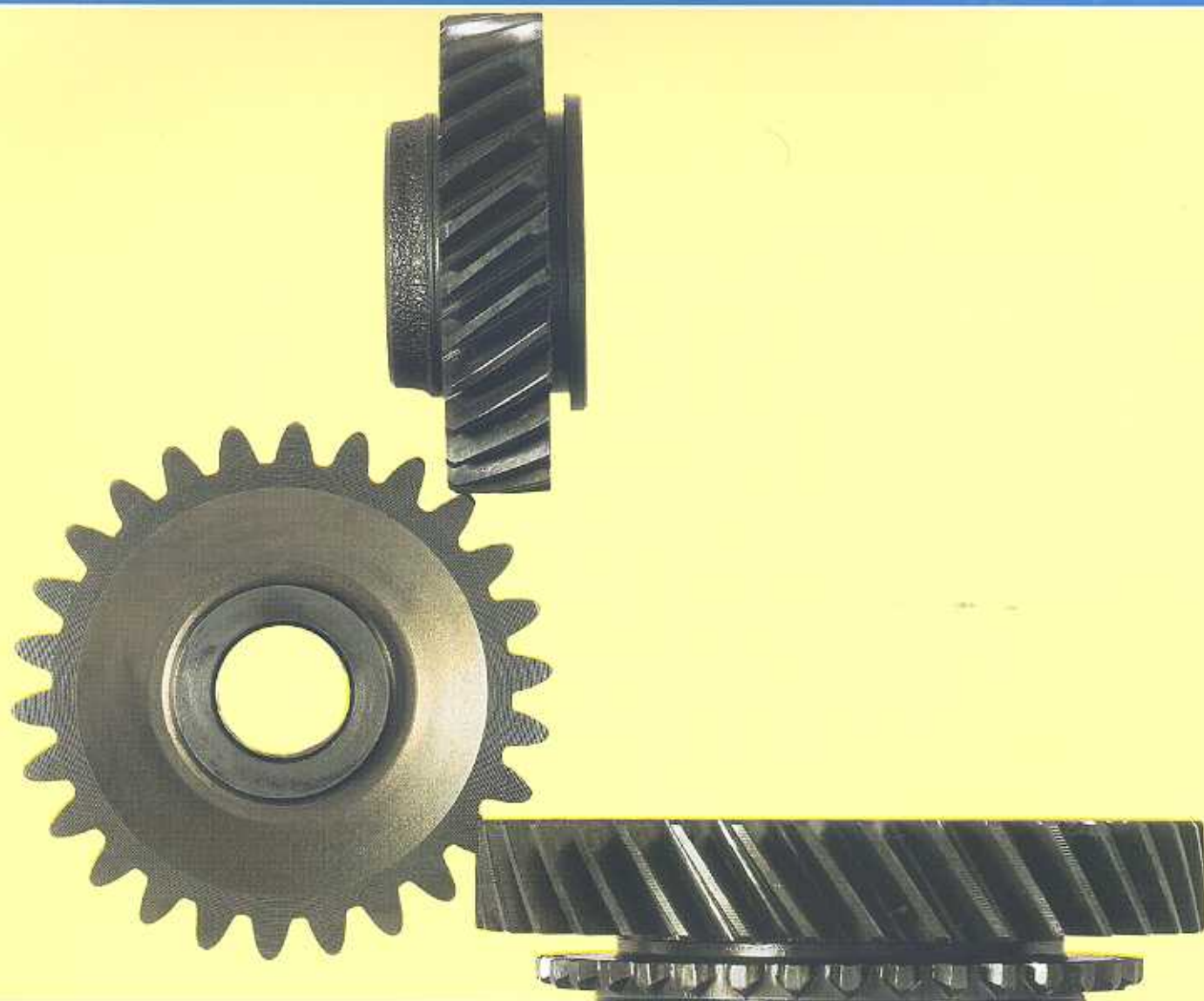




CO₂-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Maschinenbauindustrie



CO₂-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Maschinen- bauindustrie

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Augsburg, 2002 – ISBN 3-936385-11-4

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg
Tel.: (0821) 90 71 – 0
Fax: (0821) 90 71 – 55 56
E-mail: poststelle:@lfu.bayern.de
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Auftragnehmer: Energieconsulting Heidelberg GmbH
Im Breitspiel 7, 69126 Heidelberg

Forschungsstelle für Energiewirtschaft
Am Blütenanger 71, 80995 München

Industriepartner: AGCO GmbH & Co. - Zweigniederlassung Asbach-Bäumenheim
Fendt-Str. 1, 86663 Asbach-Bäumenheim

Layout: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Titelbild: MEV-Verlag GmbH, Augsburg

Druck: Schoder Druck GmbH & Co. KG, Gersthofen

Zitiervorschlag: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „CO₂-Minderungspotenziale durch rationelle Energienutzung in der Maschinenbauindustrie“. Augsburg, 2002

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 11/2002

Gedruckt auf Recyclingpapier

Vorwort

Angesichts der sich abzeichnenden weltweiten Klimaveränderungen durch den Treibhauseffekt kamen die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention 1997 überein, dass die Industriestaaten den Ausstoß klimarelevanter Gase bis zum Jahr 2008/2012 auf der Basis des Jahres 1990 um durchschnittlich 5% senken sollen. Die Bundesregierung will zudem als nationales Klimaschutzziel den jährlichen Ausstoß des relevantesten Klimagases Kohlendioxid bis 2005 (Basis 1990) um 25% senken. Die deutsche Industrie hat sich in einer freiwilligen Selbstverpflichtung zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen um 28% bis 2005 und aller sechs „Kyoto-Gase“ um 35% bis 2012 bereiterklärt.

Da der weit überwiegende Teil der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bei der Bereitstellung von Energie entsteht, ergeben sich besonders große CO₂-Einsparpotenziale durch eine rationellere Nutzung der vorhandenen Energieressourcen. Am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz wurde daher das Projekt „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ initiiert, das aus Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziert wird. Gerade in der Industrie bestehen oft erhebliche Energiesparpotenziale, die gleichzeitig mit deutlichen Kosteneinsparungen für die Betriebe verbunden sind.

In der vorliegenden Studie werden am Beispiel eines Betriebes der Maschinenbauindustrie die branchenspezifischen Energiesparpotenziale dargestellt. Die Maschinenbauindustrie in Bayern ist eine sehr inhomogene Branche mit einer Vielzahl von Einzelunternehmen und unterschiedlichsten Betriebsgrößen. Besonders interessant ist, dass diese Branche vielfach Maschinen und Anlagen produziert, die von anderen Betrieben derselben Branche genutzt werden und den Energiebedarf nicht nur der eigenen Branche beeinflussen. Dennoch fehlen den Betrieben oft umfassende Kenntnisse über die technisch machbaren und wirtschaftlich rentablen Energiesparmöglichkeiten. Dieser Bericht soll interessierten Betrieben die Möglichkeit eröffnen, Erkenntnisse aus dem Projektbetrieb auf den eigenen Betrieb zu übertragen. Gerade in Zeiten hoher Energiepreise und internationalen Wettbewerbs ist es existenziell wichtig, sich durch technologischen Vorsprung und Energieeffizienz auszuzeichnen.

In dieser Arbeit wurden die energierelevanten Anlagenbereiche des Partnerunternehmens beschrieben, hinsichtlich ihrer Energiebedarfsstruktur vermessen und die technisch möglichen Energiesparpotenziale ermittelt. Anhand von Amortisationsrechnungen wurde die Wirtschaftlichkeit verschiedener Maßnahmen ermittelt. Für die verschiedenen energierelevanten Bereiche in Unternehmen des Maschinenbaus werden allgemein die Ansatzpunkte für rationelle Energienutzung dargestellt.

Wenn es gelingt, mit Hilfe dieser Arbeit Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in der Maschinenbauindustrie zu ermitteln und andere Betriebe zur Umsetzung zu motivieren, kann dies als Beispiel dafür gelten, dass Ökologie und Ökonomie sich keinesfalls widersprechen müssen, sondern oftmals gleichzeitig verwirklichen lassen.

Augsburg, im November 2002

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Motivation, Ziele	9
1.2	Untersuchungsobjekt	9
1.3	Vorgehensweise	9
2	Prämissen und Randbedingungen	10
2.1	Betriebswirtschaftliche Ansätze	10
2.2	Emissionen	11
3	Datenermittlung und Messungen	12
3.1	Vorhandene Dokumentation	12
3.2	Technische Betriebsanalyse	12
3.3	Messungen	12
4	Ist-Analyse	14
4.1	Betriebliche Daten	14
4.2	Prozesse	15
4.3	Energiebezug	15
5	Technische Bestandsaufnahme	20
5.1	Gebäudebestand	20
5.2	Wärmeerzeugung	21
5.3	Wärmeanwendung	22
5.4	Elektrische Energieversorgung	25
5.5	Stromanwendungen	26
5.6	Wasserverbrauch	37
6	Spezifische Kennzahlen	39
7	Bewertung und Maßnahmen im Betrieb Agco Bäumenheim	40
7.1	Verminderung der Druckluft-Leckageverluste	41
7.2	Druckluftkompressor ersetzen	42
7.3	Nutzung der Abwärme aus Druckluftkompressoren	43
7.4	Wärmedämmung der Teilewaschmaschine	45
7.5	Wärmerückgewinnung aus der Absaugluft in Halle 24	46
7.6	Nutzung der warmen Abluft aus Halle 89 in Halle 24	47
7.7	Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung	48
7.8	Ersatz der ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte	50

7.9	Maßnahmen-Überblick	51
8	Energiesparpotenziale in der Maschinenbauindustrie	53
8.1	Elektrische Energieversorgung	54
8.2	Druckluft	54
8.3	Energieeffiziente Elektromotoren	60
8.4	Wärmenutzung	61
8.5	Beleuchtung	63
8.6	Kältebereitstellung	64
8.7	Kraft-Wärme-Kopplung	65
8.8	Energiemanagement-System	66
8.9	Energiecontracting	69
8.10	Wirtschaftliche Bewertung	70
9	Checkliste: Effiziente Energieverwendung in der Industrie	71
9.1	Maschinen / Anlagen / Antriebe	71
9.2	Druckluftnutzung	71
9.3	Raumheizung / Prozesswärme / Warmwasser	71
9.4	Lüftung / Klimatisierung / Kühlung	72
9.5	Trocknungsprozesse	73
9.6	Beleuchtung	73
9.7	Energiemanagement	73
10	Zusammenfassung	74
10.1	Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung	74
10.2	Situation und Verbesserungsmöglichkeiten im untersuchten Betrieb	74
10.3	Allgemeine Empfehlungen für die Maschinenbau-Industrie	76
11	Literaturverzeichnis	78
12	Anhang	78

Glossar

Abwärme : Abwärme umfasst sowohl den von den festen Oberflächen einer Anlage über Konvektion und Leitung abgegebenen Wärmestrom als auch alle ein System verlassenden Enthalpieströme

Amortisationszeit: rechnerische Zeitdauer, bis die aus einer Maßnahme resultierenden kumulierten Einnahmen (hier meist: Energiekosten-Einsparungen) die dazu erforderlichen Investitionskosten übersteigen. Die statische Amortisationszeit errechnet sich durch Division der jährlichen Einnahmen durch die Investitionssumme; bei der dynamischen Rechnung werden zusätzliche Effekte durch Verzinsung berücksichtigt.

Bearbeitungszentrum : Maschine zur (vorwiegend) spanenden Metallverarbeitung mit mehreren integrierten Bearbeitungsverfahren (z.B. Bohren, Drehen, Fräsen etc.)

Brennwertnutzung, Brennwertgerät : Nutzung der gesamten Wärmeenergie, die in einem Brennstoff enthalten ist: Heizwert + Wärme aus der Wasserdampfkondensation. Wenn die Abgase bis unter eine bestimmte Temperatur (den sogenannten Taupunkt) abgekühlt werden, kondensiert der mitgeführte Wasserdampf teilweise und setzt dabei Wärme frei. Brennwertgeräte können diese Wärme für das Heizsystem (über entsprechende Wärmetauscher) nutzbar machen. Dadurch arbeiten sie besonders energiesparend und entlasten die Umwelt. Bei Erdgas liegt der Brennwert – wegen des hohen Wasserstoffanteils – rund 11% über dem Heizwert (bei leichten Heizöl nur etwa 6%). Mit einem Gas-Brennwertgerät können bei neuen Anlagen im Vergleich zu Niedertemperaturkesseln bis zu 15% Energie eingespart werden.

Emission : Durch Menschen (anthropogen) verursachte Abgabe von Schadstoffen in Rauchgasen, Abluft, Abwasser sowie festen und flüssigen Abfällen. Zu den Emissionen aus natürlichen Quellen gehören der Ausstoß von Luftschadstoffen durch Vulkane sowie die Abgabe von chemischen Stoffen in die Umwelt durch Pflanzen und Tiere

Endenergie : Die dem Endverbraucher (Industrie, Gewerbebetrieb, Haushalt usw.) z.B. über die Steckdose, nach Anlieferung im Heizöltank oder durch Fernwärme zur Verfügung stehende Energie wird Endenergie genannt. Sie wird vom Verbraucher mit Hilfe von Apparaten, Maschinen, Öfen usw. in Nutzenergie umgewandelt

Endenergieträger : Energieträger, die dem Energienutzer zur Verfügung stehen, z.B. Heizöl, Holz, Gase, Elektrizität

Energie : Energie ist die Fähigkeit eines Systems, äußere Wirkungen (Arbeit) hervorzubringen. Einheit: Joule, 1 J = 1 Nm = 1 Ws

Energieträger : Stoffe mit nutzbarer gespeicherter Energie z.B. Kohle, Heizöl, Uran, Stauseewasser

Energieverbrauch : Gebräuchliche (allerdings aus physikalischer Sicht falsche) Bezeichnung für Energieeinsatz, Energienutzung, Energiegebrauch, Energieanwendung

Enthalpie : Enthalpie und innere Energie sind energetische Eigenschaften eines Systems. Enthalpie ist ein Maß für den inneren Energieinhalt eines Stoffstromes, z.B. eines heißen Abgas-, Abwasser- oder Ölstromes, der einem Brenner zugeführt wird. Die innere Energie ist ein Maß für den inneren Energieinhalt eines ruhenden, geschlossenen Systems, z.B. eines Haufens heißer Schlacke oder eines Behälters mit Erdgas. Die innere Energie und die Enthalpie bestehen aus einem fühlbaren und einem latenten Anteil

Exergie : Der wertvolle Anteil einer Energieform (2. Hauptsatz der Thermodynamik) im Gegensatz dazu Anergie. Exergie lässt sich unbeschränkt in jede andere Energieform umwandeln und wird auch als technische Arbeitsfähigkeit bezeichnet

Fortwärme : Sammelbegriff für alle an die Umgebung abgegebenen Wärme- und Enthalpieströme aus anthropogenen Prozessen, die mit Energieumsatz verbunden sind. Nach Übergang an die Umgebung verliert die Fortwärme ihre Identität

Brennwertnutzung, Brennwertgerät : Summe der Wärmeenergie, die in einem Brennstoff enthalten ist: Heizwert + Wärme aus der Wasserdampfkondensation. Wenn die Abgase bis unter eine bestimmte Temperatur (den sogenannten Taupunkt) abgekühlt werden, kondensiert der mitgeführte Wasserdampf teilweise und setzt dabei Wärme frei. Brennwertgeräte können diese Wärme für das Heizsystem (über entsprechende Wärmetauscher) nutzbar machen. Dadurch arbeiten sie besonders energiesparend und entlasten die Umwelt. Bei Erdgas liegt der Brennwert – wegen des hohen Wasserstoffanteils – rund 11% über dem Heizwert (bei leichten Heizöl nur etwa 6%). Mit einem Gas-Brennwertgerät können bei neuen Anlagen im Vergleich zu Niedertemperaturkesseln bis zu 15% Energie eingespart werden.

Heizwert, oberer: (auch: Brennwert, Verbrennungswärme) Unter der Verbrennungswärme H_O eines Brennstoffes versteht man die Wärmemenge, die bei einer vollständigen und vollkommenen Verbrennung einer Masseneinheit Brennstoff frei wird, wenn die Temperatur des Brennstoffes vor der Verbrennung und seiner Verbrennungserzeugnisse 25 °C beträgt, wenn sich das im Brennstoff vorhandene sowie das bei der Verbrennung zusätzlich gebildete Wasser nach der Verbrennung in flüssigem Zustand befindet und schließlich wenn die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel restlos als CO_2 bzw. SO_2 in gasförmigem Zustand vorliegen und Oxidation des Stickstoffes nicht stattfindet. Der wesentliche Unterschied zum unteren Heizwert ist also der Zusatzbeitrag der Kondensationsenergie des Wasserdampfs im Abgas

Heizwert, unterer : Unter dem („unteren“) Heizwert H_U versteht man die auf die Brennstoffmenge bezogene Energie, die bei vollständiger Verbrennung frei wird, (wenn das Abgas auf Bezugstemperatur [25 °C] zurückgekühlt wird), und der Wasserdampf im Abgas aber dampfförmig bleibt

Kesselwirkungsgrad : Verhältnis des an das Kesselwasser übertragenen Wärmestroms zur eingesetzten Brennstoffenergie

Kraft-Wärme-Kopplung : gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in einer Anlage, in der Regel in Heizkraftwerken. Die Wärme, die aus Heizkraftwerken der öffentlichen Elektrizitätsversorgung ausgekoppelt wird, wird für die Fernwärmeversorgung (überwiegend zur Raumheizung) genutzt. Die Wärme aus Heizkraftwerken der Industrie wird vor allem als Prozeßwärme (für industrielle Fertigungsprozesse) eingesetzt.

Lastmanagement : Senken der Spitzenlast ohne gleichzeitige Zunahme der Nachfrage in Schwachlastzeiten, bzw. das Auffüllen von Lasttälern, die Verlagerung von Spitzenlast in Schwachlastzeiten

Leuchte : Beleuchtungseinrichtung (umgangssprachlich „Lampe“) zur Aufnahme und Schutz eines oder mehrerer Leuchtmittel wie z.B. Leuchtstofflampen oder Glühlampen, dient auch zur Lichtverteilung und –Lenkung (z.B. durch Streuscheiben, Reflektoren etc.)

Nutzenergie : Als Nutzenergie wird die für die verschiedenen Bedarfszwecke verwendeten Energieformen wie Wärme, Kraft (mechanische Energie) und Licht bezeichnet. Sie werden aus Sekundärenergie vom Verbraucher gewonnen

Nutzungsgrad : Verhältnis des energetischen Nutzens zum energetischen Aufwand; z.B. entsteht bei einem mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizkraftwerk als energetischer Nutzen elektrische Leistung und ein Fernwärmestrom

Primärenergie : Als Primärenergie wird die am Anfang der Energieumwandlungskette in den Energieträgern enthaltene Energie bezeichnet, die noch keiner vom Menschen verursachten und beabsichtigter Umwandlung unterworfen wurde, z.B. Sonnenenergie, chemische Energie von Kohle etc.

Primärenergieträger : Energieträger, die keiner vom Menschen verursachten und beabsichtigten Umwandlung unterworfen wurden. Umwandlung bedeutet dabei eine Änderung der Energieform und der chemischen Zusammensetzung oder des nuklearen Aufbaues des Energieträgers

Rückwärme : Rückwärme ist der aus der Abwärmenutzung bzw. der Nutzung von Umweltwärme resultierende Wärme bzw. Enthalpieströme der einem Anwender zugeführt wird

Sekundärenergie : Energie, die durch eine vom Menschen verursachte und beabsichtigte Umwandlung bereitgestellt wurde, z.B. Fernwärme, elektrische Energie, Energiealkohole

Umwandlungswirkungsgrad : Verhältnis des energetischen Nutzens zum energetischen Aufwand bei der Energieumwandlung

Wärme : Wärme ist eine Prozessgröße, die bei Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umgebung auftritt, bei denen zwischen dem System und seiner Umgebung ein Temperaturunterschied besteht

Wärmerückgewinnung : Nutzung von Abwärme unter Einsatz von Wärmeübertragern, Wärmespeichern und Hilfsenergie zum Fördern von Wärmeträgermedien

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
d	Tag
Erdgas H, Erdgas L	Erdgasqualitäten mit unterschiedlichem Heiz- bzw. Brennwert (H=High, mit H_O um 11 kWh/m ³ ; bzw. L=Low, H_O um 10 kWh/m ³)
EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz
GEMIS	Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme
GLT	Gebäudeleittechnik
GWh	Gigawatt-Stunden
H_O	Brennwert / oberer Heizwert
HT	Hochtarif
H_u	Heizwert / unterer Heizwert
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MWh	Megawatt-Stunden
NT	Niedertarif
PWW	Pumpen-Warmwasser (Heizkreislauf)
RLT	Raumluftechnik
TAR	Thermische Abgasreinigung
WRG	Wärmerückgewinnung
ZLT	Zentrale Leittechnik

1 Einleitung

1.1 Motivation, Ziele

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, branchenspezifische Potenziale zur Energieeinsparung und Minderung von CO₂ - Emissionen aus industriellen Anlagen der Maschinenbauindustrie aufzudecken und daraus Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes zu erarbeiten. Diese Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen zu bewerten.

In dem ausgewählten Maschinenbaubetrieb als exemplarischem Standort sollten dabei die Möglichkeiten ermittelt werden, die zur CO₂ - Minderung in dieser Branche geeignet erscheinen. Zur Bewertung werden produktbezogene spezifische Kennzahlen gebildet, die einen branchenbezogenen (bzw. bei Querschnittstechnologien auch branchenübergreifenden) Vergleich ermöglichen.

1.2 Untersuchungsobjekt

Untersucht wurde der Produktionsbetrieb der AGCO GmbH & Co. in Asbach-Bäumenheim, Fendt-Straße 1 (vormals Fa. Xaver Fendt GmbH & Co.) in dem Fahrer кабин, Blechteile und Schweißkomponenten (Rumpf, Verkleidung) sowie Montagegruppen für Schlepper der Marke Fendt hergestellt werden. Ausgenommen wurde der zu Beginn der Untersuchung noch am Standort ansässige, jedoch 1997 aus dem Unternehmen ausgegliederte und verkaufte Betriebsbereich Caravan / Wohnwagenherstellung (jetzt Fendt Caravan GmbH).

1.3 Vorgehensweise

Energie-Nutzungs-Analyse

Es wird zunächst in einer Energie-Nutzungs-Analyse, auf Hauptabnehmergruppen bezogen, der jeweilige Energieverbrauch ermittelt und beurteilt. Dabei werden auch bereits erkennbare Ansatzpunkte für Verbesserungen aufgenommen. Die Bestandsaufnahme beinhaltet

- ⇒ die Auswertung vorhandener Dokumentation zu Energiebezug, -umwandlung und -verwendung
- ⇒ die Erfassung der wesentlichen Energieumwandlungsanlagen und Energieverbraucher, deren Leistungsaufnahme und Betriebsdauer
- ⇒ Messungen der Leistungsaufnahme von wesentlichen Verbrauchern / Verbrauchergruppen sowie weiteren energierelevanten Größen, die zur Bewertung des Energieeinsatzes dienen. Messprotokolle sind im Anhang dargestellt.

Energie-Einspar-Analyse

Nach Festlegung der Einzelmaßnahmen zur Energieeinsparung werden diese in der Energie-Einspar-Analyse technisch ausgearbeitet und energetisch, betriebswirtschaftlich und hinsichtlich der CO₂ - Emissionen bewertet.

Energiekonzept

Aufbauend auf Maßnahmenbündeln wird im dritten Schritt ein Energiekonzept erarbeitet, das konkrete Schritte zur Umsetzung der Maßnahmen vorschlägt.

Empfehlungen für die Branche

Aus den Erkenntnissen des Projektes werden allgemeine Empfehlungen zur Energieeffizienz in der Branche gegeben.

2 Prämissen und Randbedingungen

Basis der Untersuchung sind die Verträge und Verbrauchsabrechnungen mit den Vorlieferanten für Strom und Erdgas.

Alle Preise sind ohne Mehrwertsteuer angegeben.

2.1 Betriebswirtschaftliche Ansätze

Aus Datenschutzgründen unterliegen die wirtschaftlichen Eckdaten des Betriebes (Energiekosten etc.) der Geheimhaltung. Die hier dargestellten Daten sind realitätsnahe, aber fiktive Ansatzwerte, die die durchschnittlichen Marktpreise der vergangenen Jahre widerspiegeln. Sie wurden im Rahmen des Gesamtprojektes abgestimmt und dienen als rechnerische Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Maßnahmen im Kapitel 7.

2.1.1 Ansatzwerte Energiebezugsbedingungen

Elektrische Energie	Ansatzwerte
Mischpreis Strom	7,0 ct/kWh

Erdgas	Ansatzwerte
Mischpreis Erdgas	3,5 ct/kWh (H_o)
entspricht	3,85 ct/kWh (H_u)

Heizöl EL	Ansatzwerte
Mengenpreis Heizöl EL	35 ct/Liter
entspricht	3,85 ct/kWh (H_u)

Wasser / Abwasser	Ansatzwerte
Wasserbezug	1,30 € / m ³
Abwassergebühr	1,50 € / m ³

2.1.2 Betriebswirtschaftliche Ansatzwerte

⇒	Versicherung/Verwaltung	1,5 % der Investition
⇒	Personalkosten	50.000 € / (Person · a)
⇒	Kalkulatorischer Zinssatz	7,5 %

2.2 Emissionen

Neben den betriebswirtschaftlichen Ansätzen wird die Bewertung des Energieverbrauchs mit Emissionen erforderlich. Hierzu werden folgende Daten für die einzelnen Energieträger im Betrieb Asbach-Bäumenheim angesetzt:

Tabelle 2-1: spezifische Emissionsfaktoren für Kohlendioxid CO₂

Energieträger	spezifischer Emissionsfaktor CO ₂ [kg CO ₂ / MWh]	Datenquelle
Erdgas H (H _u)	199	[1]
Propangas (H _u)	229	[1]
Flüssiggas (Propan/Butan) (H _u)	229	[1]
Heizöl EL (H _u)	276	[1]
Strom (Bundesmix)	667	[1]

3 Datenermittlung und Messungen

Als Ausgangspunkt für die Analyse wird die Ermittlung der erforderlichen Daten durchgeführt, um damit folgende Ziele zu erreichen:

1. Die Schwerpunkte des Energieverbrauchs werden ermittelt
2. Die produktspezifischen Anteile des Energieverbrauchs werden erfasst und den Produktarten und Produktionsmengen zugeordnet
3. Die allgemeinen Verbraucher werden erfasst, die nicht einzelnen Produkten oder Einzelanlagen zuzuordnen sind. Dazu gehören hier vor allem die Kälteerzeugung, die Lüftungsanlagen sowie die Druckluftkompressoren
4. Gezielte Einzelanalysen werden durchgeführt, die dem Aufzeigen und der Bewertung von Verbesserungspotenzialen dienen

Die Datenermittlung wurde durch Sichtung vorhandener Dokumentation, Analyse des Anlagenbestands sowie Messungen durchgeführt. Dieses Vorgehen wird nachfolgend genauer beschrieben.

3.1 Vorhandene Dokumentation

Die Bestandsaufnahme zum Energiebezug (Mengen und Konditionen) erfolgte aus den vom Betrieb zur Verfügung gestellten Energie-Lieferverträgen und Verbrauchsabrechnungen. Darüber hinaus wurden die Ablesedaten der im Betrieb vorhandenen Energie- und Medienzähler verwendet.

Schließlich wurden insbesondere zur Kennzahlenbildung auch vom Betrieb zur Verfügung gestellte Produktionsdaten (wie Produktmengen, Verfahrensparameter, Temperaturen etc.) verwendet.

3.2 Technische Betriebsanalyse

Eine bereits im Betrieb vorhandene Maschinenliste wurde aktualisiert und vervollständigt, um Betriebsdauern, Leistungs- und Verbrauchswerte ergänzt und zu Verbrauchergruppen zusammengefasst. Die erforderlichen Werte wurden aus den technischen Unterlagen, Typenschildern usw. und durch Auskünfte des technischen Betriebspersonals ermittelt.

3.3 Messungen

Darüber hinaus wurden weitere zur Bewertung des Energieeinsatzes im Betrieb erforderliche Daten durch Messungen ermittelt. Die Messungen wurden größtenteils kontinuierlich über bestimmte Betriebszyklen (Tages- oder Wochengang) durchgeführt. Bei bekannter Betriebsdauer und konstanten Betriebsbedingungen der Anlage waren auch teilweise die gemessenen Momentanwerte ausreichend.

Schließlich wurden bei einigen Produktionsanlagen Messungen über abgeschlossene Produktionszyklen mit den jeweils bearbeiteten Produktarten und –mengen verknüpft, um daraus spezifische Verbrauchswerte zu ermitteln.

Im Einzelnen wurden folgende Messungen durchgeführt (zu den Hallenbezeichnungen siehe auch Übersichtsplan des Betriebes in Anhang 1):

3.3.1 Strom-Gesamtbezug

Elektrische Leistungsmessung des Strombezugs des Gesamtbetriebs im Verlauf einer Woche

Druckluftstation Halle 8

Elektrische Leistungsmessung der gesamten Station im Verlauf einer Woche; parallel dazu Messung des Druckluft-Volumenstroms; Bestimmung der Druckluftverluste

Lüftungsanlagen Halle 89

- a) Elektrische Leistungsmessung für vier Lüftungsanlagen im Verlauf einer Woche
- b) Punktuelle Überprüfung der Temperaturen

Punktschweißanlagen Halle 24

Elektrische Leistungsmessung aller Anlagen im Verlauf einer Woche

Bearbeitungszentrum

Elektrische Leistungsmessung eines von acht Bearbeitungszentren im Verlauf einer Woche

Hydraulische Presse

- a) Elektrische Leistungsmessung einer der beiden größten Hydraulikpressen (je 500 Tonnen; Fabrikat Müller-Weingarten) im Verlauf einer Woche (weitere Pressen im Betrieb vorhanden)

4 Ist-Analyse

4.1 Betriebliche Daten

Der untersuchte Maschinenbaubetrieb ist das Werk Asbach-Bäumenheim der AGCO-Gruppe, einem Traditionsunternehmen in der Herstellung von landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen der Marke Fendt.

Nach dem Kauf der Fendt-Werke im Jahr 1997 durch AGCO wurde der Geschäftsbereich Caravan aus dem Unternehmen ausgegliedert und 1998 verkauft (jetzt Fendt Caravan GmbH).

Produktion: Schlepper-Kabinen und Komponenten

Derzeit umfassen die Aktivitäten im Werk Asbach-Bäumenheim die Entwicklung, Produktion und Montage von Kabinen, Blechteilen und Schweißkomponenten (Rumpf, Verkleidung) sowie Montagegruppen für Fendt-Schlepper.

Das Werk lässt sich in vier Produktionsbereiche sowie den Bereich Entwicklung gliedern:

Bereich	Arbeitszeiten
Entwicklung	versetzt
Teilefertigung	1 / 2 / 3 Schichten (überwiegend 2 Schicht)
Schweißverbindungen	1 / 2 / 3 Schichten (überwiegend 3 Schicht)
Oberflächenbehandlung	1 / 2 / 3 Schichten (überwiegend 3 Schicht)
Montage	1 Schicht

Mitarbeiterzahl insgesamt 730 Mitarbeiter

Insgesamt sind im Betrieb rund 730 Mitarbeiter beschäftigt, davon ca. 525 in der Produktion. Je nach Bereich wird im Ein-, Zwei oder Dreischichtbetrieb produziert (s.o.; Stand: 2001).

Produktionsmenge: Komponenten für ca. 10.000 Schlepper

Es werden jährlich die Kabinen und fast alle anderen Blechteile für rund 10.000 Schlepper hergestellt, oberflächenbehandelt und montiert.

Im Betrieb ist seit 1999 ein Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14.000 ff. eingeführt.

Der Standort wurde 1970 durch die Gebrüder Fendt übernommen. Das Werksgelände hat eine Ausdehnung von etwa 175.000 m²; auf einer überbauten Fläche von ca. 57.000 m² befinden sich rund 30 Gebäude, die folgenden Bereichen zugeordnet werden:

- ⇒ Teilefertigung
- ⇒ Kabinenschweißerei
- ⇒ Teileschweißerei
- ⇒ Montage / Vormontage
- ⇒ Oberflächenbehandlung
- ⇒ Logistik
- ⇒ Hilfsbetriebe / Werkzeugbau
- ⇒ Verwaltung
- ⇒ Caravan (Geschäftsbereich ausgegliedert und verkauft)

4.2 Prozesse

In den vier o.g. Produktionsbereichen wird eine Vielzahl von Bearbeitungsprozessen eingesetzt; im Wesentlichen sind dies:

- ⇒ Laser- und Brennschneiden
- ⇒ Sägen
- ⇒ Pressen / Tiefziehen
- ⇒ Profilbearbeitung
- ⇒ Abkanten / Stanzen
- ⇒ spanende Bearbeitung
- ⇒ Schweißen
- ⇒ Oberflächenbehandlung
- ⇒ Montage

Daneben gibt es eine Reihe von Lager- und Fördertechnik-Einrichtungen für die unterschiedlichen Materialien (z. B. Dünn- und Dickbleche, Rohre und Profile) und Komponenten.

4.3 Energiebezug

4.3.1 Stromversorgung

Die Versorgung mit elektrischer Energie erfolgt mit der unten dargestellten Charakteristik. In der Analyse des Istzustandes wurden die Verbrauchsdaten des Bezugsjahres 2000 verwendet; für die weitere Betrachtung, insbesondere bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen, kommen die in Kapitel 2.1 angenommenen, branchenüblichen Werte zur Anwendung.

Strom: Bezugscharakteristik

Die Strom-Bezugscharakteristik stellt sich im Jahr 2000 wie folgt dar:

Bezugsjahr	2000
Jahreshöchstleistung	2.313 kW
Jahresarbeit gesamt	8.607 MWh/a
Benutzungsdauer	3.721 h/a

Jahresverlauf des Strombezugs

Der Jahresverlauf des Strombezugs ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Abgesehen von den produktionsfreien Zeiten im August (Werksferien) und Dezember (Feiertage) ist keine ausgeprägte Jahreszeit-Abhängigkeit erkennbar. Die Schwankungen sind im Wesentlichen durch die Anzahl der Arbeitstage pro Monat bedingt.

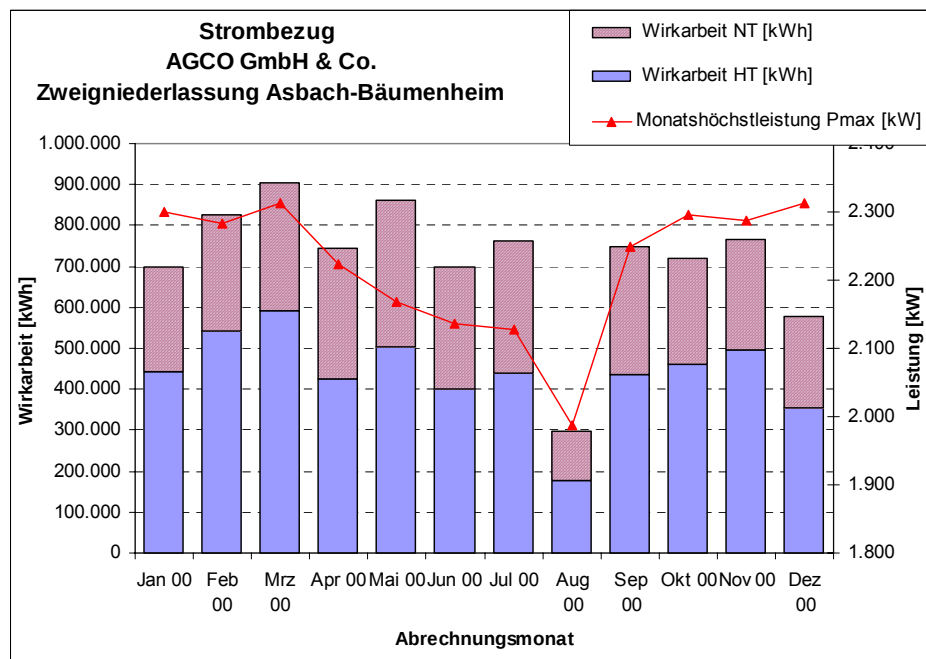


Abbildung 4-1: Strombezugscharakteristik, Bezugsjahr 2000

Der Wochenlastgang in Abbildung 4-2 sowie der Tageslastgang in Abbildung 4-3 zeigt einen relativ gleichmäßigen Lastverlauf über die Wochentage Montag bis Freitag mit einer maximalen Leistung von ca. 2.000 kW am Vormittag und einem Abfall bis zu den frühen Morgenstunden auf rund 1.400 kW. Am Samstag vormittag ist noch ein Leistungsbedarf von rund 800 kW vorhanden, der nachmittags und am Sonntag auf das Grundlastniveau von etwa 300 kW absinkt.

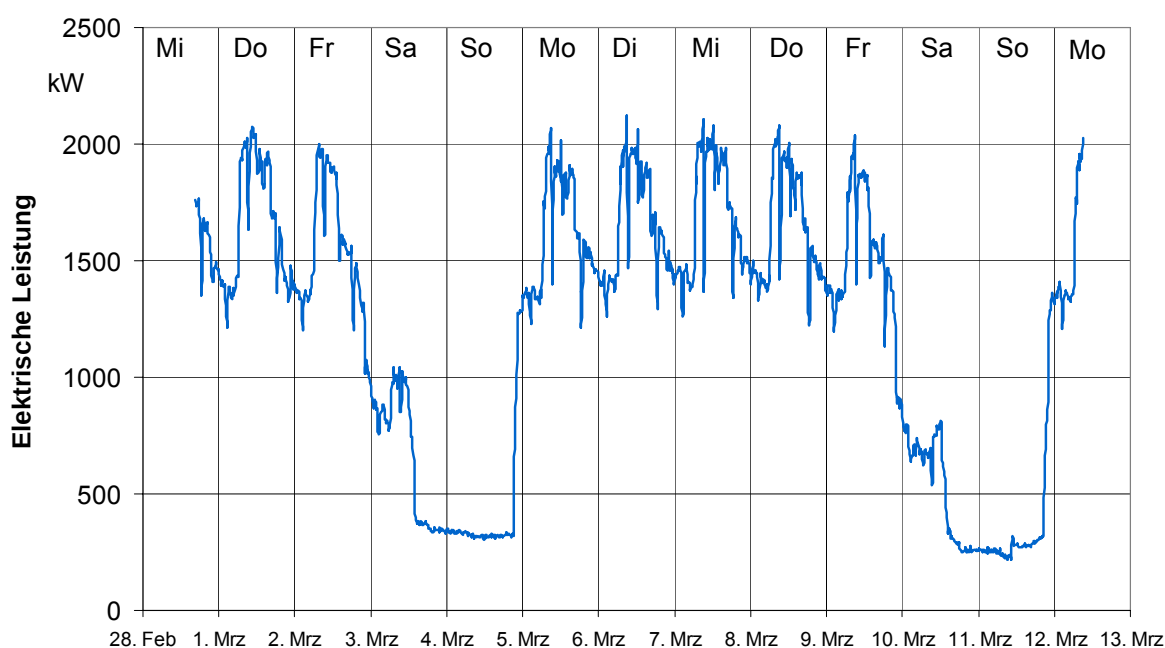


Abbildung 4-2: Wochenlastgang Strombezug

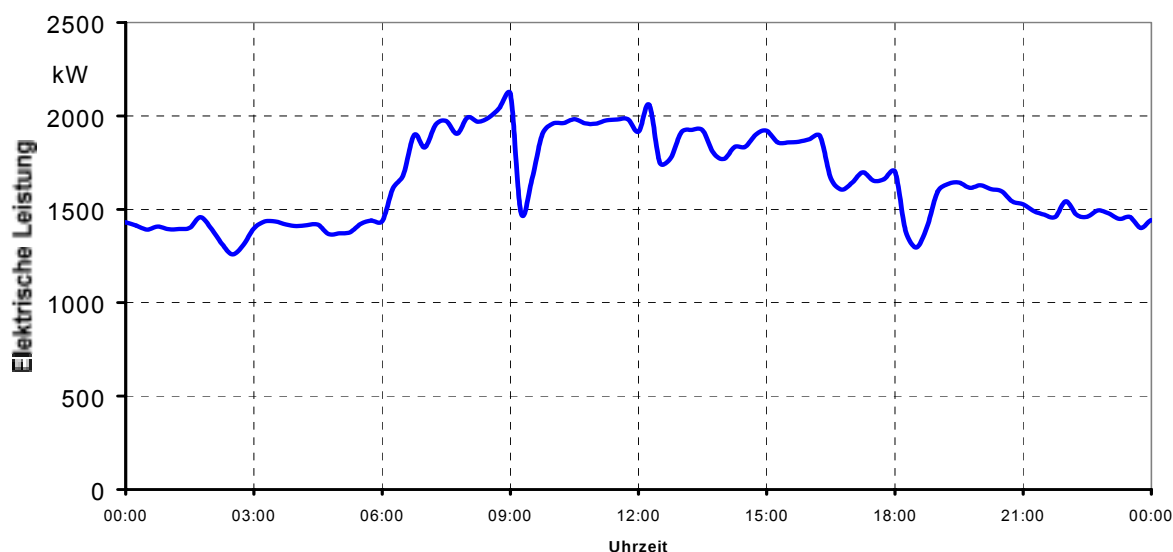


Abbildung 4-3: typischer Tageslastgang Strombezug

Bei der Betrachtung des Tageslastgangs sind die Spitzen vor den Pausen um 9:00 Uhr und 12:30 Uhr auffällig; diese stellen regelmäßig das Bezugsmaximum des Tages dar, das sonst während des ganzen Tages nicht mehr vorkommt. Ein Verschieben dieser Spitzen in die Zeiten kurz vor- oder nachher bietet die Möglichkeit einer Reduktion der Monatshöchstleistung, die zur Berechnung des Leistungspreises herangezogen ist. Dies kann durch eine Entzerrung der Pausenzeiten oder durch zeitgesteuerte Abschaltung einzelner Verbrauchergruppen ermöglicht werden (z. B. Lüftungsanlagen).

4.3.2 Gasversorgung

Im Betrieb wird Erdgas H als Brennstoff für die Heizkessel in der Heizzentrale (Gebäude 69), den Brennwärtekessel im Gebäude 91 (Kantine und Pforte) sowie für die thermische Abluftreinigungsanlage (TAR) in Halle 68 eingesetzt.

Der Erdgasbezug ist für das Bezugsjahr 2000 wie folgt charakterisiert:

Bezugsjahr	2000
oberer Heizwert H_o	11,065 kWh/m ³
unterer Heizwert H_u	9,973 kWh/m ³
Verbrauch H_o	14.498 MWh/a
Verbrauch H_u	13.067 MWh/a

Jahresverlauf des Erdgasbezugs

Der Jahresverlauf des Erdgasbezugs ist in Abbildung 4-4 dargestellt.

Erdgasbezug 2000

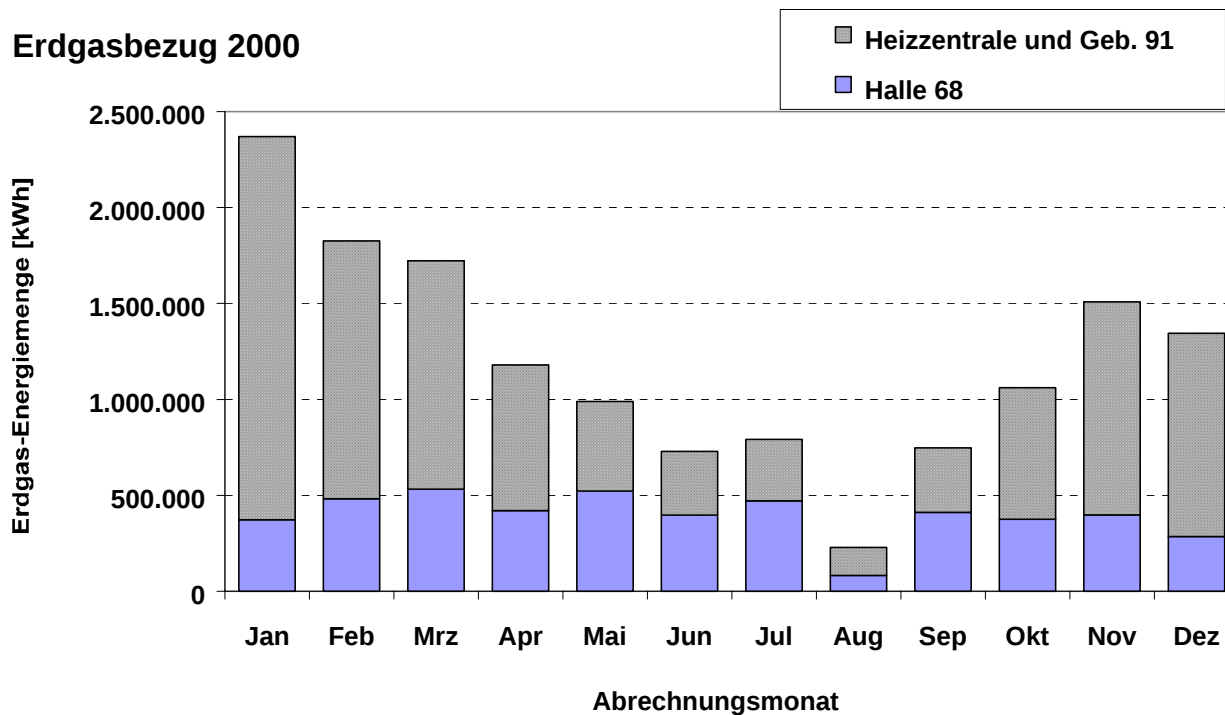


Abbildung 4-4 : Erdgasbezug 2000

Darüber hinaus wird Propangas für die Brennschneidanlagen sowie Flüssiggas als Treibstoff für Gabelstapler eingesetzt.

4.3.3 Heizölverbrauch

Ein großer Teil der Gebäude wird nicht von der Heizzentrale mit Warmwasser beheizt, sondern über dezentrale Luftheizgeräte, die mit Heizöl EL befeuert werden. Insgesamt wurden im Bezugsjahr 2000 etwa 663 m³ Heizöl EL verbraucht. Dies entspricht einer Brennstoffenergie von 6.687 MWh_(Hu)/a .

Der Jahresverlauf der Heizölverbrauchsmengen ist in Abbildung 4-5 dargestellt.

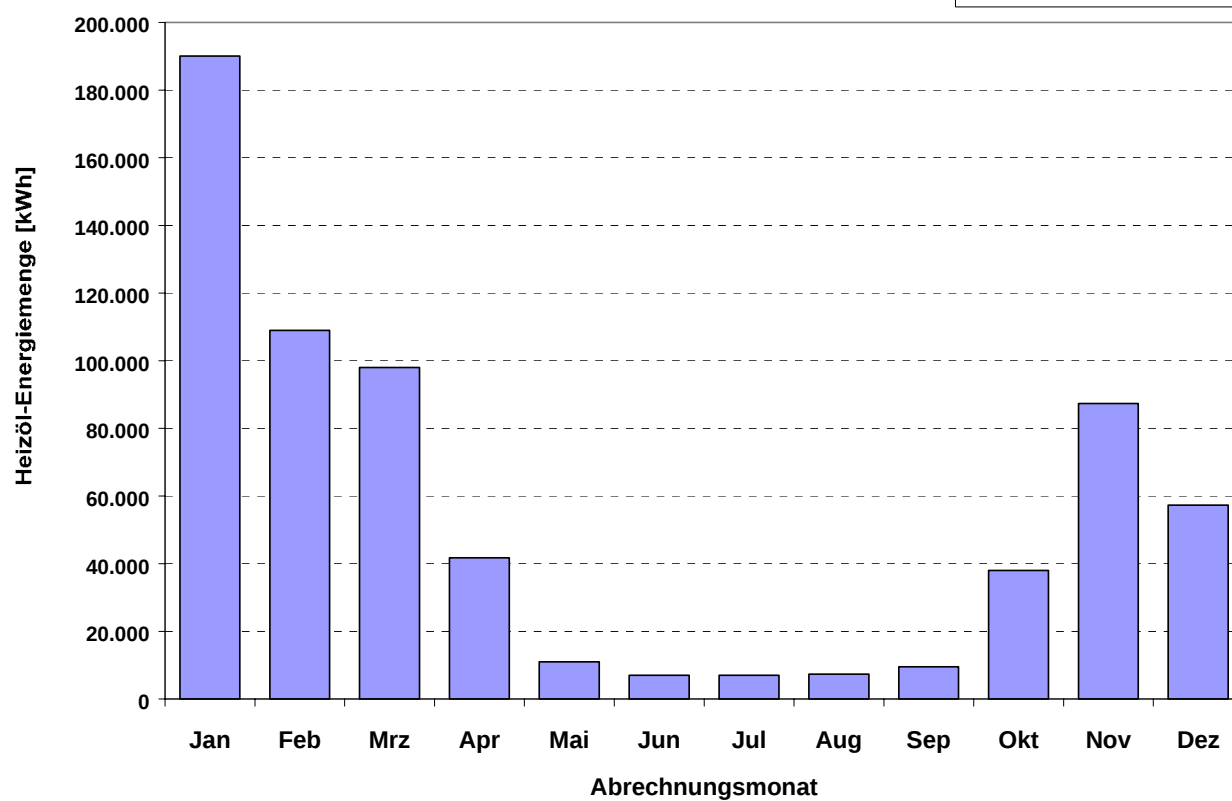
Heizöl - Verbrauch 2000

Abbildung 4-5: Heizölbezug 2000

4.3.4 Wasserversorgung

Im Bezugsjahr 2000 betrug die Jahresbezugsmenge an Trinkwasser 45.162 m³/a.

5 Technische Bestandsaufnahme

In der Bestandsaufnahme wurden die Abnehmeranlagen hinsichtlich

- ⇒ Stromverbrauch
- ⇒ Brennstoffverbrauch
- ⇒ Wärme/Dampfverbrauch
- ⇒ Druckluftverbrauch
- ⇒ Bauphysik

begutachtet. Darüber hinaus wurden relevante Verteilnetze für die oben genannten Medien betrachtet. Ebenso wurde die Wärmeerzeugung und die Wärmeverwendung analysiert.

Die Analyse des Energieverbrauchs basiert auf den Daten, die nach den im Kapitel 3 beschriebenen Methoden ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme sind im Detail in den einzelnen Abschnitten dokumentiert.

Darüber hinaus ist in Abbildung 5-2 ein Energieflussbild in Form eines Sankey-Diagramms dargestellt, das die Energieströme bilanzierend veranschaulicht.

5.1 Gebäudebestand

Gebäudegrundfläche 57.000 m²

Auf dem Werksgelände befinden sich etwa 30 Gebäude bzw. Gebäudeteile in rund 15 Gebäudekomplexen, mit einer überbauten Fläche von etwa 57.000 m² und einem Rauminhalt von ca. 425.000 m³. In Anhang 1 ist die Lage der Gebäude auf dem Werksgelände schematisch dargestellt. Die Altersstruktur der Gebäude reicht von Baujahr 1934 bis 1997.

Der Gebäudebestand ist, bedingt durch das Alter des Standorts, sehr inhomogen hinsichtlich der Bauweise und des Wärmedämmstandards. Einzelne Gebäude sind bauphysikalisch und wärmetechnisch sanierungsbedürftig; teilweise fehlen in einigen Hallen Wärmedämmungen. Die Hallen 10, 17, 18, 38, 55 sowie teilweise Halle 30 wurden bereits saniert; als Beispiele seien hier die Dachsanierung in Halle 10 (von Wellblech / 30 mm Styropordämmung auf Trapezblech / 100 mm Dämmung) und Halle 38 (auf Eternit / 100 mm Mineralwolle-Dämmschicht) genannt. In Halle 24 ist eine Dachsanierung in mehreren Teilschritten geplant und zu rund einem Viertel bereits realisiert.

Durch die bereits realisierten Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudesubstanz wurden merkliche Brennstoffeinsparungen festgestellt.

Wärmeversorgung der Gebäude

Der Raumwärmebedarf ist durch den inhomogenen Gebäude- und Anlagenbestand über den Gesamtbetrieb von Halle zu Halle sehr unterschiedlich.

Die Gebäude 24, 68, 88 und 89 werden von der Heizzentrale (Gebäude 69) mit Heizungswarmwasser versorgt, das dort von zwei erdgasbefeuerten Heizkesseln erwärmt wird (siehe Abschnitt 5.2). Dort erfolgt die Raumbeheizung teilweise über Luftheizgeräte und Heizregister in RLT-Anlagen, teilweise über Radiator-Heizkörper (vor allem im Bürobereich).

Die Erwärmung von Brauchwarmwasser erfolgt in den meisten Gebäuden durch dezentrale elektrische Speicher-Heißwasserbereiter (siehe auch Tabelle 5-1).

Im Sanitärgebäude (Gebäude 39/40/41) wird Heizungs- und Brauchwarmwasser mit heizölgefeuerten Heizkesseln erwärmt.

Das Gebäude 91 mit der Kantine und dem Pfortnerhaus wird mit einem eigenen Gas-Brennwertkessel (60 kW) mit Heizwärme und Brauchwarmwasser versorgt.

Die übrigen Hallen werden durch Luftheizgeräte beheizt, die über eine zentrale Ölversorgung aus Hochtanks mit Öl versorgt werden. Auch hier erfolgt die Trinkwassererwärmung elektrisch.

Tabelle 5-1 gibt einen Überblick über die eingesetzten Techniken zur Heizwärmeversorgung in den einzelnen Gebäuden.

Tabelle 5-1: Übersicht Wärmeversorgung der Gebäude

Gebäude-Nummer	Prozesswärme	Heizwärme	Trinkwasser-Erwärmung	Wärmedämmstandard
39/40/41	-	Öl	Öl	mittel
24/ 68/ 88	Gas (TAR Halle 68)	Gas (zentral)	El.	gut
89	-	Gas (zentral)	El.	gut
7/ 9/ 22/ 29/ 30/ 32/ 35-38	-	Öl (Luftheizgeräte)	El.	mittel bis schlecht
91	-	Gas	Gas	gut

Die aufgewendeten Wärmemengen für die einzelnen Anwendungen sind in Kapitel 5.2 beschrieben.

5.2 Wärmeerzeugung

Die Wärmeversorgung des Betriebes erfolgt aus unterschiedlichen Wärmequellen:

Erdgas-Heizkessel in Heizzentrale

- ⇒ In der Heizzentrale Gebäude 69 sind zwei Erdgas-befeuerte Heizkessel installiert. Die Wärmeleistung des ursprünglich für das gesamte Werk ausgelegten größeren Kessels wurde (wegen der teilweisen Beibehaltung der Luftheizgeräte, siehe unten) von 6,48 MW auf 4 MW reduziert; die Wärmeleistung des kleineren Heizkessel liegt bei 2,5 MW. Die Kessel erzeugen Warmwasser mit einer Vorlauftemperatur von 90 °C, Rücklauftemperatur 70 °C, das zur Beheizung der Gebäude 24, 68, 88 und 89 dient (keine Trinkwasser-Erwärmung). Darüber hinaus wird damit die Teilwaschmaschine über einen Wärmetauscher mit Wärme versorgt.
- ⇒ Die Heizung der meisten Hallen (siehe Tabelle 5-1) erfolgt mittels vor Ort installierter dezentraler Luftheizgeräte (LHG), die mit Heizöl EL befeuert werden. Es sind rund 30 LHG mit einer Gesamt-Wärmeleistung von etwa 10 MW installiert.
- ⇒ Der Sanitärtrakt (Gebäude 39/40/41) verfügt über zwei mit Heizöl EL befeuerte Kessel (Klöckner KL30.1Z) mit einer Leistung von je 370 kW für die Beheizung und die Trinkwassererwärmung des Gebäudes.
- ⇒ Das Gebäude 91 mit der Kantine und dem Pfortnerhaus wird durch einen Gas-Brennwertkessel (60 kW) mit Heizwärme und erwärmtem Trinkwasser versorgt.
- ⇒ In der Lackiererei (Halle 68) wird mit Lösemitteln belastete Abluft als Verbrennungsluft in zwei gasbefeuernden Anlagen zur Thermischen Nachverbrennung eingesetzt (siehe Kapitel 5.3.3). Die

installierte Brennerleistung der beiden Anlagen beträgt je 592 kW_{th}, die Auslegungsleistung für den Dauerbetrieb je 330 kW_{th}.

Damit ergibt sich rechnerisch eine installierte Gesamt-Wärmeleistung von rund 17,3 MW.

Der jährliche Erdgaseinsatz in den oben genannten Wärmeerzeugern betrug 14.498 MWh_{Ho}/a bei einem oberen Heizwert von $H_o=11,065 \text{ kWh/m}^3$, entsprechend einer Gasmenge von 1,31 Mio. m³ (Bezugsjahr 2000). Dies entspricht bei einem unteren Heizwert¹ von $H_u=9,97 \text{ kWh/m}^3$ einem Jahresverbrauch von 13.067 MWh_{Hu}/a (siehe auch Kapitel 4.3.2).

Die Verbrauchsmenge an Heizöl EL betrug im Bezugsjahr 2000 rund 663 m³, entsprechend 6.687 MWh_{Hu}/a (siehe auch Kapitel 4.3.3).

5.3 Wärmeanwendung

5.3.1 Raumheizung und Trinkwassererwärmung

Der Raumwärmebedarf ist durch den inhomogenen Gebäudebestand über den Gesamtbetrieb von Halle zu Halle sehr unterschiedlich (siehe auch).

Der Heizwärmebedarf der Gebäude entspricht dem Ersatz der Wärmeverluste, die sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten zusammensetzen.

Dieser Bedarf wird zum Teil gedeckt aus den inneren Wärmequellen (Anlagen und Geräte, Beleuchtung, Personen) sowie äußeren Wärmegewinnen durch Sonneneinstrahlung. Der Rest muss gedeckt werden durch die Heizungseinrichtungen (Heizungs-/ Lüftungsanlagen bzw. Luftheizgeräte und statische Heizung mit Radiator-Heizkörpern).

Wärmebedarf für Raumheizung: 14.900 MWh/a

Aus der Bilanzierung des Brennstoffeinsatzes und der übrigen Wärmeverbraucher (Trinkwasser, Prozesswärme) sowie der Abgasverluste der Feuerungsanlagen errechnet sich ein jährlicher Wärmeverbrauch für Raumheizung von 14.900 MWh/a.

Der Brennstoffbedarf für die Raumheizung lässt sich auch überschlägig aus dem Jahresverlauf des Brennstoffverbrauchs (Erdgas und Heizöl EL) ermitteln. Der Wärmebedarf der übrigen Verbraucher ist über das Jahr hinweg konstant (Trinkwassererwärmung und Prozesswärme) und kann bestimmt werden aus den monatlichen Verbrauchswerten in den Sommermonaten, wenn kein Heizbedarf besteht (hierbei ist die Betriebsunterbrechung in der Sommerpause zu berücksichtigen).

Die Differenz aus dem jährlichen Gesamtverbrauch und dem auf das Jahr hochgerechneten Verbrauch in den Sommermonaten ist demnach der Bedarf für die Raumheizung.

Auf diese Weise lässt sich zur Plausibilitätsprüfung aus den Bezugsmengen des Jahres 2000 ein mittlerer Brennstoffverbrauch von 16.500 MWh/a ermitteln, der für die Raumheizung (einschließlich Warmwasserbereitung sowie Kesselverlusten) aufgewendet wird. Dieser Wert ist konsistent mit dem oben angegebenen Wärmeverbrauch und einem Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung von rund 90%.

5.3.2 Trinkwassererwärmung

Der Bedarf an erwärmtem Trinkwasser wird durch die oben bereits beschriebenen Warmwasserbereiter gedeckt:

⇒ Gas-Brennwertkessel in Gebäude 91 für dieses Gebäude (Kantine und Pforte)

¹ Im weiteren Verlauf werden Wärmemengen immer auf den unteren Heizwert H_u bezogen, wenn nicht anders angegeben

- ⇒ Heizöl-EL-Kessel für den Sanitärtrakt in Gebäude 39/40
- ⇒ dezentrale elektrische Warmwasserbereiter in den Produktionshallen.

Der Warmwasser-Verbrauch wird wegen der dezentralen Struktur nicht erfasst. Er wird anhand von typischen Kenngrößen und der Benutzungshäufigkeit auf rund 2.800 m³/a abgeschätzt.

Der zur Erwärmung dieser Wassermenge erforderliche Wärmebedarf beträgt rund 73 MWh/a. Davon werden rund 26 MWh/a durch Brennstoffeinsatz und 47 MWh/a elektrisch erzeugt.

5.3.3 Prozesswärme

Prozesswärme Lackiererei: 4.286 MWh/a (TNV-Anlagen)

In der Lackiererei (Halle 68) wird die mit Lösemitteln belastete Abluft (aus der Elektro-Tauchlackierung und der Decklackierung) als Verbrennungsluft in zwei gasbefeuchten Anlagen zur Thermischen Nachverbrennung (TNV-Anlagen) eingesetzt. Die dabei erzeugte Wärme wird zur Luftherhitzung der Lacktrockner verwendet. Die installierte Brennerleistung der Anlagen beträgt $2 \times 800 \text{ kW}_{\text{th}}$, die durchschnittliche Betriebsleistung $2 \times 447 \text{ kW}_{\text{th}}$.

Der jährliche Erdgasverbrauch der beiden TNV-Anlagen beträgt zusammen 4.286 MWh_{HU}/a (Bezugsjahr 2000).

Teilewaschmaschine: Bäder und Trockenzone

Weiter gibt es in Halle 24 eine Teilewaschmaschine, die über Wärmetauscher mit Warmwasser (Vorlauf 90°C/Rücklauf 70°C) von der Heizzentrale versorgt wird. In mehreren Teilbädern (Waschen, Spülen, Phosphatierung, Spülen, VE-Bad) werden die Werkstücke gereinigt, entfettet und phosphatiert, um die Oberflächen für die anschließende Lackierung vorzubereiten. Die Solltemperatur der Bäder beträgt 60°C. Die Betriebserfahrungen mit der Waschmaschine zeigen, dass es Verschleppung der unterschiedlichen Flüssigkeiten zwischen den einzelnen Teilbädern gibt; eine geänderte Wannenkonstruktion und vergrößerte Abtropfstrecken könnten eine Verminderung der gegenseitigen Kontaminationen und damit eine verlängerte Standzeit der Bäder ermöglichen.

Wärmebedarf Bäder: 981 MWh/a

Der gesamte Wärmeleistungsbedarf der Bäder beträgt 684 kW im Aufheizbetrieb und 511 kW im Dauerbetrieb; mit der Betriebsdauer der Anlage errechnet sich die jährlich abgenommene Wärmemenge zu 981 MWh/a.

Im Anschluss an die Teilewaschmaschine ist ein ölbefeuertes Luftheizgerät zur Luftherwärmung in der Trockenzone der Waschmaschine installiert. Die Trocknungsluft wird auf 105°C erwärmt; laut Betriebspersonal lassen die Trocknungsergebnisse jedoch darauf schließen, dass eine höhere Temperatur vorteilhafter wäre, um kürzere Trocknungszeiten und bessere Trocknungsergebnisse zu erzielen¹. Außerdem sollte eine Kühlzone nachgeschaltet werden, um die anschließende Handhabung der getrockneten Werkstücke zu erleichtern.

Die Nennwärmeleistung des Luftheizgeräts beträgt 235 kW. Mit der Betriebsdauer ergibt sich ein jährlicher Brennstoffverbrauch von ca. 580 MWh_{HU}/a.

¹ Inzwischen wurde ein neues ölbefeuertes Luftheizgerät installiert, das eine Trocknungslufttemperatur von 120°C erreicht.

5.3.4 Übersicht Brennstoffverbrauch

Damit lässt sich die Verteilung des Brennstoffverbrauchs wie folgt aufgliedern (Bezugsjahr 2000):

Brennstoffverbraucher	MWh _{HU} /a
Nutzwärme Raumheizung	12.664
Trinkwassererwärmung	26
Prozesswärme (Lacktrocknung, Waschmaschine, Brennschneidanlagen)	6.099
Abgasverluste (aus Heizungs-, Wassererwärmungs- und Prozesswärme-Anlagen)	1.291
Treibstoff (Gabelstapler mit Treibstoff Flüssiggas)	535
Summe Brennstoffverbrauch	20.615

Der gesamte jährliche Brennstoffverbrauch des Betriebs beträgt also rund 21.000 MWh_{HU} / a.

In Abbildung 5-1 ist diese Aufteilung der Verbrauchswerte grafisch dargestellt (siehe auch Energieflussbild, Abbildung 5-2).

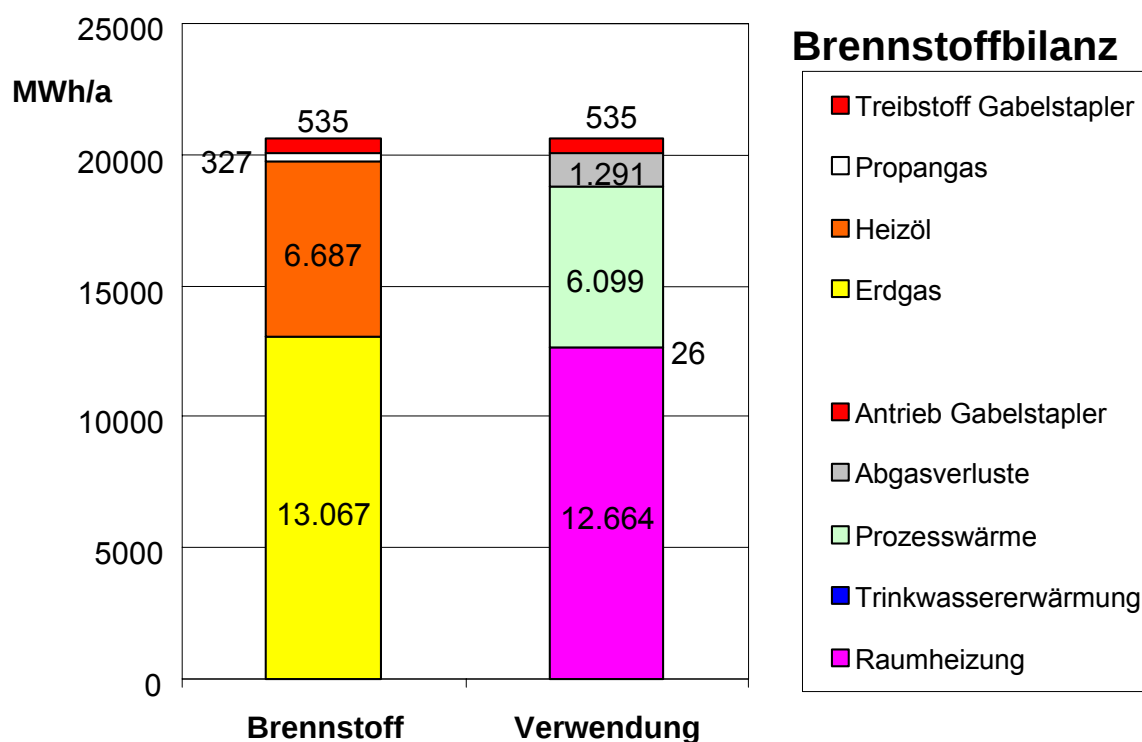


Abbildung 5-1: Brennstoffeinsatz und Wärmeverwendung

Der weitaus größte Verbrauchsanteil entfällt also auf die Beheizung der Hallen. Der spezifische Heizwärmeverbrauch der Hallen beträgt etwa 35 kWh/m³·a (bezogen auf den Bruttorauminhalt der Gebäude) bzw. 262 kWh/m²·a (bezogen auf die Gebäudegrundfläche).

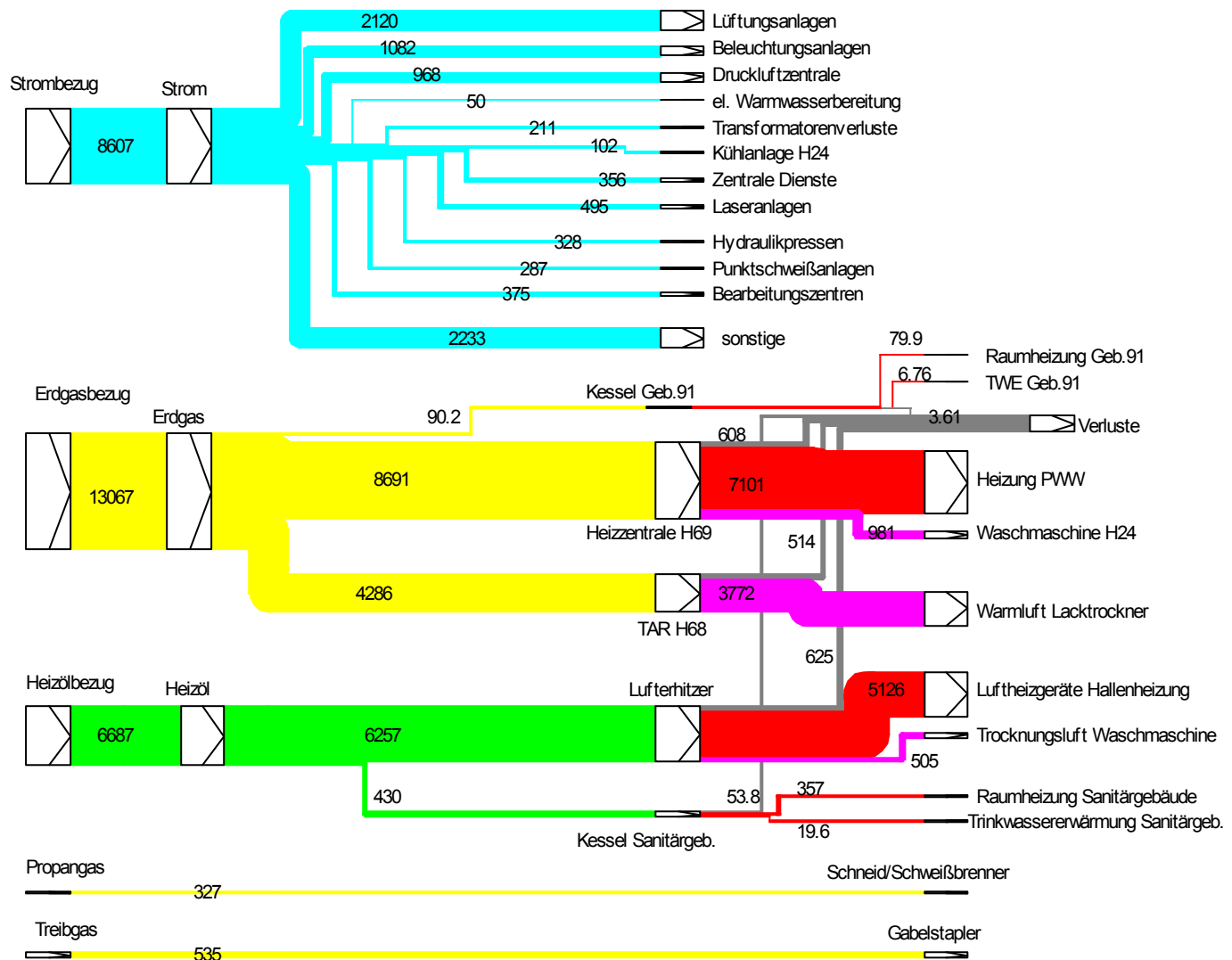


Abbildung 5-2: Energieflussbild (Sankey-Diagramm) des gesamten Betriebs für die bezogenen Energieträger Strom, Erdgas und Heizöl EL sowie Propan- und Flüssiggas. (Alle Zahlenwerte in MWh/a.)

5.4 Elektrische Energieversorgung

5.4.1 Gesamt-Stromverbrauch

Gesamt-Stromverbrauch 8.607 MWh/a

Im Bezugsjahr 2000 wurden 8.607 MWh Strom bei einer Maximalleistung von 2.313 kW bezogen (siehe auch Abschnitt 4.3.1).

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden die wesentlichen Stromanwendungen aufgenommen und deren Verbrauch berechnet bzw. abgeschätzt, siehe auch Kapitel 3.

5.4.2 Elektrische Versorgungseinrichtungen

5.4.2.1 Transformatoren

Die elektrische Energie wird in der Übergabestation (Station A) auf Mittelspannungsniveau 20 kV bezogen und an die sechs Transformatorstationen A bis F verteilt. Dort wird die Mittelspannung durch insgesamt neun Transformatoren ($7 \times 800 \text{ kVA}$, $2 \times 1.000 \text{ kVA}$) auf Niederspannungsniveau 400 V transformiert. Da insbesondere durch die Schweißanlagen sehr hohe Spitzenströme auftreten, liegt die Auslastung der Transformatoren im Jahresmittel nur bei rund 13%.

Die mittlere Verlustleistung aller Transformatoren beträgt zusammen etwa 20,3 kW; dies entspricht bei einem ganzjährigen Betrieb der Transformatoren rund 177 MWh/a (ca. 2,1% der bezogenen Strommenge). Auf Grund der geringen Belastung der Transformatoren bei AGCO machen die Leerlaufverluste den weitaus größten Verlustanteil (ca. 19 kW) aus; die durch die tatsächliche Belastung der Transformatoren entstehenden Kurzschlussverluste spielen kaum eine Rolle. Bei der Anschaffung der Transformatoren wurden folgerichtig auch Modelle mit verminderten Leerlaufverlusten gewählt.

5.4.2.2 Blindleistungskompensation

Zur Blindleistungskompensation verfügt der Betrieb über Blindleistungskompensationsanlagen in den jeweiligen Transformatorstationen, die den Leistungsfaktor automatisch auf $\cos \varphi = 0,9$ einregeln.

5.5 Stromanwendungen

5.5.1 Produktionsmaschinen

In den einzelnen Betriebsbereichen stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Produktionsmaschinen, die ein weites Spektrum der Herstellungsprozesse des Maschinenbaus abdecken. Daher ist eine detaillierte Aufschlüsselung des Energieverbrauchs auf einzelne Maschinen bzw. Prozesse nicht möglich und auch nicht sinnvoll, da sich auch die Prozessparameter ständig mit den wechselnden Werkstücken ändern. Aus diesem Grund wurden einige für den Betrieb typische Prozesse ausgewählt, an denen exemplarisch Leistungsmessungen durchgeführt wurden, die im Folgenden näher beschrieben sind.

5.5.1.1 Hydraulische Pressen

Die Hydraulikpresse ist mit einer elektrischen Nennleistung von 85 kW einer der größten Verbraucher im Betrieb. Die tatsächliche Leistungsaufnahme ist zeitlich stark schwankend. Ein typischer Verlauf ist daher auf Grund der stark unterschiedlichen Bearbeitungsschritte der verschiedenen zu bearbeitenden Teile nicht zu erkennen.

Aus Abbildung 5-3 ist zu erkennen, dass der Mittelwert für den 9. März 2001 zum Beispiel etwa 10 kW beträgt, das Maximum an dem Tag lag bei mehr als 27 kW. Der gemessene maximale elektrische Leistungsbedarf im Messzeitraum lag kurzzeitig bei 37 kW.

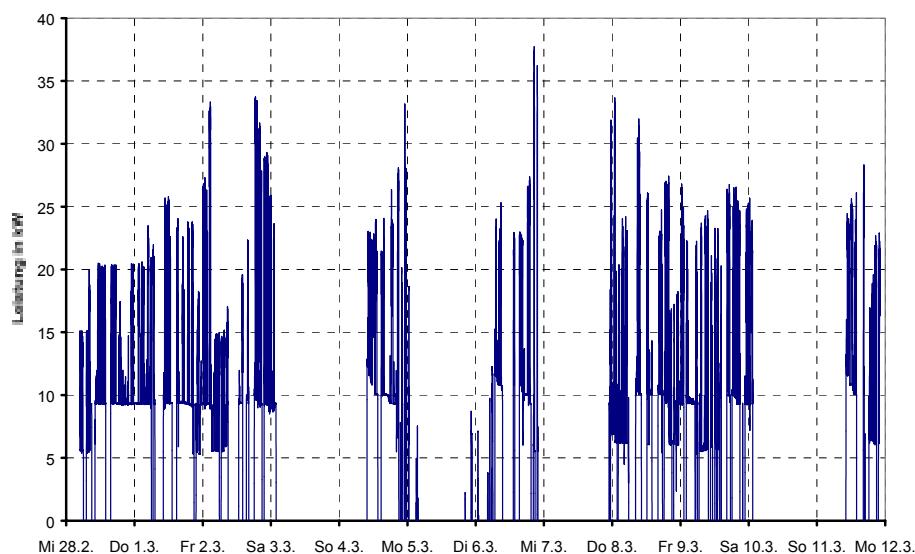


Abbildung 5-3 Elektrische Leistungsaufnahme Hydraulikpresse

Der aus der Messung auf ein Jahr hochgerechnete Stromverbrauch für diese Presse beträgt rund 36,3 MWh/a.

Der Verbrauch für rund 35 weitere im Betrieb vorhandene hydraulische Maschinen (Pressen, Abkantbänke, Biegemaschinen) wird anhand der Leistungsdaten und Betriebsdauern sowie dem Auslastungsverhältnis der oben dargestellten Presse abgeschätzt auf 328 MWh/a.

5.5.1.2 Bearbeitungszentren

Abbildung 5-4 zeigt die elektrische Leistungsaufnahme des messtechnisch erfassten Bearbeitungszentrums über den gesamten Messzeitraum. Das Bearbeitungszentrum weist eine elektrische Nennleistung von 65 kW auf. Während der Messungen trat kurzzeitig eine Maximalleistung 25 % dieses Wertes auf.

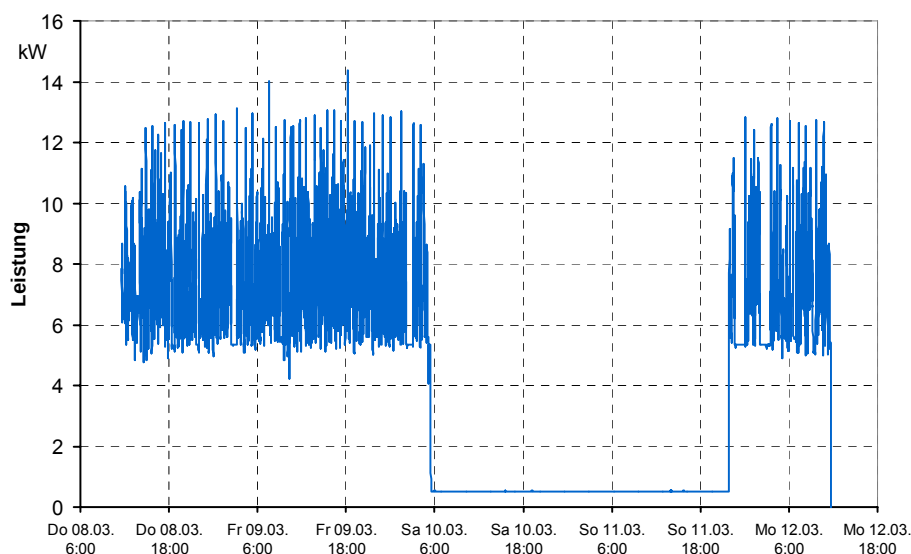


Abbildung 5-4 Elektrische Leistungsaufnahme eines Bearbeitungszentrums

Der Leistungsbedarf zeigt starke Schwankungen; die Spitzen liegen bei 14 kW, die Leistungsminima während der Produktionszeiten unter 5 kW. Der Mittelwert der aufgenommenen Leistung während der Produktionszeiten liegt bei ca. 7,5 kW. Aus den gemessenen Tagesverläufen kann kein typischer Verlauf abgeleitet werden, da auf dem Bearbeitungszentrum die unterschiedlichsten Teile im unregelmäßigen Wechsel produziert werden. Der auf ein Jahr hochgerechnete Verbrauch beträgt rund 46,9 MWh/a.

Im Betrieb sind acht Bearbeitungszentren dieser Art mit unterschiedlichen Anschlussleistungen vorhanden. Der jährliche Stromverbrauch dieser Anlagen wurde aus der Messung auf rund 375 MWh/a hochgerechnet.

5.5.1.3 Punktschweißanlagen

In Abbildung 5-5 wird die Leistungsaufnahme der untersuchten Punktschweißanlagen über einen Messzeitraum von etwa zehn Tagen dargestellt. Die Messung erfolgte am gemeinsamen Trafoabgang. Für den Messzeitraum ergibt sich ein maximaler Leistungsbedarf von 72 kW (Minutenmittelwert). Das Leistungsminimum liegt an Werktagen in den Nachtstunden bei rund 17 kW, am Wochenende bei 5 kW. Aus Abbildung 5-5 ist ersichtlich, dass alle Werktage einen relativ ähnlichen Verlauf aufweisen.

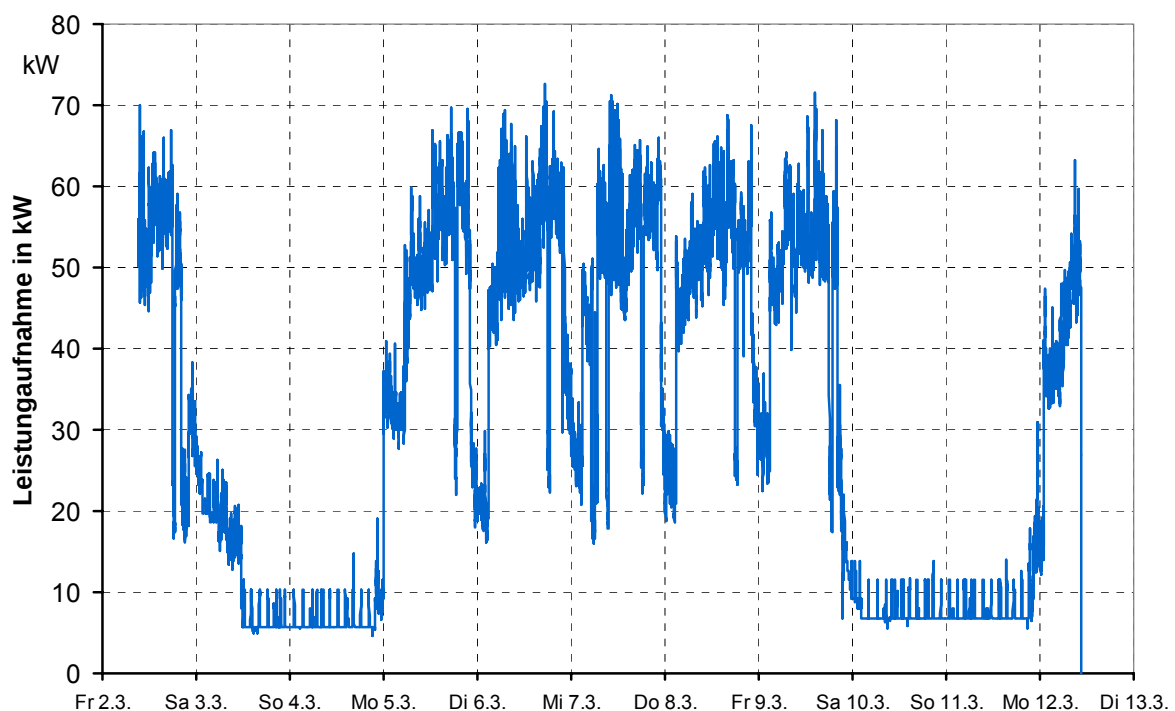


Abbildung 5-5: Elektrische Leistungsaufnahme der gemessenen Punktschweißanlagen über den Messzeitraum

In Abbildung 5-6 ist ein typischer Verlauf anhand der Messwerte für Dienstag, den 06. März 2001, dargestellt. Der mittlere Leistungsbedarf während der Schichtzeiten liegt bei etwa 54 kW. Einzelne Lastspitzen können um bis zu 15 kW höher liegen. Die Grundlast in der Nacht liegt bei rund 20 kW. Auffällig ist außerdem der Leistungseinbruch in der Brotzeitpause der 2. Schicht (zwischen 18:00 und 18:30 Uhr).

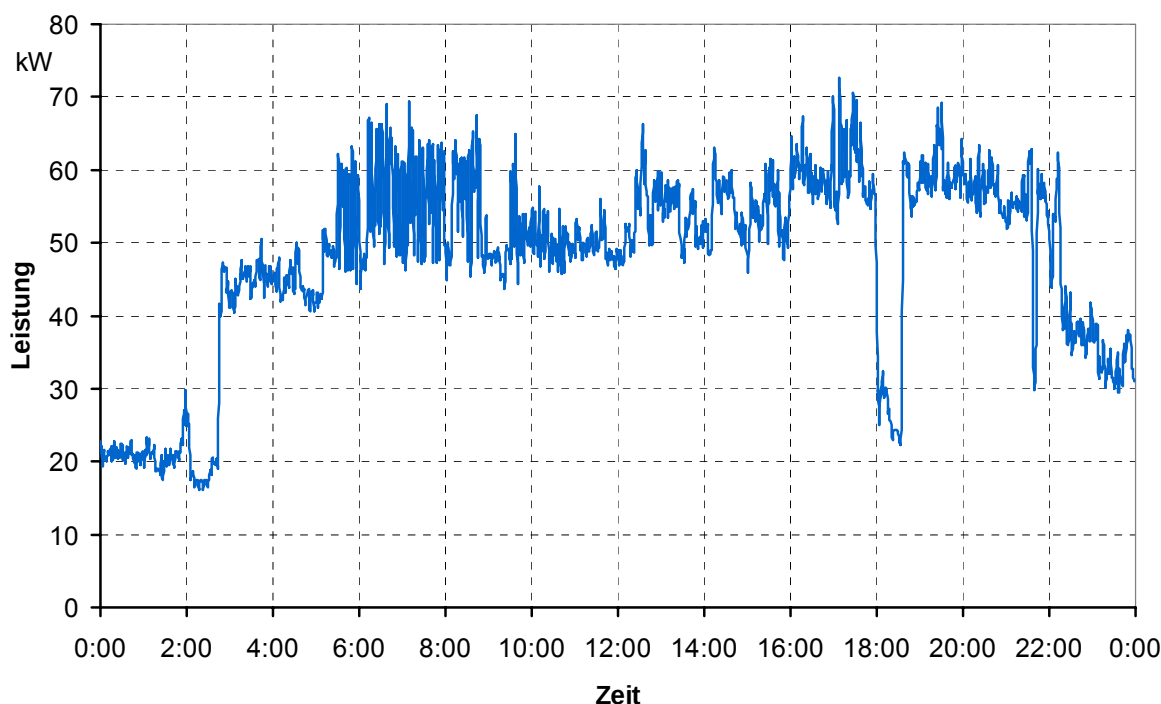


Abbildung 5-6: Tagesverlauf der gemessenen Punktschweißanlagen für einen typischen Produktionstag

Für die Punktschweißanlagen lässt sich aus den Messungen ein Jahresverbrauch von 287 MWh/a errechnen.

5.5.1.4 Laserschweißanlagen

Der jährliche Stromverbrauch für die derzeit 8 vorhandenen Laserschweißanlagen wurde aus den Nennleistungsdaten der Anlagen, deren Auslastung sowie den Betriebszeiten hochgerechnet auf rund 495 MWh/a (5,8% des Gesamtstromverbrauchs).

5.5.1.5 Weitere Produktionsanlagen

Die weiteren Produktionsanlagen können wegen der Vielzahl der unterschiedlichen vorhandenen Maschinen und dem häufigen Wechsel zwischen verschiedenen Werkstücken, die damit bearbeitet werden, nicht im Detail betrachtet werden. Eine Abschätzung der Verteilung der nicht erfassten elektrischen Verbraucher auf die einzelnen Produktionsbereiche wird in Abschnitt 5.5.9 durchgeführt.

5.5.2 Beleuchtung

Die Beleuchtung besteht überwiegend aus Leuchtstoffröhren, die größtenteils in Spiegelreflektorleuchten installiert sind, sowie aus Quecksilberdampf lampen. Die Beleuchtungsanlagen werden teilweise ergänzt durch Tageslicht aus Oberlichtern. Insgesamt ist in den Gebäuden eine Beleuchtungsleistung von ca. 440 kW installiert. Die Produktionshallen und Büroräume werden durchgängig während der Arbeitszeit beleuchtet. Darüber hinaus gibt es eine Außenbeleuchtungsanlage mit rund 6,5 kW, die durch einen Dämmerungsschalter gesteuert wird.

Die Beleuchtungsanlagen auf eine Nennbeleuchtungsstärke von 350 bis 400 Lux ausgelegt. Die gemessene Helligkeit in den einzelnen Betriebsbereichen ist sehr unterschiedlich und liegt zwischen 50

und 1.000 Lux. Ursachen für verminderte Beleuchtungsstärken liegen z.B. bei verschmutzten Leuchtmitteln / Reflektoren (daher werden die Leuchten in den Werksferien im Sommer gereinigt) oder bei ungünstig platzierten Regaleinbauten teilweise direkt unter den Beleuchtungsanlagen. Die in einigen Bereichen deutlich höhere installierte Lampenleistungen sind durch die anspruchsvolleren Sehaufgaben (z.B. Oberflächenkontrolle) begründet. Eine automatische Steuerung der Beleuchtungsanlagen ist in zwei Hallen installiert, wurde jedoch wegen häufig wechselnden Beleuchtungsbedarfs (Schichtbetrieb, Produktwechsel) außer Betrieb genommen und auf manuellen Steuerung umgestellt.

Beleuchtung: 1.100 MWh/a

Die Beleuchtung stellt mit rund 1.082 MWh (ca. 12,6% Verbrauchsanteil) eine der größten Verbrauchergruppen dar.

5.5.3 Lüftungstechnik

In dem Betrieb in Asbach-Bäumenheim sind ca. 20 Lüftungsanlagen unterschiedlicher Größe in Betrieb. Davon dienen die größeren Anlagen vor allem der Abführung rauch-/ wärmebelasteter Luft aus den Produktionshallen. Diese Anlagen sind meist als reine Abluftanlagen ausgeführt, die Zuluft gelangt durch Nachströmung in die Hallen.

Abluftanlagen Halle 89: 387 MWh/a

In Halle 89 sind 10 Abluftanlagen zur Abfuhr wärmebelasteter Luft installiert. Der gemessene Verlauf der Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen in der Halle 89 ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

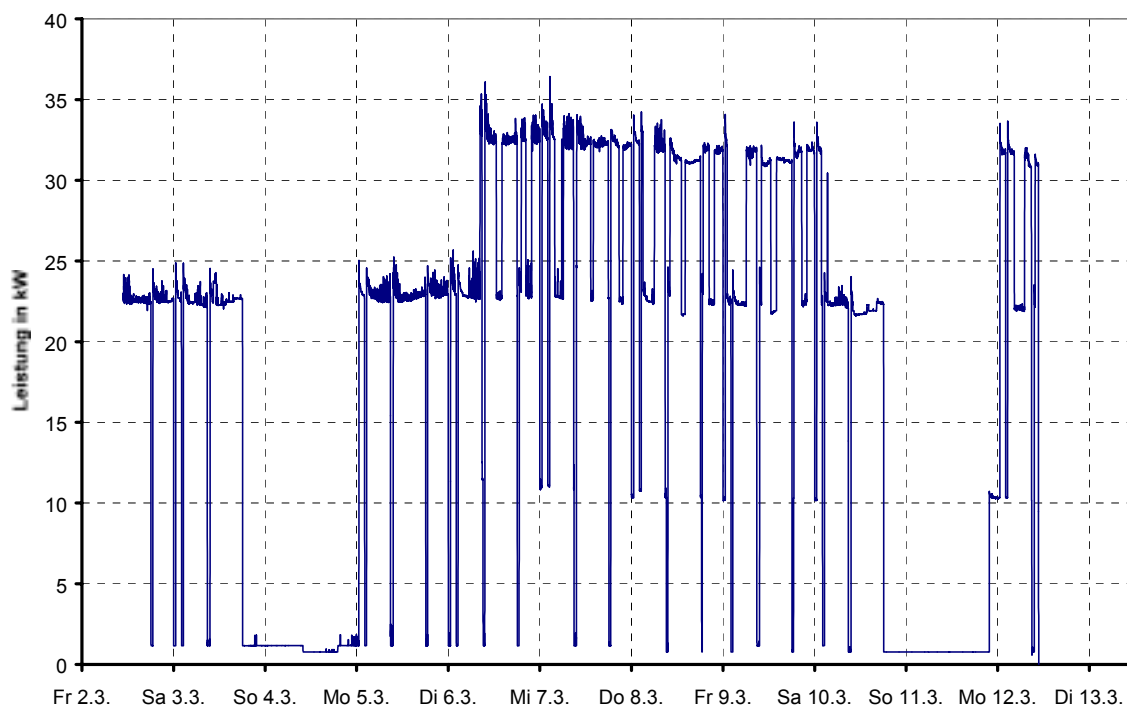


Abbildung 5-7: Elektrische Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen in Halle 89

Der maximale elektrische Leistungsbedarf liegt bei etwas mehr als 35 kW. Die Schwankungsbreite des elektrischen Leistungsbedarfs ist mit 2 bis 3 kW sehr gering. Bei geringerem Bedarf werden einzelne Lüftungsanlagen automatisch ausgeschaltet. An jedem Tag gibt es zwei Mal eine halbe Stunde,

von 8:30 bis 9:00 Uhr (Pausenzeit) und von 18:00 bis 18:30 Uhr, in der die Anlagen abgeschaltet werden. Am Wochenende sind die Anlagen ausgeschaltet. Diese Regelung wurde mit dem Ziel der Reduzierung der Leistungsspitze des Strombezugs eingeführt (siehe auch Abbildung 4-3).

Aus dem gemessenen Lastgang errechnet sich mit der Betriebsdauer der Anlagen ein jährlicher Stromverbrauch von rund 387 MWh/a für die zehn Lüftungsanlagen in Halle 89.

Im Folgenden sind weitere Lüftungsanlagen beschrieben, die nicht im Einzelnen messtechnisch erfasst wurden. Der jährliche Stromverbrauch dieser Anlagen wurde aus den technischen Daten und den Betriebsdauern ermittelt.

Luftabsaugung Brennschneidanlage: 148 MWh/a

Im Bereich der Brennschneidetische ist in Halle 89 eine weitere Luft-Absauganlage mit zwei Ventilatoren (je 18,5 kW; Förderleistung je 10.600 m³/min) in Betrieb, die den dort entstehenden Rauch absaugen und über Zyklonabscheider und Schlauchfilteranlage nach außen abführen. Aus Anlagendaten und Betriebsdauern lässt sich ein jährlicher Stromverbrauch dieser Absauganlage von 148 MWh/a ermitteln.

Lüftungsanlagen Halle 24: 288 MWh/a

In Halle 24 befinden sich zwei Lüftungsanlagen für die beiden Hallenbereiche Nord und Süd, die jeweils aus einem Zu- und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung bestehen. Die beiden Anlagen benötigen jährlich ca. 288 MWh/a Strom.

Luftabsaugung Schweißanlagen Halle 24: 126 MWh/a

Zusätzlich sind in Halle 24 bei den Schweißarbeitsplätzen und Schweißrobotern ca. 14 weitere Absauganlagen installiert, die als reine Fortluftgeräte ausgeführt sind mit einem jeweiligen Volumenstrom von 3.000 bis 9.000 m³/h. Die Schweißplätze sind mit an der Hallendecke angebrachten Schürzen umgeben, um die mit Schweißrauch belastete Abluft zu den Deckenabsaugöffnungen zu führen und die Ausbreitung des Rauchs in der Halle einzuschränken. Die Länge der Schürzen ist jedoch durch die Werkstückzuführung (Kran) begrenzt. Der jährliche Stromverbrauch beträgt rund 126 MWh/a.

Lüftungsanlagen Halle 68: 1.120 MWh/a

In der Lackiererei Halle 68 befindet sich eine ganze Reihe von Lüftungsanlagen zur Be- und Entlüftung der eigentlichen Halle, der Spritzkabine, der Abdunst- und der Kühlzonen sowie der thermischen Abluftreinigung (Nachverbrennung lösemittelhaltiger Abluft). Damit wird ein Gesamtvolumenstrom von ca. 384.000 m³/h (jeweils Zu- und Abluft) gefördert. Die gesamte elektrische Antriebsleistung der installierten Ventilatoren beträgt rund 280 kW, damit ergibt sich ein jährlicher Stromverbrauch von 1.120 MWh/a.

In Tabelle 5-2 sind die Daten der Lüftungsanlagen im Betrieb zusammengestellt.

Tabelle 5-2: Lüftungsanlagen

Gebäude	max. Luft- förderleistung m ³ /h	installierte el. Leistung kW	Stromver- brauch MWh/a
Halle 24 (Schweißhalle)	40.000	48	288
Halle 24 (Schweißkabinen Absaugung)	70.000	21	126
Halle 68 und Spritzkabine	384.000	280	1.120
Halle 88 Bürogebäude		16,5	33
Halle 89 Teilefertigung		64,6	387
Halle 89 Brennschneideanlage (Absaugung)	23.000	37	148
Gebäude 39/40/41 (Sanitärtrakt)		7,8	15,6
Kantine und Küche Gebäude 91	5.900	2	2,8
Summe		476,9	2.120,4

Der gesamte jährliche Strombedarf für die Antriebe dieser Lüftungsanlagen beträgt also rund 2.120 MWh/a.

5.5.4 Kühlung

Elektrotauchlack-Kühlung: Frischwasser-Wärmetauscher

Bei der Elektrotauchlackierung (ETL) wird durch die Werkstücke und die Lack-Umwälzpumpe Wärme in das Lackierbad eingetragen. Da der ET-Lack ein Temperaturniveau von maximal 27°C nicht überschreiten darf, wird er durch einen trinkwassergespeisten Wärmetauscher gekühlt. Dazu wird jährlich eine Wassermenge von rund 22.500 m³/a verwendet. Das in diesem Wärmetauscher eingesetzte Kühlwasser wird zum Teil weiterverwendet (zur Nachspeisung der Überlaufmengen Entfettungsbad). Der Rest wird über einen Trübungswächter kontrolliert in den Regenwasserkanal eingeleitet.

Laseranlagen: dezentrale Luftkühlung

Die in den vier Laseranlagen anfallende Abwärme muss ebenfalls abgeführt werden. Dies geschieht durch in den Anlagen integrierte Kühlgeräte, welche die Wärme an die Hallenluft abgeben.

Punktschweißanlagen: Kühlturm Halle 24

Die Kühlung der Punktschweißanlagen und der Hydraulikpressen in Halle 24 erfolgt (bei einer Kühlwassertemperatur von 25°C) über einen Plattenwärmetauscher, der durch einen Nasskühlturm rückgekühlt wird. Die Kühlleistung beträgt rund 160 kW_{th} bei einem Zusatzwasserbedarf von rund 0,3 m³/h. Die jährlich nachgespeiste Wassermenge hierfür beträgt 385 m³/a (Verdunstung und Abschlammung).

Der jährliche Stromverbrauch der Kühlanlage (Kühlturmventilator 3 kW, Kühlwasserpumpen primär- und sekundärseitig zusammen 11,5 kW) beträgt rund 102 MWh/a.

Im Verlauf der Erhebung wurde in Halle 74 zur Kühlung des Einkomponenten-Tauchlacks ein weiterer Kühlturm mit einer Kühlleistung von 45 kW neu installiert. Durch diese Lackkühlung auf ca. 22°C konnte eine erhebliche Verminderung der Lösemittelverluste durch Verdunstung erzielt werden. Damit sind einerseits Einsparungen bei der Lösemittelnachspeisung verbunden, andererseits die Vermeidung von Lösemittlemissionen bzw. eine entsprechende Abluftbehandlung. In die Verbrauchsbilanzen für Strom und Wasser wird dieser Kühlturm hier nicht einbezogen (Bezugsjahr 2000).

5.5.5 Druckluft

Die Druckluft wird mit insgesamt drei Druckluftkompressoren unterschiedlicher Bauart erzeugt, die in Tabelle 5-3 näher beschrieben sind.

Tabelle 5-3: Druckluftkompressoren

Kompressor	Bj.	Typ ⁽¹⁾	Max. Antriebsleistung kW _{el}	Nenn-Lieferleistung m ³ /min	Nominelle Liefermenge m ³ /a
Mannesmann Demag SE 150 S	1982	Schraubenkompressor	97	14,6	3.781.000 ^(a)
Atlas Copco GA VSD 90	1996	Schraubenkompressor	108	15	2.999.000 ^(b)
Atlas Copco DT4E	1976	Kolbenkompressor	90	15,6	3.000 ^(a)
Summe			295	45,2	6.783.000

^(a) aus Betriebsstunden unter Last und Nenn-Lieferleistung

^(b) aus Aufzeichnungen der Kompressorsteuerung (Anzeige)

Als Grundlastkompressor dient der Schraubenkompressor Mannesmann Demag SE 150 S. Darüber hinaus erzeugt ein drehzahl geregelter zweiter Schraubenkompressor (VSD 90) den variablen Anteil des Druckluftbedarfs. Schließlich steht noch ein Kolbenkompressor DT4E als Reservekompressor zur Verfügung, der jedoch nur in Ausnahmefällen in Betrieb ist.

Im Jahr 2000 wurden rund 6,8 Mio. Norm-Kubikmeter (m³_N) Druckluft angesaugt und auf einen Betriebsdruck von 6,9 bar verdichtet.

Die Druckluftaufbereitung erfolgt durch einen Kältetrockner.

Druckluftanlage: 968 MWh/a

Der Stromverbrauch der Druckluftstation wird durch einen eigenen Zähler erfasst. Der so ermittelte Anteil am Gesamtstromverbrauch betrug im Jahr 2000 mit 968 MWh/a rund 6,1%.

Hauptabnahmestellen für Druckluft sind:

- ⇒ Montagewerkzeuge
- ⇒ Blaspistolen
- ⇒ Laseranlagen
- ⇒ Steuerluft
- ⇒ Abblaseeinrichtungen für Filter
- ⇒ Pneumatik-Torantriebe
- ⇒ Kühlung von Fotozellen
- ⇒ Fett- und Kittpressen
- ⇒ Rührwerke
- ⇒ Antriebe von Rauch/Wärmeabzugsklappen (RWA)

Die Laseranlagen benötigen einen konstanteren Luftdruck als die anderen Abnehmer.

Da die maximale Abnahmemenge der Druckluft nahe an der Erzeugungskapazität der beiden Hauptkompressoren liegt, kam es in jüngerer Zeit öfter zu Druckabfällen bei Abnahmespitzen, so dass der erforderliche Mindestversorgungsdruck bei den Laseranlagen unterschritten wurde. Daher wurde kurzzeitig der Netzdruck um 0,3 bar angehoben. Nach dem Wegfall der Abnehmer der Fendt Caravan GmbH konnte diese Anhebung wieder rückgängig gemacht werden.

Die elektrische Leistungsaufnahme der beiden Hauptkompressoren und die entsprechende Druckluft-Liefermenge wurde im Verlauf einer Produktionswoche gemessen. Abbildung 5-8 zeigt den Verlauf an einem typischen Produktionstag.

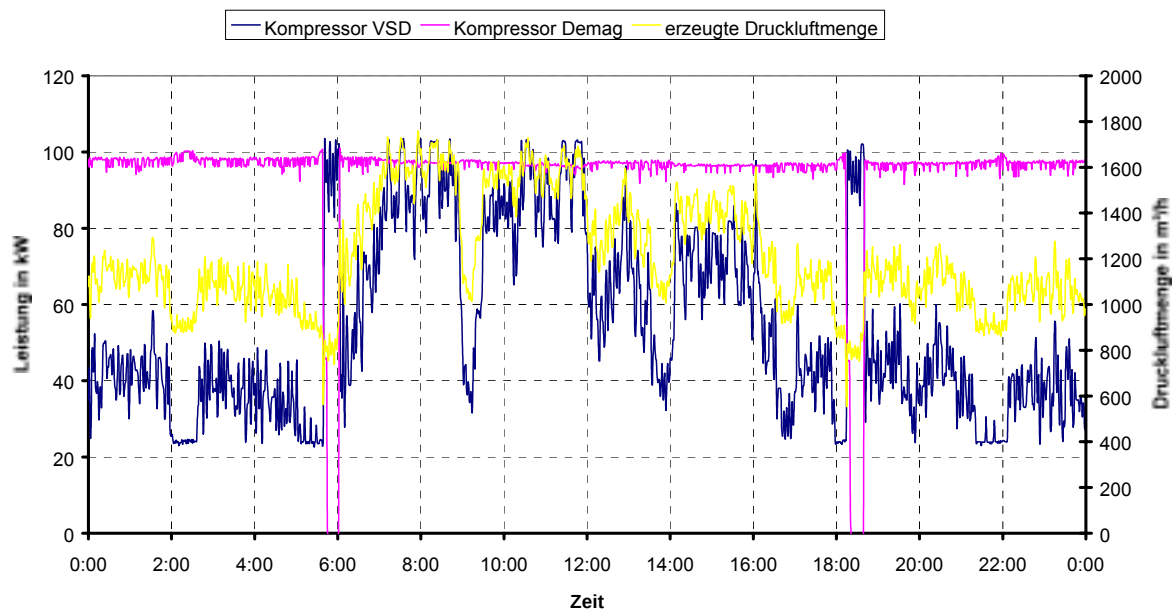


Abbildung 5-8: Leistungsaufnahme und Druckluft-Liefermenge im Verlauf eines typischen Produktionstages

Aus den Messungen ergeben sich die in Abbildung 5-9 dargestellten wochentäglichen Stromverbrauchswerte der Druckluftstation:

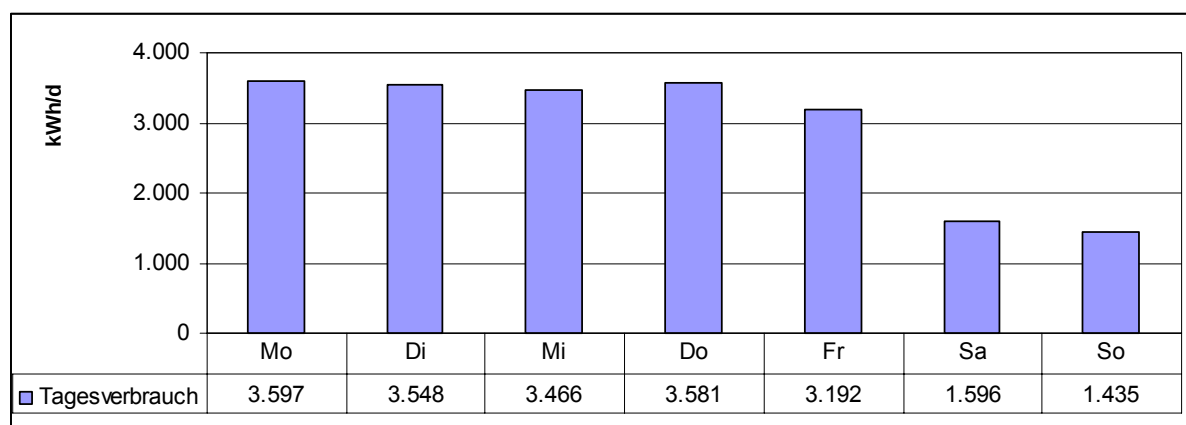


Abbildung 5-9: Wochentägliche Stromverbrauchswerte der Druckluftstation

Zur Überprüfung der Plausibilität wurde der summierte Wochenverbrauch von 20,4 MWh / Woche auf ein Jahr (48 Produktionswochen) hochgerechnet. Damit ergibt sich ein Jahresverbrauch für die Druck-

luftherzeugung von ca. 980 MWh/a. Dieser Wert stimmt gut überein mit dem aus der Stromzählerablesung bestimmten jährlichen Verbrauchswert von 968 MWh/a ist (siehe oben).

Der Druckluftverbrauch am Wochenende beträgt rund 400 m³/h. Da zu dieser Zeit keine wesentlichen Verbraucher Druckluft entnehmen, kann dies als Anhaltswert für die Leckagemenge dienen; dies entspricht rund 23% der maximalen Liefermenge der beiden Kompressoren. Da die Leckagemenge ganzjährig zusätzlich zur Entnahme durch die Verbraucher erzeugt werden muss, ist der Anteil an der jährlich erzeugten Liefermenge 6.783.000 m³/a bedeutend höher (**ca. 52 %**). Diese Leckageverluste entstehen über das gesamte Druckluftnetz verteilt mit verschiedenen typischen Schwerpunkten.

5.5.6 Elektrische Warmwasserbereitung

Während die Trinkwassererwärmung in Gebäude 91 und im Sanitärtrakt durch Erdgas- bzw. Heizölkessel erfolgt, werden in den Sozialbereichen der anderen Hallen auch rund 10 dezentrale elektrische Speicher-Warmwasserbereiter (installierte Heizleistung 50 kW) eingesetzt.

elektrische Warmwasserbereiter: 47 MWh/a

Aus den Betriebsdauern und der mittleren Leistungsaufnahme wurde ein jährlicher Stromverbrauch für die elektrische Warmwasserbereitung von rund 47 MWh/a ermittelt (dies entspricht 0,5% des Gesamtstromverbrauchs).

5.5.7 Weitere Zentrale Dienste

In dieser Gruppe sind weitere Verbraucher zusammengefasst, die Energiedienstleistungen für den gesamten Betrieb zur Verfügung stellen. Dazu gehören folgende Anlagen und Geräte¹:

Anlage	Verbrauch MWh/a
Ventilatoren der Luftheizgeräte	141
Antriebe von Pumpen für die Heiz- und Kühlmedien	192
Gebläsebrenner	23
Summe Zentrale Dienste	356

Insgesamt ist diesen Geräten und Anlagen ein Stromverbrauch von rund 356 MWh/a (4,1% des Gesamtstromverbrauchs) zuzuordnen.

5.5.8 Kantine

Der Betrieb verfügt in Gebäude 91 über eine Kantine mit eigener Küche, in der von Montag bis Donnerstag täglich rund 60 warme Mahlzeiten für die Mitarbeiter zubereitet werden. Die Küchengeräte werden teils mit Gas betrieben (Gas-Kochstellenherd), teils elektrisch.

Der Stromverbrauch der Küche ist in den unten aufgeführten weiteren Verbrauchern enthalten; der Brennstoff- / Wärmeverbrauch ist bereits in Kapitel 5.3 beschrieben.

5.5.9 Weitere Verbraucher

Der Bilanzrest zwischen dem jährlichen Stromverbrauch des gesamten Betriebs und der Summe der oben beschriebenen Verbraucher beträgt 2.223 MWh/a (ca. 25,8%). Diese Verbrauchsmenge ist einer

¹ Jahresverbrauchswerte zumeist ermittelt aus Leistungswerten und Betriebsdauern

Vielzahl von kleineren bis mittelgroße Abnehmern zuzuordnen, die nicht in der obigen systematischen Aufstellung erfasst worden sind.

Da keine flächendeckende Anlagendokumentation sowie Angaben über die Betriebsdauer vorliegen bzw. in diesem Rahmen erstellt werden kann, werden diese verbleibenden Verbrauchsanteile in untenstehender Tabelle 5-4 auf dem Weg der Schätzung den einzelnen Produktionsbereichen zugeordnet. Wo vorhanden, werden bekannte Verbrauchsdaten aufgeführt.

Tabelle 5-4: Aufteilung des Bilanzrests auf die Betriebsbereiche

Betriebsbereich	Verbraucher/Gruppen	Verbrauch [MWh/a]
Schweißfertigung	ca. 120 weitere Schweißgeräte und –anlagen (225 MWh/a); Rollnaht-Schweißanlage (29 MWh/a); Krane und andere Transporteinrichtungen	600
Teilefertigung	ca. 15 Bohr-, Schleif- und und Fräsmaschinen (156 MWh/a); Elektrowerkzeuge und Bearbeitungsmaschinen	400
Oberflächenbehandlung	Stahlkies-Strahlanlage (11 MWh/a); Fördertechnik; Elektrowerkzeuge und Bearbeitungsmaschinen	250
Montage	Montagewerkzeuge, Transporteinrichtungen (Krane, Hebezeug, Montagebänder)	200
Logistik	Transporteinrichtungen, Regalbediengeräte, Batterieladegeräte,	150
Hilfsbetriebe	Werkstätten, Feuerwehr	150
Verwaltung	Büro- und Kommunikationsgeräte (PC, Drucker, Kopierer, Telefon- und Faxgeräte)	300
sonstige	Küche / Kantine Gebäude 91; el. Torantriebe; Kleingeräte, Kaffeemaschinen, Radios, Ventilatoren etc.	183
Summe		2.233

5.5.10 Übersicht elektrischer Energieverbrauch

Die Stromverbraucher wurden in folgende Verbrauchersparten unterteilt :

Tabelle 5-5: Übersicht elektrischer Energieverbrauch

Sparte	Jährlicher Stromverbrauch (MWh/a)	Anteil am Gesamtverbrauch
Transformatorenverluste	211	2,5%
Lüftungsanlagen	2.120	24,6%
Beleuchtung	1.082	12,6%
Drucklufterzeugung	968	11,2%
el. Warmwasserbereitung	47	0,5%
Zentrale Dienste (Pumpen etc.)	356	4,1%
Kühlanlage Halle 24	102	1,2%
Laserschweißanlagen	495	5,8%
Punktschweißanlagen	287	3,3%

Sparte	Jährlicher Stromverbrauch (MWh/a)	Anteil am Gesamtverbrauch
Hydraulische Pressen, Abkantbänke etc.	328	3,8%
Bearbeitungszentren	375	4,4%
Summe erfasste Verbraucher	6.371	74,0%
Weitere Verbraucher (s. Tabelle 5-4)	2.236	26,0%
Gesamt	8.607	100,0%

In Abbildung 5-10 ist diese Aufteilung der Verbrauchswerte grafisch dargestellt (siehe auch Energieflussbild, Abbildung 5-2).

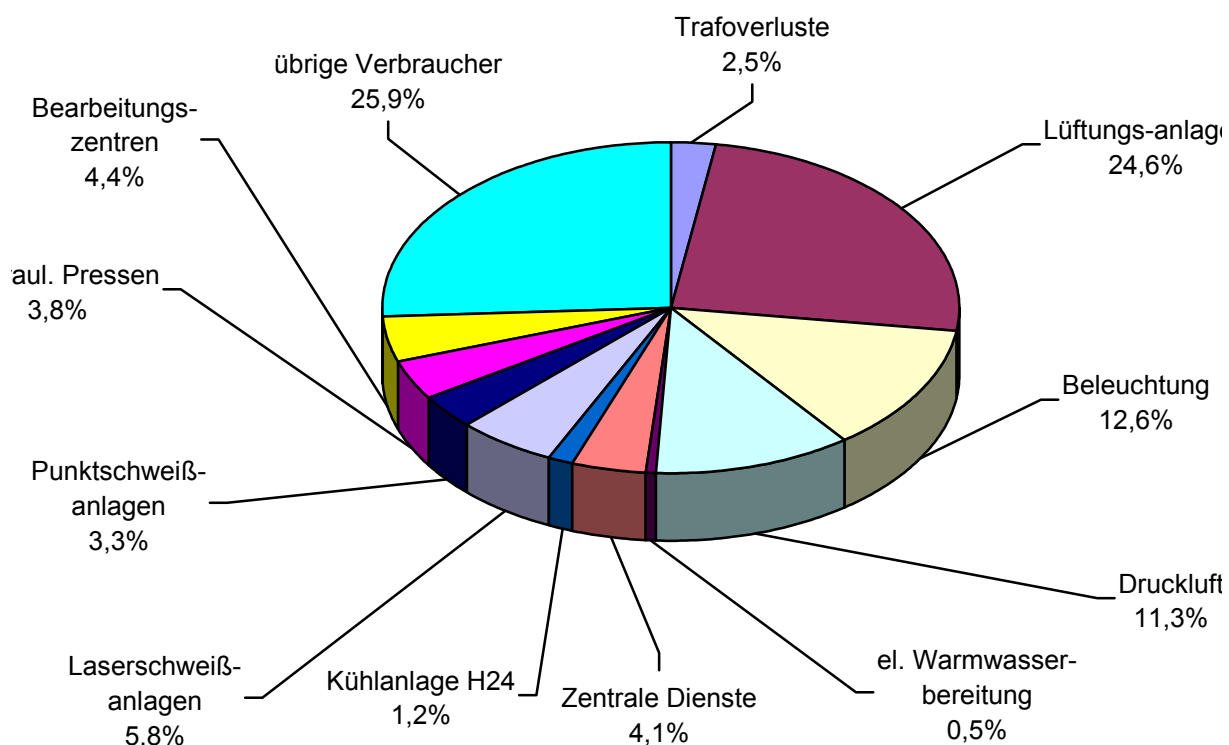


Abbildung 5-10: Strom-Verbrauchergruppen

5.6 Wasserverbrauch

Im Jahr 2000 wurden 45.162 m³ Trinkwasser aus dem öffentlichen Versorgungsnetz bezogen. Davon wurden rund die Hälfte (21.051 m³/a) für die Kühlung des Elektro-Tauchlacks in Halle 68 über einen trinkwassergespeisten Wärmetauscher verwendet. Das angewärmte Wasser aus diesem Wärmetauscher wird teilweise weiterverwendet (v.a. für die Nachspeisung der Überlaufmengen am Entfettungsbad), der Rest wird in den Regenwasserkanal eingeleitet. Für die Kühlung der Punktschweißanlagen in Halle 24 und der Hydraulikpressen wird ein Nasskühlturm eingesetzt. Der jährliche Nachspeisemenge (die den Wasserverbrauch durch Verdunstung, Wasseraufbereitung, Abschlämmung ersetzt) beträgt 385 m³/a. Tabelle 5-6 gibt einen Überblick über die Wasserverwendung im Betrieb.

6 Spezifische Kennzahlen

Bei der Bildung von Energiekennzahlen wird der betriebliche Energieaufwand innerhalb eines bestimmten Zeitraums ins Verhältnis zu einer Bezugsgröße wie z.B. der in dieser Zeit gefertigten Produktionsmenge gesetzt. Als Energieverbrauchswerte kommen z. B. der Strom- oder Brennstoffverbrauch zum Ansatz; als Bezugsgrößen eignen sich insbesondere Produktmengen (Stückzahlen, Tonnen), aber auch Rohstoffeinsatzmengen, Betriebsflächen oder Mitarbeiterzahlen. Dabei kommt der Auswahl der „richtigen“ Bezugsgröße eine hohe Bedeutung zu, insbesondere wenn eine Vergleichbarkeit mit externen Daten angestrebt wird.

Gerade im Maschinenbau mit sehr großen Unterschieden zwischen den Betrieben hinsichtlich Produktspektrum, Fertigungstiefe, Prozessen ist hier große Vorsicht beim Kennzahlvergleich mit anderen Betrieben geboten. Selbst bei prozessspezifischen Kennzahlen ist eine Vergleichbarkeit wegen unterschiedlicher Randbedingungen selten gegeben.

Dagegen kann der Zeitreihenvergleich immer der selben Kennzahl des selben Betriebs Aufschluss über die zeitliche Entwicklung der Energieeffizienz geben.

Auf Basis der Erhebung können folgende Kennwerte (bezogen auf die Brutto-Produktionsmenge des Betriebes; als eine Produktionseinheit wird hier das Fahrerhaus/Kabine und die weiteren am Standort hergestellten Komponenten eines Schleppers angesetzt) gebildet werden:

Tabelle 6-1 : spezifische Energiekennzahlen

Energiebezugsmenge		Energiebezugsmenge bezogen auf...
	absolut	10.000 Produktionseinheiten/Jahr
(Bezug Erdgas)	13.067 MWh/a	1,307 MWh/Produktionseinheit
(Bezug Heizöl EL)	6.687 MWh/a	0,669 MWh/Produktionseinheit
Summe Brennstoffbezug (Gas + HEL)	19.754 MWh/a	1,975 MWh/Produktionseinheit
Strombezug	8.607 MWh/a	0,861 MWh/Produktionseinheit

Im Internet werden heute Programme angeboten, mit deren Hilfe ein Betrieb basierend auf branchenüblichen Energiekennwerten seinen Energieverbrauch beurteilen lassen kann. Eine Musterdiagnose auch für andere Branchen ist z.B. unter <http://www.masterlux.de> zum Preis von derzeit 105 € erhältlich. Die Musterdiagnose ist für Mitgliedsunternehmen des VDMA kostenlos.

7 Bewertung und Maßnahmen im Betrieb Agco Bäumenheim

Die Analyse der Energieverwendung im untersuchten Betrieb zeigte bereits viele positive Details:

- ⇒ Die Abwärme aus der thermischen Abluftreinigung wird wiederverwendet zur Erwärmung der Trocknungsluft für die Lackieranlage
- ⇒ In weiten Betriebsteilen hat eine Umstellung von lokalen ölbefeuerten Heizsystemen auf ein zentrales erdgasbefeuertes Warmwasserheizsystem mit thermostatischer Regelung stattgefunden.
- ⇒ In mehreren hohen Produktionshallen sind Deckenventilatoren zur Verminderung von ungünstigen Wärmeschichtungen (kalte Luft am Boden, warme an der Decke) installiert.
- ⇒ In vielen Hallen wurde bereits Dachsanierungen mit Verbesserung der Wärmedämmung durchgeführt, wodurch die Wärmeverluste und damit der Brennstoffverbrauch reduziert werden konnten. In Halle 24 ist gegenwärtig eine Dachsanierung in mehreren Teilschritten für die einzelnen Hallenabschnitte vorgesehen und teilweise ebenfalls schon durchgeführt. Durch die bereits realisierten Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudesubstanz wurden merkliche Brennstoffeinsparungen festgestellt.
- ⇒ Bei der Planung der elektrischen Versorgungsanlagen wurde bereits auf die Beschaffung von Transformatoren mit verminderten Leerlaufverlusten geachtet.
- ⇒ Im Betrieb ist seit 1999 ein Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14.000 eingeführt, in dem auch auf die energiebedingten Umweltauswirkungen geachtet wird.

Darüber hinaus fielen die unten aufgeführten Ansatzpunkte für Maßnahmen auf, die zu Energieeinsparungen führen können und in der Energieeinsparanalyse untersucht und bewertet werden:

- ⇒ Energiebezug: Verbrauchserfassung und Auswertung zur Erkennung von Schwachstellen
- ⇒ Wärme: Abwärme aus Halle 89 in Halle 24 nutzen (direkte Warmluftzufuhr oder über Wärmetauscher)
- ⇒ Wärme: Ausbau der Wärmeversorgung durch Warmwasserheiznetz (Ersatz der Luftheizgeräte)
- ⇒ Wärme: Ventilatoren zur Luftumwälzung in den Hallen
- ⇒ Prozesswärme: Wärmedämmung der Bäder der Waschmaschine bereits vorhanden, Deckel ungedämmt
- ⇒ Lüftung: Bedarfsgerechte Steuerung (Zeitschaltung, Luftqualitätssensor)
- ⇒ Lüftung: Sammelschiene für die Luftabsaugungen in Halle 24 und Wärmerückgewinnung aus der Abluft (oder Umluftsystem mit Filter)
- ⇒ Druckluft: Vermeidung von Druckluftverlusten durch Wartung des Druckluftnetzes
- ⇒ Druckluft: Optimierung der Ansaugverhältnisse
- ⇒ Druckluft: Absenkung des Druckniveaus
- ⇒ Druckluft: Versorgung am Wochenende nur durch drehzahlregelmten Kompressor
- ⇒ Druckluft: Ersatz des ineffizienten alten Kompressors
- ⇒ Druckluft / Wärme: Nutzung der Abwärme aus den Druckluftkompressoren
- ⇒ Kühlung: Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung (Brunnenwasserkühlung prinzipiell möglich; evtl. Verwendung des vorhandenen Löschbrunnens)
- ⇒ Kühlung: temperaturgesteuerte Mengenregelung für Kühlwasser (Drehzahlregelung der Wasserpumpen)
- ⇒ Beleuchtung: Spannungsabsenkung für die Beleuchtungsanlagen

- ⇒ Beleuchtung: Beleuchtungssteuerung (Tageslichtsteuerung)
- ⇒ Beleuchtung: Einsatz von Reflektoren in den Leuchten (Nach – bzw. Umrüstung)

7.1 Verminderung der Druckluft-Leckageverluste

Der Druckluftverbrauch am Wochenende beträgt rund 400 m³/h. Da zu dieser Zeit keine wesentlichen Verbraucher Druckluft entnehmen, kann dies als Anhaltswert für die Leckagemenge dienen; dies entspricht rund 23% der maximalen Liefermenge der beiden Kompressoren. Da die Leckagemenge ganzjährig zusätzlich zur Entnahme durch die Verbraucher erzeugt werden muss, ist der Anteil an der jährlich erzeugten Liefermenge 6.783.000 m³/a bedeutend höher (ca. 52 %). Diese Leckageverluste entstehen über das gesamte Druckluftnetz verteilt mit verschiedenen typischen Schwerpunkten.

Die wichtigsten Maßnahmen für eine dauerhafte Reduzierung dieser Verluste ist das Aufspüren und Beseitigen der Leckstellen im gesamten Druckluftnetz. Die Druckluftleitungen der ersten und zweiten Ebene (Werks- und Hallenverteilung) sind fest verlegt und wenig verschleißanfällig. Daher liegen typische Schwachstellen vor allem im Bereich der Abnehmeranschlüsse (Kupplungen, Armaturen und Anschlussleitungen), aber auch Stopfbuchsen, Rohrverzweigungs- und Verbindungsstellen. Die Lecks lassen sich oft schon akustisch orten, ggf. auch mit Hilfsmitteln wie Lecksuchspray oder Ultraschall-Leckdetektor. Zur Erhaltung des Wartungszustandes sollte die Lecksuche und Reparatur bzw. Austausch von schadhafte Armaturen und Schläuchen in regelmäßigen Abständen („Tag der Druckluft“) im Rahmen der Instandhaltung wiederholt werden (eventuell auch durch externe Fachfirmen).

Da sich Leckagen in Druckluftleitungsnetzen nie vollständig vermeiden lassen, wird nachfolgend von einer Reduzierung des Stromverbrauchs für die Druckluftbereitstellung (derzeit 968 MWh/a) um rund 40% (also um 387 MWh/a) auf ein Restleckageniveau von ca. 12% ausgegangen. Der Einfluss der verminderten Druckluftabnahme durch den Wegfall der Fendt-Caravan-Verbraucher wird hier nicht berücksichtigt; in Bereichen, in denen zukünftig kein Druckluftbedarf mehr zu erwarten ist, sollten die Leitungen vom Netz abgetrennt werden.

Generell ist die Abtrennung von Teilen des Druckluftnetzes, in denen (zeitweise) keine Abnahme erfolgt, durch manuelle oder automatische zeitgesteuerte Absperrventile ratsam, da die Leckageverluste in diesen Teilen des Netzes dann vollständig vermieden werden. Noch höhere Einsparungen sind natürlich durch die vollständige Abschaltung des Druckluftsystems (einschließlich der Kompressoren) in Zeiten ohne Druckluftbedarf zu erzielen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das System oft nur wegen einiger weniger Abnehmer wie z.B. pneumatischer Antriebe für Dachfensterklappen oder Tore unter Druck gehalten wird. In diesem Fall kann oft durch einen entsprechend dimensionierten Druckluftspeicher oder aber die Umrüstung z.B. auf elektrische Antriebe die Abschaltung der Kompressoren und damit die Verminderung der Leckageverluste dennoch ermöglicht werden.

Übersicht:

Verminderung der Druckluft-Leckageverluste

Erwartete Einsparungen:	
Erdgas:	- MWh _{Hu} /a
Heizöl EL:	- MWh _{Hu} /a
Elektrische Leistung:	- kW
Elektrische Arbeit:	387 MWh/a
CO ₂ :	258 t/a
Wasser:	- m ³ /a
Investitionen:	
Gesamtinvestition:	3.000 €
Anrechenbare Investition:	3.000 €
Spezifische Investition:	11,6 € / t (CO ₂) / a
Amortisationszeit (statisch):	0,1 Jahre *

* **Hinweis:** bei dieser Maßnahme ist wegen der regelmäßig wiederkehrenden Kosten für die Instandhaltungsarbeiten die Angabe einer Amortisationszeit allein wenig aussagekräftig. Die Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn die jährliche Energiekosteneinsparung die jährlichen Kosten der Leckagebeseitigung übersteigt. Die hier angegebenen Daten sind als Kosten im ersten Jahr der Maßnahme zu verstehen.

7.2 Druckluftkompressor ersetzen

Der Druckluftkompressor mit konstanter Liefermenge (Mannesmann Demag, siehe Kapitel 5.5.5) entspricht auf Grund seines Alters (Bj. 1982) nicht mehr dem Stand der Technik einer energie-effizienten Druckluftherzeugung. Die gemessene Liefermenge im Dauerbetrieb liegt mit 810 m³/h rund 7,5% unter dem Nennwert (876 m³/h). Es ergibt sich ein spezifischer Energiebedarf von rund 0,19 kWh/m³ im taktenden Betrieb und rund 0,135 kWh/m³ im Dauerbetrieb; durch einen modernen Schraubenkompressor sind 0,1 kWh/m³ erreichbar.

Da dieser Kompressor bereits fast 80.000 Betriebsstunden aufweist (und auch die bereits ausgetauschte Verdichterschraube wieder über 35.000 h), ist eine Ersatzinvestition in naher Zukunft ohnehin erforderlich. Die Dimensionierung des Kompressors sollte nach einer neuen Bedarfsbestimmung vorgenommen werden. (Untenstehende Zahlen gehen von einem Kompressor mit gleicher Lieferleistung bei erhöhter Effizienz der Druckluftherzeugung aus.)

Allgemein ist bei anstehenden Neuinvestitionen in das Druckluftsystem das Konzept und die Dimensionierung zu überdenken. Dies betrifft zum einen die Ermittlung des tatsächlichen Druckluftbedarfs, der sich z.B. durch Nutzungsänderungen oder Wegfall von Verbrauchern, aber auch durch Einsparmaßnahmen (beispielsweise bei den Leckageverlusten) ändern können. Bei gleich dimensionierter Ersatzbeschaffung kann dadurch eine zu große und damit ineffiziente Anlage entstehen.

Aber auch die Verlegung der Kompressorstation in die Nähe der Hauptabnehmer ist eine Überlegung wert, insbesondere wenn sich der Verbrauchsschwerpunkt gegenüber der ursprünglichen Nutzung verschoben hat.

Übersicht:

Druckluftkompressor ersetzen

Erwartete Einsparungen:	
Erdgas:	- MWh _{HU} /a
Heizöl EL:	- MWh _{HU} /a
Elektrische Leistung:	22 kW
Elektrische Arbeit:	113 MWh/a
CO ₂ :	75 t/a
Wasser:	- m ³ /a
Investitionen:	
Gesamtinvestition:	45.000 €
Anrechenbare Investition:	9.000 € (*)
Spezifische Investition:	120 €/t (CO ₂) / a
Amortisationszeit (statisch):	
	1,1 Jahre *

* **Hinweis:** auf Grund des Alters des Kompressors werden bei diese Maßnahme als anrechenbare Investitionen nur 20% (ca. 9.000 €) des Neupreises eines vergleichbaren Kompressors (von rund 45.000 €) angesetzt.

7.3 Nutzung der Abwärme aus Druckluftkompressoren

Bei der Druckluftherzeugung fällt eine erhebliche Wärmeleistung an, die per Luft- oder Wasserkühlung der Kompressoren abgeführt werden muss. Diese Abwärme kann zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung verwendet werden und dort den Brennstoffverbrauch verringern.

Die derzeit vorhandenen Kompressoren sind luftgekühlt. Die früher durchgeführte Verwendung der warmen Kompressorabluft zur Lufterwärmung in der benachbarten Halle 7 führte wegen der Ölnebel-Belastung dieser Luft zu Problemen. Daher wird die erwärmte Kuhlluft aus der Druckluftzentrale über Dach abgeführt.

Die Nutzung der Kompressorabwärme kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden, von denen im Folgenden drei beschrieben werden:

1. Bei dem ohnehin zukünftig anstehenden Ersatz des DEMAG-Kompressors (siehe Maßnahme 7.2) kann die erwärmte Kompressor-Kühlluft unmittelbar ohne weitere Luftbehandlung in die Halle ein-geblasen werden, da dann die Quelle des Ölnebels wegfällt. Auf Grund des zeitlichen Unter-schieds zwischen Wärmebedarf in Halle 7 (Winterspitze) und Anfall der Kompressorabwärme (gleichmäßig übers Jahr verteilt) ist von der jährlich anfallende Kompressor-Abwärmemenge von

ca. 700 MWh/a nur rund 150 MWh/a für die Hallenheizung nutzbar. Dadurch könnten jährlich rund 16,6 m³ Heizöl (165 MWh/a) eingespart werden. Für diese Maßnahme fallen keine Investitionen an außer für den Ersatz des Kompressors, die jedoch für die Abwärmenutzung nicht in Ansatz gebracht werden sollten. In untenstehender Übersicht sind daher Investitionen und Amortisationszeit für diese Variante nicht angegeben.

2. Durch die Nachrüstung eines Wärmetauschers kann die Kompressorabwärme auf Wasser als Wärmedium übertragen werden. Dies kann beispielsweise in das Warmwasser-Heizungsnetz eingespeist werden, das nur ca. 10 Meter entfernt von der Druckluftzentrale verläuft. Aus der rückgewinnbaren Wärmeleistung der beiden Kompressoren und deren Betriebsdauer ergibt sich eine jährliche Abwärmemenge von ca. 700 MWh/a. Da nur in der Heizperiode die Hallenluft erwärmt werden soll, kann (bei der betrachteten Variante 1) davon nur etwa die Hälfte als nutzbare Rückwärme verwendet werden, also ca. 350 MWh/a. Entsprechend dem Wirkungsgrad der substituierten Erdgasfeuerung ergibt dies eine weniger benötigte Brennstoffmenge von ca. 398 MWh_{Hu}/a Erdgas.
3. Alternativ kann die Kompressorabwärme auch einem Verbraucher mit ganzjährigem Wärmebedarf zur Verfügung gestellt werden, z. B. die Waschmaschine in Halle 24 bzw. deren Trocknungsanlage. Dadurch kann die Dauer der Abwärmenutzung über die Heizperiode ausgedehnt werden. In untenstehender Übersichtstabelle ist ein Nutzungsgrad von 75% der jährlich entstehenden Abwärmemenge angesetzt. Allerdings ist hierzu eine deutlich längere Rohrleitung und damit höhere Investitionen erforderlich.

Der Atlas Copco VSD Kompressor ist bereits serienmäßig auf die Nachrüstung eines Wärmetauschers vorbereitet. Da ohnehin ein Ersatz des Demag-Kompressors erwogen wird, sollte bei der Planung schon die werksseitige Ausrüstung des neuen Kompressors mit einem Wärmetauscher vorgesehen werden. Der Mehrpreis für die werksseitig vorinstallierte Abwärmenutzung ist deutlich geringer als die Kosten einer nachträglichen Ausstattung.

Übersicht:

Nutzung der Abwärme aus Druckluftkompressoren

Erwartete Einsparungen:	Variante 1 Hallenluft	Variante 2 Heizungsnetz	Variante 3 Waschmaschine
Erdgas:	- MWh _{Hu} /a	398 MWh _{Hu} /a	578 MWh _{Hu} /a
Heizöl EL:	167 MWh _{Hu} /a	- MWh _{Hu} /a	- MWh _{Hu} /a
Elektrische Leistung:	- kW	- kW	- kW
Elektrische Arbeit:	- MWh/a	- MWh/a	- MWh/a
CO ₂ :	46 t/a	79 t/a	115 t/a
Wasser:	- m ³ /a	- m ³ /a	- m ³ /a
Investitionen:			
Gesamtinvestition:	- €	15.000 €	40.000 €
Anrechenbare Investition:	- €	15.000 €	40.000 €
Spezifische Investition:	- €/t _{CO2,a}	190 €/t _{CO2,a}	348 €/t _{CO2,a}
Amortisationszeit (statisch):	- Jahre	1,0 Jahre	1,8 Jahre

7.4 Wärmedämmung der Teilewaschmaschine

In der Teilewaschmaschine in Halle 24 (siehe Kapitel 5.3.3) sind fünf Teilbäder, die auf einer Solltemperatur von 60°C gehalten werden. Die Wände der Bäder sind wärmegeklämt und mit Blechabdeckungen ausgestattet. Diese Deckel sollten so lange wie möglich geschlossen gehalten werden, um die Wärmeverluste vor allem durch Verdunstung aus den Bädern zu minimieren. Auch bei geschlossenem Deckel entstehen noch Wärmeverluste, vor allem durch Abstrahlung und Konvektion. Eine zusätzliche Wärmedämmung der Deckel vermindert die Wärmeverluste und damit die zu deren Ausgleich erforderliche Wärmeleistung.

Bei einer Gesamtfläche aller Deckel von ca. 38 m² beträgt die Wärmeverlustleistung rund 2,3 kW, die sich durch eine 5 cm dicke Dämmschicht (eventuell mit zusätzlicher Blechabdeckung) auf ca. 0,25 kW reduzieren lassen. Bei einer jährlichen Betriebsdauer der Waschmaschine von 6.000 h/a entspricht dies Wärmemengen von 13,8 MWh/a (Ist-Zustand, ohne Wärmedämmung) bzw. 1,5 MWh/a (mit Wärmedämmung). Mit dem Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers (Gaskessel in Heizzentrale) ist also eine mögliche Brennstoffeinsparung von 13,7 MWh/a zu erwarten.

Übersicht:

Wärmedämmung der Teilewaschmaschine

Erwartete Einsparungen:	
Erdgas:	13,7 MWh _{HU} /a
Heizöl EL:	- MWh _{HU} /a
Elektrische Leistung:	- kW
Elektrische Arbeit:	- MWh/a
CO ₂ :	3 t/a
Wasser:	- m ³ /a
Investitionen:	
Gesamtinvestition:	2.000 €
Anrechenbare Investition:	2.000 €
Spezifische Investition:	666,7 € / t (CO ₂) / a
Amortisationszeit (statisch):	3,8 Jahre

7.5 Wärmerückgewinnung aus der Absaugluft in Halle 24

In Halle 24 wird die schweißrauchbelastete Abluft von den Schweißarbeitsplätzen und Schweißrobotern durch insgesamt 14 Absauganlagen über Dach abgeführt (s. Kapitel 5.5.3). Zusammen haben diese Anlagen einen Fördervolumenstrom von rund 70.000 m³/h. Die Hallenluft wird – ohne kontrollierte Luftzufuhr z. B. durch eine entsprechende Zuluftanlage – durch Nachströmung der entsprechenden Außenluftmenge ergänzt. Durch diese Nachströmung entstehen bei niedrigen Außentemperaturen erhebliche Lüftungswärmeverluste sowie Zugerscheinungen.

Aus der Betriebsdauer der Anlagen errechnet sich eine jährlich geförderte Abluftmenge von ca. 463 Mio. m³. Daraus ergibt sich durch diese Anlagen ein Lüftungswärmebedarf von rund 1.260 MWh_{th}/a bzw. ein entsprechender Brennstoffverbrauch von 1.400 MWh_{Hu}/a.

Durch eine Anlage zur Wärmerückgewinnung lässt sich ein großer Teil dieser Wärmemenge zurückgewinnen. Dazu ist zunächst ein Sammel-Luftkanal für die Absauganlagen erforderlich; die Wärmerückgewinnung kann in folgenden Varianten erfolgen:

1. Filterung der Absaugluft und Wiedereinleitung in die Halle im (Teil-)Umluftverfahren. Hierzu ist voraussichtlich ein zusätzlicher Ventilator zur Überwindung des Druckverlusts durch den Filter notwendig. Der Umluftanteil dieser Anlage kann im Winter bis zu 100% betragen, da der (wegen des Sauerstoffverbrauchs in der Schweißhalle erforderliche) Frischluftanteil von mindestens 30% durch die beiden Zentrallüftungsanlagen in Halle 24 geliefert werden kann. In Zeiten ohne Heizwärmebedarf in der Halle kann die Abluft direkt ins Freie abgeführt werden. Hier ist mit einem rückgewinnbaren Anteil von 85% der Wärme zu rechnen (Rückwärmegrad).

Anmerkung: In bestimmten Fällen (beim Schweißen von Chrom-Nickel-Stählen) können gasförmige kanzerogene Stoffe entstehen, die im Gegensatz zu Schweißrauch nicht gefiltert, sondern lediglich durch Aktivkohleelemente teilweise absorbiert werden können. Dies trifft im vorliegenden Fall nicht zu, ist jedoch bei einer Verwendung solcher Werkstoffe zu beachten. Für Details siehe auch [5].

2. Einbau einer zusätzlichen Zuluftanlage (70.000m³/h) mit regenerativem Wärmetauscher (Wärmerad) zur Übertragung der Wärme von der Absaugluft in die Zuluft. Wegen des Schweißrauchanteils ist eine Abreinigungsanlage für das Wärmerad erforderlich. Der Rückwärmegrad beträgt hier ca. 70%. Da hier die Abluft vollständig abgeführt und dafür vorgewärmte Außenluft nachgeliefert wird, ist diese Variante für den oben genannten Ausnahmefall von nicht filterbaren schädlichen Gasen geeignet.

Übersicht:

Wärmerückgewinnung aus der Absaugluft in Halle 24

Erwartete Einsparungen:	Variante 1 Teil-Umluftanlage		Variante 2 Wärmetauscher	
Erdgas:	-	MWh _{Hu} /a	-	MWh _{Hu} /a
Heizöl EL:	1.190	MWh _{Hu} /a	980	MWh _{Hu} /a
Elektrische Leistung:	-	kW	-	kW
Elektrische Arbeit:	-80	MWh/a	-80	MWh/a
CO ₂ :	275	t/a	217	t/a
Wasser:	-	m ³ /a	-	m ³ /a
Investitionen:				
Gesamtinvestition:	50.000	€	115.000	€
Anrechenbare Investition:	50.000	€	115.000	€
Spezifische Investition:	182	€/ t(CO ₂)/a	530	€/ t(CO ₂)/a
Amortisationszeit (statisch):	1,3	Jahre	3,9	Jahre

7.6 Nutzung der warmen Abluft aus Halle 89 in Halle 24

In Halle 89 fällt auf Grund der hohen inneren Lasten eine beträchtliche Wärmemenge an, die im Sommer durch eine Lüftungsanlage zur Querbelüftung ins Freie abgeführt wird. Auch in der Heizperiode ist ein Wärmeüberschuss in Halle 89 vorhanden. Diese Wärme kann teilweise zur Beheizung der Halle 24 (Schweißhalle) verwendet werden, wo sowohl ein Luftmengen- als auch ein Wärmedefizit (während der Heizperiode) besteht. Auch ist die Luftqualität in der Halle 89 deutlich besser als die schweißrauchbelastete Luft in Halle 24.

Um diese Hallenabwärme zu nutzen, ist ein Luftkanal mit Filter sowie ein Ventilator erforderlich, um die warme Hallenluft von Halle 89 nach Halle 24 zu fördern, sowie eine kontrollierte Luftnachführung in Halle 89.

Da aus Halle 24 erhebliche Luftmengen durch die Schweißrauch-Absaugeinrichtungen abgeführt werden (siehe Kapitel 7.5), sollte bei der Auslegung der neuen Anlage die transportierte Luftmenge entsprechend den Absaugluftmengen in Halle 24 dimensioniert werden. Auch ist eine Einbindung der in H89 bereits vorhandenen Anlage zur Querlüftung empfehlenswert. Auf diese Weise könnten auch die in Halle 24 auftretenden Zuglufterscheinungen vermindert werden.

Bei der untenstehenden wirtschaftlichen Bewertung wurde von einer Luftmenge von 70.000m³/h ausgegangen, die von Halle 89 nach Halle 24 übertragen werden. Damit lässt sich rund die Hälfte der jährlichen Lüftungswärmeverluste durch die Absaugluft in Halle 24 ausgleichen, was einer Brennstoffmenge von rund 700 MWh_{Hu}/a entspricht.

Bei der elektrischen Energie entsteht einerseits ein jährlicher Strom-Mehrbedarf für die Ventilatoren der neuen Anlage. Dem steht ein verringerter Strombedarf bei der Schweißrauch-Absaugung gegen-

über, da dann von den Absauganlagen eine deutlich geringere Druckdifferenz zu überwinden ist (die Ventilatoren arbeiten in die gleiche Richtung). Auch bei den Lüftungsanlagen in Halle 89 wird weniger Strom benötigt, da ein wesentlicher Teil der bisher ins Freie transportierten Luftmengen nun in Halle 24 geleitet wird. Insgesamt ist daher nur ein vergleichsweise geringer elektrischer Mehrverbrauch von rund 30 MWh_{el}/a zu erwarten.

Hinweis: Diese Maßnahme und die in Kapitel 7.5 vorgeschlagene Wärmerückgewinnung in Halle 24 beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirtschaftlichkeit. Vor Umsetzung dieser Maßnahmen sind daher in einem Gesamtkonzept Vor- und Nachteile der verschiedenen Maßnahmen abzuwägen.

Übersicht:

Nutzung der warmen Abluft aus Halle 89 in Halle 24

Erwartete Einsparungen:	
Erdgas:	- MWh _{Hu} /a
Heizöl EL:	700 MWh _{Hu} /a
Elektrische Leistung:	- kW
Elektrische Arbeit:	-30 MWh/a
CO ₂ :	173 t/a
Wasser:	- m ³ /a
Investitionen:	
Gesamtinvestition:	15.000 €
Anrechenbare Investition:	15.000 €
Spezifische Investition:	86.705 € / t (CO ₂) / a
Amortisationszeit (statisch):	0,6 Jahre

7.7 Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung

Die in der Tauchlackierung entstehenden Wärmeeinträge durch die Werkstücke und die Lack-Umwälzpumpe werden durch einen trinkwassergespeisten Wärmetauscher gekühlt, um die Lacktemperatur unterhalb von maximal 27°C zu halten. Dazu wird jährlich eine Wassermenge von rund 22.500 m³/a verwendet. Ausgehend von einer mittleren Temperaturspreizung von 15°C entspricht dies einer jährlich abgeführten Wärmemenge von rund 392 MWh_{th}/a bei einer Kühlleistung von ca. 100 kW. Das Wasser aus diesem Wärmetauscher wird teilweise weiterverwendet, der größere Teil wird jedoch über einen Trübungswächter kontrolliert in den Regenwasserkanal eingeleitet (siehe Kapitel 5.5.4).

Auch hier gibt es mehrere Verbesserungsmöglichkeiten:

1. Die Weiterverwendung eines größeren Wasseranteils in anderen Betriebsbereichen durch Rückspeisung aus dem Tauchlackwärmetauscher in das Wassersystem des Betriebes ist wegen der erforderlichen doppelten Barriere von Lack zu Trinkwassernetz problematisch; hierfür wäre ein zusätzlicher Zwischenkreislauf mit einem weiteren Wärmetauscher erforderlich.

2. Bei der Umstellung der Kühlung auf Kühlturbetrieb gibt es nochmals Untervarianten. Von diesen erreicht ein offener (Nass)kühlturm durch die Verdunstungskühlung die besten Kühlleistungen (bei gleicher Dimensionierung und Ventilatorleistung), erfordert aber eine vergleichsweise aufwändige Wasseraufbereitung für die Nachspeisung (Ersatz für das Verdunstungs- und Abschlammwasser). Dagegen werden geschlossene Kühltürme ohne Verdunstung aus dem Kühlwasserkreislauf betrieben, so dass hierfür keine Wasseraufbereitung notwendig wird. Geschlossene Kühltürme können trocken oder mit einer externen Befeuchtung der Kühlwasserrohre mit Sekundärwasser betrieben werden. In letzterer Ausführung wird durch die Verdunstung eine höhere Kühlleistung und eine niedrigere Kühlgrenztemperatur erreicht; allerdings ist hier wieder eine Aufbereitung des Sekundärwassers erforderlich.
3. Die Umstellung der Kühlung auf Grundwasser als Kühlmedium erfordert zwei Brunnen zur Entnahme und Wiedereinleitung von Grundwasser, die stromaufwärts bzw. stromabwärts der Bedarfssposition liegen. Die räumlichen Möglichkeiten im Betrieb sind gegeben, ein Brunnen (zur Löschwasserentnahme) ist bereits vorhanden und bietet ausreichende Entnahmemengen. Um eine entsprechende Grundwassermenge (ca. 4 bis 5 m³/h) durch den Wärmetauscher zu fördern, sind Brunnenwasserpumpen mit einer elektrischen Leistung von rund 3 kW erforderlich, die einen zusätzlichen jährlichen Stromverbrauch von rund 24 MWh_e/a erfordern. Außerdem müssen Rohrleitungen vom Saugbrunnen zur Kühlanlage und weiter zum Einleitbrunnen geführt werden.

Im Folgenden wird die Variante 3 (Grundwasserkühlung) näher betrachtet.

Übersicht:

Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung

Erwartete Einsparungen:		Variante 3 Grundwasserkühlung
Erdgas:		- MWh _{HU} /a
Heizöl EL:		- MWh _{HU} /a
Elektrische Leistung:		- kW
Elektrische Arbeit:		-18 MWh/a
CO ₂ :		- *
Wasser:		22.500 m ³ /a
Investitionen:		
Gesamtinvestition:		23.000 €
Anrechenbare Investition:		23.000 €
Spezifische Investition:		- *
Amortisationszeit (statisch):		0,8 Jahre

*** Hinweis :** Der Energieaufwand für die Wasseraufbereitung und -förderung durch den Wasserversorger ist nicht genau zu quantifizieren, liegt jedoch sicher höher als der Energieaufwand für die Brunnenwasserrförderung im Betrieb. Mit einer CO₂-Einsparung ist daher zu rechnen. Wegen fehlender Daten wird diese Maßnahme in untenstehender Tabelle als CO₂-neutral eingestuft. Kostenseitig wurde der Strom-Mehrverbrauch *im Betrieb* berücksichtigt.

7.8 Ersatz der ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte

Mehrere Hallen des Betriebs werden derzeit mit Heizöl-EL direktbefeuerten Luftheizgeräten beheizt (siehe Kapitel 0). Andererseits besteht parallel dazu eine Nahwärmeversorgung mit Heiz-Warmwasser aus den gasbefeuerten Kesseln der Heizzentrale (Gebäude 69), die noch freie Versorgungskapazität hat.

Im Zuge der Umstrukturierung des Betriebes nach dem Auszug von Fendt Caravan werden ohnehin einige Gebäude abgerissen bzw. umgenutzt; davon sind vor allem ältere Hallen mit den Öl-Lufterhitzern betroffen.

Somit bietet sich hier eine günstige Gelegenheit zur Umstellung der Beheizung von den direktbefeuerten Luftheizgeräten auf das gasbefeuerte Nahwärmesystem, mit folgenden Vorteilen:

- ⇒ Wegfall von Betriebskostenanteilen für die HEL-Lufterhitzer (Bedienung, Wartung, Emissionsmessungen, Ölversorgung...)
- ⇒ bessere Auslastung und höherer Nutzungsgrad der Kessel in der Heizzentrale
- ⇒ Vereinheitlichung der Energieversorgung (bis hin zum vollständigen Wegfall der Ölbeschaffung und –bevorratung)
- ⇒ Verminderte Emissionen wegen der geringeren spezifischen Emissionswerte von Erdgas gegenüber HEL

Die außer Betrieb gesetzten Öl-Luftheizgeräte sind zu demontieren, wodurch in den Hallen zusätzliche Flächen freiwerden.

Die neue Beheizung kann z. B. durch Luftheizgeräte, Deckenstrahlplatten oder Lüftungsanlagen mit Heizregistern erfolgen, die mit Heiz-Warmwasser aus der Heizzentrale (Gebäude 69) versorgt werden. Radiatoren oder Konvektoren sind in den Werkshallen weniger geeignet. Im Folgenden wird von Luftheizgeräten zur Wand- oder Deckenmontage ausgegangen. Daher ist von einem gleichbleibenden Strombedarf für die Ventilatoren der Luftheizgeräte auszugehen.

Die zu erwartenden Einsparungen der benötigten Wärmemengen zur Beheizung der weiterbestehenden Gebäude sind schwer zu quantifizieren: dem geringeren mittleren Nutzungsgrad der HEL-Lufterhitzer im Vergleich zur Erdgas-Heizzentrale stehen die voraussichtlich etwas höheren Wärmeverteilungsverluste gegenüber. Daher wird nachfolgend von einem gleichbleibenden brennstoffbezogenen Energieverbrauch ($5.676 \text{ MWh}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{a}$) ausgegangen. Die ausgewiesene Emissionsminderung ergibt sich aus den geringeren Emissionsfaktoren für Erdgas im Vergleich zum bisher eingesetzten Heizöl EL. Die kostenmäßige Bewertung hängt bei dieser Maßnahme sehr stark von der Differenz der Energiepreise für Erdgas und Heizöl EL ab, da große Energiemengen des einen durch den anderen Energieträger substituiert werden. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bzw. die Angabe einer Amortisationszeit ist daher nicht sinnvoll, da die genaue Preisentwicklung kaum vorhersehbar ist. Generell ist davon auszugehen, dass die Preise sich in etwa parallel bewegen. Die (stufenweise) Realisierung der Maßnahme ist dennoch aus oben genannten betrieblichen Gründen empfehlenswert.

Der Investitionsbedarf ist abhängig von Anzahl und Wärmebedarf der nach der Umstrukturierung verbleibenden noch umzurüstenden Hallen. Bei vollständigem Ersatz aller bisherigen Luftheizgeräte ist mit rund 275.000 € zu rechnen. Aus oben genannten Gründen werden keine auf die Energiekosteneinsparung anrechenbaren Investitionen angesetzt.

Die Maßnahme lässt sich auch in Teilschritten durchführen, beispielsweise bei ohnehin erforderlichem alters- oder emissionsrechtlich bedingtem Ersatzbedarf für die Ölgeräte.

Übersicht:

Ersatz der ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte

Erwartete Einsparungen:	
Erdgas:	-5.676 MWh _{HU} /a
Heizöl EL:	5.676 MWh _{HU} /a
Elektrische Leistung:	- kW
Elektrische Arbeit:	- MWh/a
CO ₂ :	437 t/a
Wasser:	- m ³ /a
Investitionen:	
Gesamtinvestition:	275.000 €
Anrechenbare Investition:	- € *
Spezifische Investition:	- € / t (CO ₂) / a *
Amortisationszeit (statisch):	
	- *

* **Hinweis** : Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bzw. die Angabe einer Amortisationszeit ist aus oben genannten Gründen nicht sinnvoll.

7.9 Maßnahmen-Überblick

Die vorgeschlagenen und im Detail beschriebenen Maßnahmen sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt. Eine Vielzahl kleinerer Maßnahmen oder Maßnahmen, die bereits früher umgesetzt wurden, sind hier nicht aufgeführt.

Nr.	Bezeichnung der Maßnahme	CO ₂ -Einsparung t/a	Investitionen €	Amortisationszeit (statisch) Jahre
7.1	Verminderung der Druckluft-Leckageverluste	258	3.000	0,1
7.2	Druckluftkompressor ersetzen	75	9.000	1,1
7.3	Nutzung der Abwärme aus Druckluftkompressoren	79	15.000	1,0
7.4	Wärmedämmung der Teilewaschmaschine	10	7.600	3,8
7.5	Wärmerückgewinnung aus der Absaugluft in Halle 24	275	50.000	1,6
7.6	Nutzung der warmen Abluft aus Halle 89 in Halle 24	173	15.000	0,6
7.7	Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung	-16	23.000	0,8
7.8	Ersatz der ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte	459	-	-
	Summe	(1.313)	(122.600)	-

Die Summenwerte in obiger Tabelle sind in Klammern dargestellt, weil sie nur eine theoretische Aussagekraft besitzen: Die Maßnahmen 7.5 und 7.6 beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirtschaftlichkeit

und sind daher nicht zusammen durchführbar. Weiter ist auch bei Maßnahme 7.8 eine rein wirtschaftliche Betrachtung nicht zweckmäßig. Sinnvollere Summenwerte ergeben sich daher, wenn diese Maßnahme sowie eine der beiden Alternativmaßnahmen (hier: 7.5) bei der Summierung nicht mit einbezogen werden. Bei Maßnahme 7.3 wurden die Werte von Variante 2 (Abwärmeeinspeisung in das Warmwassernetz) angesetzt. In diesem Fall ergibt sich insgesamt eine jährliche CO₂-Einsparung von **580 t/a** und eine Investitionssumme von **72.600 €**.

8 Energiesparpotenziale in der Maschinenbauindustrie

Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung

In der Maschinenbau-Industrie gibt es ein weites Spektrum unterschiedlicher Betriebe. Die Gründe liegen in unterschiedlichen Betriebsgrößen, -Strukturen und Betriebszeiten (Schichtbetrieb), der im Betrieb vorhandenen Verarbeitungsstufen (Fertigungstiefe), Produktionsanlagen, Produktarten, verschiedenem Mechanisierungsgrad, usw. Durch die sehr weite Palette an Bearbeitungsmethoden und deren Kombinationen entsteht ein sehr inhomogenes Bild der Energieverwendung in der Branche.

Dennoch gibt es eine Reihe gemeinsamer Merkmale, die eine allgemeine Gültigkeit besitzen:

- ⇒ Der Strombedarf ist stark geprägt durch elektrische Antriebe unterschiedlichster Art und Größe in einer Vielzahl von Anwendungen, die von der mechanischen Bearbeitung der Werkstücke über Montagewerkzeuge bis zu Hilfsantrieben bei der Lagerung, Förderung und Handhabung reichen.
- ⇒ Je nach Anwendungsfall herrscht punktuell ein hoher Bedarf an Prozesswärme für die unterschiedlichen Verfahren der Metallbearbeitung (Schweißen, Löten, Warmumformung...) und Oberflächenbehandlung (Reinigungsbäder, Galvanik, Lackierung, Trocknung usw.). Die eingesetzten Energieträger sind teils stark prozess-spezifisch (z. B. Schweißen, Brennschneiden), teils kann die Prozesswärmeversorgung aber auch durch weitverbreitete übliche Verfahren erfolgen (Warmwasser-Kessel, direktbefeuerte Lufterhitzer ...). Insbesondere bei niedrigen Anwendungstemperaturen ist die Abwärmenutzung hier eine sinnvolle Option.
- ⇒ Der Raumwärmebedarf ist oft innerhalb des Betriebes räumlich sehr inhomogen, da in einigen Betriebsbereichen hohe innere Wärmelasten anfallen (durch Produktionsmaschinen, Öfen, Trocknungsanlagen, usw.), die in anderen Bereichen dagegen sehr gering sind, weshalb dort mehr geheizt werden muss.
- ⇒ Druckluft ist ein wichtiger Energieträger für sehr viele Produktionsanlagen und Montagewerkzeuge. Da die Druckluft ein sehr kostenintensiver Energieträger ist, sollte daher der Erzeugung, Verteilung und Anwendung von Druckluft besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, besonders auch den Leckageverlusten. Leckageraten von 30 bis 50% sind oft anzutreffen.
- ⇒ Es fallen bereichsweise große Abluftmengen an, die z. B. mit Schweißrauch belastet sind. Wenn im Betrieb lösemittelhaltige Lacke eingesetzt werden, so ist oft eine Anlage zur Behandlung der belasteten Abluft erforderlich. Die Wärme aus einer thermischen Nachverbrennungsanlage (TNV) kann meist ortsnahe verwendet werden, z. B. für die Erwärmung der Trockenluft in der Lackieranlage.
- ⇒ Der Kältebedarf beschränkt sich üblicherweise auf die Wärmeabfuhr von Produktionsmaschinen (z. B. Schweißanlagen, Badkühlung). Prozesskälte und Raumkühlung spielen höchstens eine untergeordnete Rolle.

Daraus ergeben sich die in diesem Kapitel beschriebenen Einsparpotenziale und Maßnahmen, die teilweise branchentypisch sind, teilweise aber auch für viele andere Branchen zutreffen.

Darüber hinaus sollten auch die Maßnahmen und Potenziale in Betracht gezogen werden, die bereits in Kapitel 7 beschrieben wurden. Sie werden zwar hier nicht mehr explizit aufgeführt, sind aber dennoch für viele Betriebe von Bedeutung.

Für weitere Hinweise siehe auch z.B. [4].

8.1 Elektrische Energieversorgung

8.1.1 Transformatorenverluste

Die Auswahl und Dimensionierung der Transformatoren ist insbesondere bei Schweißanwendungen mit hohen Leistungsspitzen ein wichtiges Thema. Wegen dieser Leistungsspitzen sind deutlich höhere Nennleistungen der Transformatoren erforderlich als die Abrechnungs-Höchstleistung des Energiebezugs, die meist auf Viertelstunden-Mittelwerten beruht. Daher ist die Auslastung der Transformatoren gering, was zu einem relativ hohen Anteil an Leerlaufverlusten führt.

Die Leerlaufverluste eines Transformators hängen nicht von der Abnahmeleistung, sondern nur von seiner Bauart und -größe ab und liegen in einem Bereich von 0,2% bis 0,5% der Nennleistung. Die Mehrinvestition in Transformatoren mit minimierten Leerlaufverlusten amortisieren sich auf Grund der hohen Betriebsdauer (meist ganzjährig) innerhalb kurzer Zeit.

8.1.2 Spitzenlastmanagement

Ein elektrisches Leistungsmanagementsystem dient zur Begrenzung des elektrischen Leistungsbezugs. Dazu wird zunächst die bezogene Leistung gemessen (zeitgleich mit dem Stromversorger) und auf Grundlage momentanen Wirkleistung der voraussichtliche 15-Minuten-Leistungswert hochgerechnet, der vom EVU zur Verrechnung des Leistungspreises herangezogen wird. Ergibt diese Hochrechnung, dass voraussichtlich ein vorgegebener Grenzwert überschritten wird, so werden nach einer definierten Prioritäten- und Verfügbarkeitsstrategie einzelne Verbraucher(gruppen) abgeschaltet, die kurzfristig nicht benötigt werden. Kurzfristig abschaltbare Verbraucher sind beispielsweise Lüftungs- oder Kälteanlagen.

Das Ziel dieses Systems ist es, mit möglichst wenig Schalthandlungen den vorgegebenen Sollwert am Ende einer 15-Minuten-Messperiode einzuhalten. Damit werden die Verrechnungsleistung und der Leistungspreis reduziert.

8.1.3 Blindstromkompensation

Praktisch alle elektrischen Verbraucher beziehen neben der Wirkleistung auch eine sogenannte Blindleistungskomponente, die durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung verursacht ist. Der Blindstrom verrichtet zwar keine nutzbare Arbeit, vergrößert aber den Gesamtstrom und belastet damit zum Einen die Installationsleitungen, sowie auch die Generatoren im Kraftwerk. Daher wird oft auch die Blindeistung bei den Leistungskosten berücksichtigt.

Durch eine automatische Zuschaltung einer Blindstromkompensation kann verhindert werden, daß Blindleistung über dem vom EVU zugestandenen Wert aus dem Netz bezogen wird, wodurch Blindstromkosten vermieden werden.

8.2 Druckluft

Druckluft ist ein sehr energieintensives Medium, da der Wirkungsgrad der Erzeugung sehr gering ist (rund 95% der aufgewendeten Energie wird in Wärme umgewandelt, nur etwa 5% sind als mechanische Energie nutzbar).

Daher ist einerseits bei der Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung auf hohe Effizienz zu achten, andererseits sollte Druckluft als Energieträger nur dort eingesetzt werden, wo dies tatsächlich erforderlich ist. Oft ist die Verwendung der Kompressorabwärme zur Warmwasserbereitung bzw. zu Heizzwecken möglich.

Die Deutsche Energieagentur (dena), das Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI) und der Fachverband Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik des VDMA haben die Kampagne „Druckluft effizient“ initiiert, die Anlagenbetreiber in Industrie und Gewerbe über die Möglichkeiten zur Kosten- und Energieeinsparung informieren und zur Erschließung dieser Potenziale motivieren will. Es werden die verschiedensten Optimierungsmöglichkeiten der technischen Druckluftanwendung über die Planung, Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung sowie Finanzierungsmöglichkeiten aufgezeigt. In diesem Rahmen ist auch die Teilnahme an einem Programm zur Messung, Analyse und vergleichender Bewertung der betrieblichen Druckluftsysteme möglich. Nähere Informationen sind erhältlich unter www.druckluft-effizient.de.

8.2.1 Netzdruck auf das geringste erforderliche Niveau reduzieren

Für alle Druckluftanwendungen im Betrieb sollte der minimal erforderliche Luftdruck ermittelt werden. Das erzeugte Druckniveau sollte auch diesen Anforderungen entsprechen, um nicht einen unnötig hohen Netzdruck aufzubauen, der dann durch Druckminderer beim Abnehmer reduziert werden muss.

Für kleine Verbrauchsmengen auf wesentlich höherem Druckniveau ist es oft sinnvoller, einen eigenen dezentralen Kompressor zur Erzeugung oder Druckerhöhung zu installieren, statt das ganze Netz auf der hohen Druckstufe zu betreiben. Durch Absenkung des Druckniveaus können Energieeinsparungen von rd. 6 % pro bar Druckreduzierung erreicht werden.

Generell ist für fast alle Bestandteile des Druckluftsystems (Kompressoren, Druckluft-Speicher, Aufbereitung) eine Abwägung zwischen zentraler und dezentraler Lösung angebracht, vor allem wenn starke Unterschiede zwischen Druckbedarf, Abnahmemengen und Anforderungen an die Druckluftqualität bestehen. Bei gleichartigen Abnehmern ist i.A. eine zentrale Lösung effizienter; bei großen Unterschieden ist es oft besser, nur den Teil der Druckluftmenge hoch zu verdichten bzw. aufzubereiten (mit dem damit verbundenen Energieaufwand), der auch tatsächlich auf dieser Druck- bzw. Qualitätsstufe benötigt wird.

8.2.2 Luftaufbereitung dem tatsächlichen Bedarf anpassen

Überflüssige Luftkonditionierung (Filterung, Ölabscheidung, Trocknung) erhöht die Betriebskosten der Drucklufterzeugung. Ähnlich wie beim Druckniveau sollte daher die minimal erforderliche Druckluftqualität (Restgehalt an Öl, Partikeln und Wasser) für die Anwendungen bekannt sein und die Druckluftaufbereitung darauf ausgerichtet werden. Die Qualitätsanforderungen können einfacher erfüllt werden durch ölfreie Kompressoren und staubarme Ansaugluft. Auch hier sind oft dezentrale Lösungen zur Druckluftaufbereitung sinnvoll (s.o).

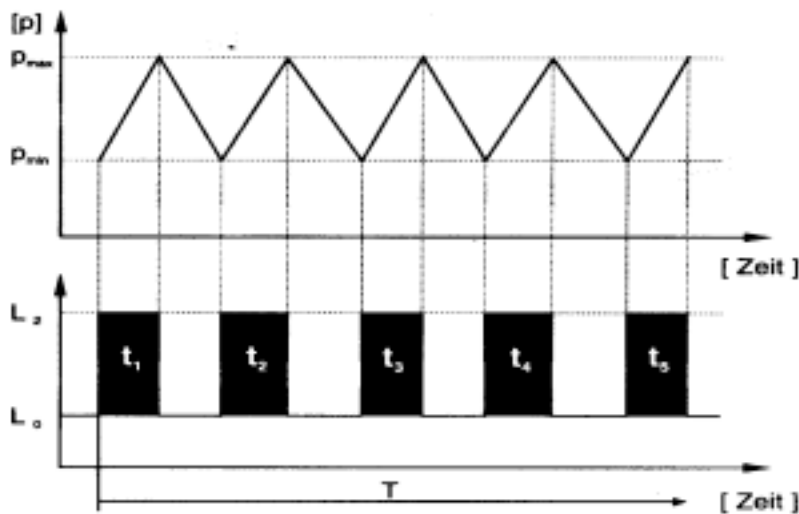
8.2.3 Leckagen ermitteln und abdichten

Beim Druckluft-Rohrleitungsnetz bietet die Verminderung von Leckageverlusten häufig das größte Einsparpotenzial im Druckluftbereich. In einer längeren Periode ohne regelmäßige Wartung sammeln sich im oft rauen Alltagsbetrieb eine Vielzahl größerer und kleinerer Leckagen an, die zu einem erheblichen Verbrauchsanteil anwachsen. Erfahrungsgemäß sind entsprechende Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll bis zu einer verbleibenden Leckagemenge von ca. 10% der erzeugten Druckluftmenge.

Bestimmung der Leckagemenge

Die einfachste Bestimmung der Leckageverluste erfolgt durch Einschaltdauermessung mit einem ausgewählten Kompressor des betroffenen Netzes. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar. Die Bestimmung erfolgt zu einer betriebsfreien Zeit, in der die

Verbraucher zwar ausgeschaltet, jedoch unter Druck sind. Durch die Leckagen im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Testkompressor muss die Leckageverluste immer wieder ersetzen.



Über eine bestimmte Messzeit t_M hinweg (z.B. eine Stunde) werden die Einzelaufzeiten des Kompressors ($t_1, t_2, \dots$) gemessen und addiert. Über die Nennleistung des Kompressors wird damit die für Leckagen aufgewendete Energiemenge in dieser Stunde ermittelt. Über die jährlichen Betriebsstunden des Druckluftsystems kann auf den Energieverbrauch pro Jahr für Leckagen hochgerechnet werden. Dieser wird ins Verhältnis gesetzt zum gesamten gemessenen Stromverbrauch für die Druckluftkompressoren. Der Betrieb kann aus diesem Anteil der Leckageverluste am Energiebedarf der Druckluftherzeugung die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen ermitteln.

Beispiel:

Messzeit $t_M = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$

Gesamtlaufzeit des Testkompressors $t = t_1 + t_2 + \dots = 20 \text{ min} = 0,33 \text{ h}$

Nennleistung des Testkompressors: $P_N = 180 \text{ kW}$

Jahresbetriebszeit des Druckluftnetzes: $t_B = 5.000 \text{ h}$

Jährlicher Stromverbrauch aller Druckluftkompressoren des Netzes: $W = 1.000.000 \text{ kWh}$

$$\text{Leckagerate} = \frac{t * t_B * P_N}{t_M * W} = \frac{0,33 \text{ h} * 5.000 \text{ h} * 180 \text{ kW}}{1 \text{ h} * 1.000.000 \text{ kWh}} = 0,3 = 30\%$$

Erfahrungsgemäß liegen die Leckageverluste in der Industrie häufig bei 30-50%. In der Regel amortisiert sich daher der Aufwand zur Beseitigung von Leckagen innerhalb weniger Monate. Druckluftverluste sind in herkömmlichen Druckluftsystemen jedoch unvermeidlich. Die Maßnahmen zur Beseitigung von Leckagen können irgendwann teurer sein als die erreichbaren Einsparungen. Leckageraten, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten, sind:

Max. 5% bei kleinen Netzen

Max. 7% bei mittleren Netzen

Max. 10% bei größeren Netzen

Max. 13-15% bei sehr großen Netzen (z.B. Stahlwerke, Werften) (Quelle: [3])

In weiteren Schritten kann diese Prüfung bei abgesperrten Abnehmeranschlüssen oder für einzelne Teilbereiche des Betriebs durchgeführt werden, um die Leckagen grob zu lokalisieren. Zur Feinortung kann ein Ultraschall-Ortungsgerät eingesetzt werden.

Weitere Details zu Leckagen siehe Kapitel 8.2.

8.2.4 Lange Rohrleitungen / Engstellen in Rohrnetz vermeiden

Lange Leitungen bzw. Engstellen führen zu zusätzlichem Druckverlust und Energiebedarf. Die Kompressoren sollten daher möglichst nahe an den Hauptverbrauchern positioniert und die Leitungen ausreichend dimensioniert sein.

Bei Stichleitungen ist an den entfernten Abnehmern oft der Druck zu gering wegen des Druckabfalls durch die kompressornahen Verbraucher. Ringleitungen oder verbrauchernahe Pufferspeicher lösen diese Probleme erheblich wirkungsvoller und (energie-)effizienter als eine Anhebung des Netzdrucks.

8.2.5 Nicht benötigte Leitungsteile absperren

Eine weitere Reduzierung der Verluste lässt sich erreichen, wenn Leitungsteile in Zeiten der Nichtbenutzung abgesperrt werden. Häufig sind sogar schon Absperrorgane (z. B. Kugelhähne) vorhanden, werden aber kaum genutzt. Wird Druckluft z. B. am Wochenende nur in einzelnen Betriebsbereichen benötigt, ist oft auch eine Absperrung ganzer Hallenversorgungsleitungen sinnvoll.

8.2.6 Druckluft(Puffer)speicher richtig dimensionieren

Ein zu klein gewählter oder falsch positionierter Pufferspeicher erhöht den Energiebedarf. Eine Überprüfung der Dimensionierung und Position des Pufferspeichers und gegebenenfalls eine Änderung der Größe / des Aufstellorts ist ratsam. Dies ist insbesondere wichtig bei starken Lastschwankungen der Druckluftabnahme.

8.2.7 Druckverlust im Anschluss reduzieren

Beim Anschluss des Verbrauchers an das Druckluftnetz verursachen ein dünner Schlauch und oft auch eine schlechte Anschlusskupplung einen hohen Druckabfall. Dadurch wird ein erhöhter Netzdruck erforderlich, damit am Apparat noch der notwendige Druck ansteht. Durch eine Reduktion des Druckabfalls in der Anschlussleitung wird meistens auch die Leistungsfähigkeit des Apparates erhöht, welcher dann unabhängig vom Luftverbrauch den gleichen Druck zur Verfügung hat.

8.2.8 Unnötigen Druckluftverbrauch vermeiden

Häufig lässt sich der Druckluftverbrauch durch eine geeignete Anlageneinstellung oder eine bedarfsgerechte Steuerung reduzieren. Mögliche Beispiele für solche Maßnahmen sind:

- ⇒ Pneumatikventile werden getaktet geöffnet statt Dauerbetrieb
- ⇒ in Produktionslinien öffnet eine Lichtschranke ein Abblaseventil nur dann, wenn auch ein Werkstück vor der Düse ist
- ⇒ eine pneumatische Filterabreinigung wird nur durchgeführt ab einem bestimmten Differenzdruck über dem Filter

8.2.9 Kompressorsteuerung / Verbundregelung

Um nur die tatsächlich benötigte Druckluftmenge zu erzeugen, ist eine Steuerung des Kompressors bzw. Kompressorverbundes erforderlich.

Die Steuerung soll einerseits eine elektronische Nachlaufregelung beinhalten, um Leerlaufzeiten zu minimieren; andererseits arbeiten Verbund-Anlagen mit mehreren Kompressoren effizienter, wenn möglichst wenige Kompressoren, diese dann aber unter Volllast laufen, als mehrere mit verminderter Leistung. Die Kompressor- oder Verbundregelung soll bedarfsgerecht die Zu- / Abschaltung der Kompressoren steuern bzw. bei drehzahlvariablen Motoren die Liefermenge regeln.

8.2.10 Überdimensionierte Kompressoren ersetzen

Grosse Kompressoren haben i. A. bessere Wirkungsgrade als kleinere, aber nur bei ausreichender Auslastung. Ein überdimensionierter Kompressor erreicht sehr schnell den Abschaltdruck und hat lange unbelastete Zeiten zwischen den Lastphasen.

Damit der Antriebsmotor nicht wegen häufigen Schaltspielen zu heiss wird, hat der Kompressor eine Nachlaufzeit in der er etwa 30% der Nennleistung aufnimmt, aber keine Druckluft komprimiert. Je grösser der Kompressor ist, desto grösser ist dieser Wert. Faustregel: ein Kompressor, bei dem die Laststunden weniger als die Hälfte der Betriebsstunden ausmachen, ist zu gross.

Bei zeitlich sehr unterschiedlichem Druckluftbedarf ist nebst den Möglichkeiten mit Druckluftspeicher eine angepasste Kombination von verschiedenen Kompressorgrößen sinnvoll.

8.2.11 Leistungseinbußen wegen Kompressorverschleiß vermeiden

Der Verschleiß beweglicher Teile der Verdichter führt zu verminderter Lieferleistung, einerseits durch verminderte Kompressionswirkung wegen schlechter Abdichtung, andererseits durch Schwergängigkeit. Vor allem bei Anlagen mit mehreren Kompressoren kann es vorkommen, dass ein Kompressor unbemerkt gar keine Luft mehr liefert, obwohl er läuft.

Die Bestimmung der Liefermenge ist ein Hilfsmittel zur Überprüfung der Kompressorleistung.

Bestimmung der Liefermenge

Eine einfache Methode hierzu besteht in der Messung der Zeit, die der Kompressor braucht, um den Druck im Speicher um eine bestimmte Druckdifferenz (zum Beispiel 1 bar) zu erhöhen. Das übrige Druckluftnetz sollte dabei abgesperrt sein und die Druckmessung im Bereich des Nenndruckes liegen. Die Liefermenge (in Liter pro Sekunde) ergibt sich als Produkt aus Speichervolumen (in Liter/bar) und Druckdifferenz (in bar), dividiert durch die Fülldauer (in Sekunden).

Kompressor-Revision

Dieser regelmässig ermittelte Wert sollte mit der Kompressorspezifikation oder den letzten Messwerten verglichen werden. Bei einer Leistungseinbuße von mehr als 10 bis 15% sollte der Kompressor generalüberholt, schlimmstenfalls ersetzt werden.

8.2.12 Ansaugbedingungen optimieren

Die Ansaugbedingungen spielen eine große Rolle für die Effizienz der Druckluftherzeugung. Dies betrifft einerseits die Temperatur und andererseits den Druckverlust auf der Saugseite des Verdichters.

Kalte Ansaugluft

Kompressoren arbeiten um so effizienter, je niedriger die Ansaugtemperatur ist. Eine um 10°C höhere Temperatur der Ansaugluft erfordert 2-4% mehr Energieeinsatz, da der erzeugte Volumenstrom mit erhöhter Ansaugtemperatur abnimmt. Daher ist möglichst kalte Ansaugluft (Ansaugkanal nach außen/Nordseite) anzustreben. Bei Frostgefahr, z. B. unter 5°C, ist zum Schutz des Kompressors eine Beimischung warmer Hallenluft erforderlich.

Saugseitige Druckverluste gering halten

Auch die Druckverluste sollten auf der Ansaugseite gering gehalten werden. Typische Schwachstellen sind hier

- ⇒ zu kleine Ansaugöffnungen oder Luftklappen,
- ⇒ falsche oder verschmutzte Filter,
- ⇒ ungünstige Kanalführung mit vielen Bögen und Engstellen,
- ⇒ Ansaugung aus verschlossenen Räumen ohne ausreichende Luftnachströmung.

8.2.13 Abwärme der Druckluftkompressoren nutzen

Hoher Anfall von Abwärme

Bei der Druckluftherzeugung fällt eine erhebliche Wärmeleistung an, die per Luft- oder Wasserkühlung der Kompressoren abgeführt werden muss. Durch Nutzung dieser Abwärme kann die erforderliche Wärmebereitstellung durch andere Wärmeerzeuger und damit deren Verbrauch vermindert werden.

Die Kriterien für die Übertragbarkeit und für die Variantenauswahl sind hier vor allem der Wärmebedarf potenzieller Abnehmer und die Gleichzeitigkeit mit dem Wärmeanfall. Außerdem hängt der technische und investive Aufwand davon ab, ob ein neuer Kompressor ab Werk mit einer Abwärmenutzung ausgestattet werden kann oder ob ein vorhandener Kompressor nachzurüsten ist (manche Kompressoren sind werksseitig schon auf diese Option vorbereitet). Der Mehrpreis für die werksseitig vorinstallierte Abwärmenutzung ist deutlich geringer als die Kosten einer nachträglichen Ausstattung.

Abwärmenutzung in Luft

Bei luftgekühlten Kompressoren kann die durch den Kompressor erwärmte Kühlluft beispielsweise zur Lufterwärmung in Produktionshallen oder zur Vorwärmung von Verbrennungsluft von Heizkesseln o.ä. verwendet werden.

Einspeisung in Heizung / Warmwasserbereitung

Ein Wärmetauscher im Kühlkreislauf des Kompressors bietet die Möglichkeit, die Kompressorabwärme direkt zur Heizung oder Warmwasserbereitung zu verwenden. Dadurch können etwa drei Viertel der eingesetzten elektrischen Energie als Wärme genutzt werden. Welcher Anteil von dieser Wärme-

menge tatsächlich nutzbar ist, hängt vom jahreszeitlichen Verlauf des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung sowie den entsprechenden Temperaturniveaus ab.

Insbesondere bei Neubeschaffung von Kompressoren ist der Mehrpreis für die werksseitige Ausstattung mit dem erforderlichen Wärmetauscher schnell amortisiert. Oft lohnt sich auch die Nachrüstung vorhandener Kompressoren mit einem Wärmetauscher, insbesondere bei den schon darauf vorbereiteten Kompressormodellen. Daher ist auch bei Neuinvestitionen auf die werksseitige Ausrüstung mit Wärmetauschern zu achten.

Zur Einbindung in den Heiz- bzw. Warmwasserkreislauf ist dann eine Rohrleitungsanbindung mit Pumpe(n) und weiterem Wärmetauscher erforderlich.

8.2.14 Alternativen zur Druckluftanwendung

Häufig sind an Stelle von Druckluftanwendungen auch andere Energieformen möglich, die energetisch effizienter sind (und oft sogar noch zusätzliche Vorteile bieten). Einige Beispiele dafür sind in folgender Tabelle 8-1 aufgezeigt:

Tabelle 8-1: Alternativen zur Druckluftverwendung

Anwendung	Alternative	Vorteile	Nachteile
Kühlung Trocknung	Ventilatorgebläse; mechanische Trocknung		
Reinigung (Abblasen)	Staubsauger; mechanische Reinigung	gleichzeitig Schmutzentsorgung	
Materialförderung	mech. Fördereinrichtung (Förderband o.ä.)		
Druckluftmotor (Werkzeuge)	Elektromotor (evtl. mit Akku / flexible Welle)	weniger Lärm; besser regelbar	schwerer, i.A. teurer
Druckluftzylinder	Elektromotor Hydraulik	keine Leerlaufverluste; Leckagen leichter sichtbar	

8.3 Energieeffiziente Elektromotoren

Elektrische Antriebe machen einen großen Teil des industriellen Stromverbrauchs aus. Bei einem besserem Wirkungsgrad der häufig eingesetzten Drehstrommotoren lassen sich hier erhebliche Einsparungen erzielen. Rund 97% der gesamten Lebensdauerkosten eines Motors werden durch den Energieverbrauch verursacht; Anschaffungskosten sowie Installation und Wartung machen nur rund 1% bzw. 2% aus. Die Energiekosten für rund einen Monat Dauerbetrieb eines Elektromotors sind ungefähr gleich den Anschaffungskosten.

Eine neue europaweite Regelung sieht vor, dass alle in Europa hergestellten Elektromotoren im Leistungsbereich von 1,1 bis 90 kW hinsichtlich ihres Wirkungsgrades bei Drei-Viertel-Last und Volllast deutlich zu kennzeichnen sind. Grundlage ist eine Vereinbarung zwischen der europäischen Kommission und dem Komitee der europäischen Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP). Es werden 3 Wirkungsgradklassen definiert: Standard (eff3); verbesserter Wirkungsgrad (eff2); Hochwirkungsgrad (eff1). Die neue Kennzeichnungspflicht gilt für Motoren, die in Europa eingesetzt werden. Motoren der höchsten Klasse eff1 werden bereits von einigen Herstellern angeboten.

Der jeweilige Wirkungsgrad und die Wirkungsgradklasse werden von den Herstellern in den Katalogen angegeben, bzw. auf das Motorleistungsschild gestempelt. Dadurch wird es möglich, bei der Auswahl der Motoren auch den Energieverbrauch zu berücksichtigen.

Motoren mit verbessertem und hohem Wirkungsgrad benötigen mehr aktives Material als einfache Produkte. Der daraus resultierende höhere Verkaufspreis wird in der Regel in kürzester Zeit durch die eingesparte Energie mehr als kompensiert; typische Amortisationszeiten liegen (bei 24h-Betrieb) im Bereich von 1 bis 2 Jahren.

Wirkungsgrade von Motoren unterschiedlicher Hersteller sind in einer Datenbank „EuroDEEM“ der Europäischen Kommission zusammengestellt und können abgerufen werden unter <http://iamest.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>. Informationen über energieeffiziente Antriebe gibt es auch beim Zentralverb. Elektrotechnik und Elektronikindustrie ZVEI unter <http://www.zvei.org/antriebe>.

8.4 Wärmenutzung

8.4.1 Richtige Auslegung der Heizkessel

Bei Heizkesseln, deren Feuerungsleistung über dem Wärmebedarf der Abnehmer liegt, muss regelmäßig nach vollständiger Aufheizung des Pufferspeichers der Brenner außer Betrieb genommen werden. Während dieser sogenannten Betriebsbereitschaftsphasen entstehen zusätzliche Beiträge zu den Kesselverlusten, die sich in einem schlechteren Nutzungsgrad (im Vergleich zu einem dem Bedarf angepassten Kessel) niederschlagen. Daher ist bei der Auslegung eines Heizsystems auf eine Anpassung an den Wärmebedarf wichtig. Durch Aufteilung der Gesamt-Kesselleistung auf mehrere evtl. unterschiedlich große Kessel sowie modulierende (leistungsregelbare) Brenner können die unterschiedlichen Betriebsfälle und Wärmebedarfsleistungen abgedeckt werden.

8.4.2 Nutzung von Abwärmeströmen

Neben der bereits beschriebenen Abwärmenutzung bei den Druckluftkompressoren gibt es häufig weitere Abwärmeströme aus Energieversorgungs- oder Produktionsanlagen, die bei entsprechendem Wärmebedarf genutzt werden können. Entscheidendes Kriterium hierfür ist ein entsprechender Wärmebedarf und dessen Gleichzeitigkeit mit dem Wärmeanfall. Dabei lassen sich kurzfristige Differenzen durch entsprechende Wärmespeicher ausgleichen.

Das Abwärmemedium kann in manchen Fällen direkt genutzt werden (Warmluft, erwärmtes Kühlwasser...); oft ist dies aber wegen unerwünschten Bestandteilen des Abwärmemediums nicht möglich, so dass eine Wärmeübertragung in ein anderes Medium erforderlich ist (durch einen Wärmetauscher).

Beispiele für nutzbare Abwärmequellen sind:

- ⇒ Kühlwasser oder Kuhlluft
- ⇒ Verflüssiger bei Kälteanlagen
- ⇒ Heiße Abgase von technischen Verbrennungsprozessen, z. B. aus Anlagen zur Thermischen Abluftreinigung (TAR) für lösemittelhaltige Abluft
- ⇒ Prozesswärmeanwendungen (Heißlufttrocknung, Dampf auf niederem Druckniveau)
- ⇒ Abluft-Wärmetauscher

Die Abwärme kann beispielsweise genutzt werden zur

- ⇒ Trinkwassererwärmung
- ⇒ Heizung von Betriebsbereichen mit Raumwärmebedarf
- ⇒ Vorwärmung von Verbrennungsluft z. B. von Heizkesseln
- ⇒ Vorwärmung oder Trocknung von Materialien oder Werkzeugen, z. B. Kunststoffgranulat

Die wirtschaftliche Attraktivität dieser Maßnahme ist i.A. um so größer, je höher die Abwärmetemperatur und je besser der Abwärmefall zum Wärmebedarf passt (Leistung, Gleichzeitigkeit, räumliche Nähe).

8.4.3 Vorwärmung der Verbrennungsluft

Ein beachtlicher Teil der in Feuerungsanlagen erzeugten Energie ist erforderlich, um die eingesetzte Verbrennungsluft auf die Verbrennungstemperatur zu erhitzen und so die Verbrennung zu ermöglichen. Durch eine Vorwärmung der Verbrennungsluft kann also der Wirkungsgrad der Verbrennung gesteigert werden.

Diese Luftvorwärmung kann entweder durch die Abwärme des Kessels selber geschehen, z. B. durch Ansaugen der Verbrennungsluft aus dem Kesselhaus statt aus der kalten Außenluft. Wenn andere Abwärmeströme (z. B. aus Prozesswärmeanlagen) zur Verfügung stehen, lässt sich ggf. eine erheblich größere Vorwärmung und die damit verbundene Brennstoffeinsparung erreichen.

8.4.4 Wärmedämmung

Produktionsanlagen

Bei Produktionsanlagen mit erheblichem Wärmebedarf sind oft durch eine Verbesserung der Wärmedämmung hohe Einsparpotenziale zu erzielen, die um so lohnender sind, je höher die Betriebstemperaturen bzw. die Betriebsdauer ist. Entsprechendes gilt auch bei Rohrleitungen und Armaturen.

Bei warmen Flüssigkeiten ist nicht nur der Wärmeverlust durch Abstrahlung und Konvektion zu beachten, sondern vor allem auch der durch Verdampfung. Daher ist auf eine möglichst geschlossene Prozessführung zu achten (z.B. Deckel auf Bäder).

Eine nachträgliche Wärmedämmung ist generell aufwändiger als eine entsprechende Ausrüstung bei der Erstbeschaffung.

Gebäude

Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen ist eine Verbesserung der Wärmedämmung um so attraktiver, je größer die jeweiligen Wärmeverluste sind, die durch eine entsprechende Heizleistung ausgeglichen werden müssen. Auch bei vorhandenem Wärmeüberschuss, z.B. aus der Abwärme von Produktionsanlagen, ist eine gute Wärmedämmung sinnvoll, da sonst im Sommer hohe Außentemperaturen bzw. starke Sonneneinstrahlung zu zusätzlichen Wärmelasten führen, welche die Innentemperaturen ansteigen lassen und damit ggf. sogar eine Kühlung erforderlich machen.

Bei älteren Gebäuden weisen oft einerseits die Baumaterialien von Wänden, Dächern und Fenstern vergleichsweise hohe Wärmedurchgangswerte auf; andererseits ist meist auch die Dichtheit der Gebäudehülle geringer, was zu höheren Lüftungswärmeverlusten führt. Eine detaillierte Schwachstellenanalyse kann hier durchaus lohnenswerte Einsparpotenziale aufdecken.

Neuere Gebäude sind meist auf Grund der stetig gesteigerten Anforderungen an den Wärmeschutz besser gedämmt. Doch auch hier können Schwachstellen auftreten wie Wärmebrücken, ungedämmte Teilflächen, Fugen, undichte Fenster etc., deren Beseitigung lohnt.

8.4.5 Deckenventilatoren zur Auflösung der Wärmeschichtung in hohen Hallen

Besonders in hohen Hallen ohne wesentliche Luftumwälzung kommt es oft zu einer ungünstigen Temperaturschichtung der Hallenluft: die leichtere Warmluft steigt nach oben zur Hallendecke, während im Aufenthaltsbereich in Bodennähe die (schwerere) kältere Luft vorherrscht. Diese Luftschich-

tung kann (wie im untersuchten Betrieb) durch einfache Deckenventilatoren wirksam aufgelöst und eine gleichmäßigere Wärmeverteilung erzielt werden. Dadurch vermindern sich auch die Wärmeverluste durch die Hallendecke.

Bei einem Wärmeüberschuss in der Halle wäre diese Warmluft-Umwälzung nachteilig; in diesem Fall kann die aufsteigende Warmluft in der Nähe der Hallendecke gezielt abgeführt werden (z.B. durch Oberlichtfenster oder Lüftungsanlagen).

8.5 Beleuchtung

Die Beleuchtung ist ein oft unterschätzter Beitrag zum elektrischen Energieverbrauch. Gerade in weniger energieintensiven Betrieben kann der Lichtstromverbrauch einen Anteil von bis über 10% ausmachen. Deshalb bieten sich in diesem Bereich oft erhebliche Einsparpotenziale.

8.5.1 Leuchtmittel und Leuchten

Leuchtmittel mit hoher Lichtausbeute

Der erste Ansatzpunkt liegt in der Lichtquelle selbst, also des Leuchtmittels (Lampe). Hier ist die Lichtausbeute das Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Lampe. Sie sagt aus, wie viel Lumen (lm) pro Watt (W) eine Lampe erzeugt. Beispiele: Glühlampe 12 lm/W, Halogen-Glühlampe 20 lm/W, Energiesparlampe 60 lm/W, stabförmige Dreiband-Leuchtstofflampe 90 lm/W.

Reflektorleuchten

Reflektoren in Leuchten und Reflektorlampen dienen der Lichtlenkung. Je nach Bauart des Reflektors entstehen unterschiedliche Lichtstärkeverteilungen und Ausstrahlungswinkel. Hier ist die Auswahl des Leuchtentyps von großer Bedeutung, um nicht Bereiche auszuleuchten, wo Licht überhaupt nicht benötigt wird (z. B. die Hallendecke). Bei Neuinstallation oder Ersatzbedarf ist daher auf einen hohen Leuchtenwirkungsgrad zu achten. Beim Einsatz von Spiegelrasterleuchten ist beispielsweise zur Erreichung der geforderten Beleuchtungsstärke nur noch eine Leuchtstofflampe (einflammige Leuchte) erforderlich, wo bei freistrahrender Bauart zweiflämmige Leuchten notwendig sind.

Falls die Neuinstallation von Reflektorleuchten nicht wirtschaftlich ist, besteht eine kostengünstigere Alternative in der Nachrüstung von Aufsteckreflektoren, die durch Clipsbefestigung direkt auf der Leuchtstoffröhre angebracht werden. Bis zur Hälfte der Leuchtstofflampen kann dann aus dem Beleuchtungssystem herausgenommen werden, wenn die restlichen Lampen mit Reflektoren nachgerüstet werden.

8.5.2 Lichtsteuerung und -Regelung

Systeme zur Lichtsteuerung (manuell, z. B. per Tastendruck) und Lichtregelung (automatisch im Soll-Ist-Abgleich) ermöglichen die Anpassung der Beleuchtung an unterschiedliche Situationen. Je nach Nutzerverhalten und technischen Gegebenheiten der Beleuchtungsanlage kann eine empfehlenswerte Lösung von einfachen Schaltern (bei einer sinnvollen Gruppierung der Leuchten) über zeitgesteuerte Systeme bis hin zu vollautomatischer Regelung der Beleuchtung reichen.

Die wichtigsten Ansatzpunkte liegen in der Lichtregelung bzw. Steuerung in Abhängigkeit

- ⇒ von der Anwesenheit von Personen und
- ⇒ vom vorhandenen Tageslicht:

Anwesenheitssensoren

Oft ist das Licht auch dann eingeschaltet, wenn sich für längere Zeit niemand im Raum aufhält, zum Beispiel während Pausen. Anwesenheitssensoren / Bewegungsmelder prüfen den Raum auf anwesende Personen und geben (nach einer vordefinierten Ausschaltverzögerung) den Befehl zum Ausschalten. Bei der Rückkehr des ersten Mitarbeiters veranlassen sie das sofortige Einschalten der Beleuchtung.

Helligkeitsregelung

Bei einer Helligkeitsregelung wird die Beleuchtungsstärke des Tageslichts bzw. der künstlichen Beleuchtung gemessen. Beim Erreichen von voreingestellten Helligkeitswerten erfolgt das Signal zum Ein-/Ausschalten von Leuchten oder zum Auf-/Abdimmen des Lichts. Die Helligkeit messen integrierte Lichtsensoren. Deren Empfindlichkeit sollte stufenlos zu regeln sein, für die Außenbeleuchtung zum Beispiel von zwei bis 2.000 Lux.

8.6 Kältebereitstellung

Die Bereitstellung von Kühlwasser für die Produktionsanlagen ist oft eine wesentliche Komponente der Energie- und Medienversorgung. Daher ist eine Optimierung der Kälteversorgung anzustreben. Welche Methode der Kühlung sinnvoll einsetzbar ist, hängt sehr stark von den abzuführenden Wärmeleistungen (im jahreszeitlichen Verlauf) und insbesondere von den benötigten Temperaturen des Kühlmittelvor- und Rücklaufs ab.

Kühlwasser-Temperaturen

Die Temperaturen sollten generell so hoch wie möglich liegen, um eine möglichst energieeffiziente Kühlung zu ermöglichen. Einerseits ist dadurch der Einsatz von weniger energieaufwändigen Kälteerzeugungstechnologien (bzw. deren Deckungsgrad an der Kältebereitstellung) möglich, siehe unten. Andererseits ist der spezifische Energieaufwand von Kältemaschinen um so größer, je niedriger die zu erreichende Kühlmedientemperatur liegt.

Grundwasserkühlung

Bis zur Temperatur des Grundwassers (ca. 10°C) kann eine Brunnenwasserkühlung stattfinden, was allerdings ausreichende Wasserverfügbarkeit (bei entsprechender Wasserqualität) und eine wasserbehördliche Genehmigung voraussetzt. Dies stellt häufig die energieeffizienteste Lösung bei diesem Temperaturniveau dar.

Eine Frischwasserkühlung (ebenfalls bis etwa 10°C) mit Wasser aus dem Trinkwassernetz ist wegen des hohen Wasserpreises (Bezug + Abwassergebühr) kaum verbreitet. Diese Variante kann dennoch wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn ohnehin ein entsprechend hoher Bedarf an Trinkwasser vorhanden ist und das Wasser, das zur Kühlung verwendet wurde, weiter genutzt werden kann.

Freie Kühlung

Im Temperaturbereich bis knapp über der Außenluft-Temperatur bietet die Freie Kühlung häufig eine wirtschaftliche Lösung.

Nasskühltürme

Durch den Einsatz von Nasskühltürmen kann durch den Verdunstungseffekt die erreichbare Kühlgrenztemperatur noch um einige Grade gesenkt werden.

Kältemaschine

Für noch tiefere Temperaturen ist die energieintensive Lösung mittels einer Kältemaschine (Kompression oder Absorption) notwendig. Hier gilt das oben Gesagte analog für die Rückkühlung der Kälteanlage. Insbesondere bei vorhandenem Abwärmepotenzial (auf einem Temperaturniveau ab ca. 90°C) kann eine Absorptionskälteanlage eine wirtschaftliche Alternative zu Kompressionsanlagen bieten.

Abwärmenutzung

Bei höheren Kühlmitteltemperaturen sowie bei der Rückkühlung von Kältemaschinen ist eine Nutzung der abzuführenden Wärme durch Übertragung auf zu erwärmende Medien (z. B. Hallenluft, Warmwasser) oft sinnvoll.

Kühlwasser-Leitungen

Die Versorgungsleitungen und Armaturen sollten zur Minimierung von Wärmeeinträgen möglichst kurz und gut wärmegeklämt sein. Je geringer die Kühlwassertemperaturen, desto höher ist der Eintrag von Verlustwärmeleistung durch die Umgebungstemperatur. Maßnahmen zur Wärmedämmung sind daher oft mit kurzer Amortisationsdauer realisierbar.

8.7 Kraft-Wärme-Kopplung

Anlagen zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme (sogenannte Kraft-Wärme-Kopplungs- oder KWK-Anlagen) beruhen auf dem Ansatz, bei der Stromerzeugung anfallende Abwärmemengen zur Wärmeversorgung (Prozesswärme, Wassererwärmung, Heizung) zu nutzen, statt sie wie bei der herkömmlichen Kondensationskraftwerken an die Umgebung abzuführen. Da die Wärme damit quasi „umsonst“ zur Verfügung steht, werden dadurch im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung erhebliche Brennstoffmengen eingespart sowie die damit verbundenen Emissionen vermieden.

Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich in einem weiten Leistungsbereich und durch unterschiedliche technische Grundprinzipien realisieren: Gas- oder Dieselmotor, Dampfturbine oder –Motor, Gasturbine, Brennstoffzellen...

Aus Redundanzgründen und zur Abdeckung von Wärmeleistungsspitzen ist fast immer ein zusätzlicher Spitzenlastkessel erforderlich.

Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage beeinflussen, sind folgende:

- ⇒ Wegen der hohen Investitionskosten ist eine möglichst hohe jährliche Betriebsdauer anzustreben (mindestens 4.000 – 5.000 h/a).
- ⇒ Meist ist eine Orientierung am Wärmebedarf der Abnehmer sinnvoll, da eventuell überschüssiger Strom (oder auch der ganze KWK-Strom) ins öffentliche Netz eingespeist werden kann.
- ⇒ Vorteilhaft ist ein möglichst gleichmäßiger Wärmebedarf zumindest im Jahresverlauf; tageszeitliche Unterschiede lassen sich teilweise durch Pufferspeicher ausgleichen
- ⇒ Daher ist die Dimensionierung der Anlage von großer Bedeutung: die Wärmeleistung sollte nicht zu groß gewählt werden, so dass eine möglichst hohe jährliche Betriebsdauer erzielt wird.
- ⇒ Auf der anderen Seite sind die spezifischen Kosten um so geringer, je größer die Anlage ist (i.A. ist eine größere Anlage auch effizienter).
- ⇒ Der Zusammenschluss mehrerer Abnehmer kann eine Anpassung der Abnahmeprofile von Strom und Wärme an die Erzeugung bewirken.

- ⇒ Der Strompreis, der für die eingesparten Strombezugsmengen zu zahlen wäre, bzw. der Erlös für Stromeinspeisung ins Netz, ist ein Beitrag zum finanziellen Nutzen der Anlage (Wert des erzeugten Stroms).
- ⇒ Der zweite Beitrag ist der Wert der erzeugten Wärme, die sonst in Form von Brennstoff oder Fernwärme bezogen werden müsste. Unter Umständen ist auch ein Verkauf der Wärme an externe Abnehmer möglich.
- ⇒ Ein dritter Beitrag kann in der Verringerung von Leistungsspitzen des Strombezugs bestehen, wodurch hohe Leistungskosten vermieden werden.
- ⇒ Ein potenzieller Zusatznutzen ist in der möglichen Nutzung der KWK-Anlage als Notstromaggregat zu sehen.
- ⇒ Der Brennstoffpreis für den Betrieb der Anlage einerseits sowie für die sonst erforderliche getrennte Wärmeerzeugung andererseits bestimmt vornehmlich die verbrauchsgebundenen Kosten.
- ⇒ Eine Förderung durch Zuschüsse, Vergütungen, Zuschläge ist bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ebenfalls zu berücksichtigen.

Nach einem starken Wachstum bis etwa 1996 hat durch die niedrigen Strombezugspreise die KWK in den letzten Jahren an Attraktivität verloren. Durch das im März 2002 verabschiedete Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz [6] wird die Erschließung dieses Energiesparpotenzials gefördert durch einen Zuschlag auf die Einspeisevergütungen für den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom. Durch diese Zuschläge werden KWK-Anlagen in vielen Fällen wieder wirtschaftlich rentabel.

8.8 Energiemanagement-System

Der Begriff Energiemanagementsystem (EMS) beschreibt technische und organisatorische Einrichtungen und Maßnahmen, deren primäres Ziel die rationelle betriebliche Energieversorgung und -verwendung ist. Es folgt somit den Grundgedanken aller Managementsysteme, die auf die Verbesserung von Abläufen und die Vermeidung von Fehlern ausgerichtet sind. Mit dem Ziel einer Ergebnisoptimierung versuchen Managementsysteme die Verfahren und Abläufe zur Ergebniserzielung systematisch in Einzelschritte zu zerlegen, zu analysieren und Verbesserungspotenziale aufzudecken.

Die wohl bekanntesten Beispiele für Managementsysteme sind das Qualitätsmanagement und das Umweltmanagement. Letzteres kann als übergreifender Ansatz verstanden werden, der auch den Bereich des Energiemanagements umfasst.

Die Einbindung eines Energiemanagementsystems in ein integriertes Managementsystem (für Qualität, Umwelt, Sicherheit) bietet sich an, sind hier doch die gleichen Arbeitsschritte zu bewältigen wie bei einem ausschließlich auf den Themenkomplex Energie konzentrierten Ansatz. Überdies werden neben Energieeinsparungen auch andere Einsparpotenziale (Abfall, Abwasser etc.) evident, die neben ihren Umweltentlastungswirkungen mitunter zu erheblichen Kosteneinsparungen führen können. Speziell bayerische Unternehmen haben noch einen weiteren Anreiz zur Umsetzung von Umweltmanagementsystemen: So hat sich der Umweltpakt Bayern zum Ziel gesetzt, die Führungsrolle Bayerns im betrieblichen Umweltmanagement weiter auszubauen. Unternehmen, die die Umsetzung eines Umweltmanagementsystems in Angriff nehmen, werden vor diesem Hintergrund von der bayerischen Staatsregierung unterstützt.

Erstanalyse

Als Ausgangspunkt für das EM-System dient eine Erstanalyse (wie die hier vorliegende) mit dem Ziel, die Energiesituation des Betriebes möglichst genau zu erfassen und erste Energieeffizienz-Maßnahmen zu identifizieren.

Energiepolitik und Energieziele

Nach der Startphase geht das System in die kontinuierliche Verbesserung der Energiesituation über. Zum Einstieg werden langfristig ausgerichtete Ziele und Leitlinien über die Energieverwendung im Betrieb festgelegt.

Energieinformationssystem (EIS)

Die nächste Stufe des EMS (und die Fortführung der Erstuntersuchung) ist ein Energieinformationssystem (EIS), mit dessen Hilfe in regelmäßigen Abständen die betrieblichen Energieströme sichtbar gemacht und kontrolliert werden. Parallel dazu erfolgt die Dokumentation der Energiedaten (Energiebuchhaltung) sowie die Weitergabe der relevanten Informationen (Berichtswesen) an die entsprechenden Stellen im Betrieb (Kostenrechnung, Produktionsplanung, Umweltmanagement, Geschäftsleitung). Das EIS besteht im Wesentlichen aus Geräten zur Energieverbrauchserfassung (Energiezähler) in unterschiedlichen Betriebsbereichen und Energieträgern (Strom, Wärme / Brennstoffe, Druckluft, Kühlmedien...)

Im untersuchten Betrieb wird bereits regelmäßig eine manuelle Ablesung verschiedener Zähler durchgeführt (allerdings nicht systematisch im Sinne des hier beschriebenen EMS ausgewertet). Sinnvolle Ergänzungen für die Datenerfassung sind – ausgehend von dieser Grundkonfiguration – Stromzähler für Unterverteilungen und Großverbraucher bzw. Verbrauchergruppen (z. B. Schweißanlagen, Lüftungsanlagen, Druckluftkompressoren ...), Brennstoffzähler für Sanitärtrakt, Kantinegebäude und Einzelverbraucher (Waschmaschine, Hallen), sowie Wärmemengenzähler für Produktionsanlagen (Lackieranlagen, Waschmaschine) und Gebäude.

Eine automatisierte Zählerfernauslesung verringert den Personalaufwand für die manuelle Zählererfassung beträchtlich. Darüber hinaus ermöglicht sie eine deutlich höhere Auslesehäufigkeit bis hin zur Echtzeiterfassung, was einen entscheidenden Vorteil für die Betriebsführung darstellt. Dem stehen Zusatzinvestitionen für Zähler und Verkabelung, Unterstationen sowie Auswerterechner und -Software gegenüber.

Datenauswertung

Der Nutzen der Datenerfassung hängt entscheidend von der regelmäßigen Auswertung und Analyse der so gewonnenen Daten ab. Neben den Verbrauchswerten sind allgemeine betriebliche und Produktionsdaten (z. B. Mitarbeiterzahl, Flächen, Kosten, Energiepreise, Produktionsmengen...) einzubeziehen.

Gängige Auswertemethoden sind z. B.

- ⇒ Energieflussdiagramme, (siehe Abbildung 5-2),
- ⇒ die Erstellung von Energie- und Kosten-Bilanzen,
- ⇒ Analyse von Tages- bzw. Wochenganglinien der Verbrauchswerte auf ungewöhnliche Merkmale (Lastspitzen, deutliche Abweichungen gegenüber Vorperioden)

- ⇒ die Bildung von Energiekennzahlen für Prozesse, Anlagen oder ganze Betriebe im Verhältnis zu typischen Bezugsgrößen wie z. B. Umsatz bzw. Wertschöpfung, Produktionsmengen (Stück, Gewicht, Kundenanzahl). Die so gebildeten Kennzahlen werden verglichen mit
- a) dem entsprechenden Kennzahlenwert vorangegangener Perioden (Zeitreihenvergleich)
 - b) einem Vergleichswert aus anderen Betrieben (Querschnittsvergleich, Benchmarking). Hier ist ein Vergleich um so aussagefähiger, je ähnlicher die Rahmenbedingungen bei der Ermittlung des Vergleichswert waren (Betriebsstruktur, Produktspektrum, Herstellungsverfahren, Systemabgrenzung).
 - c) der entsprechenden Kennzahl von anderen Produkten bzw. alternativen Produktionsverfahren. Dies kann als Entscheidungshilfe für unterschiedliche Herstellungsmethoden herangezogen werden.

Kostenrechnung

Durch die Bewertung der einzelnen Verbrauchswerte mit den Energiepreisen und die Verknüpfung mit den relevanten Energieabnehmern erlaubt die Zuordnung von Energiekosten zu verschiedenen Verbrauchskostenstellen (Kostenumlage für unterschiedliche Betriebsteile) und die Bestimmung von Energiekostenanteilen an den unterschiedlichen Produkten.

Zur Umsetzung des EMS in tatsächliche Verbesserungen müssen zunächst mögliche Maßnahmen identifiziert, bewertet und schließlich entschieden werden.

Verbesserungsmaßnahmen identifizieren ...

Auffällige Merkmale aus der Datenanalyse (ungewöhnlich hohe Energiekennzahlen, Abweichungen im Lastgangverhalten) können Einsparpotenziale anzeigen, aber auch weitere Indikatoren (Leistungsabfall, Maschinenausfälle...) weisen auf Verbesserungsmöglichkeiten hin.

... bewerten

Zur Bewertung der Maßnahmen werden u.a. folgende Kriterien in herangezogen:

- ⇒ Erzielbare Energieverbrauchs-, Kosten- und Emissionsminderung
- ⇒ Investitionsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten,
- ⇒ Wirtschaftlichkeit (Amortisationszeit, Kostenvergleich, Kapitalwert...)
- ⇒ Technische Realisierbarkeit
- ⇒ Ohnehin anstehender Handlungsbedarf
- ⇒ Auswirkungen auf Produktion, Betriebssicherheit, Produktqualität

...entscheiden

Diese Bewertung bildet die Basis für die Umsetzungsentscheidungen für die Maßnahmen. Kombinationen von Einzelmaßnahmen haben oft andere Auswirkungen als die reine Summe der Bestandteile.

...realisieren

Rein organisatorische Maßnahmen ohne wesentliche Investitionen können oft intern realisiert werden. Bei investiven Maßnahmen sind auch externe Partner eingebunden.

Erfolgskontrolle

Während und nach der Durchführung der Maßnahmen schließt sich der Regelkreis durch die Erfolgskontrolle und ggf. Reaktionen darauf (Korrekturen, weitere Schritte, Veröffentlichung, neue Zielvorgaben etc.).

Verstetigung

Dies ist ein wichtiger Aspekt bei der Verstetigung des EMS. Weiter können Maßnahmen, die z. B. aus Kostengründen, wegen Kapazitätsengpässen etc. nicht realisiert wurden, in einem Energieprogramm für die zukünftige Periode geplant werden.

Nutzen

Der wirtschaftliche Nutzen des EMS in Form von Energiekosten-Einsparungen lässt sich zwar vorab nicht exakt berechnen. Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass Einsparungen von 5% bis 10% regelmäßig erreicht werden können. Das Energiemanagementsystem selbst ist eine organisatorische Maßnahme, so dass hier primär keine Investitionen anfallen. Das für die Erfassung und Auswertung der Daten notwendige EIS erfordert jedoch die Installation und Verkabelung von Zählern und Datenerfassungsgeräten sowie eines Rechners zur Sammlung und Auswertung der Daten. Darüber hinaus erfordert das Energiemanagementsystem einen zusätzlichen Arbeitsaufwand für Datenerfassung, Auswertung und Maßnahmenplanung, die bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen ist.

Weitere Hinweise zum Thema Energiemanagement siehe [2].

8.9 Energiecontracting

Definition

Energie-Contracting ist eine vertragliche Vereinbarung zwischen einem Energienutzer, z.B. einem Industriebetrieb oder Immobilieneigner, und einem externen Energiedienstleister. Der Energiedienstleister finanziert Investitionen in die Energieversorgung bzw. Energieeffizienz vor und zahlt diese Vorleistung mit den Energieeinsparungen ab. Nach Ablauf des Vertrages kommen die durch die Investition erzielten Einsparungen ganz dem Energienutzer zugute.

Das von Energie-Contracting umfasste Aufgabenspektrum umfasst die Planung und Errichtung von Energieerzeugungs- und -verteilanlagen, von Systemen der Mess- und Regeltechnik, Finanzierung und Betrieb der Anlagen sowie Lieferung und Abrechnung der fertigen Endprodukte (Wärme, Kälte, Strom, Druckluft).

Vorteile für den Energienutzer sind die Ersparnis der Vorfinanzierung von teils erheblichen Investitionen, die eingebrachte Kompetenz zur effizienten Energienutzung und die Entlastung von Aufgaben, die nicht unbedingt zur Kernkompetenz des Nutzers gehören. Energie-Contracting ist besonders dann angebracht, wenn dem Energienutzer die Finanzmittel für lohnende Investitionen fehlen.

Beispiele für Contracting-Maßnahmen in Unternehmen:

- ⇒ Einbau und Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage
- ⇒ Umrüstung der Wärme- oder Kälteversorgung eines Betriebes
- ⇒ Ersatz der veralteten Druckluftversorgung eines Betriebes

Für weiterführende Informationen siehe [7].

8.10 Wirtschaftliche Bewertung

Neben den betrieblichen Erfordernissen werden zur Entscheidung über die Umsetzung einer Maßnahme praktisch immer wirtschaftliche Bewertungskriterien herangezogen (häufig sogar als einzige Entscheidungsgrundlage). Dabei wird der Aufwand an Investitions- und Betriebskosten mit dem zu erwartenden Nutzen z.B. durch Energiekosteneinsparung verglichen. Diese wirtschaftliche Effizienzbewertung erlaubt eine Ja-Nein-Entscheidung über die Durchführung der Maßnahme nach vorgegeben Kriterien oder eine Auswahl der besten von verschiedenen Optionen.

Dazu existieren mehrere Verfahren der Investitionsrechnung, die verschiedene Aspekte der Wirtschaftlichkeit beleuchten und sich hinsichtlich Zielsetzung, Aufwand und Genauigkeit unterscheiden (Details siehe [8], [9]). Zu einer ersten Auswahl reichen meist einfache Eingangsdaten wie z.B. Schätzungen der erforderlichen Investitionen sowie der zu erwartenden Energie- und Kosteneinsparungen aus.

Amortisationsrechnung

Ein oft verwendetes Verfahren, die Amortisationsrechnung, ermittelt die Zeitdauer, nach der die anfängliche Investition durch die jährlichen Kosteneinsparungen wieder erwirtschaftet (amortisiert) ist. Die Investition wird als wirtschaftlich sinnvoll bewertet, wenn die Amortisationsdauer kürzer als die voraussichtliche Lebensdauer der Investitionsgüter ist. Oft werden aber erheblich schärfere Anforderungen an die Amortisationszeit gestellt (z.B. drei bis fünf Jahre). Diese Amortisationszeit ist auch bei den Maßnahmenbeschreibungen in Kapitel 7 angegeben.

Weitere statische Methoden

Die Amortisationsrechnung dient zur schnellen und einfachen Beurteilung des Risikos und der Liquiditätsauswirkungen, die mit der Investition verbunden sind.

Dagegen wird in der Rentabilitätsrechnung die Verzinsung des eingesetzten Kapitals bewertet, setzt also finanziellen Nutzen ins Verhältnis zum Kapitaleinsatz.

Die Kostenvergleichsrechnung wiederum dient vor allem zur Entscheidung zwischen mehreren Entscheidungsoptionen indem die durchschnittlichen jährlichen Gesamtkosten (einschließlich Kapitalkosten) der jeweiligen Optionen verglichen und die günstigste Variante ausgewählt wird.

Dynamische Verfahren

Bei den sogenannten dynamischen Verfahren (im Gegensatz zu den o.g. statischen Methoden) werden zusätzlich Zins- und eventuell auch Preissteigerungseffekte mit berücksichtigt. Dazu gehören neben der dynamischen Amortisationsrechnung vor allem die Annuitätenmethode (analog zur Kostenvergleichsrechnung) sowie die Barwert- und die Kapitalwertmethode. Da diese Verfahren einerseits erheblich aufwändiger sind und andererseits mehr und genauere Eingangsdaten voraussetzen, werden sie vor allem bei größeren Investitionen bzw. unklarer oder kritischer Entscheidungslage eingesetzt.

9 Checkliste: Effiziente Energieverwendung in der Industrie

9.1 Maschinen / Anlagen / Antriebe

- ⇒ Verwendung von Maschinen und Anlagen nach dem Stand der Technik, ggf. Neuinvestitionen
- ⇒ Regelmäßige Wartung von Maschinen und Anlagen
- ⇒ Verwendung von Motoren mit Energieeffizienzklasse eff1 oder eff2
- ⇒ Leistungsangepasste Antriebe, Vermeidung von Teillastbetrieb durch richtige Antriebsdimensionierung
- ⇒ Bei wechselnder Last Verwendung von drehzahlgeregelten Antrieben
- ⇒ Regelung des Volumenstroms von Pumpen und Gebläsen durch Drehzahlveränderung statt Drosselung
- ⇒ Verwendung von Transformatoren mit geringen Leerlaufverlusten und Aufstellung nahe am den Stromverbraucher
- ⇒ Umstellung von gering belasteten Motoren von „Dreieck“- auf „Stern“-Schaltung
- ⇒ Soweit möglich Abschalten von Maschinen und Anlagen in den Arbeitspausen oder bei Nichtbenutzung
- ⇒ Verwendung von Zeitschaltuhren zum Abschalten nicht benötigter Verbraucher

9.2 Druckluftnutzung

- ⇒ Regelmäßige Wartung der Anlagen (Filterwechsel, usw.)
- ⇒ Betriebsdruck möglichst gering, eventuell einzelne Prozesse mit hohem Druck abkoppeln und dezentrale Druckerhöhung einführen
- ⇒ Prüfung von weniger energieintensiven Druckluftalternativen (bei Steuerungen, . Reinigung, Kühlung, Teiletransport, usw.)
- ⇒ Richtige Auslegung von Leitungsnetz, Kompressoren, Druckbehältern, Druckniveau
- ⇒ Ausreichende Leitungsquerschnitte und ggf. Druckbehälter zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen
- ⇒ Druckluftaufbereitung: keine höheren Druckluftqualitäten als notwendig, ggf. dezentrale Nachbereitung
- ⇒ Ermittlung, Ortung und Abdichtung von Leckagen (Anleitung zur Leckagenbestimmung siehe Kap. 8.2.3), defekte Armaturen / Anschlussleitungen reparieren oder austauschen
- ⇒ Richtige Platzierung der Druckluftherzeugung (nahe an Verbrauchern/ Wärmeabnehmern, Luftansaugung von Gebäudenordseite)
- ⇒ Nutzung der Kompressorenabwärme für Prozesswasser, Raumheizung und Brauchwasser
- ⇒ ggf. Abschaltung von Teilbereichen des Leitungsnetzes oder der Druckluftherzeugung zu Stillstandzeiten des Betriebes

9.3 Raumheizung / Prozesswärme / Warmwasser

- ⇒ Gute Wärmedämmung von Gebäuden, Rohrleitungen und Armaturen sowie Behältern für warme und kalte Medien

- ⇒ Erzeugung von Wärme mit Kraft-Wärme-Kopplung
- ⇒ Richtige Dimensionierung und Auslegung von Heizkesseln
- ⇒ Vorgewärmte Verbrennungsluft für Heizkessel (z.B. aus dem Kesselhaus oder Prozessabwärme)
- ⇒ Heißwasser statt Dampf als Wärmetransportmedium
- ⇒ Anschluss von Niedertemperatur-Wärmeverbrauchern an den Rücklauf des Wärmeverteilsystems
- ⇒ Nutzung von (sauberer) warmer Abluft zur Beheizung/Belüftung anderer Gebäude)
- ⇒ Wärmerückgewinnungsanlagen für Abgase/Abluft
- ⇒ Nutzung von Prozessabwärme zur Brauchwassererwärmung
- ⇒ Bei dezentralem Warmwasserbedarf in kleinen Mengen besser Warmwasserboiler vor Ort
- ⇒ Abschaltung von Warmwasser-Zirkulationspumpen, wenn nicht benötigt (Zeitschaltuhr)
- ⇒ Kritische Überprüfung der geforderten Prozesstemperaturen, ggf. Abkoppelung einzelner Prozesswärme-Verbraucher mit hohem Temperaturniveau
- ⇒ Warmwasserspeicher für Prozesswässer v.a. bei diskontinuierlichen Prozessen
- ⇒ Wärmeisolierung und Deckelung von wärmeführenden Anlagen
- ⇒ Soweit nicht für Lüftungszwecke erforderlich, Schließen von Fenstern und Anbringen von automatischen Schnellverschlussstoren ins Freie

9.4 Lüftung / Klimatisierung / Kühlung

- ⇒ Lüftung, Klimatisierung und Kühlung bedarfsorientiert (zeitlich, örtlich) und gezielt durch Steuerungs- und Regelungstechnik einsetzen
- ⇒ Belüftung von Hallen mit geeigneter sauberer Abluft aus benachbarten Hallen (Nutzung von Abwärme)
- ⇒ Luftaustauschraten an die jeweiligen Anforderungen anpassen und bei Veränderung der Luftqualität kritisch überprüfen
- ⇒ Verwendung von Wärmetauschern zur Vorwärmung der Frischluft mit warmer Abluft
- ⇒ Regelmäßige Wartung der Lüftungsanlagen (z.B. Filterwechsel)
- ⇒ Gezieltes und effizientes Absaugen von Schadstoffen am Entstehungsort
- ⇒ Ausführung von Lüftungskanälen mit möglichst geringen Strömungswiderständen
- ⇒ Steuerung der Lüftungsanlagen durch Luftqualitätssensoren
- ⇒ soweit möglich, Lüftung/Klimatisierung bereits ca. eine Stunde vor Arbeitsende abschalten
- ⇒ Gute Wärmedämmung vor Klimatisierung
- ⇒ Vermeidung des Aufheizens von Gebäuden durch guten Sonnenschutz
- ⇒ Bei Klimatisierung Fenster geschlossen halten
- ⇒ Bei niedrigen Kühltemperaturen Wärmeisolierung des Kühlwassernetzes, kurze Leitungen
- ⇒ Kritische Überprüfung des benötigten Kühltemperaturniveaus
- ⇒ Kühlwasserbereitung durch Grundwasserkühlung (soweit möglich) oder Kühltürme statt Kältemaschinen
- ⇒ Nutzung einer Absorptionskälteanlage, evtl. in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- ⇒ Bei Lastspitzen in der Kälteleistung Eisspeicher einsetzen (möglichst lange gleichmäßige Auslastung der Kälteanlage)

9.5 Trocknungsprozesse

- ⇒ Soweit möglich mechanische Flüssigkeitsabtrennung (z.B. Zentrifugen) statt thermischer
- ⇒ Optimierung von Trocknungstemperatur und -feuchtigkeit
- ⇒ Wärmeisolierung und Kapselung der Trocknungsaggregate
- ⇒ Feuchtigkeitsgeregelter Trocknungsluftführung
- ⇒ Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- ⇒ Prüfung von Verfahrensalternativen (Vakuumverdampfung, Druckverdampfung, usw.)

9.6 Beleuchtung

- ⇒ Soweit möglich direkte Tageslichtnutzung (ggf. gegenrechnen mit Wärmeverlusten durch größere Fensterflächen)
- ⇒ Installation von modernen Lichtleitsystemen
- ⇒ Ausreichende, aber nicht überdimensionierte Beleuchtungsstärken (bereichsabhängig)
- ⇒ Verwendung von Leuchten und Lampen mit hohem energetischem Wirkungsgrad (Leuchtstofflampen, elektronische Vorschaltgeräte, Leuchten mit Reflektoren)
- ⇒ Richtige Anordnung der Leuchtmittel
- ⇒ Mäßige Grundbeleuchtung, zusätzliche Arbeitsplatzbeleuchtung bei hohem Beleuchtungsbedarf an einzelnen Stellen
- ⇒ Ggf. Zonierung der Beleuchtung nach unterschiedlichem Lichtbedarf
- ⇒ Regelmäßige Reinigung von Reflektoren und Leuchtengehäusen
- ⇒ Nachrüstung von Wannenleuchten mit Aufsteckreflektoren
- ⇒ Beschränkung der Beleuchtung auf arbeitsrelevante Zeiten und Betriebsbereiche
- ⇒ Ggf. Bewegungsschalter, Dämmerungsschalter, Zeitschalter

9.7 Energiemanagement

- ⇒ Einrichtung eines Energiemanagementsystems, evtl. im Rahmen eines Umweltmanagements
- ⇒ Schulung der Mitarbeiter im Bereich verhaltensabhängiger Energieeinsparung
- ⇒ Lastmanagement bei Stromversorgung
- ⇒ Sensibilisierung des Energiebewusstseins mit Hilfe des innerbetrieblichen Vorschlagswesens
- ⇒ Finanzierung von Energiesparinvestitionen mit Hilfe von Energiecontracting

10 Zusammenfassung

10.1 Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung

Trotz des weit gefächerten Anlagen- und Produktionspektrums in der Maschinenbau-Industrie gibt es eine Reihe branchenweiter gemeinsamer Merkmale der Energieverwendung. Dazu gehören

- ⇒ die starke Prägung des Strombedarf durch elektrische Antriebe
- ⇒ die intensive Verwendung von Druckluft als Energieträger für sehr viele Produktionsanlagen und Montagewerkzeuge
- ⇒ oft ein punktuell hoher Bedarf an Prozesswärme für Metallbearbeitungs- und Oberflächenbehandlungs-Verfahren, teils stark prozess-spezifisch. Häufig bietet sich hier Abwärmenutzung als sinnvolle Option an.
- ⇒ bereichsweise Anfall großer Abluftmengen, teils mit Schadstoffen wie Schweißrauch oder Lösemitteln belastet.
- ⇒ unterschiedlich hoher Raumwärmebedarf in verschiedenen Betriebsbereichen durch teils hohe innere Wärmelasten
- ⇒ Kälte wird in der Regel nur zur Kühlung von Produktionsmaschinen benötigt; Prozesskälte ist selten erforderlich.

10.2 Situation und Verbesserungsmöglichkeiten im untersuchten Betrieb

10.2.1 Energie- und CO₂-Bilanzen

Die Gesamtbilanz des untersuchten Betriebes in Asbach-Bäumenheim stellt sich für das Bezugsjahr 2000 wie folgt dar:

Energieträger	Energiebezug		CO ₂ -Emissionen	
	absolut MWh/a	Anteil * %	absolut t _{CO2} /a	Anteil * %
Strom	8.607	29,5%	5.741	55,3%
Erdgas _{Hu}	13.067	44,7%	2.600	25,0%
Heizöl EL	6.687	22,9%	1.846	17,8%
Propangas	535	1,8%	123	1,2%
Flüssiggas	327	1,1%	75	0,7%
Summe	29.223	100,0%	10.385	100,0%

* jeweiliger Anteil des Energieträgers am Gesamtbezug bzw. Gesamtemissionen des Betriebes

10.2.2 Übersicht der vorgeschlagenen Maßnahmen bei Agco Bäumenheim

Aus der Untersuchung ergaben sich eine Reihe von Ansätzen zur Energieeinsparung, die in Kapitel 7 detailliert beschrieben sind, einschließlich der zu erwartenden Einsparpotenziale sowie der erforderlichen Investitionen. Die Maßnahmen setzen an verschiedenen Stellen der betrieblichen Energieverwendung an:

Druckluft

Die wichtigsten Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs sind zunächst die Verminderung der sehr hohen Druckluft-Leckageverluste von über 50%. Anschließend sollte der DEMAG-Kompressor durch einen neuen, auf den Bedarf abgestimmten Kompressor ersetzt werden. Der neue Kompressor sollte bereits vom Hersteller mit einem Wärmetauscher ausgestattet sein, um die Abwärme zur Warmwasserbereitung zu verwenden. Alternativ kann die Abwärme zur Hallenbeheizung verwendet werden.

Wärmeversorgung der Halle 24

Für die Wärmeversorgung der Schweißhalle (Halle 24) werden zwei verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, die sich gegenseitig hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit beeinflussen. In Frage kommen hier ein System zur Wärmerückgewinnung aus der Hallenabluft und das gezielte Zuführen von sauberer Luft aus der benachbarten Halle 83 mit Wärmeüberschuss. In einem Gesamtkonzept sollten daher unter Berücksichtigung des jahreszeitlichen Verlaufs von Wärmebedarf und Wärmeeintrag die Maßnahmen gegeneinander abgewogen und umgesetzt werden.

Grundwasserkühlung

Statt der bisher praktizierten Kühlung mittels Kältemaschinen ist alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung die Variante der Kühlung mit Grundwasser zu empfehlen.

Hallen-Luftheizgeräte

Der Ersatz der im Betrieb verbreiteten ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte durch ein Gas-befeuertes Nahwärmesystem ist allein durch die Energieeinsparung nicht rentabel. Die Maßnahme ist aus betriebstechnischen Gründen dennoch zu empfehlen, sinnvollerweise stufenweise entsprechend der weiteren Nutzung der Hallen und dem technischen Zustand der Luftheizgeräte.

Die vorgeschlagenen und im Detail beschriebenen Maßnahmen sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt.

Nr.	Bezeichnung der Maßnahme	CO ₂ -Einsparung t/a	Investitionen €	Amortisationszeit (statisch) Jahre
7.1	Verminderung der Druckluft-Leckageverluste	258	3.000	0,1
7.2	Druckluftkompressor Demag ersetzen	75	9.000	1,1
7.3	Nutzung der Abwärme aus Druckluftkompressoren	79	15.000	1,0
7.4	Wärmedämmung der Teilewaschmaschine	10	7.600	3,8
7.5	Wärmerückgewinnung aus der Absaugluft in Halle 24	275	50.000	1,6
7.6	Nutzung der warmen Abluft aus Halle 89 in Halle 24	173	15.000	0,6
7.7	Alternatives Kühlkonzept für die Tauchlackierung	-16	23.000	0,8
7.8	Ersatz der ölbefeuerten Hallen-Luftheizgeräte	459	-	-
	Summe	(1.313)	(122.600)	-

Die Summenwerte in obiger Tabelle sind in Klammern dargestellt, weil sie nur eine theoretische Aussagekraft besitzen: Die Maßnahmen 7.5 und 7.6 beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirtschaftlichkeit und sind daher nicht zusammen durchführbar. Weiter ist auch bei Maßnahme 7.8 eine rein wirtschaftliche Betrachtung nicht zweckmäßig. Sinnvollere Summenwerte ergeben sich daher, wenn diese Maßnahme sowie eine der beiden Alternativmaßnahmen (hier: 7.5) bei der Summierung nicht mit einbezogen werden. Bei Maßnahme 7.3 wurden die Werte von Variante 2 (Abwärmeeinspeisung in das Warmwassernetz) angesetzt.

In diesem Fall ergibt sich insgesamt eine jährliche CO₂-Einsparung von **580 t/a** und eine Investitionssumme von **72.600 €**.

sammengestellt:

10.2.3 Erwartete Einsparungen

Bei Umsetzung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen (ohne 5 und 8) ergibt sich rechnerisch eine jährliche Energiekosteneinsparung von

ca. 105.000 €/a.

Die dazu erforderlichen Investitionen werden veranschlagt mit

ca. 72.600 €.

Diese Maßnahmen führen zu einer jährlichen CO₂-Reduktion von ca.

ca. 580 t CO₂/a.

Dies entspricht etwa 5,6% der gesamten jährlichen Emissionen des Betriebes. Weitere ca. 460 t CO₂/a (4,4%) lassen sich durch die Maßnahme 8 einsparen, deren schrittweise Umsetzung aus betrieblichen Gründen empfehlenswert ist. Anzumerken ist, dass im Rahmen dieses Projektes nur die größeren Maßnahmen untersucht wurden. Bei regelmäßiger Beschäftigung mit dem Thema Energieverwendung im Betrieb zeichnet sich eine Vielzahl von weiteren rentablen Energiesparmöglichkeiten ab. Die Auswahl der untersuchten Maßnahmen orientierte sich an den speziellen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen des Partnerunternehmens. Eine sinnvoller Maßnahmenkatalog kann in einem anderen Betrieb ganz anders aussehen. Entscheidend ist daher die individuelle Analyse eines Betriebes und seiner Energiesparpotenziale.

10.3 Allgemeine Empfehlungen für die Maschinenbau-Industrie

Im Rahmen dieses Leitfadens wurden die möglichen Ansatzpunkte für effiziente Energienutzung ausführlich in Kapitel 8 und in Form einer Checkliste in Kapitel 9 dargestellt. Die wesentlichen und von ihrer Rentabilität her lukrativsten Bereiche sind im Folgenden kurz dargestellt.

Druckluft

Ein Schwerpunkt der Energieverwendung in der Maschinenbauindustrie liegt sicherlich in der Druckluftversorgung. Dieser Bereich kann im Maschinenbau über 10% der Stromkosten verursachen. Gerade dieser Bereich wird häufig vernachlässigt. Leckageraten von 30 bis 50% mit den entsprechenden Mehrkosten sind keine Seltenheit. Es gibt sehr einfache Verfahren, in kurzer Zeit die Leckageraten des Druckluftsystems zu überprüfen. Zu achten ist u.a. auch auf das richtige Druckniveau, die richtige Auslegung der Kompressoren und Leitungen, die geeigneten Ansaugbedingungen für Frischluft und eine auf die genauen Anforderungen angepasste Aufbereitung der Druckluft.

Lüftungsanlagen

Anlagen zur Be- und Entlüftung haben in der Industrie einen Anteil von über 10 % am Energieverbrauch, gleichzeitig bestehen hier mit die größten Einsparpotenziale. Die wesentlichen Ansatzpunkte sind hier die Orientierung am tatsächlichen Bedarf (Betriebsdauer und Dimensionierung der Anlagen), die Ausführung der Anlagen (Rohrführung, Rohrbeschaffenheit) sowie die geometrische

Anordnung der Luftführung. Beispielsweise kann durch dezentrale Absaugung schadstoffbelasteter Abluft direkt am Entstehungsort häufig der Lüftungsbedarf durch eine große Hallenlüftungsanlage deutlich reduziert werden.

Elektromotoren

In der Industrie entfallen mehr als 2/3 des Strombedarfs auf elektrische Antriebe. Mehr als 90% der Kosten eines Elektromotors sind Stromkosten, während die Anschaffungskosten weniger als 10% betragen. Da bei Elektromotoren z.T. erhebliche Unterschiede beim Antriebs-Wirkungsgrad bestehen, sind hier Energie- und Kostensparpotenziale verborgen. Sinnvollerweise schon bei der Auswahl der Motoren bei der Beschaffung (bzw. durch entsprechende Vorgaben an Anlagenlieferanten) kann durch geringe Mehrinvestition in einen Antrieb einer höheren Effizienzklasse (eff1 oder eff2) deutliche Stromeinsparungen erzielt werden. Besondere Bedeutung kommt auch der Verwendung von Drehzahl-geregelten Antrieben zu. Allein durch die konsequente Verwendung von energieeffizienten Motoren und Drehzahlregelung ließen sich nach Berechnungen des ZVEI ca. 10% des gesamten Industrie-stromverbrauchs einsparen.

Beheizung und Wärmedämmung

In zahlreichen Betrieben wird ein großer Teil der Energie für Heizzwecke verbraucht. Durch Wärmedämmung von Anlagen und Gebäuden können erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden. Diese Maßnahmen weisen zwar häufig relativ lange Amortisationszeiten auf, aufgrund der hohen und produktunabhängigen Nutzungsdauer sind diese Maßnahmen dennoch häufig auch wirtschaftlich mit hoher interner Verzinsung. Bei Heizungsanlagen sollte das geforderte Temperaturniveau kritisch überprüft werden. Brauchen einzelne Verbraucher besonders hohe Temperaturen, ist ggf. ein örtliches Nachheizen sinnvoll. Verteilungsnetze mit Dampf als Energieträger können oft energieeffizienter mit Heißwasser betrieben werden. Heizkessel sollten nicht überdimensioniert werden und nach Möglichkeit sollte die Verbrennungsluft vorgewärmt werden. Heizgeräte sollten immer, am besten automatisch, regelbar sein.

Kühlung/Klimatisierung

Bei Kühlbedarf an Produktionsanlagen sind die geforderten Temperaturniveaus kritisch zu überprüfen. Manchmal ist es besser, einen Prozess vom allgemeinen Kältenetz abzukoppeln, als das ganze Netz auf besonderes niedrigem Temperaturniveau zu betreiben. Prozesskälte sollte möglichst nicht mit Kältemaschinen, sondern mit Kühltürmen oder Grundwasserkühlung erzeugt werden. Bei Raumkühlung und Klimatisierung ist v.a. darauf zu achten, Wärmequellen aus den Räumen zu beseitigen und Fenster geschlossen zu halten.

Beleuchtung

Die Beleuchtung ist ein oft unterschätzter Beitrag zum elektrischen Energieverbrauch. Gerade in weniger energieintensiven Betrieben kann der Lichtstromverbrauch einen Anteil von 10% und mehr erreichen. Ansatzpunkte sind hier zum einen der Beleuchtungswirkungsgrad des Lichtsystems (Leuchtmittel, Reflektoren, Lichtverteilung) sowie die geometrische Anordnung im zu beleuchtenden Raum (Höhe, Entfernung, Abschattung). Zum anderen ermöglichen Systeme zur Lichtsteuerung / Lichtregelung die Anpassung der Beleuchtungsstärke und –dauer an den tatsächlichen Bedarf, z.B. durch Zeitsteuerung, Anwesenheitssensoren, Helligkeitsregelung.

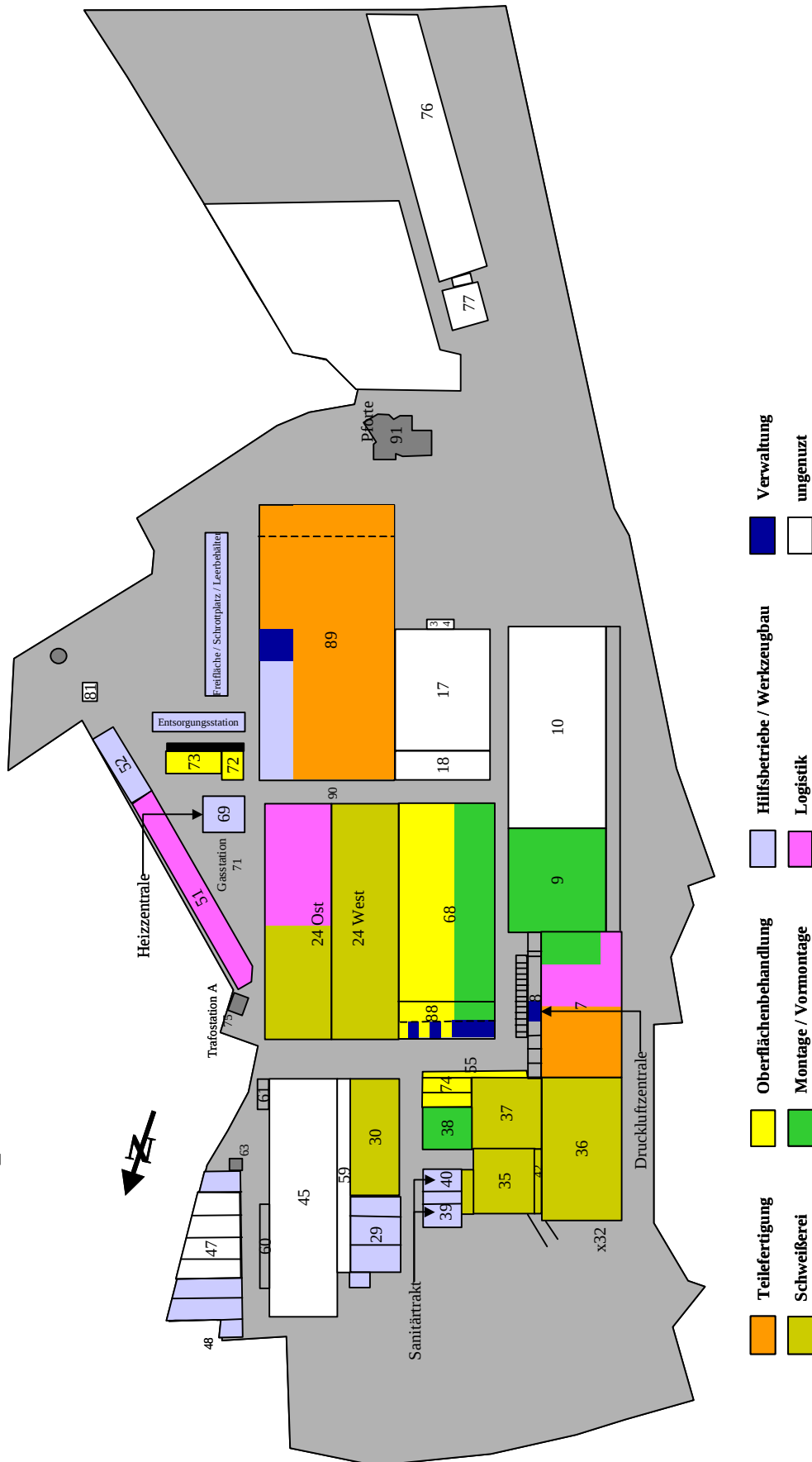
11 Literaturverzeichnis

- [1] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Programmversion 4.0; Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.) Darmstadt, 2000; <http://www.oeko.de/service/gemis> (Programm) bzw. <http://www.oeko.de/service/kea/dateien/daten-html/index.htm> (Daten)
- [2] Kaiser, Sven; Starzer, Otto: Handbuch für betriebliches Energiemanagement. Österreichisches Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 1999. Zum Internet-Download: <http://www.eva.wsr.ac.at>
- [3] Ulrich Bierbaum: Druckluft-Kompendium, Verlag Marie Leidorf GmbH, 2. Aufl. 1999
- [4] Gloor, Rolf: RAVEL im Maschinenbau, Nr. 724.333 D. Impulsprogramm RAVEL, Schweizerisches Bundesamt für Konjunkturfüragen, Bern 1997. Auszüge und Bezugsquelle: <http://www.energie.ch/themen/industrie/effmasch/index.htm>
- [5] Pfeiffer, W.: Reinlufrückführung beim Umgang mit Gefahrstoffen. Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 130 222. In: BIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, 34. Lfg. VI/99. Hrsg: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1985 (Loseblatt-Ausg.)
- [6] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 19, Seite 1092ff, ausgegeben zu Bonn am 22. März 2002
- [7] Bundesverband Privatwirtschaftlicher Energie-Contracting-Unternehmen e.V., Josefsstraße 54-56, 55118 Main; www.pecu.de
- [8] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie Nr. 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Blatt 1: Grundlagen und Kostenberechnung. Ausgabe Sept. 2000 (siehe auch andere Blätter dieser Richtlinie) Beuth-Verlag, Berlin, 2000
- [9] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie Nr. 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen. Ausgabe Nov. 1996. Beuth-Verlag, Berlin, 1996

12 Anhang

Anhang 1 : Übersichtsplan

Übersichtsplan AGCO GmbH & Co.



Anhang 1: Übersichtsplan AGCO GmbH & Co., Asbach-Bäumenheim



**Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz**
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Telefon 0821/90 71-0
Telefax 0821/90 71-55 56

ISBN 3-936385-11-4