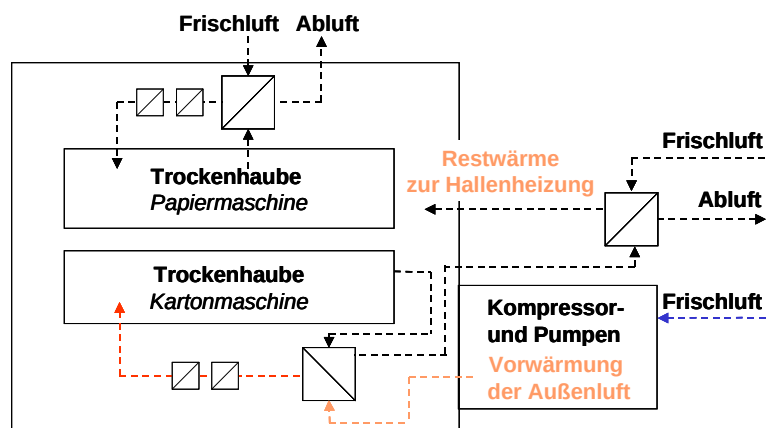


Abbildung 4-12: Optimierte Wärmerückgewinnung an der Trockenhaube (eigene Darstellung)

Ein zusätzliches Wärmeintegrationspotenzial lässt sich erschließen, indem die Ansaugung der Außenluft durch den Kompressor- und Pumpenraum erfolgt und die Abwärme der Maschinen genutzt wird.

Die erzielbaren Einsparungen liegen bei etwa 20% des aktuellen Dampfbedarfs. Durch das Erreichen der deutlich höheren Trockenlufttemperaturen sind zusätzliche Einsparungen an den Trockenzylindern zu erwarten. Die in Summe erzielbare Einsparung an den Nachheizregistern entspricht etwa einer Kosteneinsparung von 45.000 €/a.

Bei den Vor-Ort-Terminen zur Datenerfassung war immer mindestens eine der beiden Trockenhauben geöffnet, so dass große Mengen an Wärme (und Feuchtigkeit) in die Halle entweichen konnten. Das resultierende Einsparpotenzial lässt sich nur schwer quantifizieren, die Trockenhauben sollten jedoch während der Produktion geschlossen sein.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen kann andere Einsparpotenziale beeinflussen. Es wurden die Preise von 2006 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/O/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Vakuumerzeugung über Wasserringpumpen → Einsatz von Drehkolbengebläsen	53.000	2.205	508	125.000	++
2	Einsatz von EFF 1 Motoren → Austausch gegen EFF 3 Motoren	2.000	81	19	n.b.	+
3	Leckagen im Druckluftnetz → Reduzierung der Leckagemenge	4.550	189	45	0	++
4	Relativ hoher Blindstromanteil → Installation einer Blindstromkompensation	780	0	0	500	+++
5	Hohe Dampfverluste an Dampfblaskästen → Austausch gegen effizientere Dampfblaskästen	365.000	7.300	1.680	710.000	+
6	schlechte Abwärmenutzung an Trockenhauben → Optimierung der Wärmeübertrager u. Filter	45.000	880	217	n.b.	+++

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.5 Glas

Der untersuchte Betrieb produziert Glasrecyclate aus Altglas. Als Grundmaterial dient hauptsächlich Behälterglas aus kommunalen Sammelstellen. Zu geringem Umfang wird auch Hohl- und Flachglas aus gewerblichen Anfallstellen verarbeitet.

Das Glas wird von LKWs angeliefert, wo es nach der Mengenerfassung in Eingangslager gelangt. Der innerbetriebliche Transport des Glases geschieht mit Radladern von den Lagerbunkern auf dem Hof zu den Aufgabestellen der Aufbereitungsanlagen.

Die Lagerung des angelieferten Glases und Lagerung der Zwischen- und Endprodukte findet in offenen, teils überdachten Bunkern statt. Die Lagerkapazität beträgt etwa 18.000 t.

In den Aufbereitungsanlagen wird das Glas nach Korngröße sortiert, teilweise wird eine Zerkleinerung vorgenommen. Fremdkörper werden entfernt und das Glas wird nach Farben sortiert. Das Glasrecyclat dient als Sekundärrohstoff für die Glasindustrie.

Die Aufbereitung des Glases findet in vier verschiedenen Anlagen statt.

- In Anlage 1 erfolgt eine Größensortierung, Zerkleinerung und Fremdkörperabscheidung des aufgegebenen Glases mit anschließender Weiterverarbeitung in Anlage 2.
- In Anlage 2 wird eine Farbsortierung vorgenommen. Anlage 2 kann auch ohne Anlage 1 betrieben werden.
- Anlage 3 ist die größte Anlage, in der eine Klassierung, Zerkleinerung, Fremdkörperabscheidung und Farbsortierung erfolgt.
- In Anlage 4 findet eine Größen- und Farbsortierung statt.

Der Ausschuss aus der Fremdkörperabscheidung, der eine Fraktion von verdreckten Glasstücken enthält, wird für einige Zeit kompostiert und dann wieder den Anlagen 2 und 4 zugeführt.

Je nach Verunreinigungsgrade und Anforderung an den „Reinheitsgrad“ (Glasfärbung) durchläuft das aufgegebene Glas verschiedene Produktionsschritte. Das als Weißglas in der kommunalen Glasammlung vorsortierte Glas wird beispielsweise in die Anlage 3 aufgegeben, Metalle und Kunststoffe werden aussortiert. Ein weiterer Ausschussstrom von Keramik, Stein und Porzellan (KSP) sowie verunreinigtem Glas fällt an. Dieser wird nach einer Kompostierung in der Anlage 4 sortiert.

Im Rahmen der Energieanalyse konnten Schwachstellen aufgedeckt sowie Verbesserungsmaßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes aufgezeigt werden.

STROM(KOSTEN-)EINSPARUNG

Anhand von Messdaten wurde die Stromverteilung innerhalb des Betriebes bestimmt. Demnach entfallen 40% der elektrischen Energie auf die elektrischen Antriebe in den vier Produktionsanlagen, 35% werden für die Druckluftnetze verbraucht sowie 24% für die Hallenentstaubung. In Abbildung 4-13 ist entsprechender Zusammenhang als Sankey-Diagramm mit den jeweiligen Energiemengen dargestellt.

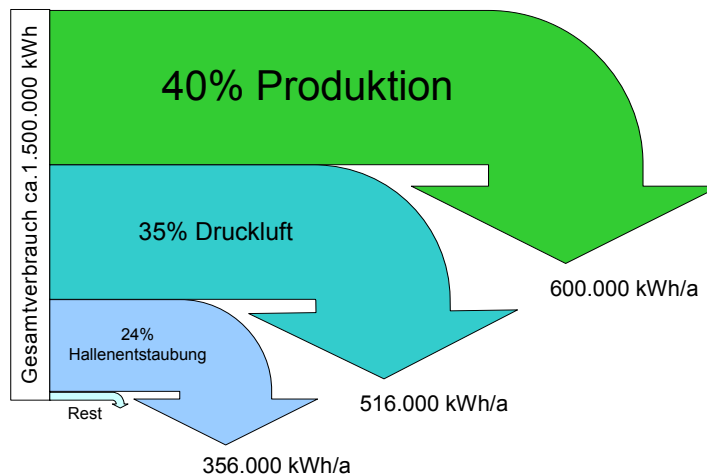


Abbildung 4-13: Aufteilung der elektrischen Energie innerhalb des Betriebes (eigene Darstellung)

Für die Berechnung des Energieverbrauches der Druckluftherzeugung wurde eine jährliche Betriebsstundenzahl von 4.000 h/a angenommen.

Abbildung 4-14 zeigt eine weitere Aufschlüsselung des Energiestroms „Produktion“ aus der vorherigen Aufteilung. Die elektrischen Antriebe von Anlage 3 – der größten Anlage des Betriebes – nehmen hier einen Anteil von 50% ein.

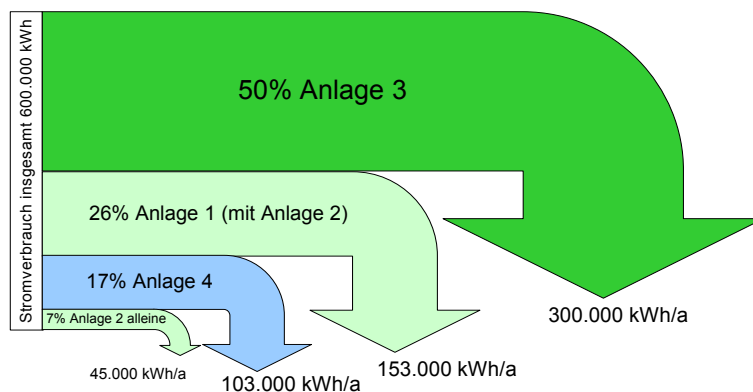


Abbildung 4-14: Aufteilung der elektrischen Energie innerhalb der Produktionsanlagen (eigene Darstellung)

Der Stromverbrauch der Anlage 3 ist in Abbildung 4-15 in seiner Aufteilung nach Verbrauchern/Verbrauchergruppen dargestellt. Die U-Rinnen stellen mit insgesamt 26% den größten Anteil, die Bänder folgen mit 20%, die Sizer mit 13% und die Elevatoren mit 12%. Die größten Einzelverbraucher sind der Walzenbrecher und das Linearschwingsieb mit jeweils 15 kW bzw. 10% des Gesamtverbrauchs.

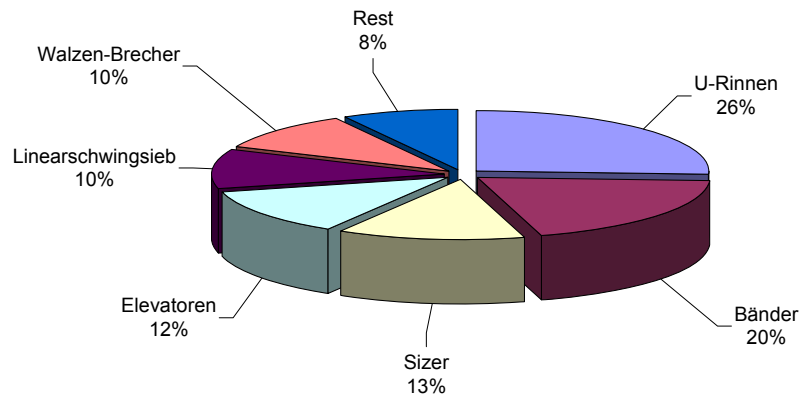


Abbildung 4-15: Aufteilung des Stromverbrauches von Anlage 3 (eigene Darstellung)

Insgesamt ist festzuhalten, dass – typisch für die Recyclingindustrie – der Großteil (58%) der elektrischen Energie für den Transport innerhalb der Anlage aufgewendet wird (U-Rinnen, Bänder und Elevatoren).

Druckluft - Druckniveau

Zur Druckluftherzeugung sind insgesamt fünf Kompressoren vorhanden, die zwei Druckluftnetze speisen. Das erste Druckluftnetz (im Folgenden mit Druckluftnetz 1 bezeichnet) versorgt die Anlagen 1 und 2, das zweite die Anlagen 3 und 4 (im Folgenden Druckluftnetz 2). Beide Druckluftnetze werden mit einem Druck von 8,5 bar betrieben. Druckluft wird im Betrieb vorwiegend für die Glassortiermaschinen und zur Abreinigung der Filter der drei Entstaubungsanlagen benutzt.

Der höchste benötigte Druck beträgt 6 bar (MAG-, LAG-Anlagen und Entstaubungsanlagen). Die spezifische Leistungsaufnahme des vorhandenen drehzahlgeregelten Kompressor bei Förderung auf 7-bar-Niveau beträgt etwa 87% der Leistungsaufnahme bei Förderung auf 8,5-bar-Niveau. Bei einem jährlichen Stromverbrauch von 516.000 kWh für die Druckluftherzeugung ist eine jährliche Einsparung von bis zu 4.500 €/a erreichbar.

Es wurde empfohlen zunächst eine Druckluftanalyse durchzuführen. Die Kosten für eine solche Analyse betragen in der Regel unter 1.000 €. Während der Produktionszeiten sollte dann der Netzdruck über den Ein- und Ausschaltdruck der Kompressoren schrittweise gesenkt werden. Auf diese Art und Weise können die Verbraucherreaktionen auf die Druckabsenkung beobachtet werden. Für den Abreinigungsbetrieb der Entstaubungsanlagen ist aufgrund der gleichmäßigen Druckluftentnahme die Auswirkung einer Druckabsenkung einfacher zu überprüfen.

Druckluft - Leckagen

Zur Nachreinigung der Entstaubungsanlagen und zum Frost- und Feuchtigkeitsschutz sind die Druckluftanlagen häufig außerhalb der Produktionszeit in Betrieb und das gesamte Druckluftnetz ist in Betrieb. Auch während der Produktionszeit gibt es Situationen, in denen nicht alle Anlagen laufen, Druckluft-Teilnetze, die nicht benötigt werden, jedoch mit versorgt werden. Besonders im Bereich der Produktionsmaschinen und Druckluftwerkzeuge (Druckluftpistolen) sind dabei große Leckagen zu erwarten.

Im Druckluftnetz sind bereits mehrere Absperrhähne vorhanden, so dass eine Abtrennung von nicht benötigten Teilen des Druckluftnetzes ohne nennenswerte Kosten erfolgen kann.

Durch den Vergleich zweier Druckluftmessungen – einmal bei Betrieb des kompletten Druckluftnetzes, einmal bei Abtrennung nicht benötigter Teilnetze – wurde das Einsparpotential abgeschätzt. In diesem Vergleich kann nur der Fall in der produktionsfreien Zeit betrachtet werden und nur mit den bereits installierten Absperrventilen.

Im ersten Fall liegen die Lastzeiten des Kompressors bei 45,1% der Messzeit, in der zweiten Messung bei 38,8%. Bei 52.500 kWh/a bisherigen Stromverbrauch ergibt sich ein Einsparpotenzial von 7.330 kWh/a. Das entspricht Kosten von bis zu 500 €/a.

In beiden Druckluftnetzen treten hohe Druckluftleckagen auf. Durch eine Messung im Druckluftnetz 1 bei Produktionsstillstand wurde eine Leckageleistung von etwa 20 kW abgeschätzt. Das Einsparpotenzial, dass sich durch eine Reduktion der Leckageverluste von derzeit 31% auf 15% ergibt, ist in Tabelle 4-3 aufgeführt und beträgt etwa 7.140 €/a. Den Werten liegt die Annahme zugrunde, dass die Leckageverluste in beiden Druckluftnetzen in einer ähnlichen Größenordnung liegen.

Tabelle 4-3: Einsparpotenzial durch Verringerung der Druckluftleckagen

Drucklufterzeugung	516 MWh/a*	100%**	44.608 €/a
Leckageverluste, Ist-Zustand	160 MWh/a*	31%**	13.832 €/a
Leckageverluste, optimiert	77,4 MWh/a*	15%**	6.691 €/a

* mit 4000 Betriebsstunden pro Jahr

** bezogen auf den Strombezug beider Druckluftnetze

Es wurde empfohlen, die Druckluftleckagen im Rahmen von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten zu beheben. Insbesondere die Verbraucheranschlüsse sowie bewegte Versorgungsleitungen sind besonderen Belastungen ausgesetzt und sollten regelmäßig überprüft werden. Bei Nichtbenutzung einzelner Verbraucher sollten diese vom Netz getrennt werden.

Nachreinigung in den Entstaubungsanlagen

In den Entstaubungsanlagen wird die angesaugte Luft durch Filterschläuche gelenkt, die in regelmäßigen Intervallen durch einen Druckluftstoß gesäubert werden. Diese Säuberung wird nicht nur bei laufender Produktion, sondern auch außerhalb der Produktionszeiten betrieben, damit die Filter nicht verstopfen. Der bei der Produktion entstehende feine Glasstaub verfestigt sich unter Feuchtigkeit und verstopft die Filter besonders leicht. Bei sehr niedrigen Temperaturen wird die Druckluftabreinigung auch betrieben, um ein Zufrieren der Druckluftventile zu vermeiden. Aus diesen Gründen sind die Druckluftnetze häufig auch außerhalb der Produktionszeit eingeschaltet.

Die Abreinigung erfolgt in fest eingestellten Zeitintervallen von – je nach Anlage – 30 Sekunden bis 1 Minute. Für den Abreinigungsbetrieb außerhalb der Produktionszeit werden derzeit 52.500 kWh/a eingesetzt.

Es wurde angeregt die Notwendigkeit der langen Abreinigungszeit zu überprüfen. Aufgrund des besonders problematischen Glasstaubes ist aber auch zu beachten, dass eine übliche Abreinigung von einer halben bis einer Stunde nicht ausreichend sein muss. Es wurde empfohlen eine Prüfung der Entstaubungsanlagen durchführen zu lassen. Anhand einer solchen Prüfung kann festgestellt werden, durch welche Maßnahmen die

Entstaubungsanlage optimiert werden kann. Vorstellbar sind die Installation zusätzlicher Vorfilter, die Auswahl eines anderen Filtermaterials oder eine Vergrößerung der Anlage. Prinzipiell sind auch alternative Entstaubungs- und Abreinigungskonzepte denkbar.

Bei einer hypothetischen Abreinigung von 1 Stunde pro Arbeitstag würde sich der Energieverbrauch für den Abreinigungsbetrieb auf 9.100 kWh/a reduzieren. Die finanzielle Einsparung entspräche 2.940 €/a.

WÄRMEEINSPARUNG

Die Installation einer Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren ist bei einem hohen Druckluftverbrauch eine sinnvolle Maßnahme, da auf diese Weise die zur Druckluftbereitstellung eingesetzte Energie besser ausgenutzt wird. Im Betrieb ist bereits eine solche Anlage installiert und wurde daher nicht näher betrachtet.

ORGANISATION

Optimierung der Produktionsabläufe

Vom angelieferten Rohglas bis zum endgültigen Produkt wird das Glas mehrmals durch Radlader über den Betriebshof bewegt. Es konnte bereits durch eine Optimierung der Produktionsabläufe auf den Einsatz eines Radladers verzichtet werden. Nichts desto trotz wurde empfohlen, zu prüfen, ob durch eine weitere Optimierung der Anordnung von An- und Abladeplätzen eine Verkürzung der Fahrtwege der Radlader erreicht werden kann.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/0/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Druckluftherzeugung auf 8,5 bar Niveau → Reduzierung auf 7 bar	7.140	223	42	0	++
2	Druckluftnetz ist nicht in Arbeitsbereiche unterteilt → bedarfsgerechte Ankopplung der Netzbereiche	470	19	4	n.b.	+
3	Leckagen im Druckluftnetz → Reduzierung der Leckagemenge	4.500	181	42	W&I	+
4	Hoher Drucklufteinsatz zur Filterabreinigung → Reduzierung der Abreinigungszyklen	2.940	117	27	n. b.	o
5	Lange Transportwege für Radlader → Optimierte Anordnung der Ladeplätze	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	+

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

³⁾ W&I = Wartung und Instandhaltung

4.6 Metall

Das untersuchte Unternehmen recycelt pro Jahr etwa 225.000 Tonnen reine und Misch-Schrotte wie Eisenrohre, Altfahrzeuge, Haushaltsgeräte und Bleche aller Art. Am Standort arbeiten etwa 25 Mitarbeiter, hiervon 22 in der Produktion und der Werkstatt sowie drei in der Verwaltung.

Zur Zerkleinerung langer Stückware, wie z.B. Schienen, betreibt der Standort zwei Schrottscheren. Dünnwandige Bleche (z.B. Fehlpressungen der Automobilindustrie) werden in einem kleinen Schredder in ein bis zwei Durchläufen auf die gewünschte Stückgröße zerkleinert und als hochwertige, sortenreine Rohstoffe an Gießereien und Metall verarbeitende Betriebe geliefert. Für die Aufbereitung und Sortierung von Altfahrzeugen, Waschmaschinen etc. steht ein weiterer, leistungstärkerer Schredder zur Verfügung, der die Mischschrotte in etwa fußballgroße Stücke zerteilt. Diese durchlaufen den Schredder häufig ein zweites Mal. Im Anschluss wird der Materialstrom in zahlreichen Sortieranlagen in verschiedene Produkte (z.B. Produkt mit hohem Kupferanteil) getrennt. Die Sortierung der zerkleinerten Misch-Schrotte ist aufwendig und anlagentechnisch sehr komplex.

Hauptenergieträger des Produktionsbetriebes ist Strom mit ca. 14.600 MWh/a, der überwiegend in elektrischen Antrieben zur Produktzerkleinerung und -förderung genutzt wird. Darüber hinaus werden im Fuhrpark und in den Flurförderfahrzeugen ca. 350.000 l/a Diesel-Treibstoff eingesetzt. Die Beheizung der Gebäude erfolgt mit Heizöl (23.000 l/a). Die Energiekosten des Standortes belaufen sich auf etwa 1,5 Mio. €/a, wovon der größte Teil auf den Strombezug entfällt.

STROMEINSPARUNG

Drei Viertel des gesamten Strombedarfs am Standort fließt in den Betrieb der beiden Schredderlinien, wobei mehr als die Hälfte von den leistungsstarken Motoren der Schredder benötigt wird, s. Abbildung 4-16. Die beiden Schrottscheren, die keine nennenswerten Nebenanlagen besitzen, verbrauchen etwa ein Fünftel des gesamten Strombezugs.

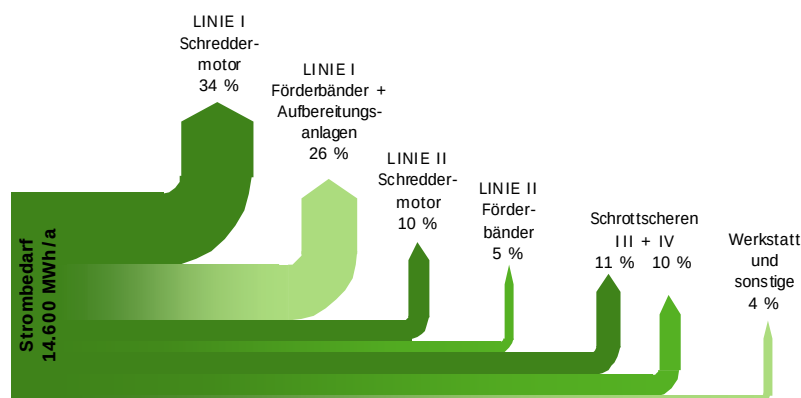


Abbildung 4-16: Verteilung des Stromeinsatzes (eigene Darstellung)

Abschaltung nicht benötigter Aggregate

Bei den sortenreineren Materialien werden verschiedene Förderbänder und Nebaggregate nicht benötigt, wie z.B. die Einheit zur Abtrennung von Schaumstoffen. Beim Rundgang durch die Anlage fiel auf, dass z.T. Aggregate betrieben wurden, die aktuell nicht benötigt wurden. Die

Leistung der abschaltbaren Aggregate beträgt je nach Produkt zwischen 85 kW und über 550 kW.

Die bestehende gemeinsame Verschaltung einiger Aggregate wurde daraufhin überprüft und der veränderten Produktion angepasst. Einige der gemeinsam angesteuerten Anlagen und Förderbänder wurden getrennt bzw. neu gruppiert. Das manuelle Ein- und Ausschalten der Anlagen wurde durch eine zentrale Inbetriebnahme der entsprechenden Anlagengruppen ersetzt. Die erforderlichen Arbeiten konnten im Rahmen von Inspektions- und Wartungsarbeiten von den Elektrikern am Standort durchgeführt werden.

Zur Bestimmung des Einsparpotenzials wurden die Produktionszeiten für die einzelnen Produkte abgeschätzt und die abschaltbare Leistung zu diesen Zeiten ermittelt, s. Tabelle 4-4.

Mit etwa 2.900 Jahresproduktionsstunden ergibt sich die mögliche Stromeinsparung durch konsequente Abschaltung der nicht benötigten Aggregate zu über 890 MWh/a oder 2% des Bedarfs der Separationsanlagen. Dies entspricht einer jährlichen Kostenersparnis von 42.000 €.

Tabelle 4-4: Produktionszeit und abschaltbare Anlagenleistung

Produkt	Anteil an der Produktionszeit	abschaltbare Anlagenleistung
	in %	in kW
Produkt A	10	85
Produkt B	25	132
Produkt C	20	320
Produkt D	35	554
Produkt E	10	198

Absenken der Spitzenlast

Der ungeregelte Parallel-Betrieb der vier Produktionslinien verursacht regelmäßige hohe Lastspitzen. Diese Lastspitzen werden mit einem Monatsleistungspreis von 5,40 €/kW in Rechnung gestellt. Die Leistungskosten haben einen Anteil an den Jahresstromkosten von etwa 40%.

Zur Analyse der Lastspitzen wurden die Leistungsaufnahmen der beiden Schreddernebenaggregate sowie der Schrottscheren während vier Tagen separat gemessen. In Abbildung 4-17 sind die Ergebnisse beider Messungen in Summe als Dauerlinie, der Größe nach absteigend sortiert, grafisch dargestellt.

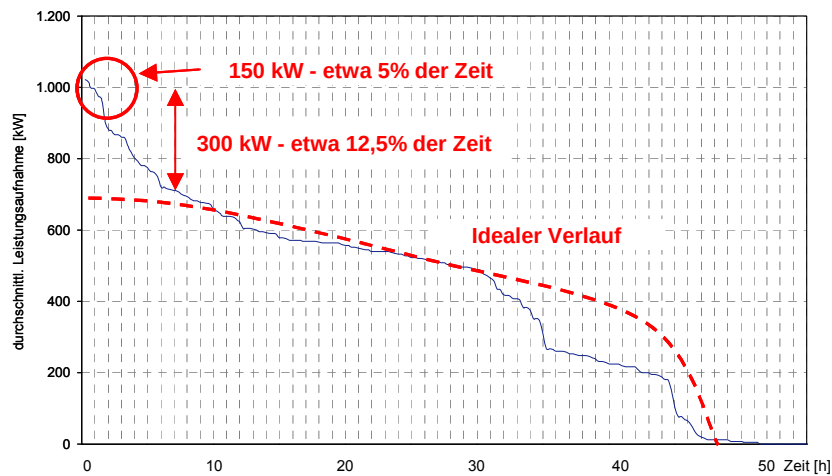


Abbildung 4-17: Bezugsleistung Nebenaggregate/Schrottschere (eigene Darstellung)

Bei einer Leistungsreduktion um 150 kW könnten jährlich etwa 6.100 € Leistungskosten eingespart werden. Bei einer Leistungsreduktion um 300 kW läge die mögliche Einsparung bei gut 12.000 €/a.

Spitzenlastmanagementsysteme bestehend aus einem Prozessrechner mit entsprechender Software, einem Modem zur Anbindung an bestehende Firmennetzwerke und acht schaltbaren Ausgängen sind inklusive der Parametrierung und Inbetriebnahme des Systems ab 8.000 € erhältlich.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/O/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Aggregate werden nicht bedarfsgerecht betrieben → Abschaltung nicht benötigter Antriebe	42.000	2.405	554	0	++
2	Lastspitzen im Strombezug → Installation eines Lastmanagementsystems	12.000	0	0	8.000	+

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.7 Bauschutt

Der untersuchte Betrieb ist im Bereich der Entsorgung und Aufbereitung mineralischer Abfälle sowie der Produktion von Recyclingbaustoffen tätig. Am Standort werden im Jahr 200.000-250.000 t Baureststoffe recycelt. Dabei handelt es sich um mineralisches Material, das teilweise mit Verunreinigungen (z.B. Metallteilen) versehen ist.

Das Material wird vom Kunden per LKW angeliefert und nach Möglichkeit direkt in den Aufgabetrichter ausgeladen. Sollte dies nicht möglich sein, so kann der Bauschutt auf dem Gelände zwischengelagert werden. Es wird jedoch versucht, diesen zusätzlichen Arbeitsgang zu vermeiden. Vom Aufgabetrichter aus gelangt das Material zu einem Sieb, in dem Körner kleinen Durchmessers bereits aussortiert werden. Der Rest fällt in einen ersten Backenbrecher, wo die großen Schuttteile zerkleinert werden. Anschließend erfolgt durch einen Magneten eine Aussortierung magnetisierbarer Bestandteile. Im Verlauf wird der Bauschutt über weitere Siebe befördert, wodurch eine Trennung nach Korngröße erfolgt. In einem Nachbrecher wird noch einmal zerkleinert und an mehreren Magneten die restlichen Verunreinigungen aussortiert. Der Transport von einer Station zur nächsten erfolgt über insgesamt 17 Förderbänder. Zuletzt gelangt das recycelte Produkt auf unterschiedlichen Halden, charakterisiert durch seine Korngröße. Es werden insgesamt vier Korngrößen unterschieden: 0-5 mm, 0-32 mm, 0-45 mm und 45-120 mm. Das aufgewertete Material dient unter anderem als Baustoff im Hoch-, Tief- und Straßenbau.

Im Rahmen der Energieanalyse wurden Maßnahmen erarbeitet, die bei vollständiger Umsetzung eine Kosteneinsparung von etwa 6.600 €/a ermöglichen. Die dafür nötigen Investitionen belaufen sich auf etwa 8.500 €. Die wesentlichen Ergebnisse sind hier zusammenfassend dargestellt.

STROMEINSPARUNGEN

Eine Analyse der Stromrechnungen ergab die in Abbildung 4-18 dargestellte Aufteilung der Stromkosten für das Jahr 2005. Zu beachten ist der hohe Anteil der Leistungskosten von fast 50%. Auffällig ist außerdem der Anteil von ca. 6,5% für Blindarbeit.

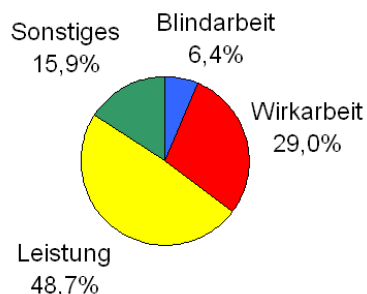


Abbildung 4-18: Aufteilung des Stromkosten 2005 (eigene Darstellung)

Das Sankey-Diagramm (Abbildung 4-19) veranschaulicht die Aufteilung auf die einzelnen Verbrauchergruppen. Vor- und Nachbrecher sind die mit Abstand stärksten Einzelverbraucher. Der Anteil der Förderbänder ist mit knapp 30% an der Gesamtleistung recht hoch, jedoch verteilt er sich

auf 17 Anlagen. Nur die Bänder 4 und 7 stechen durch erhöhten Bedarf heraus.

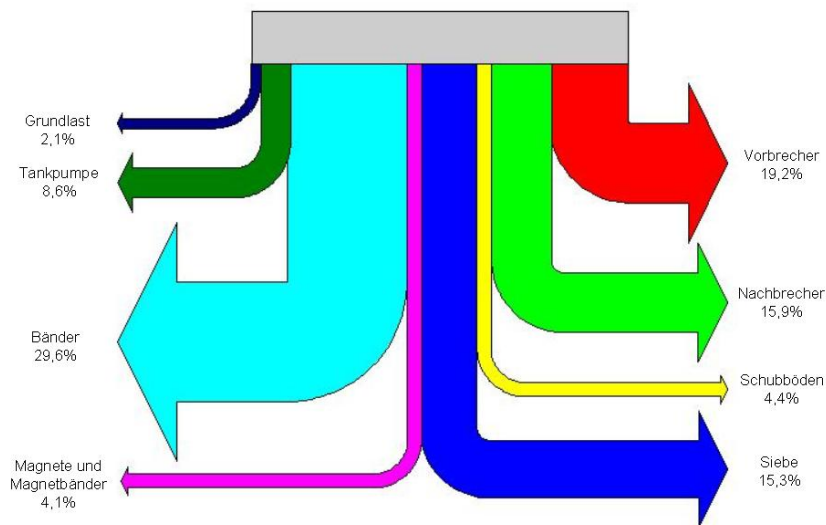


Abbildung 4-19: Verteilung der gemessenen Leistung (eigene Darstellung)

Lastmanagement

Die Messungen zur Lastverteilung ergaben, dass der Anfahrvorgang kaum Auswirkungen auf die Höhe der Viertelstundenmittelwerte der Leistung hat. Es zeigten sich aber deutliche Unterschiede zwischen dem Betrieb bei geringer und bei voller Beladung. Insbesondere die beiden Backenbrecher fallen durch die hohe Verbrauchsdifferenz auf. Der Vorbrecher steigert seinen Bedarf um 11 kW von 46 kW auf 57 kW, der Nachbrecher sogar um 25 kW von 38 kW auf 63 kW. Es ist also offensichtlich, dass eine hohe Beladung zu einer Leistungsspitze führt. In diesem Zustand können die im Produktionsablauf folgenden Förderbänder, Magnete, Siebe und Schübe nicht abgeschaltet werden, da das aus den Brechern austretende Material abgeführt werden muss. Einzig die Vermeidung des Betriebs der Pumpen und des weiteren Befüllens kann eine noch extremere Lastspitze verhindern.

Aus dem Lastprofil für 2005 folgt, dass die neun höchsten Werte der Leistung kurz nach Anfahren der Anlage in den Herbst- und Wintermonaten auftraten. Allerdings werden sie erst nach den ersten 15 bis 45 Minuten gemessen. Dies entspricht der Beobachtung, dass der Anfahrvorgang selbst kaum problematisch ist. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass die Anlage kurz nach dem Hochfahren voll beladen wurde und somit im Vollastbetrieb ist.

Wird ein Zustand nahe der Maximalleistung erreicht, so sollte die Tankpumpe nicht eingeschaltet werden. Bei Erreichen der Maximalleistung wurde empfohlen zunächst den ersten Schubboden und die Vorsiebanlage abzuschalten, um das weitere Befüllen der folgenden Anlagenteile zu verhindern (Leistungsreduktion: ca. 22 kW).

Außerdem könnten die Bänder 1-3 (inkl. Magnetband und Sieb) angehalten werden, weil ihnen kein weiteres Material zugeführt wird, wenn die zuvor genannten Anlagenteile abgeschaltet sind (Leistungsreduktion: ca. 19 kW). Das Umsetzen dieser Maßnahmen erfordert die Einführung eines Spitzenlastmanagementsystems, wodurch eine

jährliche Kostenersparnis von etwa 1.300 € realisiert werden kann. Die einmalige Investition dafür beträgt ca. 3.400 €.

Blindleistungskompensation

Die bisher anfallenden Kosten für die Blindleistung können durch eine Kompensationsanlage vermieden werden. Das dafür nötige Gerät verursacht in der Anschaffung Kosten von ca. 5.000 € und amortisiert sich in etwa 2 Jahren.

Elektroheizung

Am betrachteten Standort sind Elektroheizungen installiert. Eine Umrüstung auf eine Öl- oder Erdgasheizung wurde untersucht, aber als unwirtschaftlich verworfen.

Am Stromlastprofil war zu erkennen, dass die Heizelemente in vielen Fällen ununterbrochen in Betrieb sind. Hier bietet sich durch den Einbau von Zeitschaltuhren ein Einsparpotenzial von knapp 2.700 €/a.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 +/0/- ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ a	€	
1	Lastspitzen im Strombezug → Installation eines Lastmanagementsystems	1.300	0	0	3.400	++
2	Hohe Blindstrombezüge → Blindstromkompensation	3.040	0	0	5.000	+
3	Kontinuierlicher Betrieb der Elektroheizung → bedarfsgerechtes Heizen mit Zeitschaltuhr	2.700	51	12	0	+

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

4.8 Alttextilien

Der untersuchte Standort eines Recyclingunternehmens verarbeitet mit insgesamt 95 Mitarbeitern in Produktion und Verwaltung etwa 1,9 Mio. t textile Fasern jährlich. Schwerpunkt ist das Zerkleinern und Aufbereiten der Rohware sowie das Mischen neuer Faserzusammensetzungen. Die Produktion läuft weitestgehend im 3-Schicht-Betrieb.

Als Ausgangsmaterial dienen wiederverwertbare textile Rohstoffe, wie natürliche und synthetische Industrieabfälle, aber auch Schaumstoff und Latex. Darüber hinaus werden Altkleider verarbeitet.

In Ballen angeliefertes Material wird teilweise auf dem Hof gelagert, wobei feuchtes Material zu geringerem Durchsatz in den Reißmaschinen führt. Garn wird zum Teil auf Hülsen aufgewickelt angeliefert und muss in der Garnschneiderei abgewickelt oder geschnitten werden, um dem Prozess zugeführt werden zu können. Lose angeliefertes Material wird zunächst in einer Schachtpresse zu Ballen gepresst.

Das Rohmaterial wird in den vier Reißereien in einzelne Fasern in gewünschter Länge aufgelöst und anschließend zu Ballen gepresst. Die Reißmaschinen bestehen aus einem Vorreißer und jeweils drei bis sechs Tambouren. Zu jeder Reißmaschine gehört eine hydraulische Ballenpresse. Der Materialtransport innerhalb der Reißmaschinen sowie zu den Ballenpressen erfolgt durch Radialgebläse. Die Abluft der Fördergebläse wird im Winter in die Hallen eingeblasen und im Sommer über Dach abgeleitet.

In einem weiteren Prozessschritt werden Fasern verschiedener Farben in mehreren großen Mischkammern homogenisiert und anschließend wieder in Ballen gepresst. Dazu werden zunächst die verschiedenen Fasern in horizontalen Lagen in die Mischkammer eingebracht. Anschließend werden die Fasern kontinuierlich vertikal zusammengepresst und abgetragen. Über einen Luftstrom wird das Fasergemisch zu den zugehörigen Ballenpressen transportiert.

Zur Erzeugung von Streugut dient eine Mühle, die Filz auf geringeren Durchmesser zerkleinert.

STROMEINSPARUNG

In Abbildung 4-20 ist die Verteilung des Strombedarfs dargestellt. Demnach werden gut drei Viertel des Stroms in den Reißmaschinen (inkl. der zugehörigen Ballenpressen) benötigt. Die Mischkammern benötigen einen weiteren signifikanten Anteil des Strombezugs.

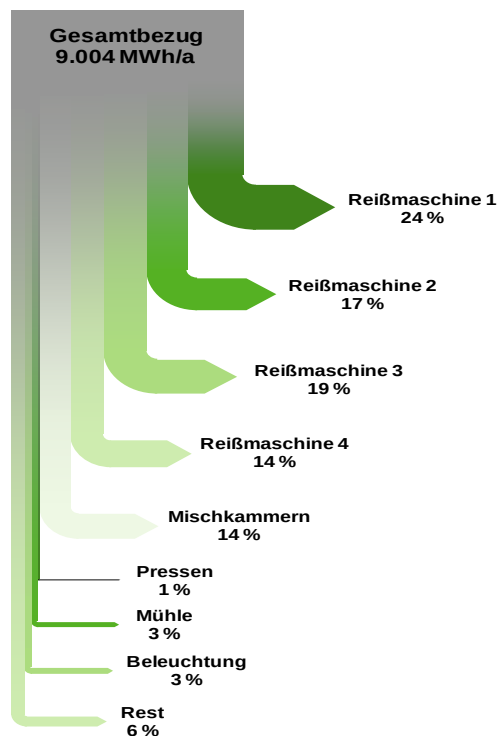


Abbildung 4-20: Verteilung des Stromeinsatzes (eigene Darstellung)

Die in den Bereichen energieeffiziente Antriebe, Reißmaschinen, Ballenpressen, Druckluffterzeugung, Beleuchtung und Strombezug identifizierten Einsparpotenziale betragen insgesamt etwa 3% des Stromeinsatzes am Standort. Dabei sind einige Maßnahmen auf weitere Maschinen übertragbar.

Energieeffiziente Antriebe

Im überwiegenden Maße werden noch Motoren der Energieeffizienzklasse EFF3 an den Reißmaschinen eingesetzt und können bei Defekt gegen effizientere Antriebe (→ EFF1) ausgetauscht werden. Allein bei den vier Tambourantrieben an Reißmaschine 2 ist ein Einsparpotenzial von über 26 MWh/a bzw. 2.200 €/a zu erreichen. Hinzu kommen die Vorteile der längeren Wartungsintervalle und damit geringeren Wartungskosten sowie die insgesamt zu erwartende längere Lebensdauer der Energieeffizienz-Motoren. Langfristig sollten die EFF3-Motoren daher gegen EFF1-Motoren ausgetauscht werden.

Die Mehrinvestitionen für EFF1-Motoren betragen etwa 30% der Motorkosten. Die statische Amortisationszeit der Mehrkosten beträgt mit einer Betriebsdauer von 7.800 h/a etwa 3,6 Jahre. Die Maßnahme lässt sich auf zahlreiche weitere Antriebe im Betrieb übertragen, so dass ein Vielfaches der Einsparung erreichbar ist.

Anlagenbetrieb der Reißmaschinen

Die Reißmaschinen werden bei Betriebspausen nicht abgeschaltet, um die mechanische Belastung der Antriebe und hohe Einschaltströme zu vermeiden. Das Ein- und Ausschalten der Maschinen muss im Leerlauf erfolgen. Durch eine Messung an Reißmaschine 2 wurde ermittelt, dass ein Anfahrvorgang (141 Sekunden) die gleiche Energiemenge benötigt, wie 90 Sekunden Leerlaufbetrieb. Daher ist jede Abschaltung mit einer Dauer von mehr als 90 Sekunden energetisch sinnvoll. Die Messung ist in Abbildung 4-21 dargestellt.

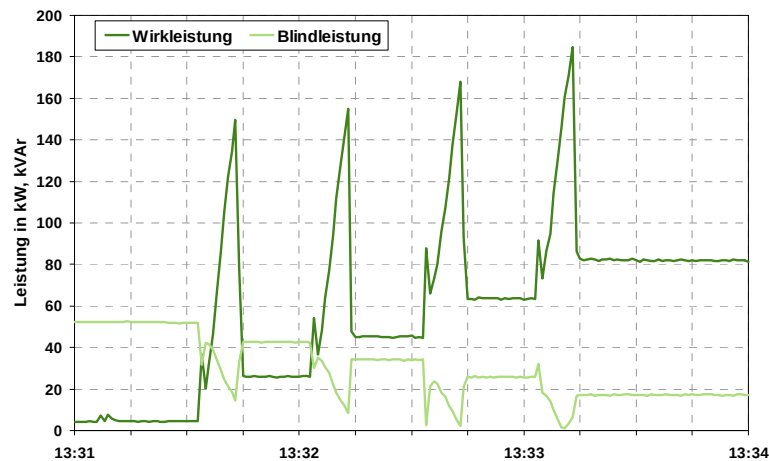


Abbildung 4-21: Einschaltvorgang Reißmaschine 2 (eigene Darstellung)

Am linken Bildrand ist als kleiner Ausschlag das Einschalten der Mischbox zu erkennen. Anschließend werden bei Einschalten der Reißmaschine automatisch zeitversetzt die vier Tambourantriebe in Betrieb genommen. Die mittlere Leistungsaufnahme der Reißmaschine im Leerlauf beträgt nach dem Hochfahren etwa 83 kW.

Die Reißmaschinen sollten in Betriebspausen abgeschaltet werden. Geht man von einer täglich um eine halbe Stunde reduzierten Betriebsdauer je Reißmaschine aus, ergibt sich bei einer Leistungsaufnahme im Leerlauf von 83 kW bei allen vier Reißmaschinen insgesamt eine Einsparung von 54 MWh/a. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 4.600 €/a.

Die Maßnahme ist rein organisatorisch umsetzbar und erfordert keine Investition. Die maximale Schaltfrequenz der größeren Motoren (>55 kW) von etwa 10/h sollte nicht überschritten werden, um die Motorlebensdauer nicht zu beeinträchtigen.

Anlagenbetrieb der Ballenpressen

Die hydraulischen Pressen verfügen jeweils über eine Vor- und eine Nachpresse. Die Nachpresse kommt jeweils nur einmal kurzzeitig am Ende in jedem Zyklus zum Einsatz. Die Messung der Nachpresse der Ballenpresse an Reißmaschine 1 ist in Abbildung 4-22 dargestellt.

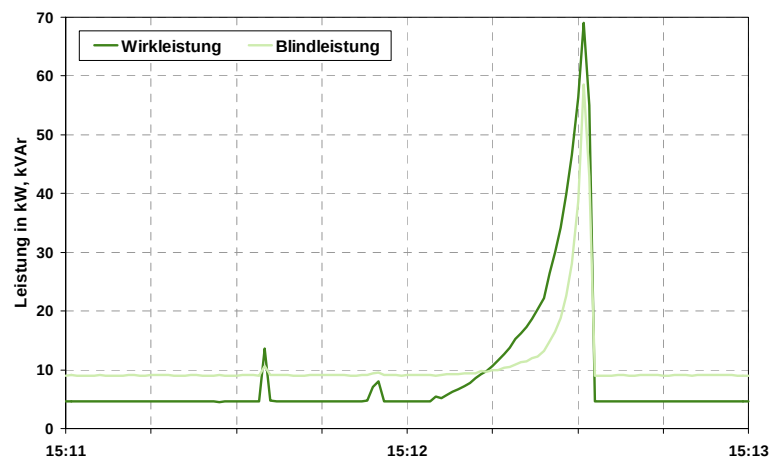


Abbildung 4-22: Leistungsaufnahme Nachpresse Reißmaschine 1 (eigene Darstellung)

Während nahezu des gesamten Zyklus (840 Sekunden an Reißmaschine 1) befindet sich der Antrieb der Nachpresse im Leerlauf bei einer Leistungsaufnahme von etwa 4,7 kW. Der Antrieb hat eine Nennleistung von 27 kW. Beim Nachpressvorgang steigt die Leistungsaufnahme auf bis zu 69 kW an.

Der Antrieb der Nachpresse kann bedarfsgerecht geschaltet werden. Exemplarisch wurde für den Antrieb der Nachpresse an Reißmaschine 1 die Einsparung berechnet. Ausgehend von der benötigten Einsatzdauer je Ballenintervall von etwa 90 Sekunden können 89% der Betriebsdauer vermieden werden. Bei jährlich 8.470 Betriebsstunden und einer Leistungsaufnahme im Leerlauf von 4,7 kW ist eine Einsparung von 35 MWh/a möglich. Dies entspricht einer Kosteneinsparung allein an Ballenpresse 1 von 3.000 €/a. Der Antrieb ist über eine Kupplung mit der Pumpe verbunden, die nicht schlagartig belastbar ist. Daher muss ein Sanftanlauf des Antriebs gewährleistet werden. Die Anschaffungskosten für einen Sanftstarter in entsprechender Leistungsgröße betragen etwa 540 €. Aufgrund der hohen Einsparung und der kurzen Amortisationsdauer ist die Maßnahme empfehlenswert. Die häufigen Schaltvorgänge können sich negativ auf die Motorlebensdauer auswirken. Jedoch liegen die Anschaffungskosten eines explosionsgeschützten Drehstrommotors mit 27 kW mit etwa 3.300 € im Bereich der jährlichen Einsparung.

Druckluftversorgung

Der Netzdruck im Druckluftnetz kann auf 7 bar abgesenkt werden. Es existieren keine Verbraucher, die den derzeitigen Netzdruck von 9 bar benötigen. Das Druckniveau kann am Druckschalter des Kompressors eingestellt werden. Wird der Druck abgesenkt, so reduziert sich die Leistungsaufnahme des Kompressorantriebs. Wird bei gleicher Liefermenge der Netzdruck von 9 auf 7 bar gesenkt, ergibt sich ein Einsparpotenzial von 12,1 MWh/a was einer jährlichen Kosteneinsparung von etwa 1.000 € entspricht. Die Absenkung des Druckniveaus am Druckschalter ist nicht mit einer Investition verbunden.

Um bei abgesenktem Druckniveau eine höhere Liefermenge zu erreichen, können die Riemen und die Riemenscheiben an den Kompressoren ausgetauscht werden, wodurch sich die Schraubendrehzahl erhöht. Die Liefermenge kann durch den Austausch der Riemenscheiben und die Absenkung des Netzdrucks um etwa 23% erhöht werden. Dadurch kann eventuell die Investition in einen zusätzlichen Kompressor vermieden werden. Für den Austausch der Riemen und Riemenscheiben ist je Kompressor mit einer Investition von etwa 500 € zu rechnen.

Der Netzdruck sollte stufenweise abgesenkt werden, um den Minimalwert zu ermitteln. Ob es sinnvoll ist, die Riemenscheiben der Kompressoren auszutauschen, kann nur durch die Aufzeichnung eines Druckluftbedarfsprofils geklärt werden. Dabei werden parallel der Netzdruck und die Liefermenge aller Kompressoren über einen repräsentativen Zeitraum erfasst und ein Verbrauchsprofil erstellt.

Beleuchtung

In zwei Hallen sind Lichtkuppeln in das Hallendach eingelassen. Die Beleuchtung der Hallen erfolgt jedoch unabhängig vom Tageslichteinfall. In der Lagerhalle ist die Beleuchtung zwar durch Bewegungsmelder gesteuert, aufgrund der hohen Frequentierung der Halle bleibt die Beleuchtung jedoch nahezu dauerhaft eingeschaltet.

Die Beleuchtung in der Lagerhalle erfolgt mit 24 zweiflammigen Leuchten mit 58-W-Lampen und elektronischem Vorschaltgerät (EVG). Daraus resultiert eine installierte Beleuchtungsleistung von 2,4 kW. Die Leuchten sind in einer Reihe im Gang der Halle parallel zu den Lichtkuppeln angeordnet, wie in Abbildung 4-23 zu sehen. Analog verfügt die Produktionshalle über 43 zweiflammige Leuchten mit insgesamt 4,3 kW. Die Leuchten sind in mehreren Reihen parallel zu den Lichtkuppeln angeordnet (s. Abbildung 4-23).



Abbildung 4-23: Lichtkuppeln und Leuchten in der Lagerhalle/Produktionshalle (Quelle: EUtech)

Die Beleuchtung sollte tageslichtabhängig gesteuert werden. In der Lagerhalle sollte zusätzlich die schon installierte bewegungsabhängige Steuerung beibehalten werden, damit nur bei Aufenthalt im Lagerbereich die Beleuchtung geschaltet wird.

In der Lagerhalle kann die Beleuchtung für etwa 6 Stunden täglich abgeschaltet werden, wodurch etwa 4,9 MWh/a eingespart werden können. Dies entspricht einer Kosteneinsparung von etwa 420 €/a.

In der Produktionshalle können etwa 50% der Beleuchtung für 6 Stunden täglich abgeschaltet werden. Dies entspricht einem Einsparpotenzial von etwa 4,4 MWh/a bzw. 370 €/a.

Die Beleuchtungssteuerung muss aus mehreren Komponenten aufgebaut werden. Dazu gehören die nötigen Sensoren, die Steuereinheit, Verkabelung und zur Schaltung ein Leistungsschutz mit RC-Glied. Tabelle 4-5 gibt Auskunft über zu erwartende Anschaffungskosten.

Tabelle 4-5: Systemkomponenten und Anschaffungskosten, Quellen: Philips, Danfoss

Komponente	Halle 2	Halle 3
Steuereinheit	156 €	156 €
Multisensor/Tageslichtsensor	228 €	104 €
Verkabelung und Stecker	197 €	197 €
Schütz und RC-Glied	40 €	40 €
Summe	621 €	497 €

Eventuell können die Systemkomponenten der anwesenheitsabhängigen Steuerung in der Lagerhalle wiederverwendet werden, so dass lediglich ein Tageslichtsensor für die Beleuchtungssteuerung zugekauft werden muss. Es ergeben sich Amortisationszeiten unterhalb von 1,5 Jahren. Darüber hinaus wird die Standzeit der Lampen durch die geringere Betriebsdauer erhöht.

Lastmanagement

Abbildung 4-24 zeigt einen Ausschnitt aus der geordneten Jahresdauerlinie. Am linken Diagrammrand ist die Leistungsspitze von 2.310 kW zu erkennen, die während eines Jahres lediglich in einem Viertelstundenintervall erreicht wurde. Am rechten Diagrammrand ist ersichtlich, dass eine Leistung von 2.100 kW während etwa 36 h im Jahr, also während 144 Viertelstundenintervallen, überschritten wird.

Durch Begrenzung der Leistung auf einen Maximalwert können Leistungskosten eingespart werden. Dazu können geeignete Verbraucher kurzzeitig abgeschaltet werden. Dies lässt sich mit einem Spitzenlastmanagementsystem automatisieren, welches die Leistung überwacht und angebundene Verbraucher schaltet.

Eine Spitzenlastreduzierung um 210 kW entspricht mit einem Jahresleistungspreis von 52 €/kW einer Kosteneinsparung von 10.900 €/a.

Allerdings müssen in der Praxis kurzfristig abschaltbare Verbraucher entsprechender Leistung zur Einbindung in das System zur Verfügung stehen. Bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,5 und einer möglichen Abschaltdauer von 10 Minuten je Viertelstundenintervall ist die Einbindung einer installierten Leistung von 630 kW in das Lastmanagementsystem notwendig, um eine Reduktion von 210 kW erreichen zu können.

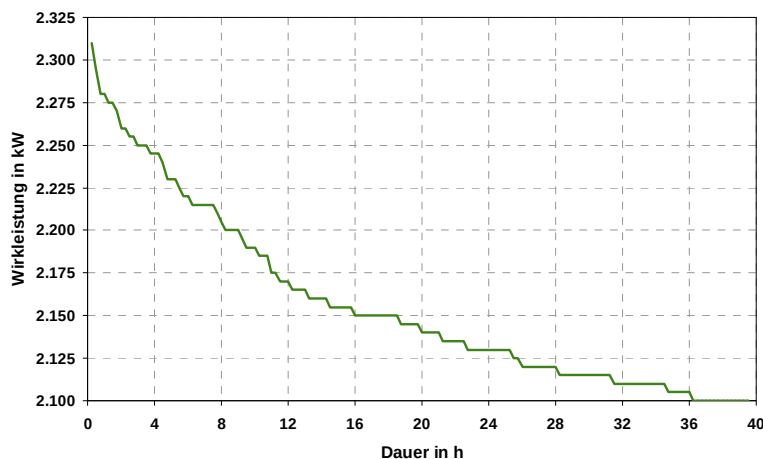


Abbildung 4-24: Ausschnitt aus der geordneten Jahresdauerlinie (eigene Darstellung)

Aus den Tageslastgängen ist ersichtlich (hier nicht abgebildet), dass die Leistungsspitzen zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten auftreten, weshalb eine Spitzenlastbegrenzung kaum durch organisatorische Maßnahmen umsetzbar ist.

Spitzenlastmanagementsysteme bestehend aus einem Prozessrechner mit entsprechender Software, einem Modem zur Anbindung an bestehende Firmennetzwerke und acht schaltbaren Ausgängen sind inklusive der Parametrierung und Inbetriebnahme des Systems ab 8.000 € erhältlich.

Zusätzliche Kosten entstehen durch die Verkabelung, welche zur Anbindung der Verbraucher an das System notwendig ist. Die räumlichen Distanzen und die Anzahl der Verbraucher beeinflussen diesen zusätzlichen finanziellen Aufwand maßgeblich.

WÄRMEEINSPARUNG

Im untersuchten Betrieb wird keine Prozesswärme benötigt. Zur Beheizung der Hallen werden Konvektoren eingesetzt, die durch den zentralen Erdgaskessel mit Warmwasser versorgt werden. Die Beheizung der meisten Produktionshallen ist nicht notwendig, da innere Wärmelasten in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Abwärmenutzung

Die an die Reißereien angrenzenden Hallen dienen der Lagerung und werden lediglich gegen Frost geheizt, um die Funktionsfähigkeit der Sprinkleranlage zu gewährleisten. Die Abwärme der Fördergebläse an den Reißmaschinen wird im Sommer über Dach geleitet und im Winter an zwei zentralen Punkten in die Reißereien eingeblasen. Die Temperatur der Abluft beträgt etwa 35°C. Je Reißmaschine fällt ein Volumenstrom von 65.000 m³/h an. Ein Teil der Abwärme der Reißmaschinen kann zur Beheizung der Lagerhallen genutzt werden.

Ausgehend von einer Heizgrenztemperatur von 2°C in den Lagerbereichen und dem Außentemperaturverlauf kann der Erdgasbedarf zur Beheizung der Lagerbereiche zu 56 MWh/a abgeschätzt werden. Dies entspricht einem Einsparpotenzial von etwa 2.700 €/a.

Die Lagerhallen müssen über einen Luftkanal angebunden werden. Bei einer Außentemperatur von -7°C, dem Außentemperaturminimum seit 2004, wird eine Heizleistung von etwa 112 kW benötigt. In diesem Fall wird ein Rohrleitungsquerschnitt von etwa 620 mm benötigt und ca. 8% des Abluftmassenstroms der Reißmaschinen wird zur Beheizung der Hallen 1 und 2 aufgewendet. Eine Übersicht über zu erwartende Materialkosten gibt Tabelle 4-6.

Tabelle 4-6: Materialkosten für den Abluftkanal

Komponente	Länge/Anzahl	Durchmesser	Kosten
Rohrleitung	60 m	600 mm	3.900 €
Rohrleitung	70 m	300 mm	2.000 €
Formstücke	8 Stk	300/600 mm	950 €
Absperrklappe	1 Stk	600 mm	850 €
Summe			7.700 €

Auf Basis der Materialkosten ergibt sich eine statische Amortisationszeit von etwa 3 Jahren. Allerdings sinken die Materialkosten, wenn geringere Rohrleitungsquerschnitte gewählt und Leistungsspitzen mit der vorhandenen Heizung abgedeckt werden. Zusätzlich ist mit Montagekosten zu rechnen.

Auch nach Umsetzung der Maßnahme steht noch ein Großteil der Abwärme zur Verfügung, mit der weiterer Bereiche beheizt werden könnten.

MAßNAHMENKATALOG

Die Umsetzung einiger Maßnahmen beeinflusst andere Einsparpotenziale. Es wurden die Preise von 2005 zugrunde gelegt (inklusive aller Abgaben, ohne Umsatzsteuer).

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Kosten	 + / 0 / - ²⁾
		€/a	MWh/a ¹⁾	t CO ₂ /a	€	
1	Einsatz von EFF 3 Motoren → Austausch gegen EFF 1 Motoren	2.200	70	16	7.900	+
2	Kontinuierlicher Betrieb der Reißmaschinen → Abschaltung in Betriebspausen	4.600	146	34	0	+
3	Kontinuierlicher Betrieb der Nachpresse → Bedarfsgerechter Betrieb	3.000	95	22	0	+
4	Drucklufterzeugung auf 9 bar Niveau → Reduzierung auf 7 bar	1.000	30	8	0	++
5	Beleuchtung unabhängig von Tageslichteinfall → Tageslichtabhängige Helligkeitsregulierung	790	25	6	1.120	++
6	Lastspitzen im Strombezug → Installation eines Lastmanagementsystems	10.900	0	0	8.000	o
7	Gaseinsatz zur Beheizung der Lagerhallen → Abwärmenutzung der Fördergebläse	2.700	151	35	7.700	+

¹⁾ Primärenergie, d.h. elektr. Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 37% für Umwandlung u. Verteilung berücksichtigt, Wärme mit 85%.

²⁾ Bewertung auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der absoluten Höhe der nötigen Investitionen sowie der statischen Amortisationszeit (Quotient aus Kosten und Einsparung)

5 Instrumente zur Unterstützung der rationalen Energienutzung

In den vorigen Kapiteln wurden zahlreiche Maßnahmen zur Energieeinsparung beschrieben. Es wurde aufgezeigt, dass gute Kenntnisse über die Hauptenergieverbraucher und eine Transparenz der betrieblichen Abläufe des eigenen Unternehmens wichtige Grundlagen für die Entscheidungen im Bereich der Energieversorgung und Energienutzung sind. Die aufgeführten Praxisbeispiele stellen anschaulich dar, dass der rationelle Umgang mit Energie – und damit die erfolgreiche Kostensenkung in diesem Bereich – in der Regel im ersten Schritt Verhaltensanpassungen, organisatorische Optimierung und kleinere Anschaffungen erfordert. Erst mittelfristig bis langfristig sind gegebenenfalls umfangreichere Investitionen in neue Technologien und Anlagen oder aufwendige Umstrukturierungen notwendig.

Für die Verantwortlichen in den Unternehmen stellt sich aber nun die Frage, welche Maßnahmen im eigenen Betrieb umgesetzt werden können und wie auf Dauer ein hohes Niveau bei der Energieeffizienz gehalten werden kann. Die Beantwortung dieser Fragen ist Aufgabe des Energiemanagements. In diesem Kapitel werden daher die Einführung und Verankerung des betrieblichen Energiemanagements (Kapitel 5.1) vorgestellt. Anschließend wird der Ablauf einer Energieanalyse erläutert (Kapitel 5.2). Die Energieanalyse ist ein wichtiger Bestandteil des Energiemanagement zur Schaffung von Transparenz und zur Identifizierung der geeigneten Maßnahmen.

5.1 Energiemanagement

Die Notwendigkeit des Energiemanagement (EM) eines Unternehmens ergibt sich aus dem ständig steigenden Kostendruck. Der Kostendruck ist alltägliche Realität. Hinzu kommt, dass seitens Politik und Gesellschaft zunehmend die Anforderung an einen Beitrag zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz wächst.

Die Einführung eines Energiemanagementsystems muss von der Geschäftsführung oder den zuständigen Verantwortlichen beschlossen, angestoßen und gefördert werden. Die Geschäftsführung muss die Information und Einbindung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aktiv verfolgen. Sie muss bereit sein, den mit dem Energiemanagement verbundenen Zeitaufwand und die Ausgaben zu tragen.

5.1.1 Zielsetzung des betrieblichen Energiemanagements

Das Ziel eines Energiemanagements (EM) ist es, die Energieversorgung sicher zu stellen und den Energieeinsatz in einem Unternehmen – vom Energieeinkauf bis zum Energieverbrauch – ökonomisch und ökologisch zu optimieren. Energiemanagement ist die Summe aller Maßnahmen, die geplant und durchgeführt werden, um die geringste mögliche Energiemenge bei maximalem Komfortniveau zu verbrauchen [6].

Das Energiemanagement konzentriert sich daher auf:

- **Versorgungssicherheit** – zuverlässige Bereitstellung von Energie, um die gewünschte Qualität und den erforderlichen Komfort zu gewährleisten.
- **Kosten** – Einsparungen von Energie bzw. Energiekosten und CO₂-Emissionen durch Verbesserung der Energieeffizienz von Prozessen, Anlagen und Geräten, beispielsweise durch Rückgewinnung von Energie (Wärme) oder Energieträgerwechsel (Strom auf Gas).
- **Umweltschutz** – Sensibilisierung der Nutzer (Mitarbeiter/innen) bezüglich Energieeffizienz und Klimaschutz.

5.1.2 Elemente des Energiemanagements

Die wichtigsten Elemente des Energiemanagement sind die Energiepolitik, die Energieziele und das Energiecontrolling sowie eine passende Aufbau- und Ablauforganisation (vergleiche Abbildung 5-1). Zum Energiecontrolling gehören die betriebliche Energieanalyse, die regelmäßige Verbrauchs- und Kostenkontrolle sowie die Umsetzung von Maßnahmen. Das Energiecontrolling muss so organisiert sein, dass Verbesserungsmöglichkeiten kontinuierlich schnell und sicher identifiziert und umgesetzt werden.

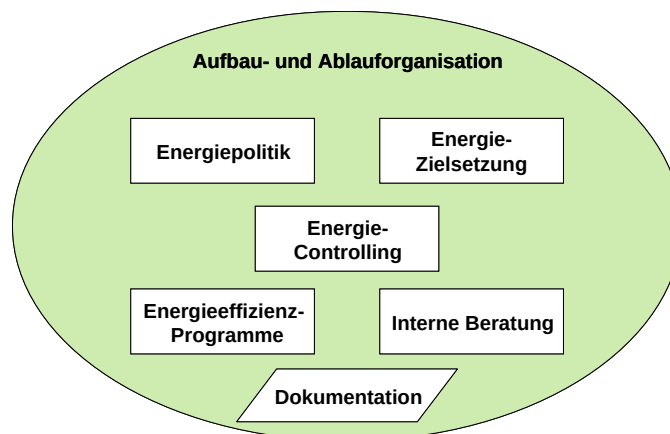


Abbildung 5-1: Elemente des Energiemanagements (eigene Darstellung)

Zunächst sollte die Geschäftsführung eines Unternehmens die Energiepolitik formulieren. Die Energiepolitik dient dazu, die Unternehmensphilosophie und strategischen Prinzipien hinsichtlich des Umgangs mit der Energie festzulegen und festzuschreiben. Die Energiepolitik ist Ausdruck eines internen Bewusstseins für die rationelle Energienutzung. In der Regel reicht ein einziger Satz, aus dem klar wird, dass die Energiekostenreduzierung wichtig ist.

Als nächstes sollten konkrete Energieziele, abgeleitet aus den allgemeinen Unternehmensgrundsätzen, schriftlich formuliert werden. Zum Beispiel könnte das Energieziel für die ersten drei Jahre sein, Transparenz zu schaffen und alle nicht investiven Maßnahmen umzusetzen. Die Energieziele sollten bei Bedarf regelmäßig nach einigen Jahren aktualisiert werden.

Das Energiecontrolling dient zur Koordinierung der Energiebedarfssteuerung. Kernstück ist ein internes Informationssystem, welches aus folgenden Modulen bestehen kann:

- Datenerfassung: Energiedaten (z.B. Verbrauch, Preise) und andere energierelevante Daten
- Verwaltung und Buchhaltung der Energiedaten (z.B. monatlicher Verbrauch an Strom, Erdgas, Wasser)
- Datenanalyse und -auswertung (z.B. Tabellen und Grafiken zu Zeitreihen, Hinweis auf ungewöhnlichen Verbrauchsanstieg)
- Planung und Budgetierung des Energiebedarfs und der geplanten Maßnahmen (z.B. Festlegung des Budget für Energieberater)
- Energiekostenrechnung und Energieberichtswesen: systematische und regelmäßige Dokumentation der Daten

Auf Basis dieser Module werden Energieeffizienzprogramme (z.B. Austausch von Glühlampen) festgelegt. Darüber hinaus werden Mitarbeiter benannt, die interne Beratung (z.B. Beantwortung von Fragen zum Lüftungsverhalten) durchführen können. Soweit möglich sollten die Daten, Maßnahmen und Erfolge dokumentiert werden.

Aufbau- und Ablauforganisation beziehen die relevanten Mitarbeiter/innen und die Geschäftsführung in den Aufbau und die Durchführung des Energiemanagementsystems mit ein. Sie legen Aufgaben und Verantwortungsbereiche der beteiligten Personen fest, wobei die Wechselwirkungen mit gegebenenfalls schon bestehenden Managementsystemen (beispielsweise Qualitätsmanagementsystem) berücksichtigt werden. Das Energiemanagement sollte in die bestehenden Organisationsstrukturen eingebunden und adäquat dokumentiert sein. Bewährte Strukturen lassen sich beispielsweise auch aus den Normen zum Qualitätsmanagement (DIN EN ISO 9000 ff. [7]) ableiten und auf die Unternehmen anpassen.

5.1.3 Einführung eines Energiemanagements

Die Einführung des Energiemanagements (vergleiche Abbildung 5-2) setzt zunächst eine Entscheidung über die Organisationsform voraus, mit der das Energiemanagement im Unternehmen eingeführt und durchgeführt wird.

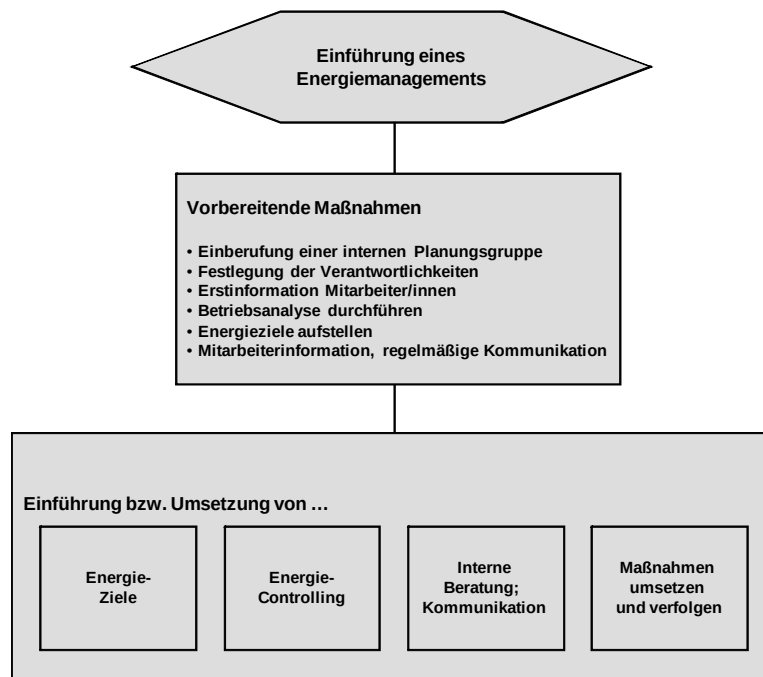


Abbildung 5-2: Einführung eines Energiemanagementsystems im Unternehmen (eigene Darstellung)

Im Unternehmen empfiehlt es sich, die Energieleitung und die Energietechnik mit den Aufgaben zu betrauen. Gibt es im Haus einen Verantwortlichen für das Gebäudemanagement, so sollte dieser auch mit einbezogen werden. Der Kreis der Verantwortlichen muss aber überschaubar bleiben. In vielen Fällen ist es auch sinnvoll, einen externen Energieexperten ins Energieteam aufzunehmen.

Das Energieteam informiert regelmäßig und umfassend über Ziele und Ergebnisse des Energiemanagements und bezieht alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein. Die Information der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist essentiell für ein erfolgreiches Energiemanagement. Das Energiemanagement wird nicht nur zu technischen Änderungen führen. Es wird auch zu Änderungen im Ablauf und den Gewohnheiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern führen. Das Personal ist der wichtigste Erfolgsfaktor.

Das Energieteam benötigt einen Überblick über den Energieverbrauch und die Energiekosten, sowie die vertraglichen Abmachungen mit den Energielieferanten und der Verbesserungsmöglichkeiten im Betrieb. Die Informationen werden im Rahmen einer betrieblichen Energieanalyse (siehe Kapitel 5.2) erarbeitet. Das dort erarbeitete Energieeffizienzprogramm (Maßnahmenplan) ist mit einem zeitlich gestaffelten Handlungsplan verknüpft. Es zeigt Verbesserungsmaßnahmen auf und ist Grundlage für die Arbeit des Energieteams.

Die betriebliche Energieanalyse liefert auch die Grundlage, um den Energieverbrauch und die Energiekosten in Zukunft verfolgen und vergleichen zu können. Diese Grundlagen (siehe Kapitel 5.2) ermöglichen den Datenvergleich mit früheren Jahren, branchenbezogenen Kennzahlen sowie mit vergleichbaren Unternehmen.

5.1.4 Energiecontrolling

Unter Energiecontrolling wird die systematische regelmäßige Erfassung und Bewertung des Energieverbrauchs verstanden. Das Energiecontrolling ist die entscheidende Komponente eines wirkungsvollen Energiemanagements. Wichtig ist, dass die Erfassung der Energieverbräuche zeitnah erfolgt.

Für die zeitnahe Erfassung bieten sich zwei Methoden an: Zum einen kann die Erfassung der Betriebs- und Verbrauchsdaten durch entsprechend qualifiziertes Personal durchgeführt; zum anderen kann eine automatische Erfassung der Energieverbräuche über Fernmess- und Fernauslesegeräte erfolgen.

Die manuelle Erfassung bietet sich in der Regel da an, wo mit verhältnismäßig geringem Personaleinsatz die Energiedaten von nur wenigen Verbrauchern/ Verbrauchergruppen erfasst werden müssen.

Sollen die Daten von zahlreichen Verbrauchern (Geräte, Anlagen, Maschinen) aufgezeichnet werden, ist die automatische Erfassung in der Regel günstiger, da die hierzu erforderlichen Investitionen meistens nur einen Bruchteil der Personalkosten für die regelmäßig manuelle Erfassung ausmachen. Darüber hinaus sind die Abfrageintervalle und die möglichen Reaktionszeiten auf Unregelmäßigkeiten dann deutlich kürzer.

Sowohl die manuell als auch automatisch erfassten Daten müssen auf einem Rechner zusammengeführt und analysiert werden. Aus den Analyseergebnissen sollte dann der Maßnahmenplan optimiert werden und die Maßnahmen zur Energie- und Betriebsoptimierung schrittweise realisiert werden. Nach Umsetzung der Maßnahmen wird das Energiecontrolling zur Erfolgskontrolle herangezogen.

Die Einführung des Energiecontrollings erfolgt üblicherweise in drei Schritten:

1. Vorbereitungsphase

Zusammenstellung der grundlegenden Informationen zur Organisation, technischen Ausstattung und die Vorbereitung einer betrieblichen Energieanalyse.

2. Einführungsphase

Analyse der aufgenommenen Energiedaten und Bildung von Bewertungsmaßstäben (Kennzahlen, Benchmarking; siehe unten).

3. Durchführungsphase

Der Energieverbrauch wird kontinuierlich an Hand der zuvor definierten Bewertungsmaßstäbe (z.B. Endenergie pro Umsatz u. a.) überwacht. Die Bewertungsmaßstäbe müssen beispielsweise nach Einsparinvestitionen angepasst werden.

Das Energiecontrolling kann sich nur zum wirkungsvollen Instrument des Energiemanagements entwickeln, wenn es konsequent praktiziert wird. So kann das Energiemanagement schrittweise die betrieblichen Energiekosteneinsparpotenziale realisieren.

5.1.5 Energiekennzahlen

Zur Vereinfachung und Systematisierung der Analyse werden typischerweise Kennzahlen gebildet. Für Unternehmen der Recyclingindustrie bieten sich verschiedene Kennzahlen an. Wichtige Größen wie der Verbrauch, die Kosten von Heizenergie und elektrischer

Energie sowie Trinkwasser und Abwasser werden zu typischen Bezugsgrößen ins Verhältnis gesetzt, wie etwa die Produktionsmenge oder dem Umsatz.

Im Folgenden sind Beispiele für Energiekennzahlen (EKZ) aufgeführt:

$\frac{\text{Energiekosten} \times 100}{\text{Umsatz}}$	[%]
$\frac{\text{Energiekosten} \times 100}{\text{Gesamtkosten}}$	[%]

Produktionsbezogene Kennzahlen, zum Beispiel

$\frac{\text{Gesamtenergieeinsatz}}{\text{Produktionsmenge}}$	$\left[\frac{\text{kWh}_{\text{ges}}}{\text{t, m}^2} \right]$
$\frac{\text{Energieträger}}{\text{Produktionsmenge}}$	$\left[\frac{\text{kWh}_{\text{ges}}}{\text{t, m}^2} \right]$
$\frac{\text{Stromeinsatz}}{\text{Produktionsmenge}}$	$\left[\frac{\text{kWh}_{\text{el}}}{\text{t, m}^2} \right]$
$\frac{\text{Wasserverbrauch}}{\text{Produktionsmenge}}$	$\left[\frac{\text{m}^3}{\text{t, m}^2} \right]$

Die Vergleiche der Kennzahlen unterschiedlicher Jahre geben Hinweise auf systematische Veränderungen bei der Produktion, Verhaltensänderungen des Personals bezüglich Änderungen des Betriebsablaufes oder über technische Veränderungen sowie Mängel an Anlagen und anderen Geräten.

5.2 Energieorientierte Betriebsanalyse

Die Energieanalyse ist ein wichtiger Bestandteil des Energiecontrollings und des Energiemanagements und liefert die Grundlage für die Identifizierung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen sowie für die Festlegung der konkreten Energieziele des Unternehmens. Sie schafft die Grundlage für das zielgerichtete Arbeiten im Energiemanagementsystem. Die Ergebnisse, die während der betrieblichen Energieanalyse erarbeitet werden, sind außerdem auch die Basis für das Energiecontrolling.

Zunächst wird in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die wichtigsten Schritte einer strukturierten Analyse der energietechnischen und energiewirtschaftlichen Bereiche eines Unternehmens gegeben. Ziel ist es, dass sich die für die Energietechnik verantwortlichen Personen eigenständig in systematischer Form einen guten Überblick über die

Energieeffizienz der Prozesse, Geräte und Anlagen ihres Betriebs verschaffen können.

Neben dem primären Ziel, die Energiekosten im Unternehmen zu senken, werden mit einer betrieblichen Energieanalyse (Energieaudit) folgende weitere Ziele verfolgt:

- Transparenz und Information über die Energieversorgungs- und Energieeinsatzstrukturen innerhalb des Betriebs sowie über die möglichen Einspar- und Optimierungspotenziale.
- Sensibilisierung der Verantwortlichen in Hinblick auf die möglichen Kosteneinsparungen durch rationelle Energienutzung.
- Motivation aller Mitarbeiter zum effizienteren Umgang mit Energie.

5.2.1 Vorgehensweise und Systematik

Um den Aufwand einer betrieblichen Energieanalyse überschaubar zu halten, können nicht alle Verbrauchsbereiche (Arbeitsbereiche) oder Anlagen und Maschinen mit derselben Detaillierungstiefe untersucht werden. Die betriebliche Energieanalyse wird daher in der Regel in zwei Schritte unterteilt: Grob- und Feinanalyse. Wie der Name schon sagt ist der wesentliche Unterschied der beiden Analysen die Detaillierungstiefe. Die Ergebnisse und Informationen der beiden Analyseschritte ergänzen einander.

In der Grobanalyse (auch „Top-down-Analyse“ genannt) werden Verbesserungspotenziale identifiziert und die näher zu untersuchenden Bereiche, Anlagen und Maschinen ausgewählt. Dies sind in der Regel Bereiche, Anlagen und Geräte, die die meiste Energie verbrauchen, in denen die größten Einsparungen oder in denen am schnellsten Einsparungen erzielt werden können (siehe auch Kapitel 5.2.2).

Nach der Grobanalyse wird eine Feinanalyse der ausgewählten Bereiche, Anlagen und Geräte durchgeführt („Bottom-up-Analyse“). Es werden Daten gemessen, Angebote eingeholt und konkrete Verbesserungsmaßnahmen inklusive Umsetzungsplanung erarbeitet. Die standortspezifischen Verbesserungspotenziale können unmittelbar umsetzbar sein, aber auch nur mittel- oder längerfristig realisierbar. Auch können es so genannte abhängige Maßnahmen sein, die nur bei größeren Sanierungsmaßnahmen derzeit wirtschaftlich realisierbar sind (siehe auch Kapitel 5.2.2).

Für jeden Analyseschritt sollten Ziele festgelegt werden. Dies verhindert, dass unnötige Daten erhoben, aber auch relevante Daten nicht vergessen werden. Abbildung 5-3 veranschaulicht den Prozess. Bei der Vorbereitung einer Analyse wird zunächst bestimmt, welche Ergebnisse und Aussagen gewünscht sind. Davon ausgehend werden die durchzuführenden Vergleiche und Auswertungen sowie die aufzustellenden Kennzahlen und Verhältnismerte festgelegt. Anschließend werden die zu erhebenden Daten definiert. Die Datenaufnahme und -auswertung selbst läuft umgekehrt ab, ausgehend von den „Rohdaten“ werden Kennzahlen und Verhältnismerte ermittelt. Über Vergleiche und Auswertungen werden anschließend Ergebnisse und Aussagen erarbeitet.

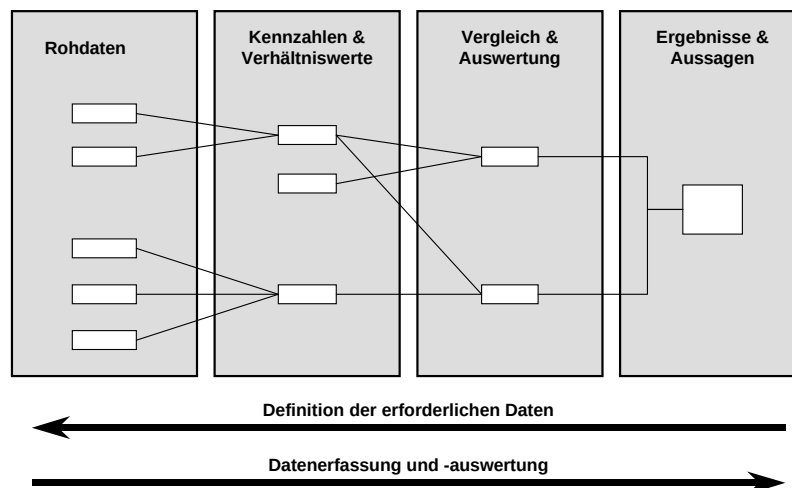


Abbildung 5-3: Vorgehensweise bei der Festlegung zu erhebender Daten (von rechts nach links) und bei der Analyse (von links nach rechts), (eigene Darstellung)

5.2.2 Ablauf einer energieorientierten Betriebsanalyse

Ein mit einer betrieblichen Energieanalyse beauftragtes Beratungsunternehmen wird im Wesentlichen die nachfolgend dargestellten Arbeitsschritte leisten. Dieses Kapitel soll die im Unternehmen für den rationellen Energieeinsatz verantwortlichen Personen in die Lage versetzen, die Arbeiten des Beraters besser zu verstehen und zu überwachen.

Der erste Schritt (Grobanalyse) der betrieblichen Energieanalyse umfasst die Bestandsaufnahme des Unternehmens unter energetischen Gesichtspunkten. Dazu werden auch betriebswirtschaftliche Größen wie Anzahl der Mitarbeiter, Höhe der Produktionsmengen etc. erfasst. Im Einzelnen werden zum Beispiel nachfolgende Größen und Informationen für die Auswertung benötigt:

- Energiebedarfsprofil (Energieverbrauch von Gas, Öl, Strom etc.) und dessen Entwicklung über die letzten 2 – 3 Jahre.
- Anschluss- und Leistungsdaten (Nennleistungen, Höchstleistungen, Blindleistungen etc.).
- Bezugsverträge und -tarife aller Energiearten (wie Strom, Gas, Fernwärme, Heizöl). Es ist sinnvoll, diese Daten für Wasser und Abwasser gleichfalls zu erheben.
- Transparenz über die „Energiepfade“ durch das Unternehmen, das heißt welche Anlagen werden mit Strom, Wärme, Gas etc. versorgt und wie viel verbrauchen sie.
- Ermittlung der Hauptverbraucher (Heizungs- und Lüftungsanlagen, Beleuchtung).
- Wartungsdaten (Intervalle, letzte Wartung, Unternehmen etc.).
- Kenntnis über die Situation der (Energie-) Datenerfassung im Unternehmen (Standort Zähler für Strom, Gas, ggf. Wärme, Wasser).

Die Informationen liegen in der Regel im Betrieb vor – leider jedoch in den wenigsten Fällen strukturiert erfasst und dokumentiert. Die Aufgabe besteht also auch darin, diese Informationen systematisch für die Geschäftsführung oder das Energiemanagementteam aufzubereiten.

Die Ermittlung des jährlichen Verbrauchs und der Kosten erfolgt anhand der Gas-, Heizöl-, Fernwärme und Stromabrechnungen.

Die Bezugsbedingungen für Strom und Gas sind den Lieferverträgen zu entnehmen, ebenso die Kosten für eine Kilowattstunde oder Megawattstunde Energie. Die Kosten für Transformatornutzung, Leistungsspitzen, Anschlussleistungen etc. sind ebenfalls im Vertrag festgelegt. Wichtig ist ferner, dass die Regelungen zu Vertragslaufzeit und Fristen für Vertragskündigung zusammengestellt werden.

Die Durchführung dieser Schritte – Datenerfassung und deren Auswertung – liefert bereits einen guten Überblick über die Energieversorgungs- und Energieverbrauchssituation. Folgende Ergebnisse liegen am Ende der Grobanalyse in einer strukturierten Form vor:

- Verbrauchs- und Kostendaten,
- Vertragliche Vereinbarungen zur Kostenkalkulation,
- Energiesparmöglichkeiten, Aufdeckung erster Verbesserungspotenziale,
- Qualitätsverbesserungen (Energieversorgung, Energieverbrauchssituation),
- Effizienzsteigerungen,
- Reihenfolge der erforderlichen Maßnahmen,
- Festlegung der näher zu untersuchenden Energieverbraucher (wie Heizkessel, Beleuchtung, Lüftungsanlage), Maschinen oder Anlagen für die Feinanalyse.

Die Feinanalyse untersucht einzelne Bereiche, Prozesse oder Anlagen genauer. Diese Untersuchungen können von Unternehmen zu Unternehmen variieren, da die Hauptverbraucher unterschiedlich sein können. Gegebenenfalls können die spezifischen Kosten mit anderen Unternehmen verglichen werden. Neben den technischen Bewertungen sind auch ökonomische Aspekte zu beachten, um für das Unternehmen das betriebliche Optimum auszuarbeiten. Im Rahmen der Feinanalyse können Einzelmessungen (Lastgang, Lüftungsanlage, Heizkessel, Heizungssystem, erforderlich sein (siehe auch Kapitel 5.2.3).

Die Ergebnisse der Feinanalyse sind zusammengefasst:

- Ergänzung der Datenlage über die Energieversorgungs- und Energieverbrauchsstrukturen einzelner Geräte bzw. Anlagen.
- Kenntnis der Energieeffizienz der wichtigsten energietechnischen Systeme (Heizungsanlage, Lüftungsanlage, Kälteanlage).
- Aufdeckung, Quantifizierung und Bewertung von Verbesserungsmöglichkeiten.
- Ausarbeitung von konkreten Verbesserungsmaßnahmen im Bereich Energie.

5.2.3 Messungen und Auswertungen

Häufig gibt es in den Recyclingunternehmen nur jeweils einen Zähler für den Gas- und Stromverbrauch. Empfehlenswert ist der Einbau weiterer Zähler für Strom oder Gas in den verschiedenen Bereichen des Betriebs.

Um noch mehr Transparenz zu erhalten werden im Rahmen der Energieanalyse in der Regel gezielte Einzelmessungen durchgeführt.

Typische Messgrößen sind:

- Aufzeichnung des elektrischen Lastganges des Gesamtbetriebes oder des elektrischen Lastgangs einzelner Verbraucher oder Verbrauchsgruppen.
- Messung des Temperaturverlaufs an Heizungsanlagen.
- Messung der Undichtigkeit an Wänden, Fenstern, Dächern: Wärmebildaufnahmen von Gebäuden können erste Impulse zur Gebäudemodernisierung geben, Wärmebildaufnahmen von Anlagen oder Maschinen (z.B. Schaltschränken) können Aufschluss über Leckagen oder Undichtigkeiten geben.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Messungen und deren Ergebnisse erläutert.

Strom

Der zeitliche Verlauf der Stromaufnahme einzelner Anlagen bzw. Geräte wird mit Hilfe von Messgeräten erfasst und aufgezeichnet. Die Kenntnis der Lastspitzenverursacher erlaubt durch Anpassung der Arbeitsweise bzw. durch technische Maßnahmen den Strombezug zu vergleichmäßigen und damit die Leistungskosten zu senken. Darüber hinaus können Grundlastverbraucher identifiziert werden, die gegebenenfalls abgeschaltet werden können. Abbildung 5-4 zeigt das Lastprofil der elektrischen Leistung eines Recyclingunternehmens über eine Woche. Die Grundlast während der Arbeitszeit entsteht in der Regel durch Lüfter, Beleuchtung, Pumpen etc. Werden viele Anlagen im Betrieb gleichzeitig benutzt, kommt es zu teuren Leistungsspitzen. Ein Stromlastmanagement sorgt dafür, dass Hauptverbraucher zeitlich versetzt betrieben werden und sich die Stromleistung reduziert. Lastmanagementsysteme verringern also nicht den Gesamtenergiebezug, tragen aber über die Senkung der Leistungsspitzen dazu bei, die Stromkosten zu reduzieren.

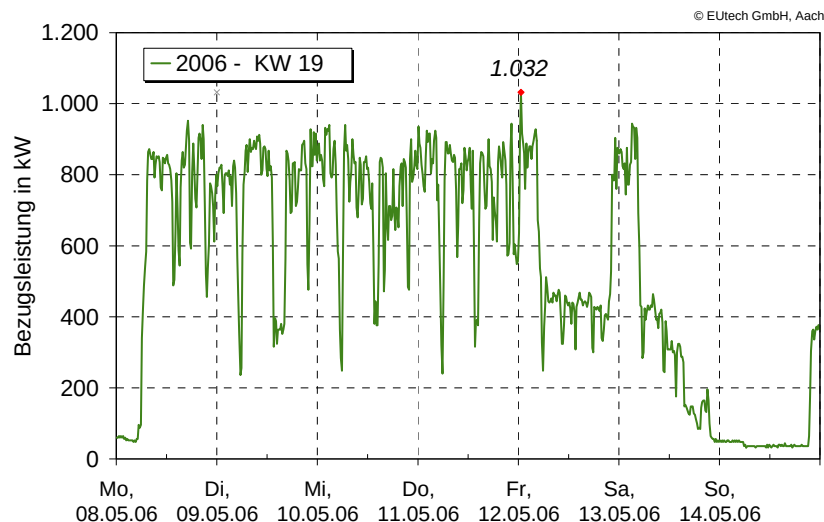


Abbildung 5-4: Stromlastgang eines Recyclingbetriebes (ein typischer Tag), (eigene Darstellung)

Wärme

Mit Hilfe von Thermoelementen und Datenspeichern werden kontinuierliche Temperaturmessungen z. B. an wärmetechnischen Anlagen durchgeführt. Die Messprofile geben Aufschluss über dynamische

Aufheiz- und Abkühlvorgänge, über die Effizienz, Schaltheufigkeit, Betriebsweise oder über Verluste der Heizungsanlage.

Mit Hilfe einer Infrarotkamera kann zum Beispiel die Wärmeabstrahlung von Gebäudehüllen untersucht werden. Die Bilder (vergleiche Abbildung 5-5) geben Auskunft über Isolationsschwachstellen von Gebäuden wie zum Beispiel Wände, Fenster, Dächer, Kältebrücken wie auch Feuchtigkeitseinbrüche.

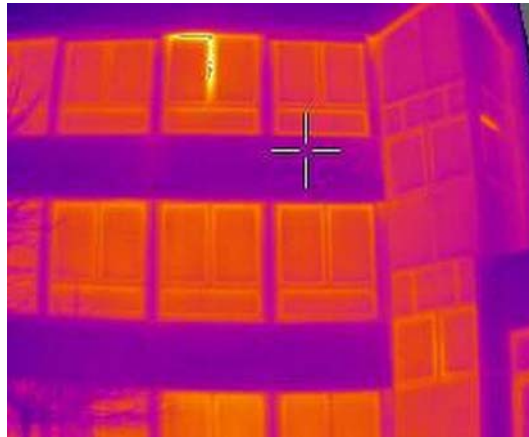


Abbildung 5-5: Thermographiebild eines Gebäudes: Gibt Auskunft über Isolationsschwachstellen oder gekippte Fenster. Wärmeabstrahlung durch ein gekipptes Fenster als helle Flächen im Bild sichtbar, (Quelle: EUTECH)

Checklisten

Für die kontinuierliche Erfassung und Auswertung der Verbrauchswerte bieten sich einfache Kalkulationstabellen an. Im Rahmen des Energiemanagementsystems ist festzulegen, wer die Verbrauchsdaten an den Messzählern abliest und in die entsprechenden Tabellen einpflegt. Folgende Daten sollten erfasst werden, um eine Auswertung der Verbrauchswerte vorzunehmen:

- Erfassung des Gasverbrauches und der Gaskosten
- Erfassung des Stromverbrauches und der Stromkosten
- Erfassung der Strom- und Gaszähler
- Erfassung des Wasserverbrauchs und der Wasserkosten

In die Tabellen können die spezifischen Kosten eingetragen werden, so dass jeweils z. B. monatliche Verbrauchs- und Kostenkontrollen möglich sind.

5.3 Literatur zu Kapitel 5

- [1] BINE Informationsdienst: basisEnergie 15 – Was ist Energie?; Herausgeber: Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH; <http://www.bine.info>
- [2] Energieagentur NRW: Energiepfade durch den Betrieb - Ein Leitfaden für Industrie und Gewerbe, Wuppertal, o. J.
- [3] Wanke, Andreas; Stefan Trenz (Hrsg.)– Energiemanagement für mittelständische Unternehmen. Rationeller Energieeinsatz in der

Praxis. Arbeitsschritte – Planungshilfen – Lösungsbeispiele
Dt. Wirtschaftsdienst, 2001, (ISBN 3-87156-344-7)

- [4] Verein Deutscher Ingenieure e.V.: VDI-Richtlinie 3922
Energieberatung für Industrie und Gewerbe, VDI-Gesellschaft
Energietechnik, Düsseldorf, 1998
- [5] Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK):
Praxisleitfaden zur Förderung der rationellen Energieverwendung
in der Industrie, Essen, 1998
- [6] VDI-Richtlinie 4602, Blatt 1: Energiemanagement Begriffe,
Definitionen, Düsseldorf 2007.
- [7] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen
und Begriffe (ISO 9000), Berlin 2005.

6 Finanzierung

Wie in den Kapiteln zuvor eingehend beschrieben, sind zahlreiche kurzfristig umsetzbare Energieeinsparungen in vielen Betrieben ohne Kosten verbunden. Dies sind in der Regel organisatorische Maßnahmen, die keine Finanzierung, sondern nur eine Sensibilisierung und Schulung des Personals erfordern. Andere der vorgestellten Maßnahmen sind mit nur geringen Investitionen verbunden, die meist selber finanziert werden können.

Schwieriger ist oft die Umsetzung von mittel- oder langfristige Maßnahmen, die mit einem höheren Kapitalaufwand verbunden sind. Wie Förderprogramme oder andere Finanzierungsinstrumente dabei helfen können, diese Projekte umzusetzen, wird in diesem Kapitel beschrieben.

6.1 Kredit- und Förderprogramme

Auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene existiert eine Vielzahl von Förderprogrammen, welche die rationelle Energienutzung in Industrie- und Gewerbebetrieben und den Einsatz regenerativer Energien mit Zuschüssen unterstützen. Gefördert werden Investitionen, Forschung und Entwicklung sowie Beratung. In der Regel ist eine Antragsstellung sowie die Bewilligung für das zu fördernde Projekt vor Projektbeginn erforderlich. Der Förderumfang ist dabei stark von der Größe des Unternehmens und vom innovativen Charakter des Projektes abhängig. Neben den öffentlichen Stellen gibt es verschiedene Stiftungen, die abhängig von ihrem Schwerpunkt Maßnahmen fördern, wie zum Beispiel die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

Teilweise fördern auch Energieversorgungsunternehmen die rationelle Energieverwendung und die Nutzung regenerativer Energien. Energieversorgungsunternehmen geben Ihren Kunden gerne darüber Auskunft.

Eine Übersicht über Institutionen, die weiterführende Auskünfte geben können, befindet sich im Anhang.

Im Folgenden wird kurz und übersichtlich auf unterschiedliche aktuelle Förderprogramme eingegangen.

Im Februar 2008 haben das BMWi und die KfW Förderbank gemeinsam die Initiative "Sonderfonds Energieeffizienz in KMU" gestartet. Dieses Programm dient der Erschließung von Energieeffizienzpotentialen in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Bestandteile des Sonderfonds sind die beiden Komponenten "Energieeffizienzberatung" und "Investitionskredite für Energieeinsparmaßnahmen". Im Rahmen der "Energieeffizienzberatungen" werden Zuschüsse für qualifizierte und unabhängige Energieberatungen in Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und für Freiberufler gewährt. Durch die Beratung sollen Schwachstellen bei der effizienten Energieverwendung aufgezeigt und Vorschläge bzw. konkrete Maßnahmenpläne für Energie und Kosten sparende Verbesserungen gemacht werden. Die Energieeffizienzberatung gliedert sich in zwei Stufen. Die erste Stufe, die Initialberatung, wird dabei mit bis zu 80% bezuschusst und die nachgeschaltete Detailberatung mit bis zu 60%.

Mit dem Investitionskredit im Rahmen des ERP-Energieeffizienzprogramms können kleine und mittlere Unternehmen Investitionen zur Energieeinsparung zinsgünstig finanzieren. Gefördert werden alle Investitionen in Deutschland, die wesentliche Energieeinspareffekte erzielen, d. h. die Investitionen müssen zu einer Energieeinsparung von mindestens 20% bei Ersatzinvestitionen bzw. 15% bei Neuinvestitionen führen. Dieser Nachweis kann zum Beispiel im Rahmen der Energieeffizienzberatung durch den Energieberater erfolgen. Förderfähig sind Investitionen zur Senkung des Energieverbrauchs, z. B. in den Bereichen Haus- und Energietechnik, Gebäudehülle, Maschinenpark, Prozesswärme, Prozesskälte, Wärmerückgewinnung/Abwärmenutzung, Mess-, Regel- und Steuerungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik. Gefördert wird auch die Sanierung eines Gebäudes auf das Neubauniveau nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. der Bau eines Gebäudes, wenn das Neubauniveau nach EnEV um mindestens 30% unterschritten wird.

Beide Bausteine können unabhängig voneinander beantragt werden. Sinnvollerweise sollte aber eine Energieeffizienzberatung der Investitionsentscheidung vorangehen.

Des Weiteren bietet die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) unterschiedliche Kreditprogramme, bezogen auf die energetische Sanierung von Gebäuden, an. Diese beruhen in der Regel auf zinsvergünstigten Krediten für

- die CO₂-Gebäudesanierung,
- das ökologische Neubauen.

Die Homepage www.kfw-foerderbank.de gibt zu diesem Thema umfassende Informationen.

Im Folgenden ist eine Auswahl der von der KfW als „förderungsfähig“ genannten Anlagen aufgeführt:

- Blockheizkraftwerke (BHKW) erzeugen gleichzeitig sowohl Wärme als auch Strom und sind somit im Vergleich zu einer getrennten Erzeugung wesentlich effizienter (siehe Kapitel 3.4.3). Insbesondere bei Unternehmen mit einer gleichbleibenden und ausreichenden Grundwärme (z.B. der Warmwasserbedarf) kann die Kraft-Wärme-Kopplung eine gute Alternative zur herkömmlichen Kesselanlage darstellen. Kleine, dezentrale Blockheizkraftwerke können auch mit Pflanzenöl zur Strom- und Wärmeerzeugung betrieben werden. Pflanzenöl kann in der Regel überall dort eingesetzt werden, wo momentan noch Heizöl verwendet wird. Die Vorteile sind dabei, dass Pflanzenöl aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird und somit CO₂-neutral ist und bei der Verbrennung nur geringe Schadstoffemissionen aufweist.
- Fernwärme wird meist mit Hilfe von fossilen Energieträgern in speziellen Heizwerken erzeugt, als „Abfallprodukt“ der Stromversorgung oder aus Industrieprozessen zur Verfügung gestellt. Stammt die Fernwärme aus Abwärme oder wurde sie über regenerative Energieträger erzeugt, ist ihr Einsatz besonders umweltfreundlich. Trotz im Vergleich zu den Brennstoffen hohe Wärmepreise ist Fernwärme häufig dennoch konkurrenzfähig, da die Investitionen in die Anlagentechnik deutlich niedriger sind.

- Lüftungsanlagen sind in gut gedämmten Neubauten und energetisch sanierten Altbauten eine sinnvolle Alternative oder Ergänzung zur klassischen Fensterlüftung. Die Anlagen sorgen zuverlässig für eine gleichbleibend hohe Raumlufthqualität bei einem geringen Energieverbrauch. Dabei werden Luftschadstoffe und hohe Kohlendioxyd-Konzentrationen sicher abgeführt und die Luftfeuchtigkeit vollautomatisch auf ein unschädliches Maß begrenzt.
- Solaranlagen zur Stromerzeugung (Photovoltaikanlagen) ermöglichen dem Betreiber, als "Stromversorger" tätig zu werden. Die Anlagen können auf Häuserdächern und Fassaden, an öffentlichen Gebäuden, Hallendächern, Lärmschutzwänden etc. installiert werden und "Grünen Strom" ins öffentliche Netz einspeisen. Rahmenbedingungen hierfür liefert das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). Darüber hinaus stellen das Land über das Förderprogramm „progres“¹ und die KfW beispielsweise über das Förderprogramm „Solarstrom erzeugen“ Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten bereit.
- Die Nutzung von Solarenergie zur Wärmeherzeugung ist eine weitere Möglichkeit in Kombination mit Gas/Öl-Brennwertkesseln Brennstoffkosten einzusparen. Land und Bund fördern Solarthermische Anlagen über einen Zuschuss.
- Eine effiziente Möglichkeit, Heizwärme mittels sogenannter „unerschöpflicher“ Energiequellen bereitzustellen, bietet die Wärmepumpe. Sie nutzt dazu Wärme aus der Umgebung oder aus anderen Wärmequellen und fördert diese mittels des vom Kühlschrank bekannten thermodynamischen Prinzips auf ein Temperaturniveau, das beispielsweise für die Gebäudebeheizung geeignet ist. Für Wärmepumpenprojekte stehen verschiedene Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten zur Verfügung [2].
- Der mangelhafte Wärmeschutz in alten Gebäuden führt oft zu Unbehaglichkeit und hohen Energiekosten. Besonders wirtschaftlich gestaltet sich eine energetische Sanierung (Wärmedämmung, Heizungssanierung), wenn am Gebäude ohnehin Instandsetzungsmaßnahmen wie zum Beispiel ein neuer Anstrich oder Putzerneuerungen anstehen. Für Sanierungsmaßnahmen stehen verschiedene Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Die EnergieAgentur.NRW bietet derzeit (2009) einen unentgeltlichen sowie anbieter- und produktneutralen Informationsservice an. Darüber hinaus werden Initialberatungen angeboten auch für Betriebe, die keine KMU sind. Im Rahmen dieser Initialberatungen werden von Mitarbeitern der EnergieAgentur.NRW anhand von Erhebungsbögen und Checklisten erste Potenziale zur Energieeinsparungen abgeschätzt. Ebenfalls können Broschüren zu den wichtigsten Beratungsthemen bei der EnergieAgentur.NRW angefordert werden. Ausführliche Informationen, u.a. auch zu den Förderbedingungen, sind auf der Homepage der EnergieAgentur.NRW unter www.ea-nrw.de/foerderung erhältlich.

Des Weiteren existieren in Nordrhein-Westfalen Initiativen, wie beispielsweise ÖKOPROFIT, die interessante Informationen und Kooperationsmöglichkeiten unter anderem auch zum Thema

¹ „Progres“ löst das Ende 2006 ausgelaufene REN-Programm ab.

Energieeinsparung anbieten. Unter www.oekoprofit-nrw.de wird dieses Kooperationsprojekt zwischen Kommune und Wirtschaft vorgestellt, welches dazu beiträgt, die Umwelt zu entlasten und Kosten für Unternehmen zu senken.

6.2 Contracting

Beim Contracting muss das Unternehmen nicht selbst die Investitionen für die neue Anlage tätigen. Das Unternehmen zahlt nur das Produkt, beziehungsweise die Dienstleistung. Weil bei Contracting-Projekten in der Regel neueste Energieeffizienztechnologien eingesetzt werden, fallen die Betriebskosten geringer aus als bei den vorhandenen älteren Anlagen. Im Idealfall lassen sich aus dieser Kosteneinsparung nicht nur die Aufwendungen des Contractors decken. Vielmehr profitiert auch das Unternehmen von dauerhaft geringeren Neben- oder Energiekosten. Die Zeitspanne der vertraglichen Bindung beträgt in der Regel 10 bis 15 Jahre.

Unter Contracting wird allgemein die Übertragung von eigenen Aufgaben auf ein Dienstleistungsunternehmen verstanden. Zu den Hauptanwendungen gehören im Energiebereich Finanzierungs- und Betreibermodelle. Beim Contracting werden zum Beispiel die Energieversorgungsanlagen eines Gebäudes (Wärme- und Kälteversorgung, Beleuchtung, Lüftung oder Klimatisierung etc.) nicht mehr vom Gebäudeeigentümer selbst gekauft, gewartet und betrieben, sondern dies wird von einem externen Unternehmen übernommen, dem Contractor. Dieser Contractor kann zum Beispiel ein Hersteller von Heizungsanlagen, ein Dienstleister der Energietechnik oder ein Energieversorgungsunternehmen sein.

Im Wesentlichen wird bei Contracting zwischen Anlagencontracting und Einsparcontracting, auch Performance Contracting genannt, unterschieden.

6.2.1 Anlagencontracting

Beim Anlagencontracting steht auf der einen Seite der Energieabnehmer, der eine entsprechende Nutzenergie in Form von Wärme, Kälte oder Strom benötigt, und auf der anderen Seite der Contractor, der die gewünschte Nutzenergie bereitstellt. Je nach Vertragsumfang übernimmt der Contractor die Planung, Finanzierung, Bauausführung und den laufenden Betrieb des Investitionsprojektes weitgehend auf eigenes Risiko. Für den Energieabnehmer ergeben sich daraus mehrere Vorteile. Er muss kein eigenes Investitionskapital aufbringen und profitiert von dem meist größeren Know-how und den Einkaufspreisvorteilen der Contracting-Gesellschaft.

Die Preise für die Nutzenergielieferung sind projektbezogen kalkuliert und werden in der Regel aufgeteilt in einen Grund- und einen Arbeitspreis. Im Grundpreis sind die verbrauchsunabhängigen Kosten, insbesondere die Kapitalkosten, im Arbeitspreis die verbrauchsgebundenen Kosten enthalten. Häufig findet im Rahmen der vertraglich festgelegten Laufzeit eine Vollamortisation der getätigten Investitionen statt, d. h. alle Aufwendungen der Contracting-Gesellschaft einschließlich ihres Gewinns werden durch die Zahlungen, die der Energienutzer im Rahmen der nicht kündbaren Laufzeit leistet, gedeckt.

Kernpunkt des Anlagencontracting ist, dass der Contractor für die Energieversorgung zuständig ist und das damit verbundene Risiko trägt. Das Unternehmen bekommt die Energie geliefert, während der

Contractor dafür eine Vergütung unabhängig von der erzielten Primärenergieeinsparung erhält.

Beispiel Wärmelieferung

Die Heizzentrale eines Gebäudes soll nicht mehr vom Gebäudeeigentümer selbst, sondern von einem externen Unternehmen betrieben werden. Aufgabe des externen Unternehmens ist es, die benötigte Nutzwärme in der Heizzentrale des Gebäudes zu erzeugen und in das Heizungsnetz einzuspeisen. Anders als bei der Fernwärmeversorgung wird die gelieferte Nutzwärme also in unmittelbarer Nähe, nämlich im Gebäude selbst, erzeugt. Diese Form der Wärmelieferung wird deshalb auch als „Nahwärmeversorgung“ bezeichnet.

Der Wärmelieferant ist als Contractor für die gesamte Durchführung des Projektes verantwortlich. Er plant, tätigt die Investitionen und betreibt die Heizungsanlage nach der Installation.

Die von der Heizanlage abgegebene Nutzwärme wird an einer festgelegten Übergabestelle (Wärmemengenzähler) kontinuierlich erfasst. Der Contracting-Kunde bezahlt für diese Wärmemenge einen vorher vereinbarten Preis an den Wärmelieferanten. Hierdurch werden sämtliche Aufwendungen des Contractors gedeckt.

6.2.2 Einsparcontracting

Im Gegensatz zum Anlagencontracting sind beim Einsparcontracting die eingesparten Energiekosten Grundlage für die Finanzierung der Maßnahmen und Investitionen des Contracting-Unternehmers. Bevorzugte Anwendungsbereiche für das Einsparcontracting sind Technologien, die den Energieverbrauch stark reduzieren. Hierzu zählen vor allem Maßnahmen aus den Bereichen Lüftung und Klimatisierung, Heizung, Pumpen, Kälteversorgung sowie Beleuchtung.

In Abbildung 6-1 ist das Finanzierungsprinzip des Einspar-Contractings dargestellt. Die Basis für die Investitionen des Contractors bildet der vorgefundene Ist-Zustand, das heißt der Zustand vor Projektstart, in dem die Energiekosten in bestimmter Höhe vorliegen (Basiskosten). Der Contractor realisiert die energietechnischen Maßnahmen – zum Beispiel Installation neuer Anlagentechnik, Ersatz von Kessel- und Brenneranlagen im Wärmeerzeugungsbereich oder Optimierung von Steuerungs- und Regelungssystemen – und erreicht so eine Reduzierung des Energiebezugs und der Energiekosten. Wird die vertraglich vereinbarte Einspargarantie jedoch nicht erreicht, so geht dies ausschließlich zu finanziellen Lasten des Contractors.

Die Kosten des Nutzers liegen nach Umsetzung der Maßnahme oder der Maßnahmen zwar oberhalb der Energieverbrauchskosten des Contractors, jedoch deutlich unterhalb der Basiskosten (Energiekosten des Unternehmens beim Vertragsabschluss). Aus der Differenz zwischen vertraglich vereinbarten Energiekosten und tatsächlichen Kosten refinanziert die Contracting-Gesellschaft über die Vertragslaufzeit ihre Maßnahmen und Investitionen. Nach dem Vertragsende profitiert der Kunde von der ganzen Kostenreduktion.

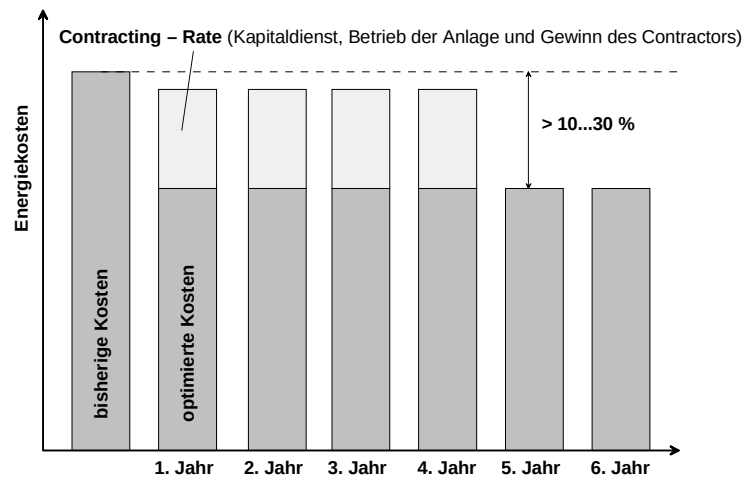


Abbildung 6-1: Prinzipielles Finanzierungsmodell beim Einspar-Contracting (eigene Darstellung)

Die Vertragsmodalitäten bei Einsparcontracting-Projekten variieren sehr stark voneinander und müssen sorgfältig gelesen und den individuellen Randbedingungen angepasst werden.

Eine mögliche Variante beim Einsparcontracting ist beispielsweise die Einspargarantie. Hierbei verpflichtet sich der Contractor vertraglich, eine festgelegte Einsparquote über die Vertragslaufzeit zu realisieren. Erreicht er diese Einsparquote nicht, muss er dem Contracting-Kunden die Differenz zwischen erreichter Energieeinsparung und von ihm garantierter Energieeinsparung vergüten.

Im Gegensatz zum Anlagencontracting sind beim Einsparcontracting die Einnahmen des Contractors erfolgsabhängig.

Weitere Informationen sind in der überarbeiteten 2. Auflage aus dem Jahr 2007 des „Leitfaden Contracting“ (EnergieAgentur.NRW) zu finden [1].

6.3 Literatur zu Kapitel 6

- [1] EnergieAgentur.NRW, c/o Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen: Leitfaden Contracting der EnergieAgentur.NRW, 2. überarbeitete Auflage 2007.
- [2] „Wärmepumpen Leitfaden für die Wohnungswirtschaft“, EnergieAgentur.NRW, Wuppertal 2007.

Anhang

Verwendete Abkürzungen

a	Jahr, lat.: annus
BHKW	Blockheizkraftwerk
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius, Maßeinheit der Temperatur
CO ₂	Chemisches Symbol für Kohlendioxid
d	Durchmesser, Rohrinnendurchmesser
d	Tag, lat.: dies
d.h.	das heißt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
elektr.	elektrisch
EM	Energiemanagement
etc.	et cetera
ETN	ETN steht für Energie, Technologie, Nachhaltigkeit. Der Projektträger ETN ist Koordinierungsstelle für das Land NRW
€	EURO (€)
e.V.	eingetragener Verein
EVG	elektronisches Vorschaltgerät (für Leuchtstofflampen)
ggf.	gegebenenfalls
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde, lat.: hora
Hu	Unterer Heizwert
Ho	Oberer Heizwert, Brennwert
hPa	Hektopascal, Maßeinheit des Druckes
HT	Hochtarif
i.a.	im Allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
IR	Infrarot
J	Joule, Maßeinheit der Energie
K	Kelvin, SI-Einheit der Temperatur <i>Temperaturdifferenzen werden in Kelvin angegeben, Absoluttemperaturen können in K (Kelvin) oder °C (Grad Celsius) oder °F (Grad Fahrenheit) angegeben werden</i>
kg	Kilogramm, SI-Einheit der Masse

kJ	Kilojoule
KVG	konventionelles Vorschaltgerät (für Leuchtstofflampen)
kW	Kilowatt, Maßeinheit der Leistung
kWh	Kilowattstunde, Maßeinheit der Energie
kWp	Kilowatt peak
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
lt.	laut
m	Meter, SI-Einheit der Länge
m	Masse
min	Minute
Mio.	Millionen (10^6)
MJ	Megajoule
Mrd.	Milliarden (10^9)
MWh	Megawattstunde
n.b.	nicht bestimmt
NOx	Chemisches Symbol für Stickstoffmonoxid
NT	Niedertarif
o.a.	oben angeführt
p	Druck
Pa	Pascal, SI-Einheit des Drucks
rd.	rund
red.	reduziert
REN	REN steht für „Rationelle Verwendung von Energie und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen“. Das REN-Programm ist ein Förderprogramm der Landesregierung NRW
s	Sekunde, SI-Einheit der Zeit
StBA	Statistisches Bundesamt
Std.	Stunde
Stk.	Stück
t	Tonnen
tägl.	täglich
TWh	Terawattstunde
u.	und
u.a.	unter anderem
u.ä.	und Ähnliches
USt.	Umsatzsteuer
vgl.	vergleiche

VIK	Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft
VVG	verlustarmes Vorschaltgerät (für Leuchtstofflampen)
w	Woche
W	Watt
WRG	Wärmerückgewinnung
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich

Indizes

a	Jahr
el	elektrisch
End	Endenergie
p	peak (→ Kilowatt peak)
PE	Primärenergie
th, therm	thermisch
krit.	kritisch

Umrechnungsfaktoren

Energie

	J	kcal	kWh
J	-	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$
kcal	4.187	-	$1,16 \cdot 10^{-3}$
kWh	$3,6 \cdot 10^6$	860	-

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2 = 1 \text{ Ws}$$

$$1.000 \text{ kWh} = 1 \text{ MWh}$$

$$1.000 \text{ MWh} = 1 \text{ GWh}$$

$$1.000 \text{ GWh} = 1 \text{ TWh}$$

Druck

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^3 \text{ hPa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ kg/(m s}^2\text{)}$$

Temperatur

$$0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \Rightarrow x^\circ\text{C} = (x + 273,15) \text{ K}$$

Primärenergiefaktoren

Folgende Faktoren dienen zur Umrechnung von Endenergie in Primärenergie. Bei den fossilen Energieträgern sind vereinfachend die Umwandlungs- und Transportverluste nicht berücksichtigt.

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 0,37 \text{ kWh}_{\text{el}} \quad \text{bzw.} \quad 1 \text{ kWh}_{\text{el}} = 2,70 \text{ kWh}_{\text{PE}}$$

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 0,85 \text{ kWh}_{\text{th}} \quad \text{bzw.} \quad 1 \text{ kWh}_{\text{th}} = 1,18 \text{ kWh}_{\text{PE}}$$

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Erdgas}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Heizöl}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Kohle}} \dots$$

Heizwerte und Stoffdaten

Energieträger 1)	Heizwert H_u				Dichte ²⁾
	kWh/kg	MJ/kg	kWh/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
Steinkohle	8,178	29,441	-	-	-
Braunkohle	2,444	8,798	-	-	-
Heizöl EL	11,844	42,638	9.830,5	35.389,5	830
Heizöl S (1% S)	11,217	40,381	10.656,2	38.362,0	950
Flüssiggas	12,775	45,990	7.409,5	26.674,2	580
Erdgas L	12,492	44,971	9,369	33,728	0,75 ³⁾
Erdgas H	13,044	46,958	10,044	36,158	0,77 ³⁾
Holz	3,611	13,000	-	-	-

¹⁾ Werte nach GEMIS; Ökoinstitut e.V., Freiburg

²⁾ bei 15 °C

³⁾ Normdichte

Emissionsfaktoren

Energieträger ¹⁾	spezifische CO ₂ -Emission		
	(Vorkette)	(Brennstoff)	(Summe)
	kg/MWh _{End}	kg/MWh _{End}	kg/MWh _{End}
Steinkohle	27,95	336,0	364,0
Braunkohle	13,73	416,9	430,6
Heizöl EL	36,61	268,1	304,7
Heizöl S (1% S)	45,53	283,6	329,1
Flüssiggas	64,08	229,5	293,6
Erdgas L	18,32	198,5	216,9
Erdgas H	18,32	206,0	224,3
Holz	1,49	365,0	366,5
Strom 2004 (lokales Netz)	-	641,3	641,3

¹⁾ Werte nach GEMIS; Ökoinstitut e.V., Freiburg

Glossar

Abwärmenutzung

Die bei einem Prozess anfallende Abwärme wird in anderen Prozessen verwendet. Hierdurch ist eine erhebliche Energieeinsparung möglich. Die Möglichkeit der Abwärmenutzung ist von der Wärmeleistung und den Temperaturen des wärmeabgebenden und des wärmeaufnehmenden Prozesses abhängig. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Gleichzeitigkeit zwischen den Prozessen.

Alternative Energiequellen

Umgangssprachlich für den Einsatz von Energieumwandlungsanlagen, die regenerative Energieformen in Strom oder Wärme umwandeln und wenige beziehungsweise keine CO₂ Emissionen freisetzen.

Amortisationszeit

→ Kapitalrückflusszeit

Arbeitspreis

Der Arbeitspreis ist der Preis für den verbrauchten Strom in Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh). Unterschieden wird zwischen → Hochtarif und dem deutlich günstigeren Niedrigtarif.

BHKW

Blockheizkraftwerk zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung, → „Kraft-Wärme-Kopplung“

Brennstoffe

Brennstoffe sind aufbereitete Primärenergieträger. Die Energie ist chemisch gebunden und wird mit einem Verbrennungsprozess in Wärme umgewandelt, die für nachfolgende Umwandlungsschritte verwendet wird. Beispiele für Brennstoffe sind Erdgas, Kohle, Heizöle, Holz, Papier oder Abfälle.

Brennwertkessel

Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen in erster Linie CO₂ und Wasserdampf. Im Brennwertkessel, auch als Kondensationskessel bezeichnet, werden die Abgase mit Hilfe des Heizungsrücklaufes abgekühlt, so dass der darin enthaltene Wasserdampf kondensiert. Die freiwerdende Verdampfungswärme wird im Heizungssystem genutzt.

Brennwertkessel haben daher gegenüber herkömmlichen Kesseln eine höhere Brennstoffausnutzung; bei Erdgas sind es bis zu 10% mehr, bei Heizöl bis zu 5%.

Endenergie

Ist der Energieinhalt aller gehandelten primär und sekundären Energieträger, die ein Unternehmen (Endverbraucher) bezieht (Bezugsenergie), vermindert um den des nichtenergetischen Verbrauchs und den Energieeinsatz bei der Eigenerzeugung von Strom und Gas beim Endverbraucher (nach VDI-Richtlinie VDI 4661).

Energieanalyse

Strukturierte Untersuchung der Energieversorgung, -bereitstellung und -nutzung eines Unternehmens. Ziel dieser Untersuchung ist die Erhebung und Bewertung einer Datenbasis, aus der Einsparmaßnahmen abgeleitet

werden können. Gleichzeitig kann diese Datenbasis als Grundstein für ein Energiemanagementsystem dienen.

Energie-Benchmarking

Vergleich der Energieeffizienz von Prozessen oder Unternehmen (z.B. Unternehmen der Recyclingindustrie) mit Hilfe von Kennzahlen. Den jeweiligen Zielwert (Benchmark) gibt das Unternehmen mit den günstigsten Werten vor.

Energie-Controlling

Aktive Kontrolle, Analyse und Steuerung von Informationen und von Energiedaten. Es geht darum, Verbrauchswerte regelmäßig nicht nur auf Veränderungen hin zu untersuchen, sondern die Verbräuche kritisch zu hinterfragen und Maßnahmen einzuleiten.

Energiemanagement

Ganzheitliches Steuerungsinstrumentarium, das die benötigten Energieträger vom Einkauf über die Umwandlung und Verteilung bis zur Nutzung und Abgabe in einem Unternehmen kontinuierlich erfasst und konkrete Ansatzpunkte zur Optimierung des Energieeinsatzes und der Energiekosten liefert.

Energieumwandlung

Unter Energieumwandlung wird die Umwandlung von einer Energieart in eine andere verstanden. Die Verbrennung von Kohle ist zum Beispiel die Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie, eine Solarzelle wandelt die Strahlungsenergie des Lichtes in elektrische Energie um, in einer wiederaufladbaren Batterie wird beim Laden elektrische in chemische Energie umgewandelt, bei der Entladung derselben chemische in elektrische Energie.

Energieverbrauch

Der Begriff „Energieverbrauch“ wird umgangssprachlich verwendet. Korrekter Weise sollten die Begriffe Energienutzung, Energieeinsatz oder Energiebedarf benutzt werden, da Energie aufgrund des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik weder erzeugt noch verbraucht werden kann, sondern immer nur in eine andere Energieform überführt wird.

Erneuerbare-Energien-Gesetz

Das deutsche Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, in der geläufigen Kurzfassung Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) genannt, soll den Ausbau von Energieversorgungsanlagen vorantreiben, die aus sich erneuernden (regenerativen) Quellen gespeist werden. Den Betreibern der zu fördernden Anlagen wird über einen bestimmten Zeitraum ein fester Vergütungssatz für den erzeugten Strom gezahlt.

Die entstandenen Mehrkosten, also die Differenz zwischen Vergütungssatz und Marktpreis des Stroms, werden unter den Energieversorgungsunternehmen (EVU) gleichmäßig aufgeteilt (Bundesweite Ausgleichsregelung) und fließen somit als zusätzlicher Kostenfaktor in Form der sogenannten EEG-Umlage in die Kalkulation und Abrechnung der Endverbraucherpreise ein.

Fernwärme

Transport von thermischer Energie in einem wärmegeprägten, überwiegend erdverlegten Rohrsystem vom Erzeuger oder der Sammelstelle der Abwärme zur Zentralheizung der Verbraucher, meist zur Heizung von Gebäuden. Unter Fernheizung wird die Erschließung

ganzer Städte oder ganzer Stadtteile verstanden. Bei der örtlichen Erschließung einzelner Gebäude, Gebäudeteile oder kleiner Wohnsiedlungen mit eigener Wärmeerzeugung spricht man auch von → Nahwärme.

Grundlast

Die ständig benötigte Leistung in einem Unternehmen (einem Energiesystem). Der Begriff wird hauptsächlich für den Energieträger Strom verwendet. Die Grundlast kann zum Beispiel durch folgende Anlagen verursacht werden: Kühlaggregate, Geräte in Stand-By-Betrieb, Haus- und Versorgungstechnik (Umwälzpumpen etc.), Telekommunikations- und EDV-Anlagen im Dauerbetrieb, Klimatisierung, Beleuchtung.

Heizwert

Der Heizwert ist der Messwert für die Wärme (Energie), die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes pro Volumen oder Masse freigesetzt werden kann. Beim Heizwert wird unterschieden zwischen dem oberen Heizwert und dem unteren Heizwert. Der obere Heizwert, auch als Brennwert bezeichnet, schließt die Energie, die bei der Kondensation des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs freigesetzt wird, mit ein und ist deshalb höher als der untere Heizwert. Der untere Heizwert errechnet sich aus dem oberen Heizwert abzüglich der Verdampfungswärme des Wassers.

Hochtarif

In der Hochtarifzeit (tagsüber) ist der Strom teurer als in der Niedertarifzeit. Zwischen 22 Uhr und 6 Uhr gilt der → Niedertarif, während der restlichen Zeit der Hochtarif. Da in der Nacht der allgemeine Strombedarf geringer ist, ist der Niedertarif im Preis deutlich günstiger. Die Netzlast und somit die Ausnutzung der Kraftwerke ist tagsüber höher.

Kapitalrückflusszeit

Zeitraum, bis die Summe der Einzahlungsüberschüsse eines Investitionsobjektes (statische Amortisationsrechnung) oder deren Kapitalwert (dynamische Amortisationsrechnung) die Anschaffungskosten übersteigt. Kann zur Beurteilung des Risikos einer Investition verwendet werden. Mit der Kapitalrückflusszeit kann aber keine Aussage über die Rentabilität einer Investition getroffen werden.

Kilowatt peak

Die Leistung einer Photovoltaikanlage wird in „kWp“ oder „kWpeak“, der sog. „Spitzenleistung“, angegeben. Dies entspricht der Leistung der Anlage unter Standardtestbedingungen, d.h. bei einer Einstrahlung von 1.000 W/m^2 in Modulebene, einer Umgebungstemperatur von 25°C und einer Sonnenhöhe von rund 42° über dem Horizont. Die durchschnittliche Leistung ist i.d.R. kleiner.

Kraft-Wärme-Kopplung

Gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in einer Anlage. Dieses Prinzip erhöht die Ausnutzung der in Brennstoffen gespeicherten Energie. Ein konventionelles Kraftwerk hat eine „Abwärmtemperatur“ von etwa 50 bis 80°C , für eine effiziente Wärmenutzung ist jedoch eine höhere Temperatur erforderlich, etwa 100 bis 130°C . Dies führt zu einem etwas geringeren Verstromungswirkungsgrad bei gleichzeitig deutlich verbesserter Abwärmenutzung (Steigerung des Gesamtwirkungsgrades).

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Das deutsche Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung) ist am 1. April 2002 in Kraft getreten. Ähnlich dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird die Förderung (bzw. Vergütung), welche Betreiber von testierten KWK-Anlagen erhalten, auf den gesamten Stromverbrauch, und somit auf jede in der BRD verbrauchte kWh, umgelegt.

Heizkraftwerke

So genannte Heizkraftwerke, bei kleineren Leistungsgrößen auch Blockheizkraftwerk (BHKW), sind Energieumwandlungsanlagen (Motoren oder Turbinen), die sowohl Strom als auch Heizwärme zur Verfügung stellen.

k-Wert

→ U-Wert

Lastmanagement

Das Lastmanagement dient der Kontrolle der elektrischen Spitzenleistung.

Lastmanagementsystem

Durch den gleichzeitigen Betrieb von Verbrauchern kann es zu erhöhten Lastspitzen und damit zu unnötig hohen Energiekosten kommen. Das Lastmanagementsystem greift hier aktiv ein und senkt selbstständig Leistungsspitzen, indem Verbraucher gezielt, das heißt unter Beachtung definierter Vorgaben, abgeschaltet werden.

Lastspitze

Die Lastspitze ist der Ausdruck für die Maximalleistung. Der Begriff wird hauptsächlich für den Energieträger Strom verwendet. Je mehr Verbraucher in einem Unternehmen (z.B. gleichzeitiger Betrieb der Anlagen und Maschinen, etc.) innerhalb eines Bemessungszeitraums aktiv sind, umso höher ist die Maximalleistung. Lastspitzen lassen sich vermeiden und kappen, wenn die Aktivität einzelner und energieintensiver Verbraucher gezielt in Zeiten mit niedriger Leistungsabnahme verschoben wird.

Leistungspreis

Der Leistungspreis ist der Grundpreis für den Stromanschluss. Die Höhe des Leistungspreises richtet sich jedoch nach der maximalen elektrischen Leistung, die bezogen wird. Werden bei einem Unternehmen z. B. morgens alle Geräte und Anlagen gleichzeitig eingeschaltet, ergibt sich kurzzeitig eine Leistungsspitze, die einen hohen Leistungspreis nach sich zieht. Werden die Geräte dagegen zeitlich versetzt in Betrieb genommen, lassen sich diese Spitze und damit auch der Leistungspreis deutlich senken. Der Stromverbrauch wird separat als → Arbeitspreis berechnet.

Leuchtstofflampe

Eine Leuchtstofflampe (auch als Gasentladungslampe bezeichnet) erzeugt durch die Gasentladung ultraviolettes Licht (UV-Licht). Die innenseitige Beschichtung des Glaskolbens setzt das erzeugte UV-Licht in ein dem Sonnenlicht möglichst ähnliches Spektrum um.

Lüftungswärmeverlust

Durch aktives Lüften oder Lüftungsanlagen verlorengegangene Wärme (durch Luftaustausch bzw. Luftwechsel). Dazu gehören auch die Verluste, bei denen Wärme unkontrolliert z.B. durch undichte Fugen von Fenstern oder Türen entweicht (passive Lüftung).

Nahwärme

Als Nahwärme wird die Übertragung von Wärme zwischen Gebäuden zu Heizzwecken umschrieben, wenn die Wärmeübertragung im Vergleich zur → Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken erfolgt.

Netzschalter

Verbindet und trennt ein elektrisches Gerät vom Stromnetz. Nicht jeder Geräteschalter ist jedoch ein echter Netzschalter. Bei zahlreichen Geräten wird heute aus Kostengründen auf einen Netzschalter verzichtet. Nur wenn das Gerät nach dem Ausschalten weder auf die Fernbedienung noch auf die Bedientasten am Gerät reagiert und alle Anzeigen erloschen sind, verfügt es über einen echten Netzschalter.

Niedertarif

Zu Zeiten niedrigen Stromverbrauchs (22:00 bis 6:00 Uhr) bieten die Stromversorger günstige Tarife an. Vergleiche auch → Hochtarif.

Nutzungsgrad

Im Gegensatz zum → Wirkungsgrad wird beim Nutzungsgrad das Verhältnis von gewonnener zu aufgewendeter Energie über einen bestimmten Zeitraum (z.B. ein Jahr) betrachtet.

Primärenergie

Unter dem Begriff „Primärenergie“ beziehungsweise „Primärenergieträger“ werden die Energieträger zusammengefasst, die in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden, zum Beispiel fossile Brennstoffe (wie Kohle, Erdöl, Erdgas), eingestrahlte Sonnenenergie, Biomasse oder Natururan.

Querschnittstechnik

Querschnittstechnik umfasst die Energieumwandlungsanlagen, die in fast jeder Branche zum Einsatz kommen. Hierunter fallen insbesondere die Wärme- und Kälteerzeugung, Lüftung sowie Beleuchtung.

Rücklauftemperatur

Mit der Rücklauftemperatur kommt das Heizwasser zum Kessel zurück. Die Rücklauftemperatur hängt also direkt mit der → Vorlauftemperatur zusammen, zusätzlich hat die Art der Wärmeabgabe und der aktuelle Wärmebedarf des Hauses einen Einfluss.

Schaltbare Steckerleiste

Die einfachste Lösung gegen unerwünschten Stand-by-Verbrauch. Am sichersten sind zweipolige Steckerleisten, die eine vollständige Trennung der angeschlossenen Geräte vom Stromnetz bewirken. Sie sind je nach Ausführung mit einer hochwertigen internen Stromverteilung ausgestattet, verfügen über eine Kindersicherung und sollten VDE- oder TÜV-geprüft sein.

Stand-By

Bereitschaftszustand von elektrischen Geräten. Dieser Zustand ermöglicht beispielsweise das Einschalten von Geräten über die Fernbedienung oder Dienste in Abwesenheit des Benutzers.

Stromlastspitze

→ Lastspitze

Stromsteuer

Bei der am 1. April 1999 eingeführten Stromsteuer handelt es sich um eine neue Verbrauchsteuer, die das Stromsteuergesetz (StromStG) regelt. Besteuert wird der getätigte Verbrauch von elektrischem Strom.

U-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (auch Wärmedämmwert, U-Wert, früher k-Wert) beschreibt den Wärmedurchgang von Stoffen, ist also ein Maß für die „Wärmedurchlässigkeit“. Der U-Wert ist der Kehrwert des Wärmeleitwiderstandes. Je niedriger der U-Wert eines Materials bzw. Bauteils (zum Beispiel Fenster, Mauerwerk, Dämmstoffe) desto besser ist seine isolierende Wirkung.

Der U-Wert wird in der Einheit $\text{W/m}^2\text{K}$ (Watt pro Quadratmeter und Kelvin) angegeben und dient der Bestimmung der Transmissionswärmeverluste durch Materialien bzw. Bauteile hindurch.

Vorlauftemperatur

Die Vorlauftemperatur ist die Temperatur, auf den der Heizwärmeerzeuger das Heizwasser bringen muss. Mit dieser Temperatur wird das Wärmeverteilnetz gespeist. Früher wurde mit hohen Temperaturen gearbeitet (z.B. 90°C), moderne Heizungen kommen aber mit ca. 50°C aus.

Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur Wiedernutzbarmachung der thermischen Energie eines den Prozess verlassenden Massenstromes.

Wärmeübertrager – Wärmeaustauscher

Wärmeübertrager – auch Wärmetauscher genannt – sind Apparate, in denen Wärme von einem Medium auf ein anderes übertragen wird. Verschiedene Bauarten von Wärmeaustauschern werden unterschieden: Kriterien sind die Strömungsrichtung der wärmeübertragenden Medien (Gegen-, Gleich- und Kreuzstrom) zueinander und die Bauform der Wärmeübertragungsflächen (Platten, Röhren). Zusätzlich gibt es noch einige Sonderformen wie zum Beispiel Rekuperatoren.

Wirkungsgrad

Verhältnis von abgegebener und aufgenommener Leistung bei Energieumwandlungen

Adressen

EUtech	EUtech Energie & Management GmbH	Dennewartstraße 25 - 27 52068 Aachen Tel: 0241 / 963 1970 Fax: 0241 / 963 1971 www.eutech.de
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.	Hohe Str. 73 53119 Bonn Tel: 0228/ 988 49 20 Fax: 0228/ 988 49 99 www.bvse.de
LTT	Lehrstuhl für technische Thermodynamik RWTH Aachen	Schinkelstr. 8 52062 Aachen Tel: 0241 / 80 95986 Fax: 0241 / 80-92255 www.ltt.rwth-aachen.de
IAR	Institut für Aufbereitung und Recycling RWTH Aachen	Wüllnerstr. 2 52062 Aachen Tel: 0241 / 8095704 Fax: 0241 / 8092232 www.ifa.rwth-aachen.de
MWME	Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen	Haroldstraße 4 40213 Düsseldorf Tel: 0211 / 837-02 Fax: 0211 / 837-2200 www.wirtschaft.nrw.de
ETN	Forschungszentrum Jülich Projektträger Energie, Technologie und Nachhaltigkeit	Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13 52428 Jülich Tel: 02461 / 690-601 Fax: 02461 / 690-610 www.fz-juelich.de/etn
EA NRW	EnergieAgentur.NRW	Kasinostr. 19-21 42103 Wuppertal Tel: 0202 / 245 52-0 Fax: 0202 / 245 52-30 www.ea-nrw.de
EFA	Effizienz-Agentur NRW	Mülheimer Str. 100 47057 Duisburg Tel: 0203 / 378 79-0 Fax: 0203 / 378 79-44 www.efanrw.de
dena	Deutsche-Energie Agentur	Chausseestrasse 128a 10115 Berlin Tel: 030 / 72 61 65–600 Fax: 030 / 72 61 65–699 www.dena.de

ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.	Postfach 10 01 16 45001 Essen Tel: 0201 / 2701-96 Fax: 0201 / 2722-64 www.asue.de
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	Palmengartenstrasse 5-9 60325 Frankfurt Tel: 030 / 202 64-0 Fax: 030 / 202 64-188 www.kfw.de
UBA	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel: 0340 / 2103-0 Fax: 0340 / 2103-2285 www.umweltbundesamt.de
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	An der Bornau 2 49090 Osnabrück Tel: 0541 / 9633-0 Fax: 0541 / 9633-190 www.dbu.de