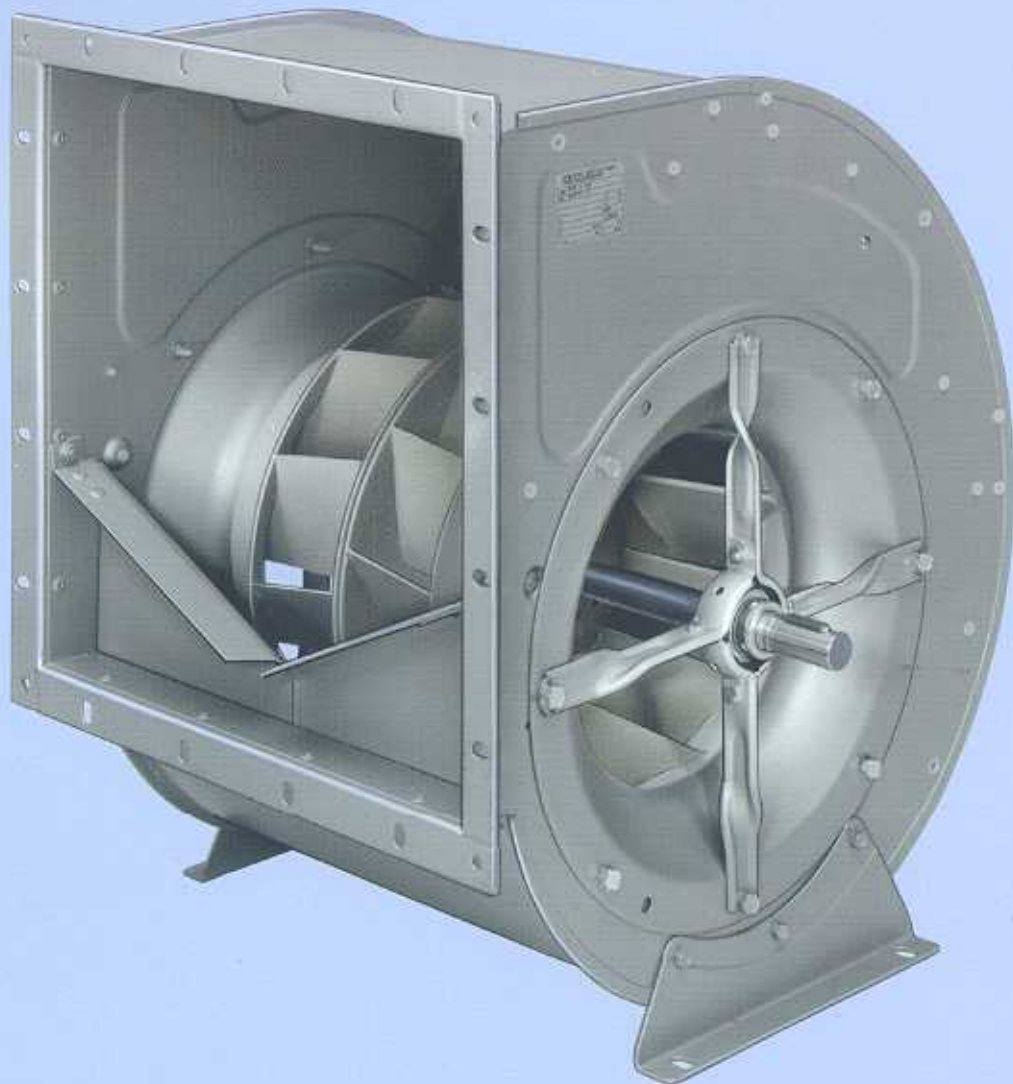




# Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch rationelle Energienutzung beim Einsatz raumluftechnischer Anlagen



---

# Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch rationelle Energienutzung beim Einsatz raumluftechnischer Anlagen

---

Bayerisches Landesamt  
für Umweltschutz



**Augsburg, 2002 – ISBN 3-936385-22-x**

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](mailto:poststelle:@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Auftragnehmer: Dipl.-Ing. Gerhard Duschl  
Ingenieurbüro für technische Ausrüstung und Energietechnik  
Äussere Münchener Strasse 130, 83026 Rosenheim

Partnerbetrieb: Acordis Industrial Fibers GmbH, Werk Obernburg  
Glanzstoffstrasse, 63784 Obernburg

Layout: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Titelbild: GebhardtVentilatoren

Druck: Schoder Druck GmbH & Co. KG, Gersthofen

Zitervorschlag: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch rationelle Energienutzung beim Einsatz raumluftechnischer Anlagen“, Augsburg, 2002

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

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2002

Gedruckt auf Recyclingpapier

## Kurzfassung:

Im Auftrag des LfU und in Zusammenarbeit mit dem Partnerbetrieb Acordis Industrial Fibers GmbH wurde das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial raumluftechnischer (RLT-) Anlagen in Betriebsgebäuden der Kunststoffindustrie untersucht.

Im Betriebsgebäude des Partnerbetriebes werden auf 15 Produktionsmaschinen Kunstfasern hergestellt. Ebenfalls am Standort befindet sich ein Gas- und Dampfturbinenkraftwerk, welches zur Versorgung der Produktionsmaschinen und RLT-Anlagen dient und damit wesentlichen Einfluss auf das Optimierungspotenzial hat.

Untersucht wurden die RLT-Anlagen von zwei Produktionsmaschinen. Die Verbrauchswerte der eng mit dem Produktionsprozess in Verbindung stehenden RLT-Anlagen wurden mittels Messungen vor Ort ermittelt bzw. anhand von Messergebnissen berechnet.

Ausgehend vom derzeitigen Energieverbrauch wurden Maßnahmen zur Verringerung des Energieeinsatzes vorgeschlagen. Für alle Maßnahmen wird die jeweilige Wirtschaftlichkeit berechnet. Durch die ausführliche Darstellung wird es dem Leser ermöglicht, die Potenziale im eigenen Betrieb aufzuspüren und eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit unter den „eigenen“ Randbedingungen vorzunehmen.

Für den untersuchten Betrieb wurden wirtschaftliche Energieeinsparpotenziale in Höhe von ca. 30% ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass in den meisten Betrieben, insbesondere mit älteren RLT-Anlagen, ähnliche Potenziale zu realisieren sind.



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	9
2	Der Partnerbetrieb.....	12
3	Bedeutung von raumluftechnischen Anlagen.....	14
3.1	Aufgaben raumluftechnischer Anlagen .....	14
3.2	Dimensionierung von RLT-Anlagen.....	16
3.3	Komponentenspezifische Beschreibung von RLT-Anlagen .....	17
3.3.1	Luftvolumenströme, Klimazentrale und Zentralgerät.....	17
3.3.2	Ventilator .....	19
3.3.3	Befeuchter.....	23
3.3.4	Entfeuchter.....	24
3.3.5	Luftkühler .....	25
3.3.6	Lufterhitzer .....	26
3.3.7	Kanalsystem.....	27
3.3.8	Apparate und Zubehör.....	30
3.3.9	Filter .....	30
3.3.10	Wärmerückgewinnung und Umluftbetrieb .....	32
3.3.11	Mess-, Steuer- und Regeltechnik .....	32
4	Beschreibung des Produktionsprozesses und der raum- und prozesslufttechnischen Anlagen des Partnerbetriebs .....	34
4.1	Beschreibung der Produktionsmaschinen und des Prozesses .....	34
4.2	Bedeutung der raumluftechnischen Anlagen im Produktionsprozess .....	34
4.3	Versorgungsstruktur der RLT-Anlagen am Standort Obernburg .....	37
5	Material und Methoden.....	39
5.1	Anlagenbegehung und Sichtung der Bestandsunterlagen .....	39
5.2	Messprogramm .....	39
6	Darstellung der Messergebnisse .....	41
6.1	Volumenströme und Druckdifferenzen .....	41
6.2	Leistungsbild Ventilatoren .....	44
6.3	Temperatur und Feuchte .....	45
6.4	Jahresverbrauch an Medien und Energie .....	47
7	Erkenntnisse .....	52
7.1	Erkenntnisse aus der Begehung und Sichtung der Bestandsunterlagen.....	52
7.2	Zusammenfassende Bewertung der Anlagen.....	52
8	Grundlagen für die Erstellung des Maßnahmenkataloges .....	54
8.1	Grundlagen der wirtschaftlichen Bewertung .....	54
8.2	Grundlagen der ökologischen Bewertung.....	55

---

9	Maßnahmen und Verbesserungsvorschläge .....	56
9.1	Vorbemerkungen zum Maßnahmenkatalog .....	56
9.2	Maßnahmen am Standort Obernburg .....	56
9.2.1	Organisatorische Maßnahmen .....	57
9.2.1.1	Dokumentation der Versorgungsstruktur .....	57
9.2.1.2	Strukturierte Erfassung von Betriebskosten .....	57
9.2.1.3	Erstellen eines Instandhaltungs- und Wartungsplanes .....	58
9.2.2	Definition des Anforderungsprofils .....	59
9.2.2.1	Erweiterung der Grenzen des Sollwertbereiches .....	60
9.2.2.2	Reduktion des Luftwechsels .....	64
9.2.2.3	Verlagerung von Aufgabenkomplexen aus dem RLT-Bereich .....	66
9.2.3	Technische Maßnahmen .....	66
9.2.3.1	Ventilatoren .....	66
9.2.3.2	Filter .....	69
9.2.3.3	Luftbefeuchtung, Luftwäscher .....	72
9.2.3.4	Heizregister, Wärmeerzeugung .....	73
9.2.3.5	Energierückgewinnung .....	74
9.2.3.6	Kühlregister, Kälteerzeugung .....	75
9.2.3.7	Entfeuchtung .....	75
9.3	Zusammenfassende Darstellung der Maßnahmen .....	76
10	Kennzahlen .....	77
11	Allgemeine Hinweise zur Optimierung von industriellen RLT-Anlagen .....	80
11.1	Fragenkatalog .....	80
11.2	Bewertungsschema .....	82
12	Glossar .....	84
13	Literaturverzeichnis .....	86
Anhang	.....	87

**Abkürzungsverzeichnis**

ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
ASV	Arbeitsstättenverordnung
Abb.	Abbildung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
HD	Hochdruck
KVS	Kreislauf-Verbund-System
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LfU	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
MD	Mitteldruck
MSR-	Mess-, Steuer-, Regel-
ND	Niederdruck
Pa	Pascal
r.F.	relative Feuchte
RLT	Raumluftechnik/ raumluftechnisch
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
WRG	Wärmerückgewinnung



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unternehmenskennzahlen Acordis, Standort Obernburg .....	13
Tabelle 2: Ventilatoren im System bei Einzel- und Parallelbetrieb, Beispiel .....	20
Tabelle 3: Mittlere statische Druckdifferenzen von Registern.....	26
Tabelle 4: Einteilung von Luftfiltern.....	31
Tabelle 5: Anfangs- und Enddruckdifferenzen von Filtern.....	31
Tabelle 6: Kennzahlen und Eigenschaften verschiedener Wärmerückgewinnungstechniken .....	32
Tabelle 7: Sollwerte für die Anlagen Aufwickelraum, Anblaseluft und Spinnbühne .....	37
Tabelle 8: Statische Druckdifferenzen der Komponenten (Maschinen 1+2) .....	42
Tabelle 9: Mess- und Rechenergebnisse Ventilatoren, Maschine 1+2 .....	44
Tabelle 10: Vergleich der Extremwerte, halbstündliche und 6h-Mittelwerte .....	47
Tabelle 11: Jahresverbräuche RLT-Anlagen, Maschinen 1+2 .....	51
Tabelle 12: Verbräuche der RLT-Anlagen der Maschinen 1+2 im Überblick .....	57
Tabelle 13: Wärmebedarf und Wassermengen in Abhängigkeit vom Anforderungsprofil.....	62
Tabelle 14: Mögliche Reduktion des Heizenergiebedarfs .....	64
Tabelle 15: Theoretische Einsparungen auf der Ventilatorseite bei Reduktion des Volumenstromes.....	64
Tabelle 16: Einsparpotenzial bei verringertem Luftwechsel .....	65
Tabelle 17: Abschätzung der Kosten für Ventilatoren, Maschine 1+2.....	67
Tabelle 18: Hocheffizienzmotoren im Vergleich zu Standardmotoren.....	68
Tabelle 19: Annahmen für die Kostenschätzung bei Verwendung verschiedener Filtertypen .....	71
Tabelle 20: Einsparungen bei Ersatz der Luftwäscher .....	73
Tabelle 21: Amortisationszeiten bei Ersatz der Luftwäscher .....	73
Tabelle 22: Maßnahmen im Überblick .....	76
Tabelle 23: Kennzahlen: RLT-Verbräuche bezogen auf den Durchsatz der Produktionsmaschinen .....	77

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kohlendioxidemissionen 1999 in Bayern nach Sektoren .....	9
Abb. 2: Energiebedarf und CO <sub>2</sub> -Emissionen in der Gummi- und Kunststoffindustrie.....	10
Abb. 3: Standort Obernburg; Ausschnitt .....	12
Abb. 4: h, x-Diagramm .....	15
Abb. 5: Klassifikation der Raumluftechnik.....	16
Abb. 6 Zulässigkeitsbereich der Raumtemperatur.....	18
Abb. 7: Anlagen- und Ventilator Kennlinie.....	19
Abb. 8: Kostenverteilung von Elektroantrieben bei unterschiedlichen Laufzeiten.....	22
Abb. 9: Optimale Luftgeschwindigkeit im Kanal.....	29
Abb. 10: Relativer Leistungsbedarf von Radialventilatoren.....	33
Abb. 11: Schematische Darstellung einer Produktionsmaschine mit den RLT-Anlagen.....	35
Abb. 12: Schematische Übersicht über die Standorte der Produktionsmaschinen im Betriebsgebäude.....	37
Abb. 13: Schematische Darstellung der Energieversorgungsstruktur.....	38
Abb. 14: Schematische Darstellung von Luftströmen der RLT-Anlagen im Sommer, Maschinen 1+2;.....	41
Abb. 15: Schematische Darstellung von Luftströmen der RLT-Anlagen im Winter, Maschinen 1+2.....	42
Abb. 16: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M1+2, Winterbetrieb.....	45
Abb. 17: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M1+2, Sommerbetrieb.....	45
Abb. 18: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M1+2, Winterbetrieb.....	46
Abb. 19: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M1+2, Sommerbetrieb.....	46
Abb. 20: Monatsmittelwerte für Temperatur und Feuchte im Jahr 2000.....	47
Abb. 21: Fallverteilung bei Ansteuern eines Sollwertes von 15°C und 60% rel. Feuchte.....	48
Abb. 22: Fallverteilung bei Ansteuern eines Sollwertes von 12°-18°C und 48-72% rel. Feuchte.....	49
Abb. 23: Quantitative Fallverteilung bei Behandlung der Außenluft auf 15°C und 60% relative Feuchte.....	49
Abb. 24: Luftbehandlungsbedarf Anblaseluft M 1+2.....	50
Abb. 25: Luftbehandlungsbedarf Spinnbühne bzw. Aufwickelraum M 1+2.....	50
Abb. 26: Dampfzuleitung.....	58
Abb. 27: Abluftkanal mit Ventilator, Oligomerablagerungen im Kanal.....	59
Abb. 28: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 21°C und 40-60% rel. Feuchte.....	60
Abb. 29: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 19-21°C und 40-60% rel. Feuchte.....	61
Abb. 30: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 19-21°C und 40-70% rel. Feuchte.....	62
Abb. 31: Energiebedarf bei Erweiterung der Toleranzbereiche.....	63
Abb. 32: Verminderung des Energiebedarfs bei reduzierten Volumenströmen.....	65
Abb. 33: Betriebskosten (ökologisch und monetär) für Ventilatoren.....	66
Abb. 34: Anblaseluft Maschine 1+2; erforderliche Wirkungsgraderhöhungen.....	68
Abb. 35: Filterkammer (Ausschnitt).....	69
Abb. 36: Wirkungsgrad und Druckdifferenz von EU5 und EU7 Filtern.....	69
Abb. 37: Anfangsdruckdifferenz von EU7 Filtern bei unterschiedlichen Ansichtsflächen.....	70
Abb. 38: Kostenentwicklung von EU5 bzw. EU7 Filtern bei konstantem Volumenstrom.....	71
Abb. 39: Jährlicher Wärmerückgewinn.....	74
Abb. 40: Gegenüberstellung des Luftbehandlungsbedarfes der Anlagen Anblaseluft.....	78
Abb. 41: Energieverbrauch Produktionsmaschinen, Gebäude und RLT-Anlagen im Vergleich.....	78
Abb. 42: Emission durch den Betrieb von RLT-Anlagen und Produktionsmaschinen.....	79

**Gleichungsverzeichnis**

Gl. 1: Ventilatorwirkungsgrad .....	20
Gl. 2: Totaldruckerhöhung Ventilator .....	20
Gl. 3: Motorleistung Ventilator .....	20
Gl. 4: jährlicher Energiebedarf von Ventilatoren .....	21
Gl. 5: Wärmebedarf für Befeuchtung .....	23
Gl. 6: Kälteenergiebedarf für die Entfeuchtung .....	25
Gl. 7: Kältebedarf für die Luftkühlung .....	25
Gl. 8: Wärmebedarf für Luftherhitzung .....	26
Gl. 9: spez. Druckverlust im Kanal .....	27
Gl. 10: Reibungszahl .....	27
Gl. 11: Reibungsdruckverlust im Kanal .....	27
Gl. 12: Druckverluste durch Einzelwiderstände im Kanal .....	28
Gl. 13: relative jährliche Energiekosten Kanal .....	28
Gl. 14: Kapitalkosten Kanal .....	28

## 1 Einleitung

Die derzeit zu beobachtende Veränderung des Weltklimas gibt Anlass zu der Befürchtung, dass auch in Bayern in Zukunft negative Auswirkungen des Klimawandels zu spüren sein werden. Als wichtigste vom Menschen zu verantwortende Ursache für die Klimaveränderungen wird die Emission großer Mengen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch die Verbrennung fossiler Energieträger angesehen. Im Sinne der Vorsorge ist es daher notwendig, die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich zu verringern.

Das im Jahr 2000 vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen erarbeitete Klimaschutzkonzept stellt Maßnahmen und Strategien vor, mit denen der Ausstoß an CO<sub>2</sub> in Bayern bis zum Jahr 2010 auf 80 Mio. Tonnen reduziert werden soll. Das Konzept sieht vor, vorhandenes Potenzial unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten und regionalen Gegebenheiten zu nutzen. Dazu sollen Maßnahmen in den Bereichen Energiewirtschaft, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Freizeit und Erholung, Gebäude und Industrie untersucht bzw. durchgeführt werden. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) unterstützt energieintensive Branchen durch Veröffentlichungen zum Thema „Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch rationelle Energienutzung“<sup>1</sup>. In diesem Rahmen wird im Auftrag des LfU und in Zusammenarbeit mit dem Partnerbetrieb Fa. Acordis Industrial Fibers GmbH das Potenzial zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Betrieb von raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) eruiert.

Von 89,6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> (Stand 1999) entfallen rund 18% auf den Sektor Umwandlung und Gewinnung (Kraftwerke, Raffinerien), 37% auf den Sektor Verkehr, 34% auf den Sektor Haushalte und 11% auf den Sektor Gewerbe<sup>2</sup>.

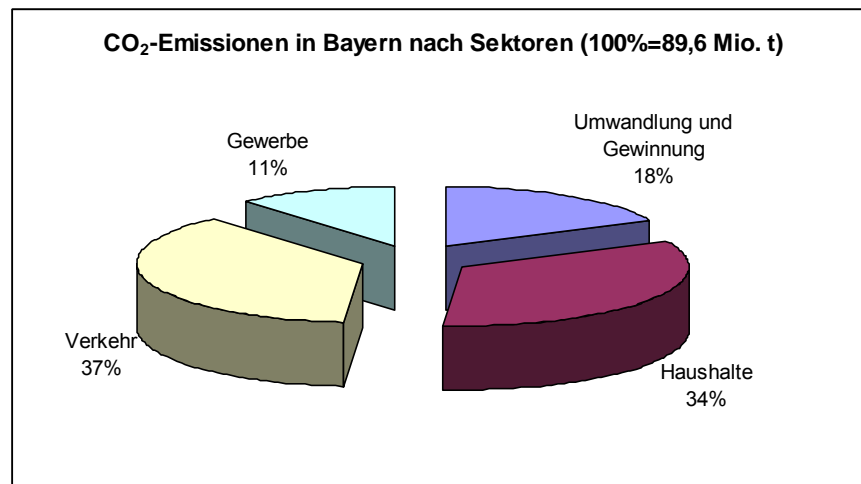


Abb. 1: Kohlendioxidemissionen 1999 in Bayern nach Sektoren

Im Gegensatz zu den Emissionen, verursacht durch Haushalte und Verkehr (33,6 Mio. t), sind die Emissionen im Sektor Gewerbe (10,1 Mio. t) örtlich konzentriert auf Produktionsstandorte. Mit anderen Worten: Viele Einzelverursacher (Haushalte, Verkehr) mit relativ geringem Schadstoffausstoß stehen wenigen Verursachern mit hohem Ausstoß gegenüber. Entsprechend können im Sektor Industrie bereits durch Einzelmaßnahmen messbare Erfolge in Form von Emissionssenkungen erzielt werden. Aus folgender Abbildung geht hervor, dass deutschlandweit in der Gum-

<sup>1</sup> vgl. Internetseiten des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

<sup>2</sup> vgl. Internetseiten des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie

mi- und Kunststoffbranche trotz steigenden Endenergiebedarfs die Emissionen stetig abnehmen<sup>3</sup>. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, diesen Trend zu verstärken.

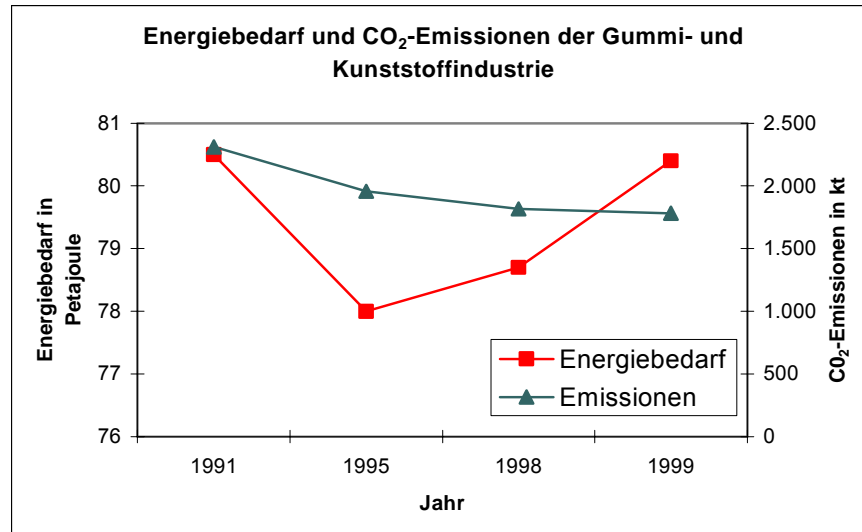


Abb. 2: Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Gummi- und Kunststoffindustrie

Aus einem Artikel von R. HEINZE<sup>4</sup> geht hervor, dass deutschlandweit in der Industrie jährlich ca. 65 TWh elektrische Energie für den Antrieb von Pumpen und Ventilatoren aufgewandt werden. Ausgehend von einem Gesamtstromverbrauch von 462 TWh in Deutschland (Stand 1997, Quelle HEINZE) entspricht dies etwa 14%. Bei angenommenen 178 g CO<sub>2</sub>-Emission pro produzierter kWh Strom<sup>5</sup> bedeutet dies einen Ausstoß von 11,5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>. Da Bayern für rund 10 % der bundesweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich ist, können als grobe Näherung 1,2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen, verursacht durch den industriellen Einsatz von Pumpen und Ventilatoren, angenommen werden.

Neben der Einsparung von Energiekosten können durch den rationellen Einsatz von Energie für Industriebetriebe weitere Vorteile entstehen. Als Beispiele seien genannt<sup>6</sup>:

- Energiekosten senken
- Produktqualität verbessern
- Betriebssicherheit erhöhen
- Wartungs- und Instandhaltungsaufwand senken
- Arbeitsplätze sichern
- Arbeitsschutz verbessern
- Optimierung der Bedingungen für die Kernproduktion
- Innovatives, zukunftsorientiertes Erscheinungsbild des Unternehmens
- Image als ökologisch orientiertes Unternehmen
- Umwelt entlasten
- Wertsteigerung der Immobilie
- Bessere Vermietbarkeit von Produktionsstätten

<sup>3</sup> vgl. Internetseiten des Statistischen Bundesamtes

<sup>4</sup> vgl. HEINZE, R., 2000. Ökologie und Ökonomie in Symbiose

<sup>5</sup> vgl. Internetseiten des Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie

<sup>6</sup> vgl. FEDDECK, P., 1999. Erfolgsfaktoren und Hemmnisse rationeller Energienutzung in Industrie und Gewerbe

Die vorliegende Studie richtet sich in erster Linie an Betreiber und Planer von raumluftechnischen Anlagen, aber selbstverständlich auch an Energieberater und alle, die sich für das Thema „Rationelle Energieverwendung“ interessieren. Ihr Ziel ist es, Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Betrieb raumluftechnischer Anlagen aufzuzeigen und spezifische Energie- und Umweltkennzahlen abzuleiten. Die Maßnahmen werden exemplarisch am Beispiel von ausgewählten RLT-Anlagen eines Partnerbetriebes aufgezeigt. Über ein Messprogramm wurden Verbrauchsdaten der RLT-Anlagen ermittelt, die es ermöglichen, produktspezifische Kennzahlen zum Energieverbrauch anzugeben.

Die Kennzahlen sollen eine Einordnung des Energieverbrauchs von RLT-Anlagen anderer Betriebe der Kunststoffbranche nach dem Prinzip des Benchmarking ermöglichen. Gleichzeitig werden die erhobenen Daten dazu genutzt, um am Beispiel der RLT-Anlagen des Referenzbetriebes betriebswirtschaftlich vertretbare Ansätze zur Energieeinsparung aufzuzeigen.

Da die RLT-Anlagen und die Energieversorgungsstruktur des Partnerbetriebes nur einen kleinen Teil des Spektrums möglicher Anlagenkonstellationen und RLT-Komponenten repräsentieren, werden auch allgemeine Beschreibungen und Kennzahlen zum Thema Raumluftechnik genannt. Über diesen allgemeinen Ansatz können Anregungen und Ergebnisse auf andere Betriebe übertragen werden. Im Beispielbetrieb wurden wirtschaftlich umsetzbare Energieeinsparpotenziale (bezogen auf den Betrieb der RLT-Anlagen) von ca. 30% ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass in anderen Betrieben ähnlich hohe Potenziale zu finden sind.

## 2 Der Partnerbetrieb

Für die praxisnahe Bearbeitung der Aufgabenstellung wurde vom LfU ein Partnerbetrieb gesucht, dessen RLT-Anlagen untersucht und als Beispiel für eine energetische Optimierung herangezogen werden konnten. Außerdem wurde von dem Partnerbetrieb erwartet, dass er Ansprechpartner und Bestandsunterlagen zur Verfügung stellt. Die Wahl fiel auf den Standort Obernburg der Acordis Industrial Fibers GmbH.

Der Konzern Acordis Industrial Fibers GmbH mit Hauptsitz in den Niederlanden stellt Chemiefasern und Spezialprodukte für industrielle, textile, medizinische und hygienische Anwendungen her. Mit einem Umsatz von rund 2,2 Mrd. €, ca. 13.000 Beschäftigten und Produktionsstätten in Deutschland, den Niederlanden, Großbritannien, den USA, Brasilien, Italien und Polen ist Acordis einer der führenden Faserproduzenten auf dem Weltmarkt.<sup>7</sup>

Das Werk in Obernburg wurde 1924 als Produktionsstätte der Bayerischen Glanzstoff-Fabrik AG gegründet. Heute und ist es der größte Standort der Acordis Industrial Fibers GmbH. Am Standort Obernburg sind neun verschiedene Gesellschaften aus den Bereichen Produktion, Service, Energie, Verwaltung und Forschung ansässig. Produziert werden hauptsächlich Nylonfasern, Polyesterfasern und Viskosefasern für technische und textile Anwendungen, die größtenteils in nachgeschalteten Verfahren kundenspezifisch veredelt werden. In geringerem Umfang werden am Standort mikroporöse Produkte und Additive für die Kunststoffherstellung angefertigt.



**Abb. 3: Standort Obernburg; Ausschnitt. Im Hintergrund links das Produktionsgebäude, rechts das Kraftwerk**

<sup>7</sup> vgl. Acordis, Internet

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über Größenordnungen und Dimensionen der Produktion am Standort:

**Tabelle 1: Unternehmenskennzahlen Acordis, Standort Obernburg**

Mitarbeiter	ca. 3.300
Jahresproduktion	ca. 100.000 t Chemiefasern
Werksgelände	1,4 km <sup>2</sup>
Produkte (Beispiele)	Enka Nylon, Enkalon, Diolen, Cordenka
Stromverbrauch	ca. 350 GWh/a
Dampfverbrauch	ca. 1,7 Mio. t/a
Druckluftverbrauch	ca. 230 Mio. Nm <sup>3</sup> /a



### 3 Bedeutung von raumluftechnischen Anlagen

In den nachfolgenden Kapiteln werden in allgemeiner Form die Aufgaben raumluftechnischer Anlagen dargestellt, die Rahmenbedingungen bei der Dimensionierung von RLT-Anlagen genannt und die einzelnen Komponenten von RLT-Anlagen beschrieben.

#### 3.1 Aufgaben raumluftechnischer Anlagen

RLT-Anlagen haben die Aufgabe, Raumluft eines bestimmten Zustandes bereitzustellen. Kriterien können - je nach Anwendung - Frischluft, Reinheit, Feuchte oder Temperatur sein. Es soll in einem Gebäudeteil ein Luftzustand eingehalten werden, von dem der tatsächliche Zustand ohne Behandlung abweichen würde. Der gewünschte thermodynamische Luftzustand kann über einen Punkt oder eine mehr oder weniger große Fläche im  $h, x$ -Diagramm ausgedrückt werden, demgegenüber der tatsächliche Luftzustand als Punkt gegeben ist, der sich ohne Luftbehandlung meist außerhalb der genannten Fläche befindet. Abbildung 4 (nächste Seite) zeigt ein  $h, x$ -Diagramm, wobei der stark umrandete Bereich das sogenannte Behaglichkeitsfeld darstellt.

Bei der Behandlung von Luft kommt es oft zur Überlagerung von thermodynamischen Prozessen (Erwärmen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten). Wie lange und wie oft ein Prozess durchgeführt werden muss und welche Größenordnungen auf physikalischer Seite durchfahren werden, wird von Faktoren innerhalb und außerhalb des Gebäudes bestimmt. Da meist Außenluft am Prozess beteiligt ist, spielen atmosphärische Einflüsse eine wesentliche Rolle. Neben den thermodynamischen Aspekten kommt der Faktor Raumluftqualität hinzu, der sich auf Gaszusammensetzung, Gerüche und Staubgehalte bezieht. Dabei können die Abweichungen vom gewünschten Raumluftzustand bzw. der gewünschten Raumluftqualität verschiedensten Ursachen entwachsen, d.h. es existieren einer oder mehrere Gründe für eine RLT-Installation:

- Frischluftbedarf
- Abtransport von Schad- bzw. Störstoffen
- Wärme- oder Feuchteproblematik (behaglichkeitsbedingt, produktionsbedingt)

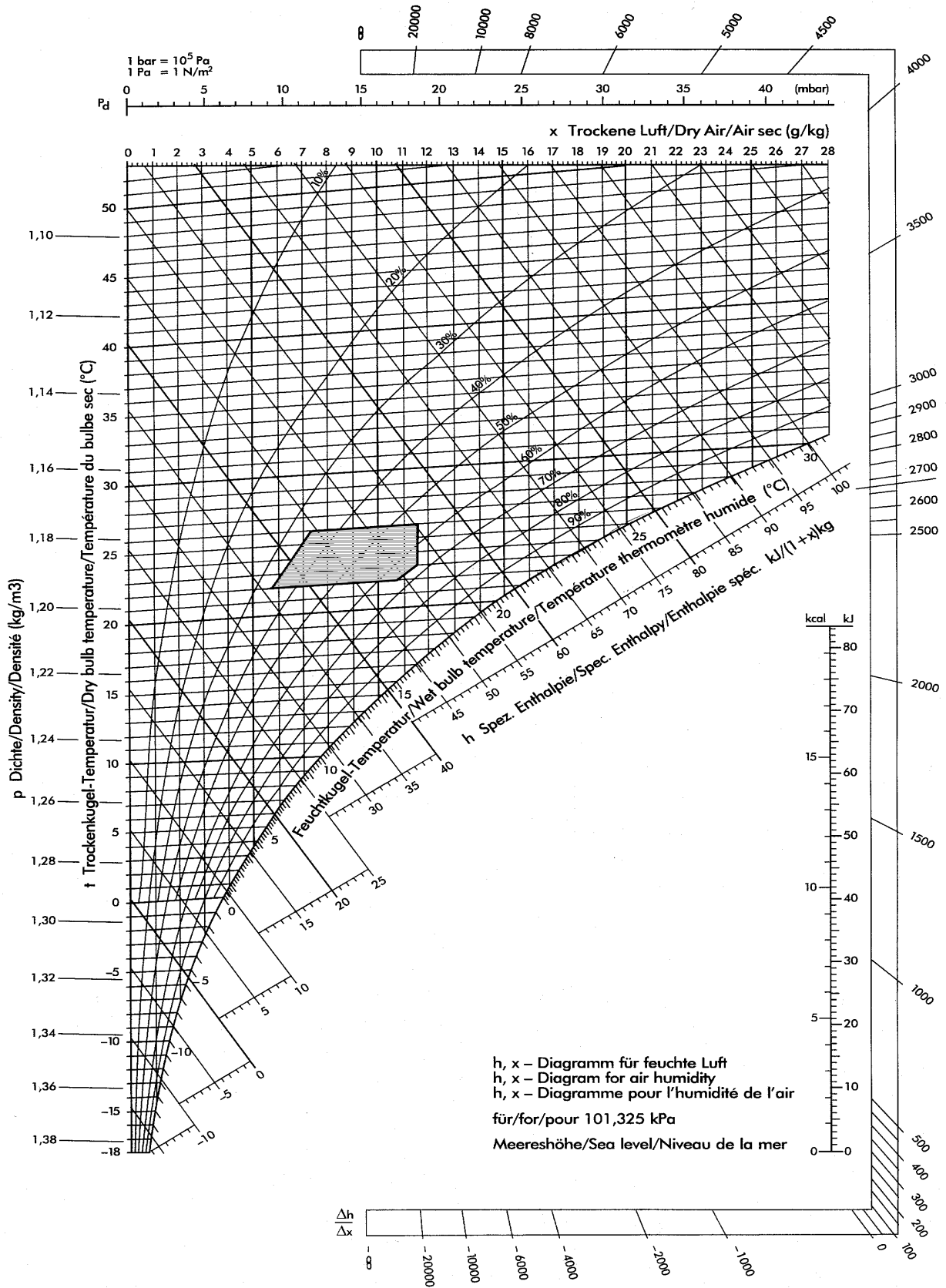


Abb. 4: h, x-Diagramm

### 3.2 Dimensionierung von RLT-Anlagen

In der Regel werden größere Anlagen von einem Ingenieurbüro geplant. Dem Planenden stehen meist mehrere Möglichkeiten der technischen Umsetzung zur Verfügung. Aufgrund vielfältiger möglicher Bauweisen und unterschiedlicher Anwendungsgebiete ergibt sich eine Vielzahl von technischen Umsetzungen und damit Bauarten. Folgende Abbildung zeigt eine mögliche Klassifikation (abgeleitet aus RECKNAGEL<sup>8</sup> und BIASIN<sup>9</sup>) für raumluftechnische Anlagen.

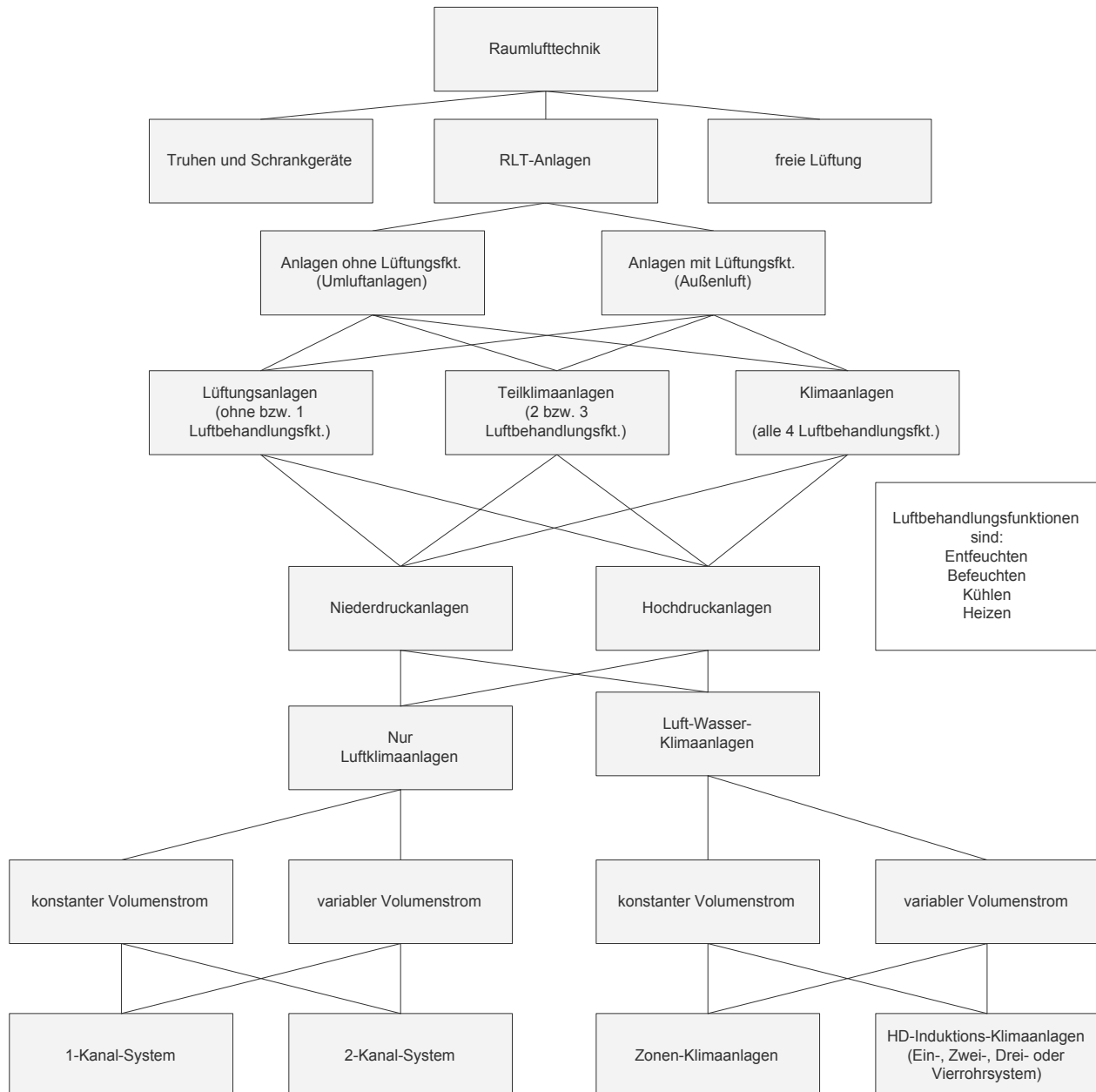


Abb. 5: Klassifikation der Raumluftechnik

<sup>8</sup> vgl. RECKNAGEL et al., 1997. Taschenbuch Heizung- und Klimatechnik, Kapitel 3

<sup>9</sup> vgl. BIASIN et al., 1995. RWE Energie – Bau Handbuch, Kapitel 16

Nicht berücksichtigt in dieser Klassifikation ist der Bereich der Prozesslufttechnik. Hierbei handelt es sich um lufttechnische Anlagen, die nicht den Raum an sich, sondern einen Prozess bedienen. Beispiele für Prozesslufttechnische Anlagen sind z.B. Trockenkanäle, maschinelle Absaugungen, Motorkühlungen oder ähnliches.

Zur Luftbehandlung kommen noch mehrere Rahmenbedingungen, mit denen sich ein Planender bei einer Anlagenauslegung auseinandersetzen muss. Dazu zählen u.a. die Berücksichtigung des Brandschutzes (DIN 4102), des Wärmeschutzes (DIN 4108), des Schallschutzes (DIN 4109) und der Schutzarten (DIN 40050). Zu beachten sind außerdem die Arbeitsstättenrichtlinien, spezifische Kundenwünsche, vorgegebene Gebäudestrukturen sowie Investitions- und Betriebskosten.

### 3.3 Komponentenspezifische Beschreibung von RLT-Anlagen

Je nach Anforderungsprofil können verschiedene Komponenten in RLT-Anlagen verbaut sein. Prinzipiell können diese Komponenten sein:

- Ventilatoren
- Befeuchter
- Entfeuchter
- Kühlerteile
- Erhitzerteile
- Kanalsysteme
- Einbauteile und Zubehör
- Filter
- Mess-, Steuer- und Regelelemente

Im Folgenden werden grundsätzliche Möglichkeiten der Anlagenausführung und die Komponenten hinsichtlich technischer Merkmale mit dem damit verbundenen Potenzial auf wirtschaftlicher und ökologischer Seite genauer beschrieben. Zahlenwerte und Gleichungen stammen, wenn nicht anders angegeben, aus dem Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik von RECKNAGEL et al.

#### 3.3.1 Luftvolumenströme, Klimazentrale und Zentralgerät

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten eine RLT-Anlage zu gestalten: Entweder wird ein Zentralgerät verwendet, mit dem Vorteil, dass die kompletten Luftbehandlungs- und Fördereinheiten von einem Hersteller als kompaktes Gerät geliefert werden, oder die einzelnen Komponenten werden zusammengestellt und in gemauerten Klimazentralen untergebracht. Der Vorteil von Klimazentralen liegt darin, dass die Komponenten einzeln zugänglich sind, entsprechend wird die Wartung vereinfacht und Optimierungen an einzelnen Komponenten können vorgenommen werden. In der Regel weisen in Klimazentralen mit Apparaten geringere statische Druckverluste auf als Zentralgeräte, diese Einsparungen müssen jedoch mit erhöhtem Platzbedarf bezahlt werden.

Wird nicht nur reiner Außenluftbetrieb gefahren, ist eine Mischkammer erforderlich. In der Mischkammer werden die unterschiedlichen Anteile der Luftströme vereint. Die der Kammer zugeführten Ströme bestehen aus Außenluft und/ oder Umluft und werden nach Mischung und Behandlung an die Räume abgegeben. Die aus den Räumen abgeführte Luft (Abluft) wird als Fortluft ins Freie geführt oder als Umluft wieder der Mischkammer zugeführt. In der Lüftungs- und Klimatechnik spielen fünf Arten von Luft eine Rolle:

Außenluft	Luft, die der Atmosphäre entnommen wird
Zuluft	Luft, die dem Raum zugeführt wird
Abluft	Luft, die dem Raum entnommen wird

Umluft                    Luft, die dem Raum entnommen und (nach Behandlung) wieder zugeführt wird  
 Fortluft                 Luft, die an die Umgebung abgegeben wird

Oft werden Anlagen mit veränderlichen Anteilen der einzelnen Ströme gefahren. Die Anteile werden über die Regelklappen variiert. Die Ansteuerung der Regelklappen kann elektrisch und pneumatisch erfolgen.

Nach DIN 1946 soll Umluft nur dann gefahren werden, wenn diese der Qualität der Zuluft entspricht. Da in Räumen eine Verschlechterung der Luftqualität zu erwarten ist, ist in jedem Fall eine gewisse Außenluftfrate erforderlich um den Hygieneluftwechsel sicherstellen zu können. Sind keine Schadstoffemissionen im Gebäude zu erwarten, orientiert sich die erforderliche Außenluftfrate an der Anzahl der im Raum anwesenden Personen. Gibt es Schadstoffemissionen wird anhand der stündlich freigesetzten Schadstoffe (Gase, Stäube, Dämpfe) und der erlaubten maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) der zur Einhaltung der Grenzwerte erforderliche Außenluft-Volumenstrom berechnet.

Außenluftfrate:

- Personenbezogen 20-70 m<sup>3</sup>/h pro Person
- Für Arbeitsräume im Mittel 50% höher (ASR), zusätzlich ist die Einhaltung von MAK-Werten (VDI 2306) zu beachten<sup>10</sup>

Laut DIN 1946 Teil 2 kann die personenbezogene Luftfrate bei Außentemperaturen unter 0°C bzw. über 26°C um 50% verringert werden. Dadurch können erhebliche Einsparungen bei Betriebs- und Investitionskosten erreicht werden.

Neben der Luftqualität sollen auch bestimmte Luftzustände eingehalten werden. Ausschlaggebend für das Wohlbefinden von Personen ist die Empfindungstemperatur. Diese ist abhängig von Faktoren wie Außentemperatur, Alter, Geschlecht, Kleidung etc. Nach DIN 1946 gilt bei leichter körperlicher Tätigkeit folgender Zulässigkeitsbereich der (operativen) Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur, wobei der empfohlene Bereich grau hinterlegt dargestellt ist:

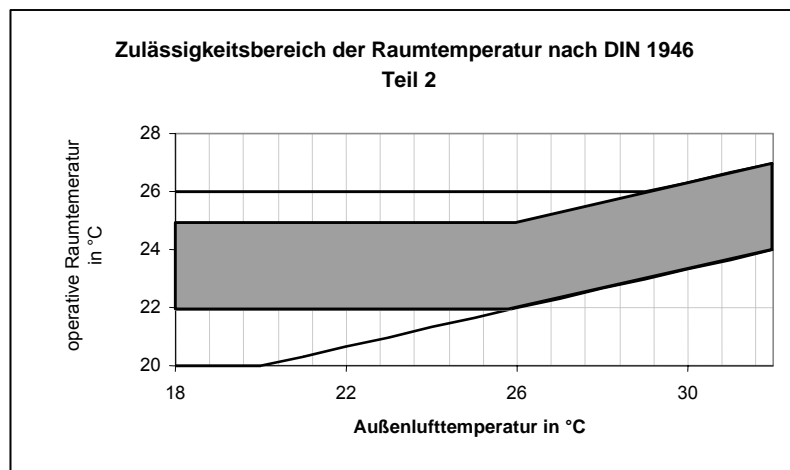


Abb. 6 Zulässigkeitsbereich der Raumtemperatur

Bei industriellen RLT-Anlagen spielen personenbezogene Außenluftfraten oft eine untergeordnete Rolle, da die erforderlichen Luftwechselraten meist von Schadstoffemissionen oder Kühllasten bestimmt werden.

<sup>10</sup> vgl. TÖNSING, N.N., Energieeffiziente Lüftungstechnische Anlagen (PDF.Dokument)

Der durch eine RLT-Anlage durchgesetzte Volumenstrom hat großen Einfluss auf die Kostenstruktur bei Investition und Betrieb. Der Volumenstrom bestimmt die Größe der eingesetzten bzw. einzusetzenden Apparate und Bauteile (Investition) und hat im laufenden Betrieb Einfluss auf den Energiebedarf in allen Bereichen der Anlage, da jeder durchgesetzte  $\text{m}^3$  Luft gefördert und behandelt werden muss. Entsprechend ist die Festlegung oder Hinterfragung von erforderlichen Volumenströme mit den zugehörigen Temperatur- und Feuchtwerten wesentlicher Teil der Anlagenplanung bzw. Optimierung.

### 3.3.2 Ventilator

Ventilatoren haben die Aufgabe Luft zu fördern und müssen dabei die im System auftretenden Druckverluste kompensieren. Eine komplette Einheit für die Förderung der Luft besteht aus dem Ventilator an sich, dem Motor und der dazwischenliegenden Kraftübertragung. Im Wesentlichen wird zwischen den beiden Ventilatorbauarten Radial- bzw. Axialventilator unterschieden, Mischformen können vorkommen.

Von den Herstellern werden auf Versuchsständen Ventilator Kennlinien für jeden Typen angefertigt. Dazu werden die bei verschiedenen Volumenströmen gemessenen Totaldrücke in einem Diagramm aufgetragen. Die Anlagenkennlinie spiegelt die Totaldruckdifferenz der Anlage in Abhängigkeit vom Volumenstrom wider. Die Anlagenkennlinie ist in der Regel im Volumenstrom-Druck-Diagramm eine durch den Nullpunkt gehende Parabel. Meist kann anhand des geforderten Volumenstromes ein Punkt auf dieser Anlagenkennlinie festgelegt werden. Trägt man Anlagenkennlinie und Ventilator Kennlinie im gleichen Diagramm auf, sollte der Schnittpunkt (Betriebspunkt) nahe an diesem Punkt liegen. Im Optimalzustand sollte der Ventilator in diesem Schnittpunkt den höchsten Wirkungsgrad haben. In folgender Abbildung werden beispielhaft Anlagenkennlinien und Ventilator Kennlinien dargestellt, wobei von zwei gleichartigen Ventilatoren im Parallelbetrieb bzw. vom Einzelbetrieb eines der beiden Ventilators ausgegangen wird<sup>11</sup>:

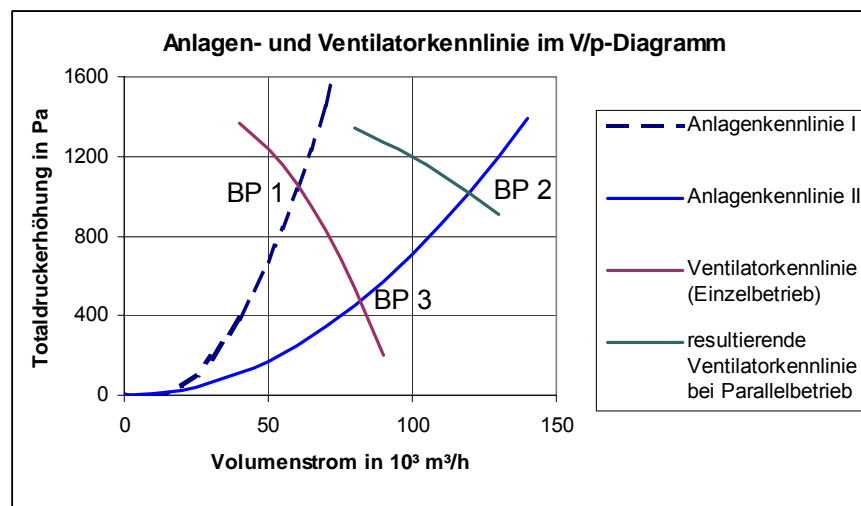


Abb. 7: Anlagen- und Ventilator Kennlinie

Der einzeln betriebene Ventilator hat den höchsten Wirkungsgrad bei BP 1, wäre also optimal in einer Anlage mit Anlagenkennlinie I einsetzbar. Der gleiche Ventilator, allein betrieben in einer Anlage mit Anlagenkennlinie II (BP 3) weist einen wesentlich schlechteren Wirkungsgrad auf.

<sup>11</sup> Beispiel nach Vortragsunterlagen von Ing. J. Lexis; Feucht bei Nürnberg

Wird die zweite, parallele Fördereinheit zugeschaltet, wird Anlage II (BP 2) aus Sicht des Wirkungsgrades optimal bedient:

**Tabelle 2: Ventilatoren im System bei Einzel- und Parallelbetrieb, Beispiel**

Betriebspunkt	BP 1	BP 2	BP 3
Volumenstrom in m <sup>3</sup> /h	60000	120000	80000
Totaldruckerhöhung in Pa	1000	1000	490
Drehzahl in U/min	1020	1020	1020
Antriebsleistung in kW	20,8	2 x 20,8	25
Wirkungsgrad in %	80	80	45,1
Schalleistungspegel in dB	96,5	99,5	99

Für die energetische Optimierung eines Ventilator ist vor allem der Wirkungsgrad entscheidend, der aus dem Verhältnis von der theoretischen Förderleistung zur Leistungsaufnahme des Motors berechnet wird. Es gilt:

$$\eta_L = \frac{\dot{V} * \Delta p_t}{P_L}$$

#### Gl. 1: Ventilatorwirkungsgrad

$\eta_L$	Ventilatorwirkungsgrad	[-]
$P_L$	Wellenleistung des Ventilators	[W]
$\dot{V}$	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /s]
$\Delta p_t$	Totaldruckerhöhung des Ventilators	[Pa]

$$\Delta p_t = \Delta p_{st} + p_{dyn}$$

#### Gl. 2: Totaldruckerhöhung Ventilator

$\Delta p_{st}$	statischer Druck	[Pa]
$p_{dyn}$	dynamischer Druck	[Pa]

$$P_M = \frac{\dot{V} * \Delta p_t}{\eta_L * \eta_M * \eta_W}$$

#### Gl. 3: Motorleistung Ventilator

$P_M$	erforderliche Motorleistung	[W]
$\eta_M$	Motorwirkungsgrad	[-]
$\eta_W$	Antriebswirkungsgrad	[-]

In der Praxis spielen bei der Wahl des Ventilators neben dem Kriterium Wirkungsgrad auch Investitionskosten, Geräuschentwicklung, Platzbedarf, Wartungsintensität und Betriebssicherheit eine Rolle. Je nach Standort, Jahreslaufleistung und Anforderungsprofil an die RLT-Anlage können unterschiedliche Kriterien in den Vordergrund treten.

Anhand der erforderlichen Motorleistung kann der Verbrauch von elektrischer Energie, in Abhängigkeit von der Betriebsdauer, berechnet werden. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass der Ventilator nur eine Betriebsstufe besitzt. Bei mehrstufiger Betriebsweise oder stufenloser Regelbarkeit ist ein komplexeres Vorgehen zur Berechnung des Energieverbrauches notwendig, da hier, je nach eingesetzter Steuer- und Regelungstechnik, unterschiedliche Wirkungsgradketten eine Rol-

le spielen. Vereinfacht kann mit Vollbenutzungsstunden (Vbh) gerechnet werden, d.h. Teillastbetriebsphasen werden auf Vollastbetrieb umgerechnet, Bezugsgröße ist üblicherweise ein Jahr:

$$E = 365 * z * N$$

#### Gl. 4: jährlicher Energiebedarf von Ventilatoren

E	Energiebedarf elektrisch	[kWh]
z	Zahl der täglichen Betriebsstunden	[h]
N	Leistung der Ventilatoren (Motoren)	[kW]

Bei Bestandsanlagen ist ein Teil der oben genannten Kriterien festgelegt. Eine energetische Optimierung ohne Änderung des Anforderungsprofils kann nur dann erfolgen, wenn bei gleichbleibender Förderleistung die erforderliche Antriebsenergie gesenkt wird, d.h. der Wirkungsgrad verbessert wird. Das Spektrum der Gesamtwirkungsgrade (Ventilator, Motor, Übertragung) sollte in Abhängigkeit von der Größe der Anlage betrachtet werden, es gelten folgende Wirkungsgradbereiche:

- Bei kleinen 0,3-0,5
- Bei mittleren 0,5-0,6
- Bei großen 0,6-0,8

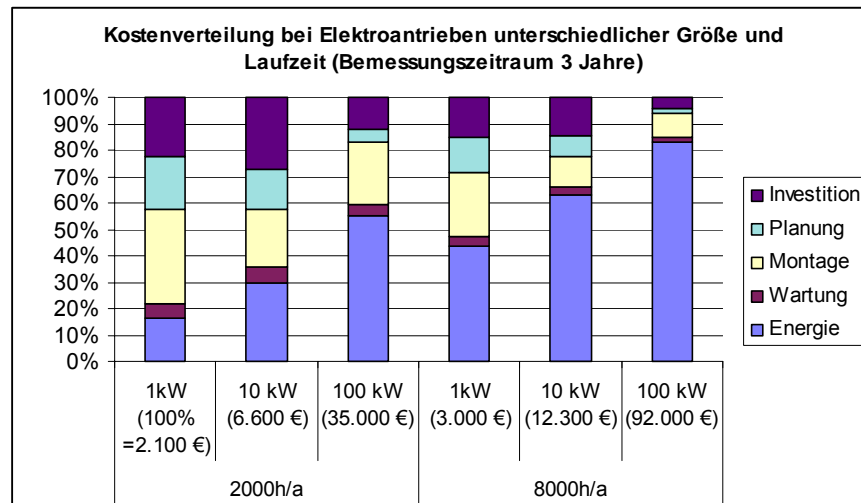
Hochleistungsventilatoren können Wirkungsgrade bis über 0,85 erzielen.

Es ist jedoch nicht grundsätzlich davon auszugehen, dass das theoretisch optimale Ventilatorsystem für jeden Anwendungsfall am Markt verfügbar ist. Dies gilt auch für alle anderen Komponenten einer raumluftechnischen Anlage. Seitens der Kraftübertragung sind die besten Wirkungsgrade bei direktgetriebenen Ventilatoren zu finden, Keilriemen haben die schlechtesten Wirkungsgrade, Flachriemen und Kupplungen liegen dazwischen.

Aus wirtschaftlicher Sicht besteht bei Bestandsanlagen wenig Erfolgsaussicht einen Bestandsventilator durch eine neue, energetisch günstigere Fördereinheit ersetzen zu können. Folgende Grafik bezieht sich auf Elektroantriebe unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher jährlicher Laufzeit, wobei die Kosten auf drei Jahre bezogen dargestellt sind.<sup>12</sup> Der Bemessungszeitraum von drei Jahren wurde gewählt, da erfahrungsgemäß eine statische Amortisationszeit von ca. 3 Jahren in der Industrie als Schwellenwert für die Erwägung einer Maßnahme angenommen wird.

<sup>12</sup> Datengrundlage aus BIENIEK, K. 1999. Life-Cycle Costs elektrischer Industrieantriebe





**Abb. 8: Kostenverteilung von Elektroantrieben unterschiedlicher Größe bei unterschiedlichen Laufzeiten**

Ein wirtschaftlicher Ersatz in Bestandsanlagen ist nur dann gegeben, wenn aufgrund einer Neuanschaffung die Kostenblöcke für Wartung und Energie soweit reduziert werden können, dass die Einsparungen ausreichend sind, um die Blöcke Investition, Planung und Montage decken zu können. Offensichtlich kann dies bei kleineren Anschlussleistungen bzw. geringen jährlichen Laufzeiten nicht erreicht werden, selbst wenn bei einem Ersatz oft auf Teile der Bestandsanlage (Fundamente, Verkabelung, etc.) zurückgegriffen werden kann und dadurch die Montage- und Anschlusskosten reduziert werden können. Bei größeren Anschlussleistungen besteht theoretisch die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Umsetzung, praktisch dürfte es auch hier schwierig sein.

Gelegentlich besteht die Möglichkeit durch Änderungen an Bestandsanlagen an anderer Stelle Einsparungen auf der Ventilatorseite zu erzielen, nämlich dann, wenn die Anlagenkennlinie verändert werden kann. Beispielsweise ermöglicht der Austausch eines Ventilators durch einen sogenannten Leiseläufer ggf. den Verzicht auf einen Schalldämpfer. Dadurch vermindert sich der statische Druckverlust und ein Ventilator mit geringerem Leistungsbedarf kann eingesetzt werden. Entsprechend sinkt die erforderliche Antriebsenergie.

Das Spektrum in der Ventilatorentechnik reicht von Leiseläufern über Modelle mit verstellbaren Schaufelrädern bis hin zu Hochleistungsventilatoren. In der Motortechnik sind Hocheffizienzmotoren erhältlich, die gegenüber Standardmotoren verbesserte Wirkungsgrade, aber auch entsprechende Mehrkosten aufweisen. Der Einsatz von Hocheffizienzmotoren sollte bei Neuanschaffungen überlegt werden, in Bestandsanlagen, insbesondere bei geringen Anschlussleistungen und Laufzeiten, ist der Ersatz eines funktionierenden herkömmlichen Motors meist nicht wirtschaftlich.

In Einzelfällen können in systemübergreifenden Ansätzen auch unkonventionelle Lösungen zu wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen führen. Zum Beispiel konnten in einem Industriebetrieb mit ganzjährigem Wärme- und Lüftungsbedarf die Elektromotoren von zwei Ventilatoren (je ca. 70 kW) mit Riemenantrieb durch zwei Gas-BHKW Module ersetzt werden<sup>13</sup>. Der Gasmotor treibt dabei keinen Generator zur Stromerzeugung an, sondern ist mit einer Turbo-Kupplung direkt mit der Ventilatorwelle verbunden. Hinsichtlich des Energiebedarfs wurde eine Verbesserung in der Wirkungsgradkette erzielt, da zum einen die verlustreiche Verstromung des Energieträgers und die Rückwandlung der elektrischen Energie in mechanische Energie über den Elektromotor entfällt und zum anderen der Wirkungsgrad Kraftübertragung Motor/ Ventilator verbessert wurde.

<sup>13</sup> realisiertes Projekt INGENIEURBÜRO DUSCHL

Da sich die Riemenantriebe in der Vergangenheit als störanfällig erwiesen, wurde gleichzeitig die Betriebssicherheit erhöht. Aus wirtschaftlicher Sicht ergaben sich für den Betrieb bei anlagenübergreifender Betrachtung geringere Wartungs- und Betriebskosten, zudem konnte eine Produktionserweiterung ohne Erhöhung der elektrischen Anschlussleistung erreicht werden.

### 3.3.3 Befeuchter

Befeuchter können prinzipiell als Wasser- oder Dampfsysteme ausgelegt sein. Entsprechend liegen unterschiedliche Verfahren mit unterschiedlichen Bauteilen zugrunde. Folgende Luftbefeuchter-Bauarten sind bekannt:<sup>14</sup>

Verdunstungs-Luftbefeuchter

Zerstäubungs-Luftbefeuchter

- Düsenbefeuchter (Wäscher)
- Zweistoff-Zerstäubungsdüsen
- Mechanische Zerstäuber
- Ultraschall-Zerstäuber

Dampf-Luftbefeuchter

- Eigendampf-Luftbefeuchter
- Druckdampf-Luftbefeuchter

Das Wasser kann durch Zerstäubung oder Verdunstung entweder direkt in den Luftstrom eingetragen werden oder aber zuerst verdampft und dann eingedüst werden. Wird (kaltes) Wasser eingetragen, gibt es einen zusätzlichen Kühleffekt (adiabate Befeuchtung), da der Luft erst eine gewisse Wärmemenge zum Erwärmen des Wassers entzogen wird (ca. 4,2 kJ/kg\*K) und anschließend für die Zustandsänderung des Wassers von flüssig zu gasförmig nochmals Wärme aus dem Luftstrom entzogen wird (ca. 2450 kJ/kg). Die Dampfbefeuchtung läuft nahezu isotherm ab, hat hygienische Vorteile und ist besser regelbar. Relevant ist der Verbrauch an Wasser und Energie für Pumpen und gegebenenfalls für Verdampfer und Druckerzeuger oder Ultraschallzerstäuber. Der Wasser- bzw. Dampfverbrauch wird in kg/h angegeben, die Leistung der Pumpen und Verdampfer in kW.

Der Energiebedarf für die Befeuchtung ergibt sich primär durch den zusätzlichen Wärmebedarf, der Bedarf an elektrischer Energie für Pumpenbetrieb kann analog Gl. 4 bestimmt werden:

$$Q_f = 10^{-6} * G_f * r * V * \rho$$

#### Gl. 5: Wärmebedarf für Befeuchtung

$Q_f$	Befeuchtungswärmebedarf	[GJ/a]
$G_f$	Befeuchtungsgrammstunden	[h/a * g/kg]
$r$	Verdampfungswärme, ca. 2,5 kJ/g	[kJ/g]
$V$	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m <sup>3</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]

In vielen industriellen Anlagen findet man sog. Luftwäscher vor, die neben der Befeuchtung auch die Reinigung der Luft ermöglichen und einen Kühleffekt aufweisen. In einem Luftwäscher kommt die Luft direkt mit strömendem oder zerstäubtem Wasser in Berührung. Es findet sowohl ein Wärme- als auch ein Stoffübergang statt. In welche Richtung diese Übergänge stattfinden, hängt im Wesentlichen von der Wassertemperatur relativ zur Lufttemperatur ab. Eine Reinigungswirkung findet nur für grobe Stäube und einige Gase statt. Eine weitere Wirkung ist der soge-

<sup>14</sup> vgl. RECKNAGEL et al., 1997. Taschenbuch Heizung- und Klimatechnik, Kapitel 3

nannte Lenard-Effekt, d.h. eine elektrische Aufladung der Luft ist möglich. Dies kann je nach Anwendungsfall ein Vorteil oder ein Nachteil sein.

Zu den Vorteilen eines Luftwäschers zählen folgende Punkte:

- guter Kühleffekt bei gleichzeitiger Befeuchtung
- energetisch günstige Befeuchtung bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung

Diesen Vorteilen steht aber eine Reihe von Nachteilen gegenüber:

- hohe Druckverluste (100-200 Pa)
- Eindickung des Wassers durch Salze
- mögliche Keimbildung (hygienische Probleme)
- insgesamt wartungsintensiv
- Abschlammung nötig

Stand der Technik für Befeuchtungsaufgaben sind Hybrid-Luftbefeuchter. Diese Systeme bestehen aus einem Zerstäuber und einem Verdunster. Über Molekularzerstäuberdüsen gelangt das Wasser als gleichmäßiger Sprühnebel aus feinen Wasseraerosolen in den Luftstrom. Für diese Zerstäubung wird ein Druck von ca. 4-8 bar benötigt. Als Verdunstereinheit ist ein V-förmig angeordnetes, aus poröser Keramik bestehendes Abscheiderelement mit sehr großen inneren Oberflächen im Kanal angeordnet. Dieses erhöht den Befeuchtungswirkungsgrad, beeinflusst durch ihre Speicherwirkung das Regelverhalten der Anlage positiv und garantiert gleichzeitig einen aerosolfreien Luftaustritt. Hybridbefeuchter werden oft mit vollentsalztem und somit kalkfreiem Wasser betrieben. Es kann außerdem durch Anreicherung mit Silberionen entkeimt werden. Es ergeben sich geringste Restwassermengen bei maximalen Befeuchterwirkungsgraden und sehr guten Hygienewerten. Über die adiabate Luftbefeuchtung mittels der Hybrid-Luftbefeuchter können daher Anforderungen aus ökonomischer, ökologischer und hygienischer Sicht erfüllt werden.

#### 3.3.4 Entfeuchter

Die Entfeuchtung eines Luftstromes kann prinzipiell auf zwei Arten erfolgen. Entweder wird die Luft bis unter den Taupunkt abgekühlt, d.h. Wasser kondensiert aus und wird dem Luftstrom entzogen, oder es werden Sorptionsstoffe eingesetzt, welche die Feuchtigkeit an sich binden und anschließend regeneriert werden. Meist wird das Verfahren der Taupunktunterschreitung angewandt, wobei es oft ausreichend ist, eine Kühlfläche unterhalb der Taupunkttemperatur im Luftstrom zu haben. Nach der Entfeuchtung wird die Luft wieder auf den gewünschten Temperaturzustand erwärmt. Entsprechend ist die Luftbehandlungsfunktion „Entfeuchten“ sowohl energetisch als auch anlagentechnisch am aufwändigsten.

Mit folgender Gleichung lässt sich der Energiebedarf für die Entfeuchtung abschätzen, die nötige Energie für die Wiedererwärmung der abgekühlten Luft muss zusätzlich berücksichtigt werden:

$$Q_{tr} = 10^{-6} * G_{tr} * r * V * \rho$$

**Gl. 6: Kälteenergiebedarf für die Entfeuchtung**

$Q_{tr}$	Kälteenergie	[GJ/a]
$G_{tr}$	Entfeuchtungsgrammstunden	[h/a * g/kg]
$r$	Verdampfungswärme, ca. 2,5 kJ/g	[kJ/g]
$V$	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m <sup>3</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]

In der Regel ist eine Entfeuchtung der Außenluft nur in den Sommermonaten nötig, d.h. die erforderliche Apparatur wird, sofern sie nicht anderweitig eingesetzt wird, überwiegend vorgehalten. Da für die Taupunktentfeuchtung die Kühlregister mit Temperaturen unter 10°C angefahren werden, ist eine Kältemaschine erforderlich. Dezentrale Taupunktentfeuchter sind oft als Direktverdampfer-System ausgelegt.

**3.3.5 Luftkühler**

Meist wird der Luftstrom für die Kühlung über ein Register gekühlt, wobei gleichzeitig ein Kühlmedium erwärmt wird. Typische Druckdifferenzen von Registern sind unten im Kapitel Luftherhitzer angegeben.

Der Kühlmedienstrom kann geschlossen oder offen sein. Oft wird ein zwischengeschaltetes Kältemittel zur Übertragung eingesetzt, das in Kompressions- oder Sorptionsanlagen rückgekühlt wird. Das lange in Klimaanlage eingesetzt Kältemittel R12 war u.a. Thema der Diskussion um den stratosphärischen Ozonabbau und darf aufgrund des FCKW-Halon-Verbotes nicht mehr eingesetzt werden<sup>15</sup>. Als Ersatzstoff wurde häufig R22 verwendet. Seit dem 1.1.2000 darf aber auch dieser in Neuanlagen nicht mehr eingesetzt werden, die Wiederbefüllung ist nur noch bis 2010 möglich. Deshalb geht die Tendenz mittlerweile zu chlorfreien Substituten wie z.B. R-134a<sup>16</sup>. Kälteanlagen unterliegen den Sicherheitsvorschriften nach DIN 8975<sup>17</sup>. Die Kühlleistung wird in kW angegeben, der offene Kühlmedienstrom (Wasser) in l/h.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs zur trockenen Luftkühlung gilt:

$$Q_k = 10^{-6} * G_K * V * c * \rho$$

**Gl. 7: Kältebedarf für die Luftkühlung**

$Q_k$	Kältebedarf für die Luftkühlung	[GJ/a]
$G_K$	Kühlgradstunden	[hK/a]
$V$	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]
$c$	Wärmekapazität Luft, 1,0 kJ/kgK	[kJ/kgK]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m <sup>3</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]

Eine andere Möglichkeit zu kühlen ist die nasse Kühlung. Dabei findet jedoch meist ein Stoffübergang, wie oben bei den Luftwäschern beschrieben, statt.

<sup>15</sup> vgl. BOTH/MOHN, 1998. Umgang mit Gefahrstoffen, S. 94

<sup>16</sup> vgl. FÖRSTNER, 1995. Umweltschutz Technik, S. 101

<sup>17</sup> vgl. BIASIN, 1995. RWE Bauhandbuch, S. 658

### 3.3.6 Luftherhitzer

Die Luftherhitzung kann über ein Register oder - in seltenen Fällen - direkt durch Brenneinheiten im Kanal erfolgen. Die Erzeugung der Wärmeenergie kann über verschiedene Systeme und unter dem Einsatz unterschiedlicher Energieträger wie z.B. Gas, Öl oder Strom erfolgen. Als Übertragungsmedium bei indirekter Erwärmung wird Wasser oder Dampf eingesetzt. Ggf. ist der Einsatz elektrischer Energie für die Pumpen nötig.

Zwar verursachen Heiz- und auch Kühlregister eine gewisse Druckdifferenz, die vom Ventilator überwunden werden muss, in der Regel wird aber weitaus mehr Energie für die Erzeugung von Kälte bzw. Wärme aufgewandt. Ausnahmen gibt es nur bei relativ langen Anlagenlaufzeiten und relativ kurzen Kühl- bzw. Heizzeiten. Dann können die Stromkosten für den Ventilator die Kältekosten übersteigen, also wenn das Register lediglich ein Hindernis im Luftstrom darstellt, aber keine Luftbehandlungsfunktion erfüllt. In solchen Fällen können schwenkbare Register bzw. Bypässe installiert werden. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Druckdifferenzbereiche von Registern:

**Tabelle 3: Mittlere statische Druckdifferenzen von Registern**

		Druckdifferenz von...bis... in Pa	
Luftherwärmer	Dampf, Heißwasser	20	80
	Warmwasser	40	100
Luftkühler	Brunnenwasser	80	120
	Leitungswasser	80	150
	gekühltes Wasser	50	100

Je länger die jährliche Anlagenlaufzeit ist, desto empfehlenswerter ist es, die Register so zu gestalten, dass die Druckdifferenzen an den unteren Grenzen liegen. Werden die angegebenen Obergrenzen überschritten, so sollte überlegt werden, ob sich ein Austausch der Register oder eine der oben genannten Maßnahmen rentiert. Oft sind Steigerungen des Luftdurchsatzes für Anstiege der Druckdifferenzen verantwortlich. Höhere Luftdurchsätze bedingen in einem bestehenden System Erhöhungen der Luftgeschwindigkeiten und diese wirken sich überproportional auf Apparatwiderstände aus.

Bei zentralen Wärme- bzw. Kälteversorgungsanlagen können Übertragungsverluste eine große Rolle spielen. Insgesamt ist die Wärmebereitstellung entscheidender als das Register an sich. Auf eine ausführliche Beschreibung verschiedener Wärme- bzw. Kälteerzeugungsanlagen wird an dieser Stelle verzichtet, da diese von vielen Rahmenbedingungen abhängig ist, die bei einer allgemeinen Betrachtung nicht gegeben sind.

Der Wärmeenergiebedarf lässt sich wie folgt abschätzen:

$$Q_w = 10^{-6} * G_L * V * c * \rho$$

#### Gl. 8: Wärmebedarf für Luftherhitzung

$Q_w$	Wärmebedarf für die Luftherhitzung	[GJ/a]
$G_L$	Lüftungsgradstunden	[hK/a]
$V$	Volumenstrom	[m³/h]
$c$	Wärmekapazität Luft, 1,0 kJ/kgK	[kJ/kgK]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m³	[kg/m³]

### 3.3.7 Kanalsystem

Das Kanalsystem dient der Luftverteilung und kann in unterschiedlichen Formen und aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. In jedem Fall verursacht das Kanalsystem einen vom Ventilator auszugleichenden Druckverlust, der folgende Hauptursachen hat:

1. Druckverlust aufgrund der Luftreibung an der (geraden) Kanalwand
2. Druckverlust durch Kanal-Formteile (Bogen, Blende, Verengung, Abzweigung, usw.)

Der Druckverlust aufgrund der Luftreibung an der geraden Kanalwand kann relativ als Druckdifferenz  $R$  je Meter Rohr angegeben und wie folgt berechnet werden:

$$R = \frac{\lambda}{d} * \frac{\rho}{2} * w^2$$

#### Gl. 9: spez. Druckverlust im Kanal

$R$	Druckdifferenz durch Reibung	[Pa/m]
$\lambda$	Reibungszahl	[-]
$d$	Rohrdurchmesser (auch gleichwertiger Rohrdurchmesser bei nicht kreisförmigen Rohren)	[m]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m <sup>3</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	Luftgeschwindigkeit	[m/s]

$\lambda$  kann für Strömungen in rauen Kanälen wie folgt berechnet werden:

$$\lambda = \left( \frac{1}{1,14 - 2 \lg \frac{\varepsilon}{d}} \right)^2$$

#### Gl. 10: Reibungszahl

$\varepsilon$	absolute Rauigkeit (Kanalwand)	[mm]
---------------	--------------------------------	------

Der absolute Druckunterschied aufgrund der Reibung ergibt sich aus der Kanallänge und Druckdifferenz:

$$\Delta p_R = R * l$$

#### Gl. 11: Reibungsdruckverlust im Kanal

$l$	Kanallänge	[m]
$\Delta p_R$	Druckverlust durch Reibung	[Pa]

Der Druckverlust durch Kanalformteile (Einzelwiderstände) ist je nach Formteil auf verschiedene Ursachen zurückzuführen (Verwirbelungen, Strömungsablösungen, Sekundärströmungen etc.) und addiert sich zu den o.g. Reibungsverlusten:

$$\Delta p_F = \zeta * \frac{\rho}{2} w^2$$

**Gl. 12: Druckverluste durch Einzelwiderstände im Kanal**

$\Delta p_F$	Druckverlust durch Einzelwiderstand	[Pa]
$\zeta$	Widerstandsbeiwert	[-]

Der Widerstandsbeiwert wird in der Praxis meist experimentell bestimmt. Bei einer Verengung hängt  $\zeta$  beispielsweise von der Art der Verengung (stetig oder plötzlich) und vom Flächenverhältnis (Querschnittsfläche Kanal vor und nach der Verengung) ab. Bei einer stetigen Verengung reichen die Widerstandsbeiwerte je nach Flächenverhältnis von 0,02 bis 0,08. Bei einer Abzweigung wird der Beiwert über Geschwindigkeitsverhältnisse im System (vor und nach der Abzweigung) abgeschätzt und kann bis auf 4,5 ansteigen. Die in der Literatur angegebenen Werte gelten für gleichmäßige parallele Anströmung und können beträchtlich ansteigen, wenn sich die Anströmung anders verhält. Die Druckverluste durch Kanalreibung in geraden Kanälen fallen eher gering aus.

Hervorgehoben werden soll, dass die Luftgeschwindigkeit sowohl bei der geraden Kanalwand als auch bei Formteilen im Quadrat in die Berechnung einfließt und dadurch den Druckverlust wesentlich beeinflusst.

Bei Optimierungen der Komponente Kanal gilt folgende Ursachen-Wirkungskette: Ein kleiner Kanalquerschnitt bedingt hohe Reibungen und dadurch hohe Druckverluste, die sich über den Energieverbrauch des Ventilators ausdrücken lassen. Demgegenüber stehen die Investitionskosten, die um so geringer sind, je kleiner der Kanalquerschnitt ist. Der aus wirtschaftlicher Sicht günstigste Kanalquerschnitt hängt von Preisen (Energie und Material), Widerstandsbeiwerten (Material, Formteile), dem Volumenstrom und der Anzahl der jährlichen Betriebsstunden ab. Über folgende Gleichungen können die jährlichen Stromkosten  $E_K$  und die Kapitalkosten  $A_K$  (als Annuität) bestimmt werden:

$$E_K = \frac{V * \zeta * \frac{\rho}{2} W^2}{\eta_v} * z * a_{EL}$$

**Gl. 13: relative jährliche Energiekosten Kanal**

$E_K$	jährl. Energiekosten	[€/a]
$V$	Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /s]
$\zeta$	Widerstandsbeiwert Kanal	[-]
$w$	Luftgeschwindigkeit	[m/s]
$\eta$	Ventilatorwirkungsgrad	[-]
$z$	Betriebsstundenzahl /a	[h/a]
$a_{EL}$	Strompreis	[€/Wh]
$\rho$	Dichte Luft, ca. 1,2 kg/m <sup>3</sup>	[kg/m <sup>3</sup> ]

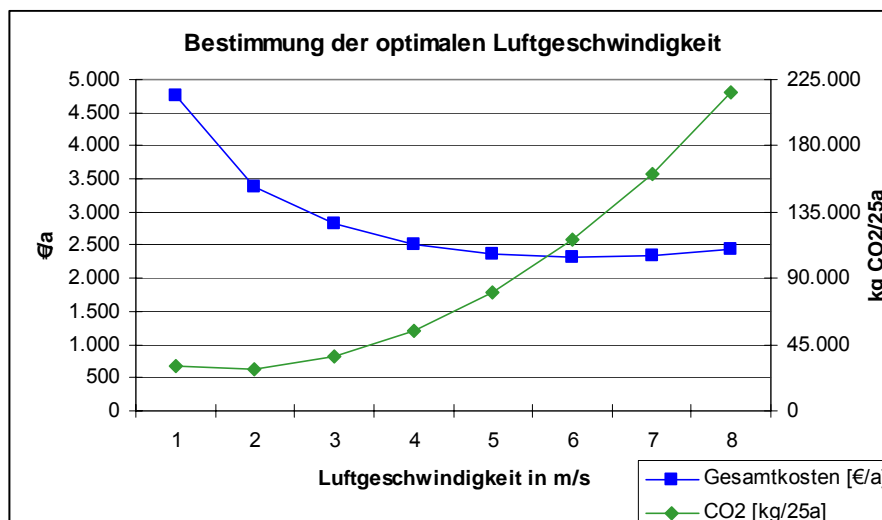
$$A_K = A * a * a_K$$

**Gl. 14: Kapitalkosten Kanal**

$A_K$	Kapitalkosten	[€/a]
$A$	Kanaloberfläche	[m <sup>2</sup> ]
$a$	Annuitätsfaktor	[1/a]
$a_K$	spezifischer Kanalpreis	[€/m <sup>2</sup> ]

Im konkreten Fall werden mehrere Varianten durchgerechnet, wobei sich jeweils zwei Kurven (Investition und Betrieb) ergeben, durch deren Addition man eine Gesamtkostenkurve erhält. Gleichzeitig können durch analoges Vorgehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen für Errichtung und Betrieb beschrieben werden. Die verbaute Masse, berechnet über Materialvolumen und Dichte, kann mit materialspezifischen Öko-Inventardaten verknüpft werden. Dadurch erhält man Emissionswerte für die Herstellung des Kanals. Der relative Strombedarf des Ventilators zur Überwindung der Druckverluste kann ebenfalls mit Inventardaten verknüpft werden, entsprechend erhält man Emissionswerte für die Betriebsphase.

Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für eine solche Gesamtkostenkurve. Ihr Minimum zeigt, bei welcher Strömungsgeschwindigkeit die wirtschaftlichste Variante für den Betrieb erreicht wird - in diesem Fall bei einer Geschwindigkeit von 6 m/s (Kanaldurchmesser 2,5m). Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung des Kanals wurden die GEMIS-Daten für verzinktes Stahlblech herangezogen<sup>18</sup>, für die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Stromverbrauch wurde der Deutschland-Mix zugrunde gelegt. Die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen im Beispiel bei einer Luftgeschwindigkeit von 2 m/s.



**Abb. 9: Optimale Luftgeschwindigkeit im Kanal unter Berücksichtigung von Investitionskosten (Kanal) und Betriebskosten (Ventilator)**

Dieses Beispiel zeigt, dass ökonomisches und ökologisches Optimum oft nicht im Einklang stehen.

Oft ist das Kanalsystem die Komponente einer RLT-Anlage die den größten Massenanteil besitzt. Die bei der Herstellung des Kanals freiwerdenden CO<sub>2</sub>-Emissionen haben bei hohen jährlichen Betriebsstundenzahlen und einer Lebensdauer von ca. 25 Jahren jedoch nur geringen Anteil an den Gesamtemissionen. Aus energetischer Sicht hat die Materialwahl im Betrieb über die Rauigkeit zwar Einfluss auf die Druckverluste, jedoch sind die Auswirkungen im Vergleich zu den Verlusten durch Formteile verschwindend gering. Dementsprechend können Kanalsysteme aus energetischer Sicht vor allem durch eine möglichst geradlinige, formteilarme Führung mit großen Querschnitten optimiert werden.

<sup>18</sup> Software GEMIS 3.x, Bezug über UBA oder Öko-Institut



Beispielsweise konnte in einem Industriebetrieb die Luftverteilung aus einer großzügig angelegten Klimazentrale über einen Doppelboden realisiert werden<sup>19</sup>. Dadurch entstand ein äußerst druckverlustarmes System mit entsprechend geringen Leistungsanforderungen an die Ventilatoren. Auf Schalldämpfer konnte durch diese Kombination verzichtet werden. Die Doppelbodenkonstruktion ermöglicht die beliebige Anordnung von Luftauslässen da die Auslassplatten bei Bedarf mit geringem Aufwand neu arrangiert werden können. Die Nachrüstung einer zusätzlichen Luftbehandlungsstufe (Befeuchter) konnte aufgrund der großzügigen Dimensionierung ohne weitere Änderungen an der Bestandsanlage erfolgen.

In einem anderen Industriebetrieb wurden anstatt eines weitläufigen, verzweigten Kanalsystems mehrere dezentrale Anlagen mit kurzen, geraden Kanälen verbaut<sup>20</sup>. Die einzelnen Anlagen wurden an Brandabschnitte angepasst, auf die ansonsten erforderlichen, wartungsintensiven Sicherungsmaßnahmen (Brandschutzklappen) konnte verzichtet werden. Durch den weitgehenden Verzicht auf Formteile, Brandschutzklappen und durch die stark verkürzten Kanallängen sind die kumulierten Druckverluste geringer als bei einer einzelnen zentralen Anlage. Der energetische Nachteil der schlechteren Wirkungsgrade von Kleinventilatoren konnte in diesem Fall kompensiert werden.

### 3.3.8 Apparate und Zubehör

Bauteile wie z.B. Register, Schalldämpfer, Armaturen, Brandschutzklappen oder Elemente zur Wärmerückgewinnung verhalten sich im System meist ähnlich wie Formteile, d.h. sie verursachen einen mehr oder weniger großen Druckverlust aufgrund einer Störung in der Luftströmung. In der Regel wird der vom Bauteil verursachte Druckverlust vom Hersteller in Abhängigkeit von anderen Größen (z.B. Volumenstrom oder Strömungsgeschwindigkeit) angegeben. Die Druckverluste in einem System ändern sich sowohl mit wechselnden Strömungsgeschwindigkeiten als auch über die Zeit bei konstanten Strömungsgeschwindigkeiten (z.B. durch Verschmutzung von Registern, Filter, etc.).

### 3.3.9 Filter

Filter gibt es in verschiedenen Ausführungen für unterschiedliche Einsatzgebiete: Aktivkohlefilter, Elektrofilter, Rollbandfilter, Fettfangfilter usw. In der Praxis hat es sich als zweckmäßig erwiesen Taschenfilter einzusetzen, da diese viel Filterfläche und damit Staubspeicherfähigkeit bei relativ geringem Platzbedarf bieten. Im Lebenszyklus einer RLT-Anlage wird dieses Bauteil in der Phase Nutzung die kürzeste Lebensdauer haben. Die tatsächliche Standzeit ist schwer abzuschätzen. Sie hängt vom geförderten Volumenstrom, vom Filtermedium, von der Filterfläche und von der Staubkonzentration ab. Gleichzeitig ist das Filter indirekt ein großer Kostenfaktor, da es relativ hohe statische Druckdifferenzen verursachen kann, welche vom Ventilator überwunden werden müssen. Dies schlägt sich im Leistungsbedarf des Ventilators nieder.

Luftfilter werden nach EN 779 in Klassen unterteilt:

<sup>19</sup> realisiertes Projekt INGENIEURBÜRO DUSCHL

<sup>20</sup> realisiertes Projekt INGENIEURBÜRO DUSCHL

Tabelle 4: Einteilung von Luftfiltern

Klasse	alte Bezeichnung	Einteilung
G 1	EU 1	Grobstaubfilter
G 2	EU 2	
G 3	EU 3	
G 4	EU 4	
F 5	EU 5	Feinstaubfilter
F 6	EU 6	
F 7	EU 7	
F 8	EU 8	
F 9	EU 9	
EU 10	Q	Schwebstofffilter
EU 11	R	
EU 12	S	
EU 13	S	
EU 14	ST	
EU 15	T	
EU 16	U	
EU 17	V	

Durch die Staubeinlagerung im Filtervlies steigen die Druckdifferenzen an. Der Verlauf des Druckanstieges ist abhängig von der Filterklasse. Bei Grobstaubfiltern verläuft der Druckanstieg im Verhältnis zur Staubaufgabe annähernd quadratisch, bei Schwebstofffiltern fast linear. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über typische Anfangs- und Enddruckdifferenzen von Taschenfiltern:

Tabelle 5: Anfangs- und Enddruckdifferenzen von Filtern

Einteilung	Anfangsdruckdifferenz in Pa	Enddruckdifferenz in Pa
Grobstaubfilter	30 bis 50	200 bis 300
Feinstaubfilter	50 bis 150	300 bis 500
Schwebstofffilter	100 bis 250	1000 bis 1500

Die Ansprüche an die Luftqualität bestimmen das einzusetzende Filter. Oft wird mit zwei Filterstufen gearbeitet. Innerhalb eines Systems gilt: je feiner das Vlies (höhere Filterklasse), desto größer der Druckverlust. Nach einer gewissen Standzeit wird das Filter gewechselt, d.h. es entstehen Kosten für das neue Filter und Kosten für den Filterwechsel.

Eine vergrößerte Ansichtsfläche verringert die Druckdifferenz, gleichzeitig verlängert sich die Standzeit, demgegenüber stehen allerdings höhere Investitionskosten und ein erhöhter Platzbedarf. Optimiert werden kann aus wirtschaftlicher Sicht in beide Richtungen, d.h. relativ zur Nenngröße können Filter unter- oder überdimensioniert werden, Einsparungen ergeben sich dann entweder auf der Investitionskostenseite oder auf der Betriebskostenseite. Um das Optimum zu finden, müssen verschiedene Varianten gegenübergestellt werden.

Der Energieverbrauch im Betrieb kann nur durch großzügige Dimensionierung gesenkt werden. Die großzügige Dimensionierung hat geringere mittlere Druckdifferenzen zur Folge, die sich positiv auf den Energiebedarf des Ventilators auswirken.

### 3.3.10 Wärmerückgewinnung und Umluftbetrieb

Bei Bestandsanlagen entfällt aus wirtschaftlicher Sicht ein wesentlicher Vorteil der Wärmerückgewinnung (WRG), nämlich die Verringerung der Investitionen für die zu installierenden Leistungen für die Heizung und ggf. auch für die Befeuchtung, die Kühlung und die entsprechende Verrohrung. Aus wirtschaftlicher Sicht wird Wärmerückgewinnung dann sinnvoll, wenn die WRG-Anlage aus den eingesparten Kosten für Heizenergie finanziert werden kann.

In der Regel wird Wärmerückgewinnung bei hohen Außenluftstraten interessant. Aus energetischer Sicht ist eine Wärmerückgewinnung fast immer sinnvoll, das Einsparpotenzial auf der Heizergieseite ist in grober Näherung analog der Rückwärmezahl. Die heizergieseitigen Einsparungen werden größer, wenn z.B. Abwärme aus Produktionsprozessen genutzt werden kann.

Eine andere Möglichkeit Energiekosten zu sparen kann unter Umständen der Umluftbetrieb sein. Umluftbetrieb wird dann interessant, wenn der Luftzustand der Abluft näher am Zustand der Zuluft ist als die Außenluft. Dies gilt sowohl für Wärme als auch für Feuchte. In Produktionsgebäuden ist in der Regel mit einer Verschlechterung der Luftqualität zu rechnen. Da eine Kreislauf-führung von Schadstoffen zu vermeiden ist, spielt der Umluftbetrieb oft eine untergeordnete Rolle.

Für Wärmerückgewinnungselemente spielen neben dem zentralen Parameter „Rückwärmezahl“ noch andere zu berücksichtigende Kenngrößen eine Rolle. Eine Übersicht der häufigsten Bauarten und wichtigsten Eigenschaften nach RECKNAGEL ist in folgender Tabelle aufgeführt:

**Tabelle 6: Kennzahlen und Eigenschaften verschiedener Wärmerückgewinnungstechniken**

	räumliche Nähe Zu- und Abluft nötig	Stoffaus-tausch	mech. bewegte Teile	Rück-wärmezahl in %	mittlere Investkosten in € pro m <sup>3</sup> /h	Platzbedarf in m <sup>3</sup> pro 10000m <sup>3</sup> /h
Plattenwärmetauscher	ja	nein	nein	45-65	0,46	1 - 1,8
Kreislauf-Verbund-System	nein	nein	ja	40-70	0,95	0,8 - 1,4
Wärmerohr	ja	nein	nein	35-70	0,95	0,8 - 1,4
Rotationswärmetauscher (nicht hygroskopisch)	ja	gering	ja	65-80	0,56	1 - 1,6
Rotationswärmetauscher (hygroskopisch)	ja	gut	ja	65-80	0,64	1,1 - 1,6

### 3.3.11 Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Durch die Regelung werden automatisch physikalische Zustände entsprechend den Vorgaben eingehalten. Prinzipiell gibt es drei Hauptregelungs-Arten in der Raumluftechnik:

1. pneumatische Regelung
2. elektrische Regelung
3. mikroelektronische Regelung

Moderne Anlagen werden fast ausschließlich mikroelektronisch (digital) geregelt. Ältere Anlagen arbeiten meist pneumatisch oder elektro-pneumatisch. Diese Technik wird auch heute noch eingesetzt, vor allem dann, wenn die Steuerelemente stark belasteter Luft ausgesetzt sind und elektronische Bauteile nachteilig beeinflusst werden. Wesentlicher Nachteil der pneumatischen Regelung ist, dass sie im Vergleich zur mikroelektronischen Regelung unflexibel ist.

Großes Potenzial liegt in den Neuerungen bzw. Umsetzungen der MSR-Technik. Bedarfsgeregelte Lüftung ist eines der Schlagworte in diesem Zusammenhang: Sensoren (z.B. für den CO<sub>2</sub>-Gehalt) ermöglichen eine kontinuierliche Erfassung des Ist-Zustandes der Luft. Je nach Abweichung vom Soll-Zustand wird nur der tatsächlich erforderliche Luftwechsel realisiert.

Drehzahlregelungen mit Frequenzumrichter bringen zusätzliche Ersparnisse auf der Ventilatorseite bei wechselnden Anforderungen an den Volumenstrom bzw. Druck. Im folgenden Diagramm sind verschiedene Regelmethode dargestellt.<sup>21</sup> Die mit „theoretisch“ bezeichnete Linie beschreibt eine typische Anlagenkennlinie ( $\Delta p$  proportional  $V^2$ ). Nicht berücksichtigt sind Verluste des Antriebsmotors.

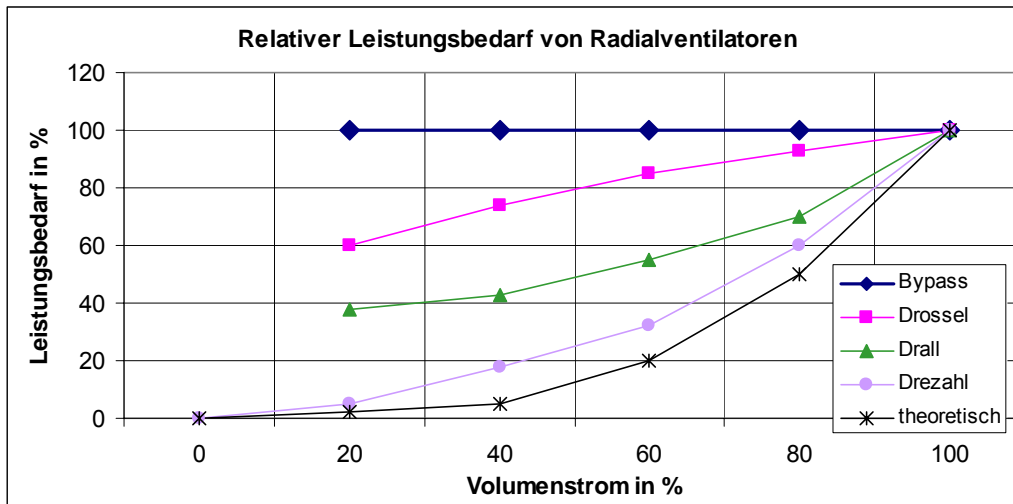


Abb. 10: Relativer Leistungsbedarf von Radialventilatoren bei unterschiedlichen Volumenströmen in Abhängigkeit von der Regelstrategie

Ebenfalls günstig ist eine Steuerung auf Basis einer intelligenten  $h, x$ -Regelung, wobei der jeweils energetisch bzw. kostenmäßig beste Luftbehandlungsweg zum Erreichen eines Zustandes innerhalb eines Sollwertbereiches angestrebt wird. Da die Verfügbarkeit und Kostenstruktur von Energieträgern von Standort zu Standort unterschiedlich ist und verschiedenste technische Möglichkeiten zur Luftbehandlung zur Verfügung stehen, kann keine pauschale Aussage bezüglich einer optimalen Strategie gemacht werden.

<sup>21</sup> RECKNAGEL, S. 1129

## 4 Beschreibung des Produktionsprozesses und der raum- und prozesslufttechnischen Anlagen des Partnerbetriebs

Im Folgenden werden der Produktionsprozess und die Aufgaben der lufttechnischen Anlagen des Partnerbetriebes Acordis am Standort Obernburg beschrieben. Die zu untersuchenden Anlagen stehen dabei eng mit dem Produktionsprozess in Verbindung.

### 4.1 Beschreibung der Produktionsmaschinen und des Prozesses

Die Firma Acordis verarbeitet ca. 40.000 t Granulat pro Jahr zur Herstellung von Fäden (technische Garne). Insgesamt befinden sich 15 Produktionsmaschinen im Gebäude, wobei sich eine Maschine über mehrere Etagen des Gebäudes zieht. Die einzelnen Etagen sind teilweise nur durch Gitterrostböden voneinander getrennt. Beginnend von oben finden folgende Prozesse statt: Über elektrisch beheizte Extrusionsmaschinen werden durch eine Spinnöse Fäden ausgestoßen, die sich im sogenannten Fallschacht frei nach unten bewegen und dabei zur Auspolimerisation abgekühlt werden. Anschließend werden die Fäden erneut erhitzt (Galetten), unter Zug gestreckt, wieder abgekühlt und auf Rollen aufgewickelt. Auf den zu betrachtenden Maschinen werden zwei verschiedene Produkte (Diolen und Nylon) mit unterschiedlichen Anforderungen an die Peripherie hergestellt.

Der Durchsatz der Produktionsmaschinen wird stetig erhöht, wobei letztlich eine Steigerung um fast 95% des ursprünglichen Durchsatz erreicht werden soll. Die Maschinen laufen 24h täglich, inklusive Wochenende. Bei planmäßigem Betrieb kann mit ca. drei Stillständen jährlich gerechnet werden.

Während des Faden-Herstellungprozesses werden verschiedene Energiequellen bzw. Energieträger genutzt. Für den Prozess bzw. für prozessbegleitende Arbeiten werden elektrischer Strom, Druckluft, Wärmeträgeröl, Kühlwasser, Dampf, Reinigungswasser und Lösungsmittel eingesetzt. Von zentraler Bedeutung für die Energieversorgung ist das standorteigene Kraftwerk, welches später noch genauer betrachtet werden wird.

### 4.2 Bedeutung der raumluftechnischen Anlagen im Produktionsprozess

Durch die Extrusionsanlagen und die Transport- und Aufwickelmechanismen der Produktionsmaschinen werden permanent Wärme und Schadstoffe ins Gebäude eingetragen, die über RLT-Anlagen abgeführt werden. Demzufolge haben die RLT-Anlagen am Standort Obernburg mehrere Aufgaben, wobei ein komplexes Gebilde aus Zu- und Abluftströmungen in die bzw. aus den einzelnen Produktionsbereichen entsteht. Die wesentlichen Aufgaben der RLT-Anlagen am Standort sind:

- Abtransport von festen und gasförmigen Schadstoffen
- Beibehaltung eines definierten Raumlufzustandes hinsichtlich Temperatur und Feuchte
- Konstanthaltung von Druckverhältnissen im Raum

Folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau einer Produktionsmaschine mit den zugehörigen RLT-Anlagen:

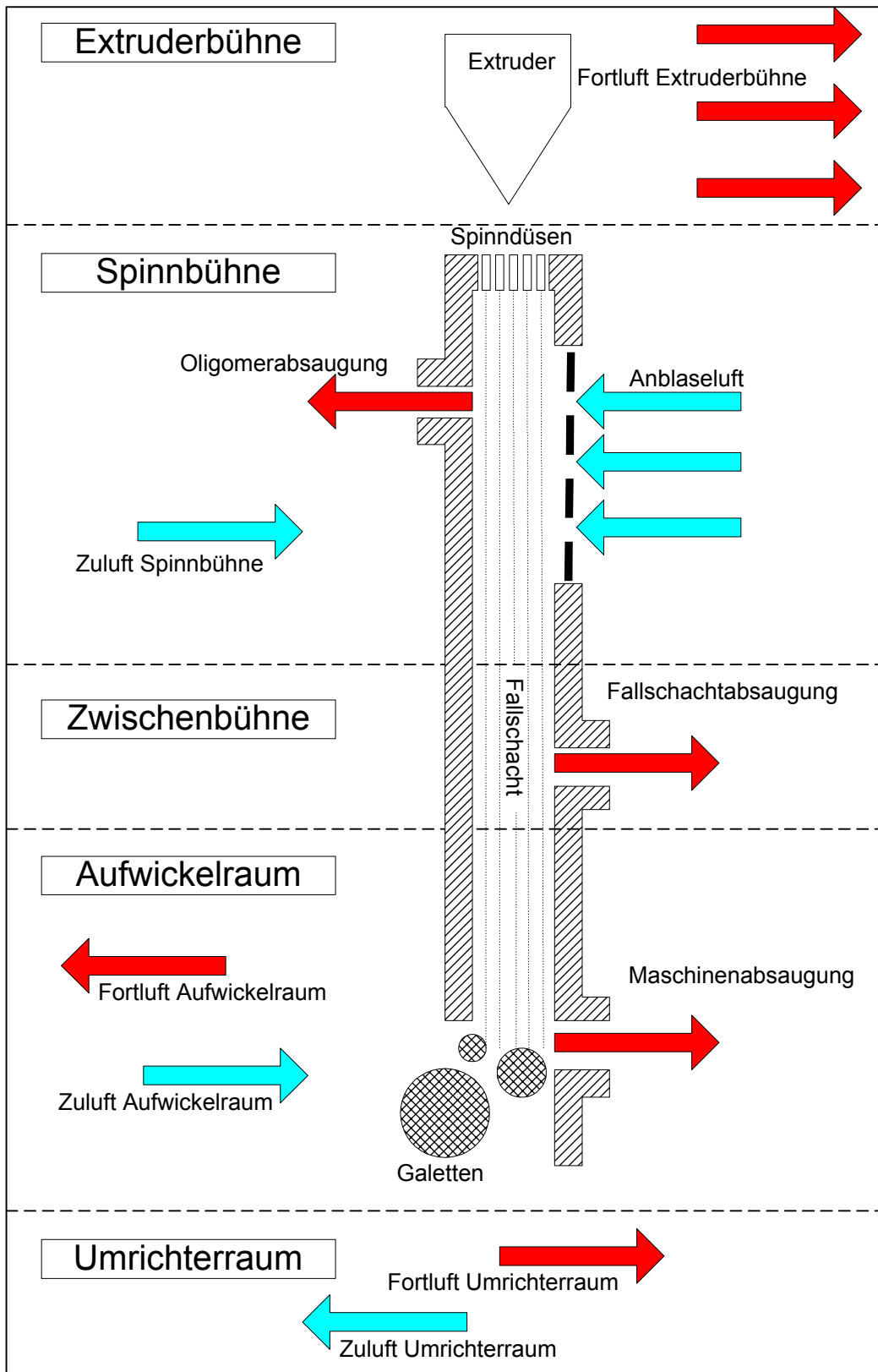


Abb. 11: Schematische Darstellung einer Produktionsmaschine mit den RLT-Anlagen

Die Einhaltung einer minimalen Luftfeuchte soll negativen Effekten aufgrund elektrostatischer Aufladung vorbeugen. Unerwünschte Effekte können z.B. ein Zusammenhaften einzelner Fäden, Anziehen von Stäuben oder Wulstbildungen am Rand der Fadenaufwicklungen, bis hin zu elektrischen Schlägen für die Mitarbeiter sein. Nach oben hin ist die Grenze der Luftfeuchte durch die Tauwasserproblematik gegeben, d.h. Tropfenbildung soll verhindert werden.

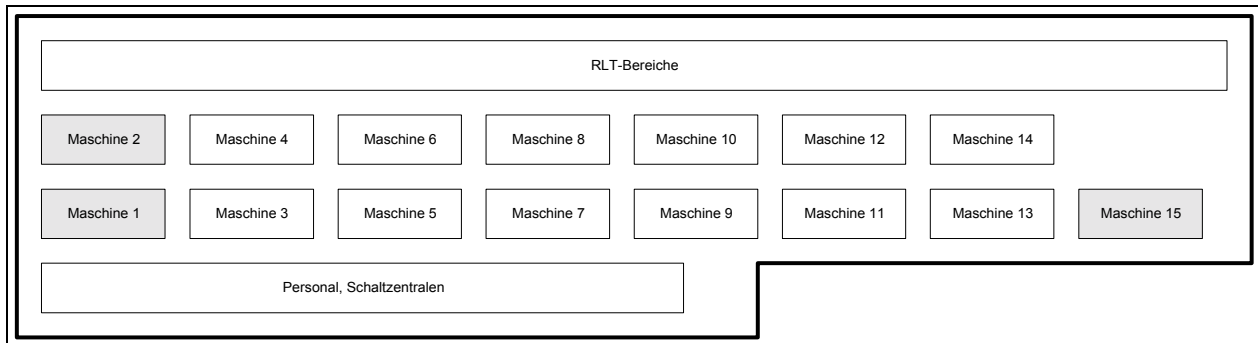
Eine weitere Aufgabe der RLT-Anlagen ist die Druckkonstanthaltung innerhalb des Gebäudes bzw. des Fallschachtes. Die Druckregelung soll verhindern, dass es zu Komplikationen in der Produktion aufgrund sich ändernder Druckverhältnisse kommt. Dies wird im Prinzip dadurch realisiert, dass im Bereich der Aufwicklung und im Abkühlbereich des Fadens ein Überdruck gegenüber dem restlichen Gebäude (Spinnbühne) herrscht. Der Überdruckbereich ist deswegen von zentraler Bedeutung, weil hier das Produkt die Extrusionsanlage verlässt, d.h. an dieser Stelle kommt das noch nicht vollständig ausgehärtete Produkt erstmals mit der (behandelten) Luft in Berührung. Konstante Druckhaltung im Fallschacht verhindert Fadenbrüche und Schwankungen in der Fadenstärke.

Gleichzeitig findet im oberen Bereich des Fallschachtes die sogenannte Oligomerbildung statt, d.h. die Bildung kurzkettiger Moleküle als unerwünschter Nebeneffekt der Polymerisation. Sowohl die Ausbreitung der Oligomere im Raum, als auch ein Anhaften der Oligomere an das Produkt sollen verhindert werden. Bei einigen Maschinen ist eine Oligomerabsaugung realisiert, dennoch kann eine Ausbreitung nicht vollständig verhindert werden.

Für einen reibungsfreien Produktionsablauf wird das Produkt mit wässrigen oder lösungsmittelhaltigen Präparationsmitteln behandelt. Die Einhaltung der MAK-Werte wird durch den Abtransport der Lösungsmitteldämpfe mittels der RLT-Anlagen gewährleistet.

Im Falle der Maschinen 1+2 werden zwei Produktionsmaschinen von insgesamt drei Zuluft fördernden RLT-Anlagen bedient. Zweck von zwei RLT-Anlagen (Spinnbühne und Aufwickelraum) ist es, belastete Luft (feste und gasförmige Stoffe, Wärme) aus dem Gebäude abzutransportieren bei gleichzeitiger Gewährleistung von Feuchte- und Temperatur- Sollwerten, die dritte Anlage (Anblaseluft) dient der Fadenkühlung nach dem Extrusionsprozess. Gerade hier gilt es, die für die Produktion günstigsten Bereiche hinsichtlich Temperatur und Feuchte einzuhalten. Der prinzipielle Aufbau der RLT-Anlagen am Standort Obernburg mit ihren Komponenten entspricht dem klassischen, auf Betriebssicherheit ausgelegten Aufbau industrieller RLT-Anlagen. Wesentlicher Vorteil an diesem Aufbau ist, dass kaum wartungsintensive oder störungsanfällige Bauteile verbaut wurden und auf aufwändige MSR-Technik verzichtet wurde. Regelgrößen sind Feuchte und Temperatur bzw. Taupunkttemperatur, Volumenströme der Zuluftanlagen werden konstant gehalten. Umluft wird nur bei der Anlage Aufwickelraum im Winterbetrieb gefahren.

Die RLT-Anlagen der Maschine 15 wurden zum Teil so konstruiert, dass eine (derzeit nicht existente) Maschine 16 zugeschaltet werden kann. An die RLT-Anlagen werden im Prinzip ähnliche Anforderungen gestellt. Da es Anlagen neuerer Bauart sind, unterscheiden sie sich in ihrem Aufbau etwas von den Anlagen der älteren Maschinen 1+2. Dies spiegelt sich sowohl im grobem Aufbau wieder (Register bei Bedarf ansteuerbar, Bypassbetrieb möglich), als auch in technischen Detailumsetzungen wie z.B. der Verwendung von direktgetriebenen Ventilatoren. Folgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick über die Standorte der Produktionsmaschinen und Bereiche der RLT-Zentralen im Produktionsgebäude.



**Abb. 12: Schematische Übersicht über die Standorte der Produktionsmaschinen im Betriebsgebäude**

Insbesondere die Anblaseluft-Anlagen sind reine prozesslufttechnische Anlagen. Die Anlagen für die Spinnbühne und den Aufwickelraum sollen im Wesentlichen günstige Prozessbedingungen schaffen, doch da in diesen Bereichen auch ständig Personal anwesend ist, müssen zusätzlich hygienische Anforderungen erfüllt werden. Eine bauliche Trennung der Bereiche Spinnbühne, Aufwickelraum und Fallschacht ist nur bedingt gegeben. Die Sollwerte für die Anlagen können aus nachfolgender Tabelle entnommen werden:

**Tabelle 7: Sollwerte für die Anlagen Aufwickelraum, Anblaseluft und Spinnbühne für die Maschinen 1+2 und 15**

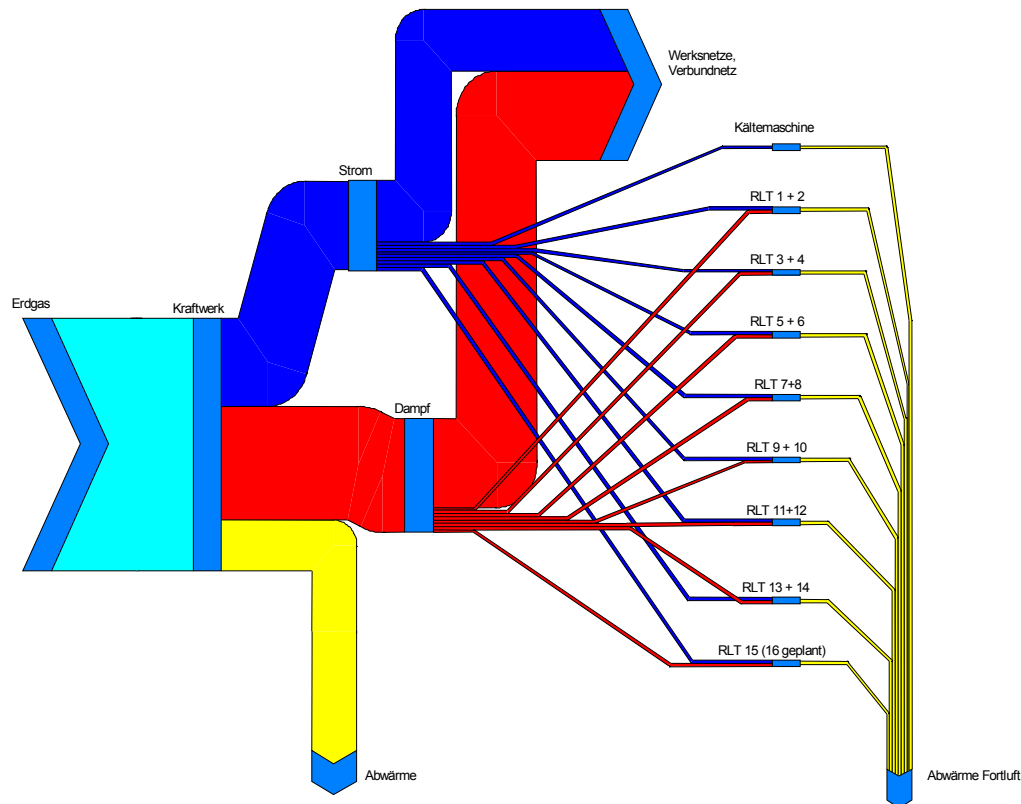
Beschreibung	Temp. Soll [°C]	Feuchte Soll [% rel. F]	Überdruck Soll [Pa]
Aufwickelraum M1+2	21+-1	60+-5	-
Anblaseluft M1+2	15+-2	60+-20	1900
Spinnbühne M1+2	21+-1	60+-5	-
Aufwickelraum M15	23+-1	50+-10	-
Anblaseluft M15	20+-1	50+-10	2800
Spinnbühne M15	21+-1	70+-10	-

Die unterschiedlichen Sollwerte der Maschinen 1+2 bzw. Maschine 15 beruhen auf der Herstellung unterschiedlicher Produkte.

### 4.3 Versorgungsstruktur der RLT-Anlagen am Standort Obernburg

Die RLT-Anlagen werden aus dem standorteigenen Kraftwerk (Kraftwerk Obernburg GmbH) versorgt, welches sowohl elektrischen Strom für Antriebsmotoren, Pumpen und andere elektrische Geräte als auch Dampf für die Heizregister liefert. Das Kraftwerk arbeitet nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung, wobei zuerst über eine Gasturbine ein Generator zur Stromerzeugung (ca. 60 MW, Einspeisung in das Verbundnetz des Überlandwerkes Unterfranken) betrieben wird und im nachgeschalteten Abhitzekessel Dampf (HD 130 t/h, ND 12 t/h) erzeugt wird. Der Dampf wird zum Antrieb weiterer Turbinen (ca. 30 MW) genutzt und wird anschließend als Prozessdampf (3 Schienen, HD, MD, ND) im Werk genutzt. Da ein Großteil des Dampfes ganzjährig benötigt wird, ergibt sich ein Kraftwerkswirkungsgrad von über 80%.





**Abb. 13: Schematische Darstellung der Energieversorgungsstruktur der RLT-Anlagen am Standort Obernburg**

Lediglich ein geringer Teil des am Standort erzeugten Stroms und des Dampfes wird von den RLT-Anlagen genutzt. Wesentliche energiezehrende Komponenten innerhalb der RLT-Anlagen sind Ventilatoren, Register und Luftwäscher. Außerdem wird Druckluft zum Ansteuern von Klappen, etc. genutzt.

Die Luffterwärmung, d.h. die Versorgung der Heizregister erfolgt im geschlossenen Kreislauf (Kondensatrückleitung).

Die Luftkühlung, d.h. die Versorgung der Kühlregister mit Kühlwasser wird auf zwei Arten realisiert:

1. Solange die Temperatur des Mains unter 8°C liegt, wird Mainwasser für Kühlzwecke verwendet
2. Steigt die Temperatur des Mains auf über 8°C, setzt die Ammoniak-Kälteanlage ein

Das Wasser für die Luftwäscher stammt aus betriebseigenen Brunnen. Ein Teil des in die Wäscher eingetragenen Wassers verdunstet (Befeuchtung), ein Teil wird in Form von Abschlämmwasser letztendlich in die Gemeinschafts-Kläranlage „Bayerischer Untermain“ eingetragen.

## 5 Material und Methoden

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bearbeitung der Aufgabenstellung kurz beschrieben.

### 5.1 Anlagenbegehung und Sichtung der Bestandsunterlagen

Ziel war es, einen ersten Eindruck bezüglich Anlagengröße, Zustand, Komponenten und Betriebszuständen zu erhalten, u.a. um das weitere Vorgehen mit den Beteiligten abstimmen zu können. Bei einer ersten Begehung des Betriebes wurden Rahmenbedingungen und der allgemeine Zustand der Anlagen eingeschätzt. Gleichzeitig wurden über Gespräche mit den Betreibern Erkenntnisse bezüglich des Nutzerverhaltens und der Anlagenperformance gewonnen.

### 5.2 Messprogramm

Kernthematik ist das Aufzeigen von Optimierungspotenzial anhand der RLT-Anlagen der Maschinen 1+2, die Maschine 15 dient als Referenzobjekt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden alle wichtigen RLT-Anlagen vermessen. Es handelt sich um die Anlagen Spinnbühne, Anblaseluft und Aufwickelraum. Nicht betrachtet wurden die RLT-Anlagen in den Umrichterräumen, diese sind räumlich von den Produktionsanlagen getrennt. Ebenfalls nicht betrachtet wurden die Absauganlagen der Produktionsmaschinen. Ausgenommen von der Betrachtung sind die Produktionsmaschinen an sich und untergeordnete Medien der RLT-Anlagen wie z.B. Druckluft für die MSR-Technik. Es werden also nur die genannten RLT-Anlagen an sich bilanziert.

Die Auswahl des Messprogramms erfolgte unter Berücksichtigung der o.g. Aspekte. Im Vorfeld der Messungen wurde ein theoretisches Messprogramm als Diskussionsgrundlage erarbeitet. In die von der Firma Acordis zur Verfügung gestellten Anlagenschemata der RLT-Anlagen wurden mögliche Messpunkte eingetragen, mit dem Hintergrund der vollständigen Erfassung aller relevanten Parameter:

- Volumenströme
- Druckdifferenzen innerhalb der Anlage
- Feuchte- und Temperaturdaten vor bzw. nach jeder thermodynamischen Luftbehandlungsfunktion
- Verbräuche und Leistungen der Anlagenkomponenten
- Zustände der Außenluft

Bei einer Begehung mit der durchführenden Firma und Vertretern der Firma Acordis wurden vor Ort die praktisch möglichen Messpunkte festgelegt, dabei wurde das theoretische Programm erheblich abgeändert, d.h. ursprünglich vorgesehene Messstellen wurden aus verschiedenen Gründen – meist aufgrund der Nicht-Erreichbarkeit eines Messstandortes – verworfen. Für die Anlagen Spinnbühne und Aufwickelraum wurde von der Firma Acordis die Erlaubnis erteilt kurzzeitig Register unter Dampf zu setzen, während an der Anlage Anblaseluft keinerlei Eingriffe erlaubt werden konnten. Entsprechend konnten an dieser Anlage auch keine Überprüfungen der Registerleistungen erfolgen.

Bei der eigentlichen Durchführung der Messungen wurden weitere Messstellen und Messparameter verworfen, vor allem um die Produktion nicht zu gefährden. Im Einzelnen wurden folgende Werte erfasst bzw. konnten aus nachfolgend genannten Gründen nicht erfasst werden:

**Anlage Anblaseluft:**

Da die Gefahr einer Störung, welche einen Produktionsstillstand nach sich ziehen würde, zu groß war, wurde auf die Messungen in den elektrischen Schaltschränken verzichtet. Druck- und Volumenstrommessungen wurden wie geplant durchgeführt.

**Anlage Spinnbühne:**

Druck- und Volumenstrommessungen und Messung der elektrischen Parameter wurden wie geplant durchgeführt.

**Anlage Aufwickelraum:**

Das Heizregister in der Anlage Aufwickelraum war für Reparatur- und Reinigungszwecke außer Betrieb, weswegen eine Messung an diesem Register nicht durchgeführt werden konnte. Druck- und Volumenstrommessungen und elektrische Parameter wurden wie geplant vermessen.

## 6 Darstellung der Messergebnisse

Wesentliche Ergebnisse werden im Folgenden grafisch aufbereitet dargestellt.

### 6.1 Volumenströme und Druckdifferenzen

Volumenströme und Druckdifferenzen sind die Größen, die letztendlich den einzusetzenden Ventilator beschreiben. Zudem kann bei bekanntem Volumenstrom der Luftwechsel im Gebäude bestimmt werden. Im folgenden Diagramm sind die Volumenströme der raumlufttechnischen Anlagen für die Maschinen 1+2 dargestellt.

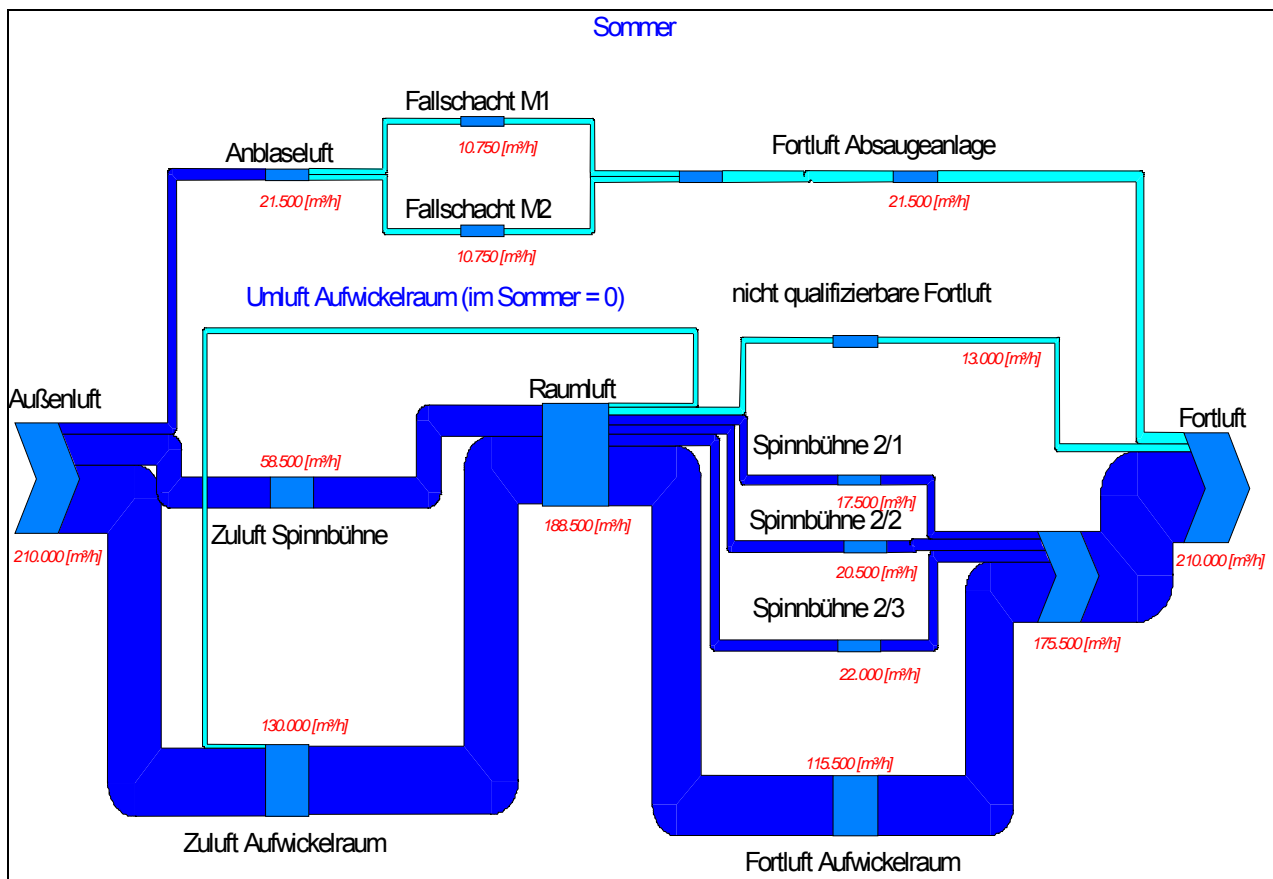


Abb. 14: Schematische Darstellung von Luftströmen der RLT-Anlagen im Sommer, Maschinen 1+2; Gemessene Ströme sind dunkel, geschätzte Ströme hell dargestellt.

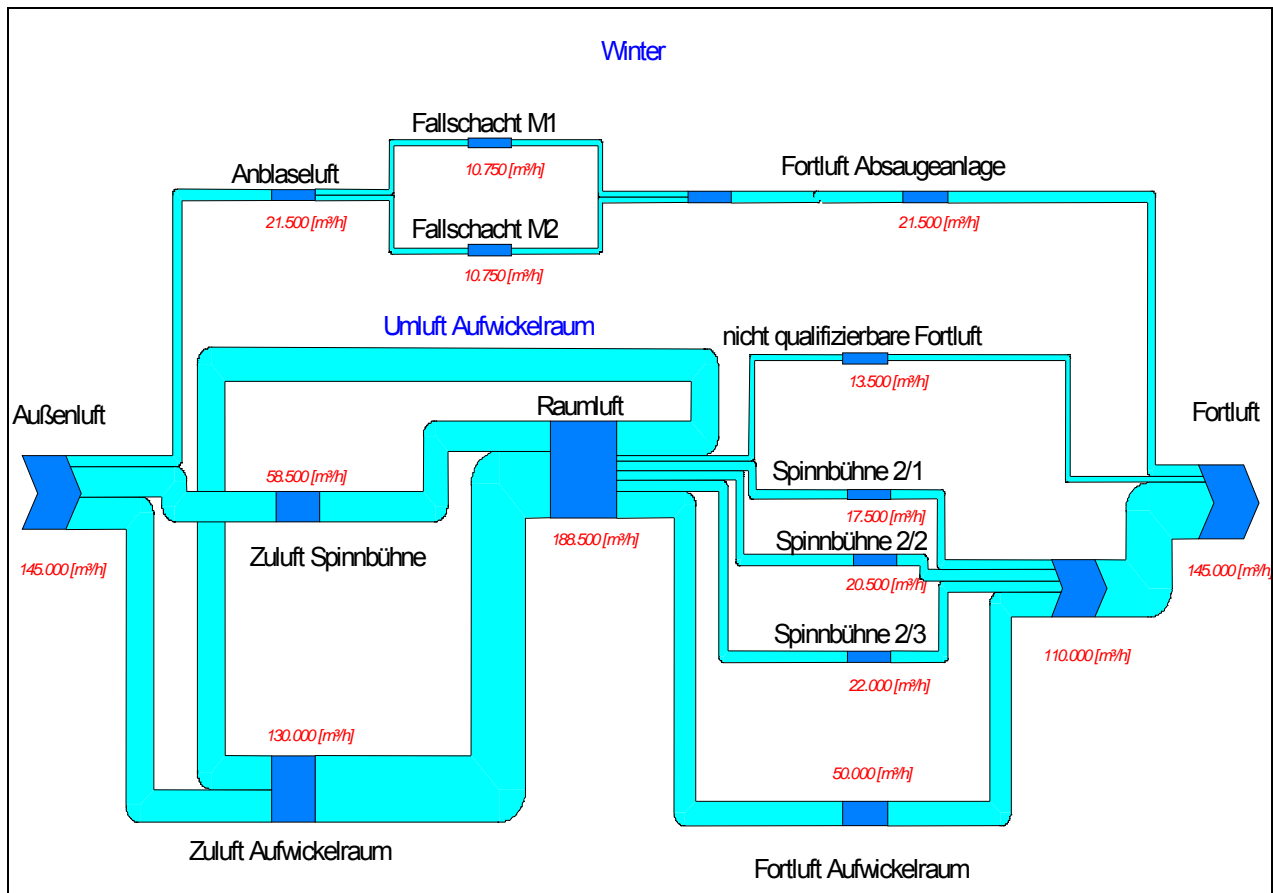


Abb. 15: Schematische Darstellung von Luftströmen der RLT-Anlagen im Winter, Maschinen 1+2

Für die Zuluftanlagen konnten folgende statische Druckdifferenzen ermittelt werden:

Tabelle 8: Statische Druckdifferenzen der Komponenten (Maschinen 1+2)

	Filter- stufe I	Heiz- register	Luft- wäscher	Luft- kühler	Nach- erhitzer	Filter- stufe II	Auslass, Druck, Kanal	Summen
Druckdifferenz der Komponenten Anblaseluft in Pa	70	30	300	250	200	150	2.150	3.150
% Anteil	2,2%	1,0%	9,5%	7,9%	6,3%	4,8%	68,3%	100,0%
Druckdifferenz der Komponenten Spinnbühne in Pa	10	40	55	-	-	-	15	120
% Anteil	8,3%	33,3%	45,8%	-	-	-	12,5%	100,0%
Druckdifferenz der Komponenten Aufwickelraum in Pa	100	100	100	-	100	-	450	850
% Anteil	11,8%	11,8%	11,8%	-	11,8%	-	52,9%	100,0%

Die anteilig relativ hohen Druckdifferenzen (68%) im Bereich des Auslasses bei der Anlage Anblaseluft sind eine Folge der spezifischen Produkteigenschaften und der Prozessführung. Da die Anblaseluft direkt in die Produktionsmaschine bzw. auf den gerade gesponnen Faden bläst, ist ein speziell angefertigtes siebähnliches Luftauslasssystem installiert, das die Luftmassen

gleichmäßig von mehreren Seiten an das Produkt bringt. Außerdem wird dieser Bereich aus o.g. Gründen im Überdruck gehalten. Bei der Anlage Aufwickelraum ist die Luftverteilung und der Luftauslass für rund 53% der Verluste verantwortlich. Hier könnte sowohl der relativ hohe Volumenstrom im Verhältnis zum Kanal und Auslasssystem eine Rolle spielen, als auch die Vorgabe an die Differenzdruckhaltung im Gebäude. Im Bereich Spinnbühne wurden nur 15 Pa (12,5%) gemessen, hier sind im Vergleich zur Anlage Aufwickelraum umgekehrte Verhältnisse anzunehmen. Da in den relevanten Bereichen (Kanalsystem und Auslässe im Produktionsbereich; Produktionsbereich) keine Messungen vorgenommen werden konnten, bleibt diese Frage offen.

Lässt man den Auslassbereich außer Acht, verbleiben an der Anlage Anblaseluft noch immer 1.000 Pa statischer Druck, verursacht durch die Luftbehandlungskomponenten. Im Vergleich zu den anderen Anlagen sind bei dieser Anlage zwei bzw. drei zusätzliche Komponenten (2. Filterstufe, Nachbehandlungsstufen) verbaut. Die Kühlregister wurden offensichtlich nachträglich installiert oder erneuert, wobei aus Leistungs- und Platzgründen eine Mehrteilung der Register (4 Ebenen, pro Ebene ca. 62 Pa) vorgenommen wurde, entsprechend ist die Druckdifferenz im Rahmen. Gleiches gilt für die Nacherhitzer. Da es sich bei der zweiten Filterstufe um EU7-Filter handelt, sind bei gleicher Ansichtsfläche grundsätzlich höhere Druckdifferenzen als bei EU5-Filtern anzunehmen. Der Druckverlust des Heizregisters mit gemessenen 30 Pa liegt am unteren Rand der Literaturkennwerte und ist ein guter Wert. Der Luftwäscher der Anlage Anblaseluft liegt mit gemessenen 300 Pa 50% über den oberen Kennwerten. Die Anlage Anblaseluft ist für einen reibungsfreien Produktionsablauf unverzichtbar, d.h. während bei den anderen Anlagen ein kurzzeitiges Abschalten für Wartungsarbeiten möglich ist, muss die Anlage Anblaseluft permanent durchlaufen. Es ist anzunehmen, dass zum Zeitpunkt der Messungen die Tropfenabscheider und Gleichrichter des Wäschers aufgrund von Kalkablagerungen gegenüber dem Optimalzustand erhöhte Druckdifferenzen aufwiesen. Zudem wurde bei der Erstdimensionierung der Anlage von einem Volumenstrom ausgegangen der rund 40% unter dem heutigen Luftdurchsatz lag. Diese Volumenstromsteigerung hat ebenfalls größere Druckdifferenzen zur Folge.

Die Druckdifferenzen sämtlicher Komponenten der Anlage Spinnbühne liegen fast im optimalen Bereich, d.h. nahe an der Untergrenze der Literaturkennwerte. Im Gegensatz zur Anlage Anblaseluft wurde hier der Luftvolumenstrom gegenüber der Erstausslegung um ca. 40% reduziert. Bei dieser Anlage werden die Vorteile einer großzügig dimensionierten Klimazentrale hinsichtlich Druckdifferenzen offensichtlich. Insbesondere der Luftwäscher ist mit 55 Pa Druckdifferenz als „überdimensioniert“ einzuschätzen, was zwar Vorteile hinsichtlich der theoretischen Luftförderleistung hat, allerdings werden die energetischen Vorteile auf der Ventilatorseite durch die große Wäscherpumpe relativiert.

Bei der Anlage Aufwickelraum wurden die ursprünglich vorgesehenen Volumenströme beibehalten. Während der Wäscher mit 100 Pa eine passable Druckdifferenz aufweist, sind die an den Heizregistern gemessenen Werte aus energetischer Sicht als zu hoch einzustufen. Nach Durchführung der o.g. Wartungs- und Reinigungsarbeiten dürften etwas geringere Werte gemessen werden. Um die gleiche Heizleistung bei geringeren Druckdifferenzen installieren zu können, müsste mehr Platz für die Klimazentrale bereitgestellt werden.

## 6.2 Leistungsbild Ventilatoren

In nachstehender Tabelle sind die Verbrauchs- und Leistungswerte für die Ventilatoren der Anblaseluft Maschine 1+2 dargestellt. Wie beschrieben konnte die Leistungsaufnahme der Ventilatoren bzw. deren Motoren zur Förderung der Anblaseluft nicht gemessen werden, entsprechend wurden die Leistungen berechnet. Zur Berechnung der Wirkungsgrade wurden die theoretischen Förderleistungen ins Verhältnis zu den an den Motoren gemessenen Werten gesetzt. Anzumerken ist, dass die zur Berechnung der theoretischen Förderleistung erforderlichen dynamischen Druckanteile geschätzt bzw. Datenblättern entnommen wurden.

**Tabelle 9: Mess- und Rechenergebnisse Ventilatoren, Maschine 1+2**

Bereich	Fördermenge Luft (m³/h)	$\Delta p$ (Pa)	Förderleistung theoretisch (kW)	Wirkungsgrad (%)
Anblaseluft (Zuluft, 3 parallel betriebene Ventilatoren)	21.469	3.300	19,7	67%
Spinnbühne 1 (Zuluft, 1 Ventilator)	58.600	250	4,1	69%
Aufwickelraum (Abluft, 1 Ventilator)	115.762	600	19,3	74%
Aufwickelraum (Zuluft, 2 parallel betriebene Ventilatoren)	129.517	1.150	41,4	80%
Extruderbühne 1 (Abluft, 1 Ventilator)	17.355	85	0,4	20%
Extruderbühne 2 (Abluft, 1 Ventilator)	20.442	85	0,5	23%
Extruderbühne 3 (Abluft, 1 Ventilator)	22.083	85	0,5	25%

Da die Förderleistung für das Produkt aus Fördermenge und Druck steht, kann auch bei kleinen Volumenströmen eine große Förderleistung nötig sein. Offensichtlich wird dies, wenn man die Anlage Anblaseluft mit einer der Abluftanlagen Extruderbühne vergleicht: Bei annähernd gleichen Volumenstrom müssen die Ventilatoren der Anlage Anblaseluft wesentlich größere Druckdifferenzen überwinden und damit eine höhere Leistung erbringen als die Ventilatoren der apparatefreien Abluftanlagen der Extruderbühne. Der augenscheinlich schlechte Wirkungsgrad im Bereich der Extruderbühne ist primär darauf zurückzuführen, dass es sich bei einer theoretisch benötigten Förderleistung von 0,5 kW um relativ kleine Anlagen handelt.

Für alle anderen Anlagen wurden gute Wirkungsgrade ermittelt, wobei die Anlage Aufwickelraum (Zuluft) mit 80% den höchsten Wirkungsgrad aufweist. Es handelt sich bei dieser Anlage mit 41 kW theoretischer Förderleistung um eine relativ große Anlage mit einem Hochleistungsventilator. Der Wirkungsgrad liegt im Rahmen der Literaturkennwerte, doch in Anbetracht des Anlagentalters und Anlagenzustandes erscheint dieser Wirkungsgrad sehr hoch. Die Wirkungsgrade der anderen Anlagen entsprechen in etwa den Erwartungen.

### 6.3 Temperatur und Feuchte

Folgende Abbildungen zeigen Temperatur und Feuchteverläufe (Sommer- und Winterbetrieb, je eine Woche) für die RLT-Anlagen Anblaseluft der Maschinen 1+2. Die Temperatur- und Feuchteverläufe der RLT-Anlagen von Maschine 15 sind für die gleichen Zeiträume im Anhang hinterlegt. Die Ober- und Untergrenze des Sollwertbereiches wird durch die gestrichelten Linien angezeigt.

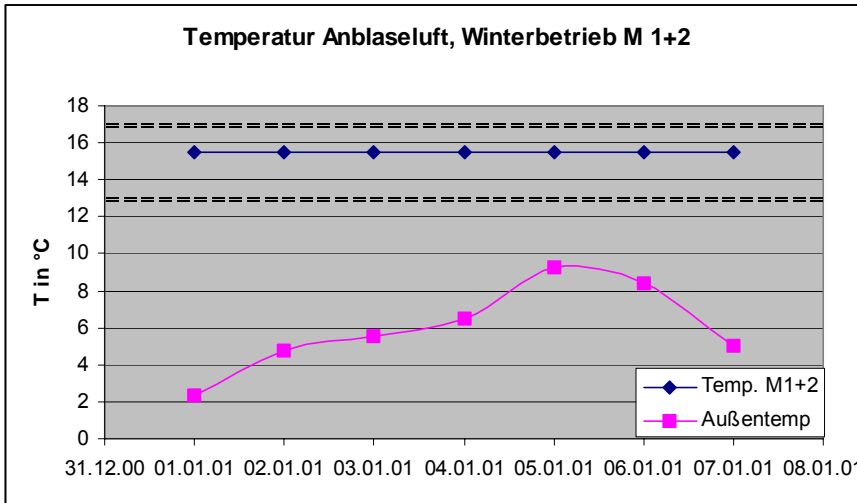


Abb. 16: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M1+2, Winterbetrieb

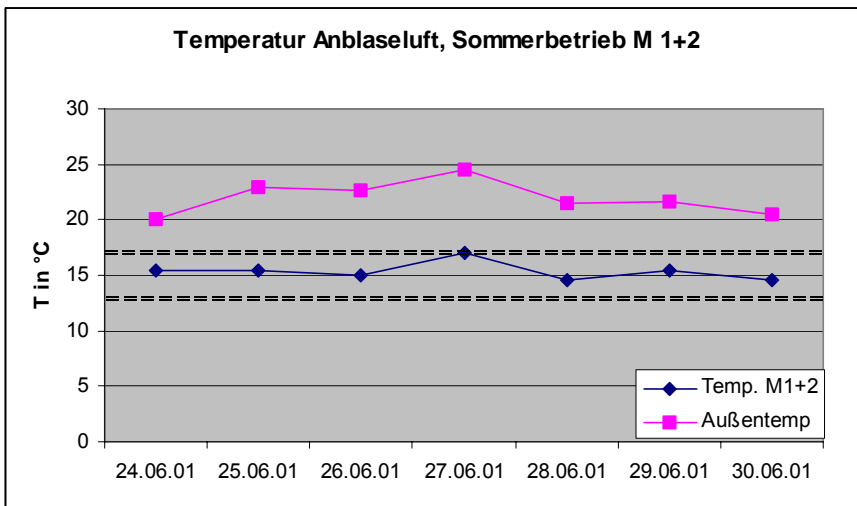


Abb. 17: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M1+2, Sommerbetrieb



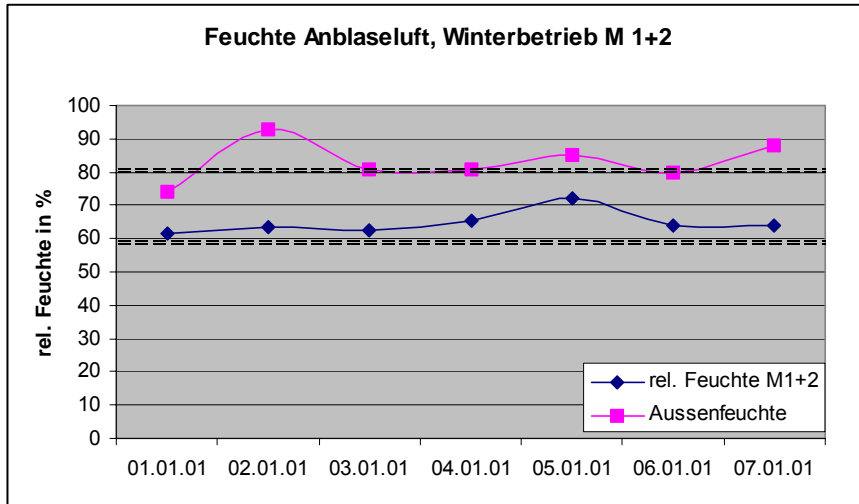


Abb. 18: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M1+2, Winterbetrieb

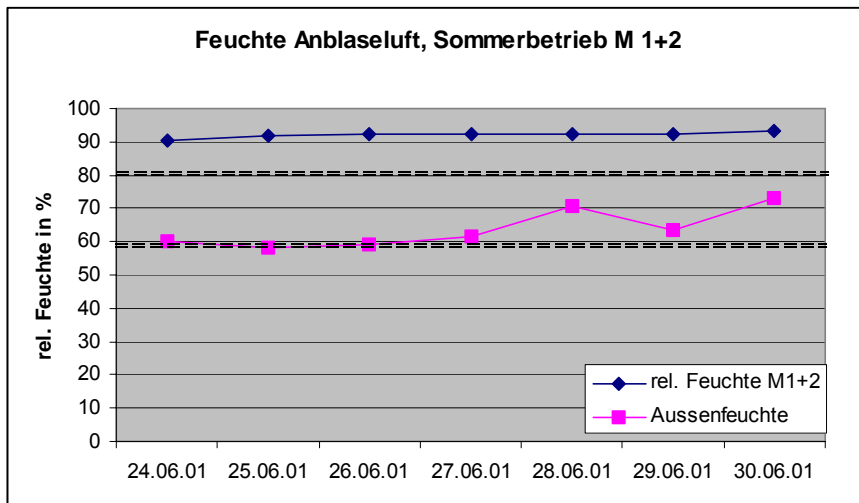


Abb. 19: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M1+2, Sommerbetrieb

Aus Abb. 16 geht hervor, dass die Temperaturwerte für die Anblaseluft der Maschinen 1+2 sich im Winter im Sollwertbereich bewegen und scheinbar nicht von der jeweiligen Außentemperatur beeinflusst werden. Im Sommer liegen die Werte auch im Sollwertbereich, reagieren aber auf die Außentemperatur. Bei obigen Darstellungen handelt es sich um Mittelwerte, tatsächlich wurde der Sollwertbereich zeitweilig überschritten. Maschine 15 weist sowohl im Sommer- als auch im Winterbetrieb einen wesentlich stabileren Temperaturverlauf auf, hat jedoch andere Sollwertvorgaben als die Maschinen 1+2. Feuchtprobleme treten bei beiden Anlagen lediglich im Sommerbetrieb in Form von zu hohen Werten auf. Die Feuchtwerte der Anblaseluft für Maschine 1+2 lagen im dargestellten Zeitraum immer über dem zulässigen Grenzwert von 80% mit Maximalwerten von 100% relativer Feuchte.

### 6.4 Jahresverbrauch an Medien und Energie

Da durch die RLТ-Anlagen überwiegend Außenluft durchgesetzt wird, hängt der Energieverbrauch stark vom Zustand der Außenluft ab. Vom LfU wurden Daten der Klimastation Aschaffenburg für Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in Form von halbstündlichen Mittelwerten zur Verfügung gestellt. Diese sollen als Grundlage für die Abschätzung der Jahresverbräuche dienen. Als Referenzjahr für die Darstellung wurde das Jahr 2000 gewählt. Folgendes Diagramm zeigt den Feuchte- und Temperaturverlauf im Jahresgang:

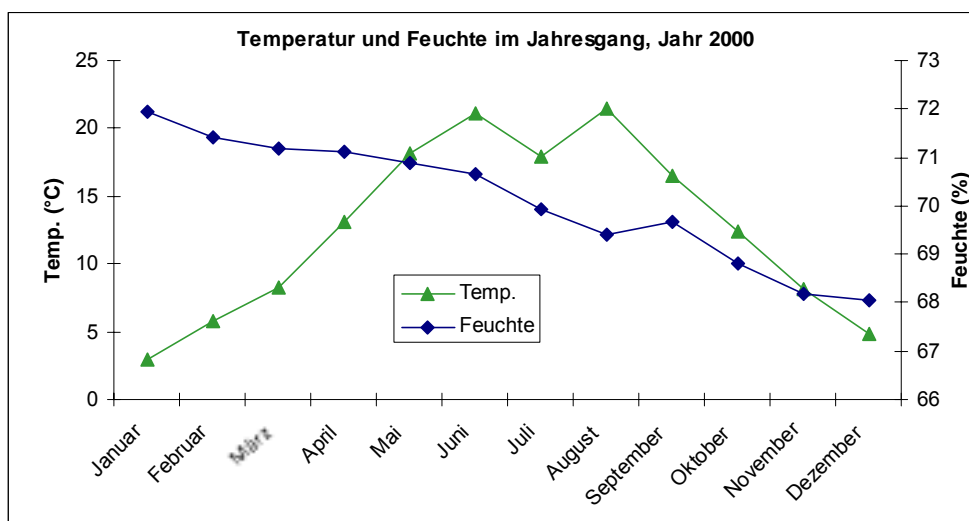


Abb. 20: Monatsmittelwerte für Temperatur und Feuchte im Jahr 2000

Die Bildung von 6h Mittelwerten aus halbstündlichen Werten sollte hinreichend genau sein um Temperatur- und Feuchteschwankungen im Tagesgang erfassen zu können, gleichzeitig wird die Datenmenge minimiert.

Tabelle 10: Vergleich der Extremwerte, halbstündliche und 6h-Mittelwerte

	halbstündl. Werte		6h-Mittelwerte		
	Temperatur (C°)	Feuchte (%)	Temperatur (C°)	Feuchte (%)	Feuchte (g/m³)
Maximum	40,3	90,0	39,0	90,0	14,6
Minimum	-9,8	18,0	-9,0	18,5	1,7
max. Schwankung/ Tag	25,9	68,0	23,0	63,4	5,7

Abhängig vom angestrebten Soll-Zustand der Zuluft können neun verschiedene qualitative Fälle der Luftbehandlung in Abhängigkeit vom Außenluftzustand entstehen:

- Nur heizen
- Nur kühlen
- Nur befeuchten
- Nur entfeuchten
- Heizen und befeuchten

- Heizen und entfeuchten
- Kühlen und befeuchten
- Kühlen und entfeuchten
- Kein Behandlungsbedarf (optimal)

Aufgrund der unterschiedlichen Sollwert-Anforderungen der untersuchten Anlagen gibt es unterschiedliche Fallverteilungen. Das Vorgehen zur Ermittlung der theoretischen Jahresverbräuche und die Auswirkungen von veränderlichen Sollwerten werden im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert. Für die RLT-Anlagen bedeutet das Ansteuern eines exakten Wertes von 15 °C und 60% rel. Feuchte qualitativ:

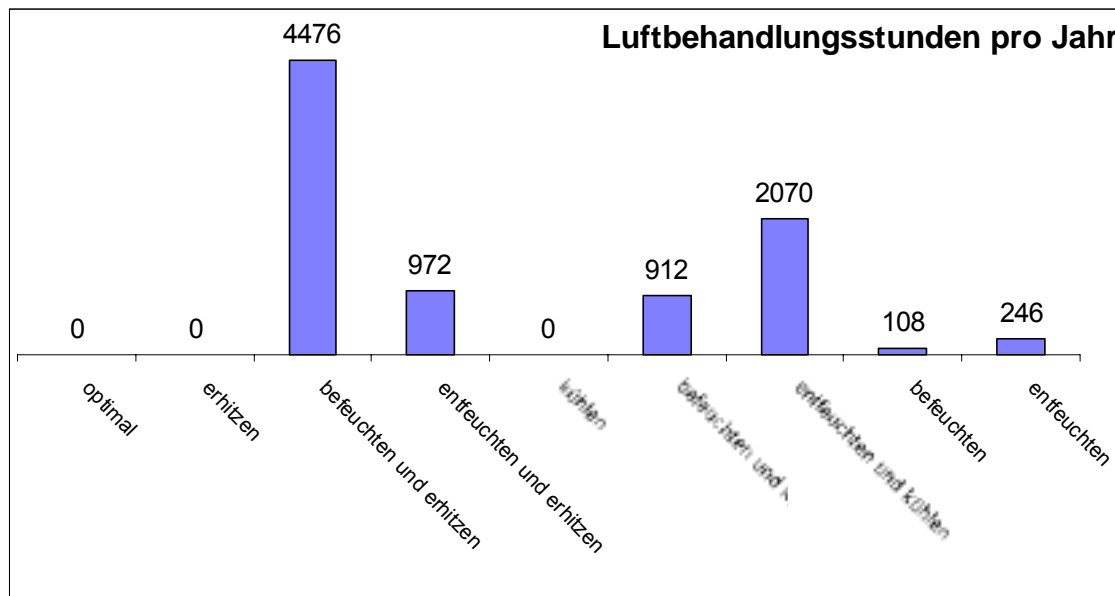


Abb. 21: Fallverteilung bei Ansteuern eines Sollwertes von 15°C und 60% rel. Feuchte (Jahr 2000)

Der exakte Wert von 15°C und 60% relativer Feuchte entspricht einem Punkt im h, x-Diagramm. Die Definition von Sollwertbereichen bedeutet faktisch ein Aufweiten des Punktes zu einer Fläche im h, x-Diagramm. Bei Ansteuern eines Sollwertbereiches von 12-18°C und 48-72% rel. Feuchte (entspricht Toleranzen von +/-20%) ändern sich die Verhältnisse wie folgt:

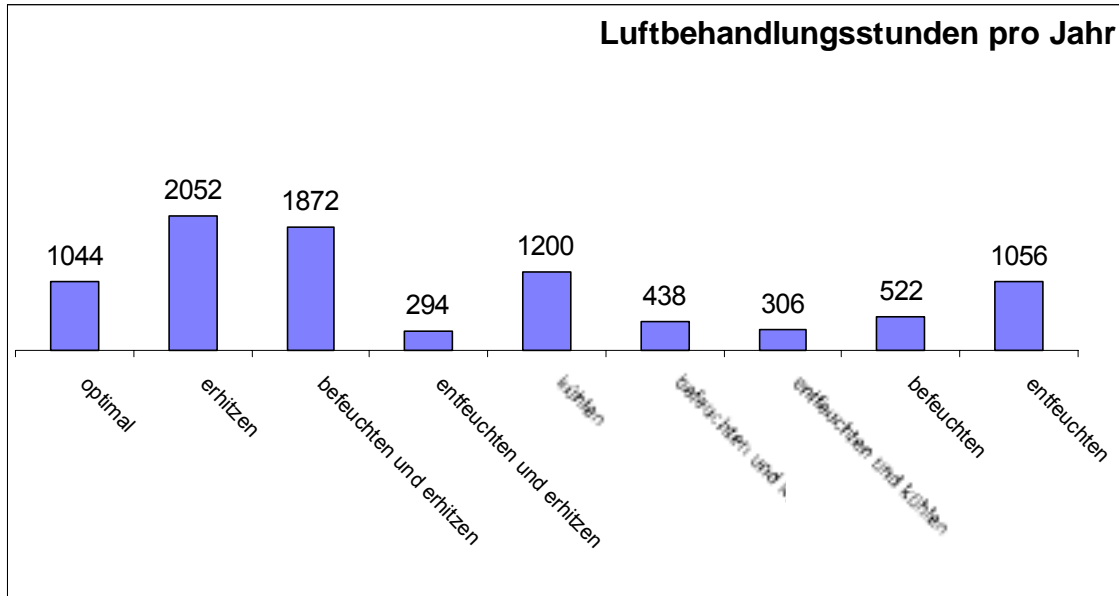


Abb. 22: Fallverteilung bei Ansteuern eines Sollwertes von 12°-18°C und 48-72% rel. Feuchte (Jahr 2000)

Für die Bestimmung der Jahresverbräuche spielt es eine Rolle, wie lange welcher Fall in welcher Größenordnung vorliegt. Über das Produkt aus Zeit und  $\Delta T$  erhält man Heizgradstunden. Entsprechendes gilt für die Fälle kühlen, befeuchten und entfeuchten.

Eine Quantifizierung der Fälle ergibt bei Ansteuern eines Sollwertes von 15°C und 60% relativer Feuchte pro m³ Luft:

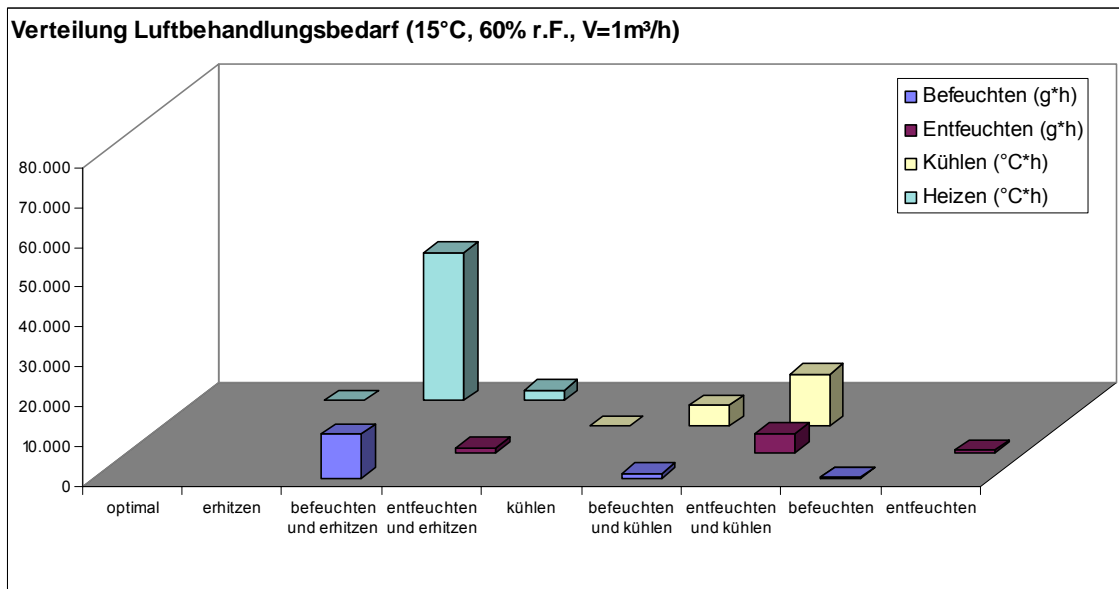


Abb. 23: Quantitative Fallverteilung bei Behandlung der Außenluft auf 15°C und 60% relative Feuchte

In den folgenden Darstellungen ist der Luftbehandlungsbedarfes für die untersuchten Anlagen dargestellt. Die jeweiligen Sollwertbereiche für Feuchte und Temperatur wurden aus Tabelle 7 übernommen.

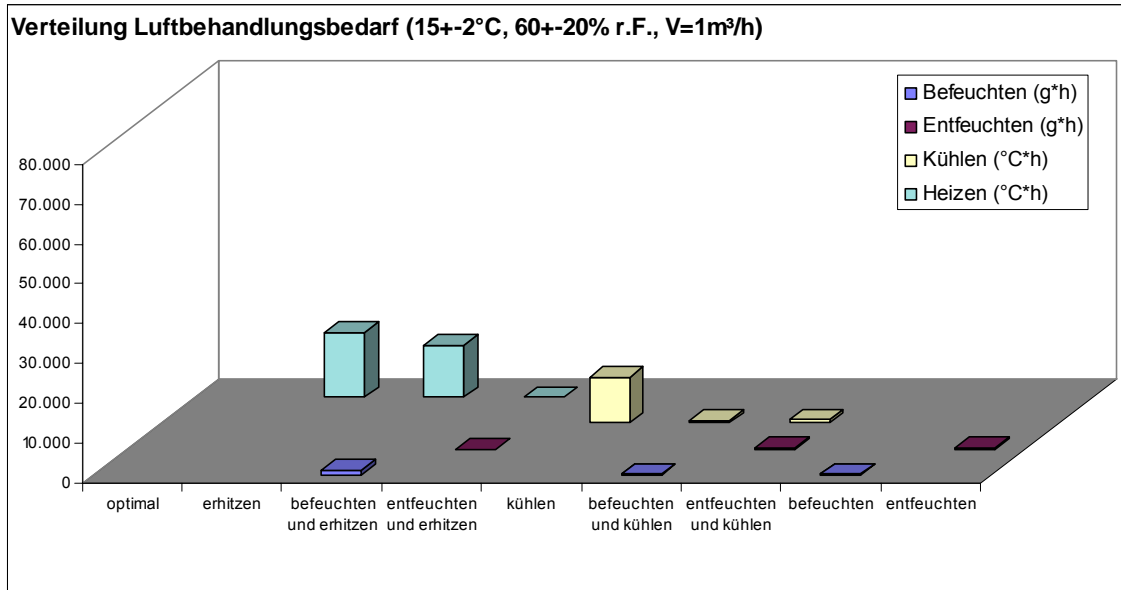


Abb. 24: Luftbehandlungsbedarf Anblaseluft M 1+2

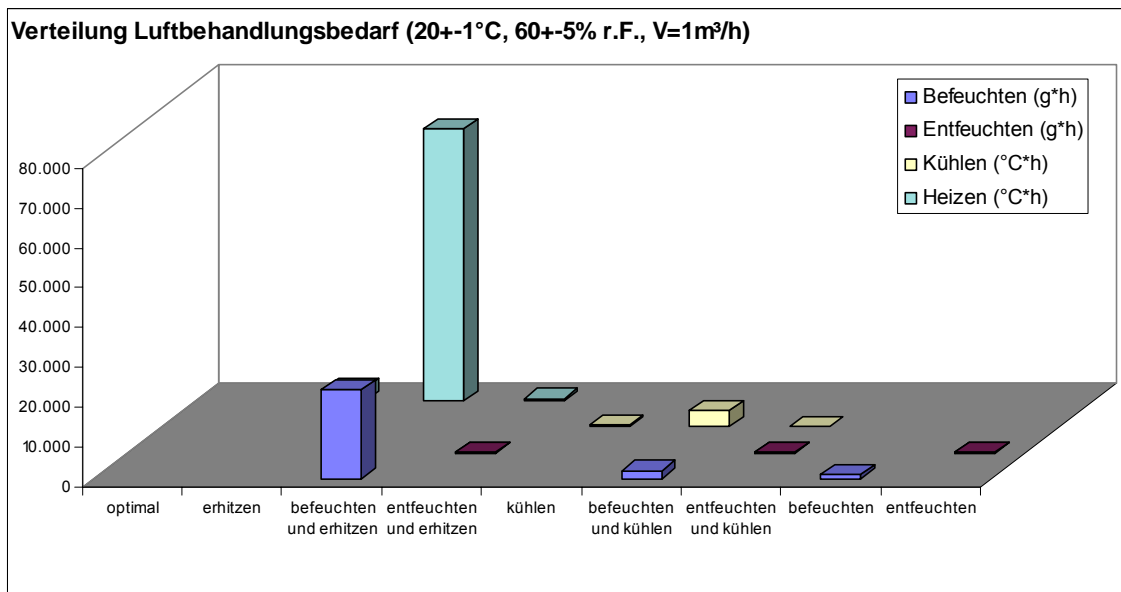


Abb. 25: Luftbehandlungsbedarf Spinnbühne bzw. Aufwickelraum M 1+2<sup>22</sup>

Bei den vorangegangenen Abbildungen handelt es sich um Idealvorstellungen, die den notwendigen Luftbehandlungsbedarf zur Einhaltung der Sollwerte bei reinem Außenluftbetrieb zeigen. Tatsächlich stellt sich die Situation folgendermaßen dar:

- Anlagenkomponenten zur Realisierung der Luftbehandlung fehlen (z.B. Kühlregister bei den Anlagen Spinnbühne und Aufwickelraum, d.h. es ist keine Entfeuchtung möglich)
- Komponenten laufen im Dauerbetrieb (Luftwäscher)
- Befeuchtung kann nicht ohne Abkühlung der Luft erfolgen

<sup>22</sup> Gleiche Sollwertvorgaben für Spinnbühne und Aufwickelraum

- Sollwerte werden im angewandten Betrieb nicht eingehalten
- Wirkungsgrade der technischen Einrichtungen müssen berücksichtigt werden
- Teilweise findet Umluftbetrieb statt (Aufwickelraum)

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren, der jeweiligen Volumenströme und der Annahme, dass der Fall „befeuchten und kühlen“ vom Luftwäscher ohne zusätzlichen Kühlaufwand realisiert wird und unter Vernachlässigung der teils unerwünschten Befeuchtung durch die Luftwäscher, ergeben sich folgende Jahresverbräuche:

**Tabelle 11: Jahresverbräuche RLT-Anlagen, Maschinen 1+2**

RLT-Anlage, Maschinen 1+2	Strombedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Kältebedarf in MWh/a	Wasserbedarf in m <sup>3</sup> (incl. Abschlammwasser)
Anblaseluft	270	360	95	4.600
Spinnbühne	210	2.240	0	5.900
Extruderbühne (Abluft)	50	-	-	-
Aufwickelraum (Zuluft)	500	3.200	0	6.200
Aufwickelraum (Abluft)	220	-	-	-
Summe:	1.250	5.800	95	16.700

Nicht berücksichtigt wurden Leitungs- und Übertragungsverluste für Wärme- bzw. Kälteenergie.

## 7 Erkenntnisse

### 7.1 Erkenntnisse aus der Begehung und Sichtung der Bestandsunterlagen

Bereits aus der Begehung und den Gesprächen vor Ort können die folgenden Aussagen abgeleitet werden:

Offensichtlich werden an den Anlagen Nacharbeiten vorgenommen wie z.B. Annetten von Blechen in den Ansaugbereichen von Ventilatoren. Dies könnte z.B. damit begründet werden, dass bei der ursprünglichen Anlagenplanung ein Ventilator gewählt wurde, welcher nicht den gewünschten Effekt brachte. Ein weiterer Grund könnte sein, dass im Laufe der Zeit aufgrund neuer Erkenntnisse die Anforderungen an die Zuluft hinsichtlich Temperatur, Feuchte und Druck geändert wurden. Das Blech wurde nach der gemeinsamen Begehung umgehend entfernt und die Ventilatorumdrehzahl durch Austausch der Riemenscheibe reduziert.

An den Eingängen zur Extruderbühne konnten beiderseits der Türe Oligomer- und Staubablagerungen festgestellt werden. Dies lässt auf unterschiedliche Druckverhältnisse schließen, d.h. zeitweilig stand der Raum gegenüber der Atmosphäre bzw. dem angrenzenden Treppenhaus im Überdruck, teils im Unterdruck.

Viele Anlagenbereiche (Kanalsystem) sind aufgrund der baulichen Umsetzung und des permanenten Betriebes der Produktions- und Lüftungsanlagen nicht erreichbar. Entsprechend wurden über längere Zeiträume nur die nötigsten Wartungsarbeiten in diesen Bereichen durchgeführt.

### 7.2 Zusammenfassende Bewertung der Anlagen

Optisch sind die Altanlagen der Maschinen 1+2 zwar nicht mehr auf dem Stand der Technik, sind aber in ihrer grundsätzlichen Ausführung als zweckmäßig einzuschätzen. Obwohl eine permanente Steigerung der Produktion stattfindet, können die RLT-Anlagen ohne größere Änderungen einen reibungsfreien Produktionsablauf gewährleisten.

Um eine Bewertung der Anlagen vornehmen zu können, wurden zunächst branchenspezifische Kennzahlen aus der Literatur herangezogen<sup>23</sup>. Die Anlagen als Gesamtsystem können anhand des Luftwechsels bewertet werden. Luftwechselraten geben an, wie oft die Raumluft pro Stunde ausgetauscht wird. Richtwerte für die Textilindustrie sind bei der Herstellung von

Natur- und Kunstfaser:	4...25-fach
Chemiefaser:	4...100-fach.

Bei einem Luftdurchsatz von insgesamt ca. 210.000 m<sup>3</sup>/h ergibt sich bei einem Raumvolumen von 2.150m<sup>3</sup> (Aufwickelraum 650m<sup>3</sup>, Spinnbühne und Extruderbühne 1.500m<sup>3</sup>) exakt ein 98-facher Luftwechsel. Sowohl dieser Wert als auch die Ventilatorwirkungsgrade liegen im Rahmen der in der Literatur vorgefundenen Kennwerte. Im Rahmen der Kennwerte bedeutet jedoch nicht, dass die Anlagen im energetischen Optimum betrieben werden. Insbesondere aufgrund der hohen Luftwechselraten sind durchaus Maßnahmen an den Anlagen vorstellbar, die sich aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht rentieren könnten, wobei das größte Potenzial mit einer Neudefinition des Anforderungsprofils hinsichtlich Temperatur, Feuchte und Volumenstrom verbunden ist. Ob dies verfahrenstechnisch mit der Produktion in Einklang zu bringen ist, muss im Detail von den Betreibern entschieden werden.

<sup>23</sup> vgl. RECKNAGEL et al. 1997. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik

An den Ventilatoren zeigt sich anhand der Redundanzhaltung die Auslegung der Anlagen auf Betriebssicherheit. Bei keiner der Anlagen würde der Ausfall eines Ventilators zum Produktionsstillstand führen. Entweder werden mehrere kleinere Fördereinheiten parallel betrieben oder ein zusätzliches Gerät steht in Reserve. Durch die Riemenantriebe besteht die Möglichkeit, die Drehzahlen durch Verändern der Übersetzung manuell auf geänderte Anforderungen anzupassen. Da im Prinzip ganzjährig die gleichen Drücke und Volumenströme gefahren werden, sind kaum Regelgeräte vorhanden, d.h. die Leistungsaufnahme der Motoren wird nicht geregelt. Der Strombedarf für Ventilatoren und Pumpen (siehe Tabelle 11) bleibt ganzjährig konstant, da die Abnehmer laut Betreiber nur in einem Betriebszustand (Ein) betrieben werden.

Die statischen Druckdifferenzen (siehe Tabelle 8) der Einzelkomponenten (Register, Wäscher, Filter) liegen überwiegend im Rahmen der Kennwerte, Vergleichszahlen für die Einzelkomponenten sind im allgemeinen Teil genannt. Vergleicht man die Werte der einzelnen Anlagen miteinander, fallen die unterschiedlichen Druckdifferenzen gleicher Komponenten auf. Aus energetischer Sicht ist die Anlage Spinnbühne hinsichtlich der Druckdifferenzen am besten ausgelegt, d.h. die Komponenten sind relativ zum Luftdurchsatz großzügig dimensioniert, die gemessenen Werte liegen nahe an den Untergrenzen der Literaturkennwerte. Bei dieser Anlage werden die Vorteile einer Klimazentrale genutzt. Im Vergleich zur Anlage Spinnbühne sind die Druckverluste der Anlage Aufwickelraum um ca. 50% höher, wobei die Filter in diesem Vergleich nicht berücksichtigt werden können, da unterschiedliche eingespeicherte Staubmengen zum Messzeitpunkt anzunehmen sind. Da die Anlage Aufwickelraum annähernd die doppelte Luftmenge durchsetzt, wäre für gleiche Druckverhältnisse mindestens der doppelte Platzbedarf erforderlich. Theoretisch ist dies möglich, praktisch ist der Platz im Betriebsgebäude nicht gegeben. Da der zur Verfügung stehende Platz bereits vollständig genutzt wird, dürften die gemessenen Werte keine Folge von falscher Dimensionierung oder Durchsatzsteigerungen sein sondern können auf die baulichen Gegebenheiten zurückgeführt werden. In Teilbereichen gelten diese Aussagen auch für die Anlage Anblaseluft. Die hohen statischen Gesamtdruckverluste sind auf die zusätzlichen Komponenten und das oben beschriebene Luftauslasssystem zurückzuführen. Bei dieser Anlage wurden Komponenten (Nachbehandlungsstufen) nach der Erstinbetriebnahme hinzugefügt, was erfahrungsgemäß problematisch ist, da meist Zwänge hinsichtlich Platzverfügbarkeit und Integration in den Bestand bestehen. Der Luftwäscher liegt mit gemessenen 300 Pa Druckdifferenz etwa 100 Pa über den Literaturkennwerten. Aus energetischer Sicht könnten die Anlagen Aufwickelraum und Anblaseluft hinsichtlich der Druckdifferenzen zumindest in Teilbereichen optimiert werden.

Auffällig ist, dass trotz des hohen Wärmeeintrags durch die Produktionsmaschinen lediglich die Anlage Aufwickelraum im Winter Umluftanteile fährt, ansonsten sind keinerlei Wärmerückgewinnungseinrichtungen vorhanden. Hier besteht aus energetischer Sicht ebenfalls Potenzial. Wärme- bzw. Kälteerzeuger am Standort sind zentrale Großanlagen. Die Größenordnungen „Erzeuger“ und „Verbraucher der untersuchten RLT-Anlagen“ stehen in keinem Verhältnis zueinander. Um Aussagen zum Optimierungspotenzial seitens der Erzeuger machen zu können, müsste der Standort anlagen- und gewerkeübergreifend untersucht werden.

Lässt man Rahmenbedingungen und wirtschaftliche Gegebenheiten am Standort außer Acht, so ist an mehreren Stellen Potenzial zur energetischen Optimierung der Anlagen vorhanden. Eine detaillierte Betrachtung zum energetischen Potenzial unter Einbezug aller Faktoren folgt in Kapitel 9.



## 8 Grundlagen für die Erstellung des Maßnahmenkataloges

Grundsätzlich ist eine Vielzahl von Maßnahmen zur Optimierung der untersuchten Anlagen denkbar. Als sinnvoll können im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung jedoch nur diejenigen Maßnahmen gelten, die einerseits ökologische Vorteile und andererseits zumindest keine ökonomischen Nachteile mit sich bringen. Wie Maßnahmen in einer solchen Bewertung abschneiden, hängt wesentlich von den angelegten Kriterien ab. Die in diesem Projekt für die Erstellung des Maßnahmenkataloges herangezogenen Kriterien werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

### 8.1 Grundlagen der wirtschaftlichen Bewertung

Die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen, die mit größeren finanziellen Aufwendungen verbunden sind, wird üblicherweise mit Hilfe von Investitionsrechenverfahren beurteilt. Die verschiedenen Verfahren stützen sich dabei auf unterschiedliche Randbedingungen, Anwendungsbereiche und Bewertungskriterien. Prinzipiell wird zwischen dynamischen und statischen Verfahren unterschieden. Statische Verfahren vernachlässigen zeitliche Unterschiede von Einnahme und Ausgabe, wobei meist ein verkürzter Betrachtungszeitraum (z.B. ein Jahr) auf die gesamte Nutzungsdauer übertragen wird. Dynamische Verfahren gehen von einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt aus und berücksichtigen den Zeitaspekt über die Abzinsung von Zahlungsreihen mit einem Kalkulationszinsfuß.

In der Regel werden die Verfahren im Rahmen der VDI-Richtlinie 2067 angewandt<sup>24</sup>. In der VDI-Richtlinie VDI 2067 Blatt 1 ist das Vorgehen zur Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen verankert. Im Beiblatt zu Blatt 1 der Richtlinie werden neben betriebstechnischen und wirtschaftlichen Grundlagen die verschiedenen Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren dargestellt. VDI 2067 Blatt 3 bezieht sich ausschließlich auf Raumluftechnik und erklärt das Vorgehen zur Bestimmung der Eingangsparameter für die Berechnungsverfahren.

Diese Eingangsparameter sind:

- die verbrauchsgebundenen Kosten (jährliche Energiekosten für Wärme, Kälte, Wasser und Strom),
- die kapitalgebundenen Kosten (Kapitalkosten in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer als Annuität und Instandsetzungskosten in Abhängigkeit der Anfangsinvestition in €/a) und
- die betriebsgebundenen Kosten (Bedienungs-, Wartungs- und Inspektionskosten in €/a).

Die Bewertung erfolgt anhand der Gegenüberstellung von Zahlenwerten (Annuität, Amortisationszeit, etc.), die zuvor in separaten Berechnungen für die Varianten ermittelt wurden. Die genaue Vorgehensweise ist in den Blättern der VDI 2067 anhand von Beispielen beschrieben.

Da die für die dynamischen Verfahren erforderlichen betriebswirtschaftlichen Parameter nicht bekannt sind, wird die von Sicherheitsüberlegungen ausgehende Methode der statischen Amortisationszeit für die Bewertung von Maßnahmen aus wirtschaftlicher Sicht herangezogen. Der wesentliche Vorteil dieses Rechenverfahrens ist, dass mit vergleichsweise geringem Aufwand eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit erfolgen kann. Es muss jedoch Folgendes beachtet werden: Vorhaben, die sich innerhalb der vorgegebenen Zeit amortisieren, sind zwar idR. auch

<sup>24</sup> vgl. VDI-Richtlinie 2067, 1991. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen

wirtschaftlich, umgekehrt sind aber solche Vorhaben, die sich nicht innerhalb der vorgegebenen Zeit amortisieren, noch längst nicht als unwirtschaftlich einzustufen.

## 8.2 Grundlagen der ökologischen Bewertung

Laut Aufgabenstellung soll eine Minderung der öko- und klimaschädigenden Abgase bewirkt werden. Im Vordergrund der ökologischen Bewertung steht die Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz von elektrischem Strom und anderen Energieformen (Wärme, Kälte). Weitere Schadgase wie NO<sub>x</sub> oder SO<sub>2</sub> werden nicht betrachtet.

Für die Quantifizierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bzw. der CO<sub>2</sub>-Einsparung wurden Werte der Firma Acordis zum standorteigenen Kraftwerk herangezogen. Demnach gilt unter Berücksichtigung eines Kesselwirkungsgrades von ungefähr 91% eine Emission von 0,22 kg CO<sub>2</sub> je erzeugte kWh Wärme und eine Emission von 0,55 kg CO<sub>2</sub> je erzeugte kWh Strom. Diese Werte werden auch in der folgenden Auswertung verwendet.

FRITSCHKE nutzt die GEMIS<sup>25</sup> 4.0 Datenbank (inkl. Vorketten) und weist einem GuD-Kraftwerk (Größe unbekannt) für je zwei kWh thermisch und einem kWh elektrisch 0,88 kg CO<sub>2</sub> zu.<sup>26</sup> Die Emissionen des Kraftwerks Obernburg liegen um gut 12% über diesem Wert.

---

<sup>25</sup> GEMIS (Software) siehe auch: [www.oeko.de](http://www.oeko.de)

<sup>26</sup> vgl. FRITSCHKE 1999

## 9 Maßnahmen und Verbesserungsvorschläge

Aus wirtschaftlichen Gründen ist es erfahrungsgemäß problematisch, an bestehenden RLT-Anlagen Verbesserungsmaßnahmen vorzunehmen. Das Maßnahmenspektrum für Optimierungen ist wesentlich größer, wenn bereits bei der Erstplanung mögliche Anlagenvarianten unter wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten betrachtet werden.

### 9.1 Vorbemerkungen zum Maßnahmenkatalog

Im Kern der zu bearbeitenden Problematik stehen genaue Vorgaben bezüglich einzuhaltender Temperatur- und Feuchtwerte. Gleichzeitig ist eine Druckregelung innerhalb des Gebäudes (Etagen) gewünscht. Die Einhaltung dieser Sollwerte ist Aufgabe der drei zu bewertenden Anlagen. Entsprechend ist zunächst festzustellen, ob die derzeit installierten Anlagen in der Lage sind, diesen Soll-Zustand im Raum zu gewährleisten. Die Messprotokolle und Bestandsunterlagen zeigen, dass dies nicht der Fall ist. Dies kann folgende Ursachen haben:

- Bei der damaligen Planung wurden die Anlagen unterdimensioniert
- Einzelne Anlagenkomponenten genügen in ihrer Ausführung nicht den Vorgaben der Planung
- Während der Erstplanung wurde von Annahmen (Durchsätze, Sollwerte) ausgegangen, welche mittlerweile überholt sind
- Es war nicht vorgesehen, die Sollwerte ganzjährig einzuhalten

Unabhängig von den tatsächlichen Ursachen gibt es zwei Vorgehensweisen zur Bewertung der Anlagen:

1. Die Anlagenkomponenten werden vermessen, Leistungen werden ermittelt und Optimierungspotenziale werden an den ermittelten Leistungen erörtert. D.h. es wird ein Vergleich zwischen dem heutigen Stand der Technik und der bestehenden Anlage durchgeführt ohne Berücksichtigung der Änderungen oder Kapazitätserhöhungen, die nötig wären, um die Einhaltung der Sollwerte zu jeder Zeit zu gewährleisten.
2. Die Anlagenkomponenten werden vermessen und Optimierungspotenziale werden an fiktiven Apparateleistungen (die zur Einhaltung der Sollwerte nötig wären) erörtert.

Da die Produktion mit den Bestandsanlagen ohne größere Probleme läuft, wurde Vorgehensweise 1 gewählt.

### 9.2 Maßnahmen am Standort Obernburg

Im Folgenden werden mögliche Maßnahmen am Standort Obernburg beschrieben. Im Vordergrund steht dabei die Bewertung der Maßnahmen anhand der möglichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen und anhand der wirtschaftlichen Durchführbarkeit. Letztere hängt von folgenden standortspezifischen Faktoren ab:

- Kosten für Neuanschaffungen
- Preise für Strom, Wasser und Dampf
- Energieversorgungsstruktur
- Infrastruktur am Standort

Folgende Werte wurden für den Verbrauch von Wärme, Kälte und Wasser sowie für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt:

Tabelle 12: Verbräuche der RLT-Anlagen der Maschinen 1+2 im Überblick

RLT-Anlage	bilanziert wurde	Zuluft in m³/h	stat. Druck in Pa (Zuluft)	Strombedarf in MWh/a (Ventilatoren und Wäscher)	Wärmebedarf in MWh/a	Kälte in MWh/a	Wasserbedarf in m³/a (incl. Abschlammung)	CO <sub>2</sub> -Emissionen in t/a
Anblaseluft M 1+2	nur Zuluft	21.500	3.150	270	360	95	4.600	245
Spinnbühne M 1+2	Zu- und Abluft	58.600	120	260	2.240	-	5.900	636
Aufwickelraum M 1+2	Zu- und Abluft	129.500	850	720	3.200	-	6.200	1.100
Gesamt	-	209.600	4.120	1.250	5.800	95	16.700	1.981

Prinzipiell gilt, dass durch folgende Betrachtungen die Produktionsmaschinen (hinsichtlich des Durchsatzes, Stromverbrauches, etc.) nicht tangiert werden. Eine Wirtschaftlichkeit kann also lediglich produktunabhängig innerhalb der Bilanzgrenze „RLT-Anlage“ errechnet werden.

### 9.2.1 Organisatorische Maßnahmen

Die im Folgenden aufgeführten organisatorischen Maßnahmen können wertvolle Hilfsmittel sein, es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass allein dadurch Energieeinsparungen erreicht werden können.

#### 9.2.1.1 Dokumentation der Versorgungsstruktur

Derzeit liegt keine 100% - gültige Dokumentation der Versorgungsstruktur vor. Während mehrerer Generationswechsel am Standort Obernburg wuchs die Versorgungsstruktur schrittweise mit dem Ausbau und der Erweiterung der Produktion. Dies wird insbesondere an der Dampfversorgung offensichtlich. Es ist derzeit nicht ohne weiteres nachvollziehbar, welche Abnehmer an einer Leitung hängen und oft besteht nur die Möglichkeit einen Hauptstrang per Ventil zu schließen, da kleinere Abstiche nicht mit Ventilen versehen sind bzw. die Ventile sich unmittelbar vor den Verbrauchern befinden. Eine Dokumentation der aktuellen Versorgungsstruktur ermöglicht z.B. eine Entscheidung über die Installation von Absperrventilen an strategisch sinnvollen Punkten. Dies ermöglicht einerseits eine einfachere Durchführung notwendiger Reparaturen, andererseits könnte dadurch vermieden werden, dass wie im Falle der Heizregister, permanent relativ lange Leitungen unter Dampf stehen, obwohl die Register über längere Zeiträume hinweg nicht in Betrieb sind.

Für eine Angabe des Einsparpotenzials liegen derzeit nicht genug Daten vor. Erfahrungsgemäß sind Einsparungen seitens der Wärmeübertragung im Bereich von 1-5% möglich, je nach Zustand (Isolation, Leitungslängen, Schäden etc.) der Leitungen.

#### 9.2.1.2 Strukturierte Erfassung von Betriebskosten

Eine weitere sinnvolle Option ist eine Aufschlüsselung der Kosten, die derzeit im betriebsinternen EDV-System in einer einzigen Kostenstelle „Lüftung“ zusammengefasst sind. Abhängig vom Detaillierungsgrad können über einfache Auswertungen Rückschlüsse auf die Kostenstruktur gezogen werden. Dadurch entsteht die Möglichkeit die dominierenden Kostenfaktoren zu ermitteln, was wiederum eine Optimierung an der richtigen Stelle ermöglicht. Neben dem Energieverbrauch können z.B. Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten erfasst werden. Gerade im Bereich „Optimierung von Bestandsanlagen“ dürfen die betriebsgebundenen Kosten nicht vernachlässigt werden.

Lösungsansätze für die Problematik bieten zum Beispiel Facility-Management (FM)-Systeme, die sich auf die Bereiche jenseits des Kerngeschäftes spezialisiert haben. Raumlufttechnische Anlagen sind ein Teilbereich des technischen Facility-Management, im Prinzip eine untergeordnete Ebene des FM. Erfahrungsgemäß haben Industriebetriebe eine gut strukturierte, detaillierte und transparente Dokumentation des Kernprozesses, während andere Bereiche vernachlässigt wer-

den. Obwohl es auch ökologisch orientierte FM-Systeme gibt, liegt der Schwerpunkt im FM auf der wirtschaftlichen Seite.

### 9.2.1.3 Erstellen eines Instandhaltungs- und Wartungsplanes

Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben an den RLT-Anlagen werden produktionsbedingt unregelmäßig durchgeführt. Das Erstellen eines detaillierten Inspektions- und Wartungsplanes könnte Verbesserungen bringen. Dabei sollte eine Trennung zwischen Arbeiten, die im laufenden Betrieb erfolgen können, und Arbeiten, für die ein Anlagenstillstand notwendig ist, vorgenommen werden. Im Folgenden werden exemplarisch einige Beispiele genannt.

Während der Durchführung der Messungen wurden an mehreren Stellen der älteren Anlagen (Maschinen 1+2) schadhafte bzw. stark verschmutzte Bauteile gesichtet. Je nach Art, Umfang und Dauer des Schadens wird der Wirkungsgrad der entsprechenden Anlagenkomponenten negativ beeinflusst. Insbesondere defekte Dampfleitungen haben Energieverluste durch Dampfverlust und Druckabfall zur Folge. Der Schaden war dem Betreiber bekannt. Eine Reparatur durch die Betriebswerkstatt war veranlasst, jedoch noch nicht ausgeführt.

Grundsätzlich werden größere Reparatur- oder Wartungsstillstände dadurch erschwert, dass bei den untersuchten RLT-Anlagen eine Anlage für zwei Produktionsmaschinen das notwendige Klima sicherstellen muss. Aufgrund der Produktionsauslastung darf immer nur eine von zwei Produktionsmaschinen außer Betrieb gehen.



**Abb. 26: Dampfzuleitung**

Ablagerungen im Kanal lassen Widerstandsbeiwerte ansteigen und erhöhen dadurch die Druckverluste durch Reibung an der Kanalwand. Während diese zusätzlichen Verluste Dank großzügiger Kanaldurchmesser als gering anzusehen sind, steigen die Druckverluste bei zugesetzten Registern oder Tropfenabscheidern stark an.



**Abb. 27: Abluftkanal mit Ventilator, Oligomerablagerungen im Kanal**

Undichtigkeiten im Kanalsystem oder an der Klimazentrale führen zu Leckluftströmen, die ebenfalls Druckverluste zur Folge haben, wenn sie druckseitig auftreten. Saugseitige Leckströme können, sofern sie nach der Filtration auftreten, zur Verschmutzung des Systems und zu einer Verunreinigung der Zuluft führen. Ablagerungsspuren an den Eingängen der Klimazentralen lassen vermuten, dass dies tatsächlich der Fall ist.

Riemenantriebe von Ventilatoren weisen Wirkungsgradverschlechterungen durch verstärktem Schlupf im Alter auf. An Anlagen mit Redundanzventilatoren können Wartungsarbeiten im laufenden Betrieb vorgenommen werden.

Es ist anzunehmen, dass durch kürzere und regelmäßigeren Wartungs- und Instandhaltungszyklen geringe Energieeinsparungen an Anlagenteilen mit Druckregelung erzielt werden können. In allen anderen genannten Bereichen können Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden, die sich jedoch nicht durch einen geringeren Energiebedarf, sondern durch eine erhöhte Nutzleistung der Anlage auswirken.

### 9.2.2 Definition des Anforderungsprofils

Der Aufwand zur Behandlung der Prozessluft hängt wesentlich davon ab, welche Anforderungen an die Luftqualität gestellt werden. Je enger der Sollwertbereich gewählt wird, desto höher wird idR. der Behandlungsaufwand. Dies betrifft Feuchte- und Temperaturwerte ebenso wie Volumenströme und Drücke bzw. Kombinationen aus diesen Werten. Eine sorgfältige Definition des Anforderungsprofils bzw. der Sollwertbereiche nach dem Motto „So eng wie nötig, so weit wie möglich“ kann daher zu großen Energieeinsparungen im Bereich der Luftbehandlung führen. Im Folgenden werden Beispiele genannt und Anregungen gebracht:

9.2.2.1 Erweiterung der Grenzen des Sollwertbereiches

Am Beispiel der Anlage Anblaseluft der Maschine 15 werden die Hintergründe erläutert. Bei den RLT-Anlagen der Maschine 15 ist die eingesetzte Technik in der Lage die Temperaturwerte konstant im Toleranzbereich zu halten. Es existiert ein Toleranzband  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , angesteuert wird exakt - sowohl im Sommer als auch im Winter - die obere Grenze ( $21^\circ\text{C}$ ) des Toleranzbandes. Sinnvoll ist dies im Sommer, im Winter ist es aus energetischer Sicht günstiger die untere Grenze (geringere Temperaturdifferenz) anzusteuern. Da in der Regel kühle Winterluft beim Erhitzen relativ trocken wird und deshalb eine zusätzliche Befeuchtung nötig wird, wirkt sich dies im Winter auch auf die Befeuchtung positiv aus. Bei der Annahme eines Temperatur-Sollwertes von  $21^\circ\text{C}$  und zulässigen 40-60% relativer Feuchte stellt sich die Situation wie folgt dar:

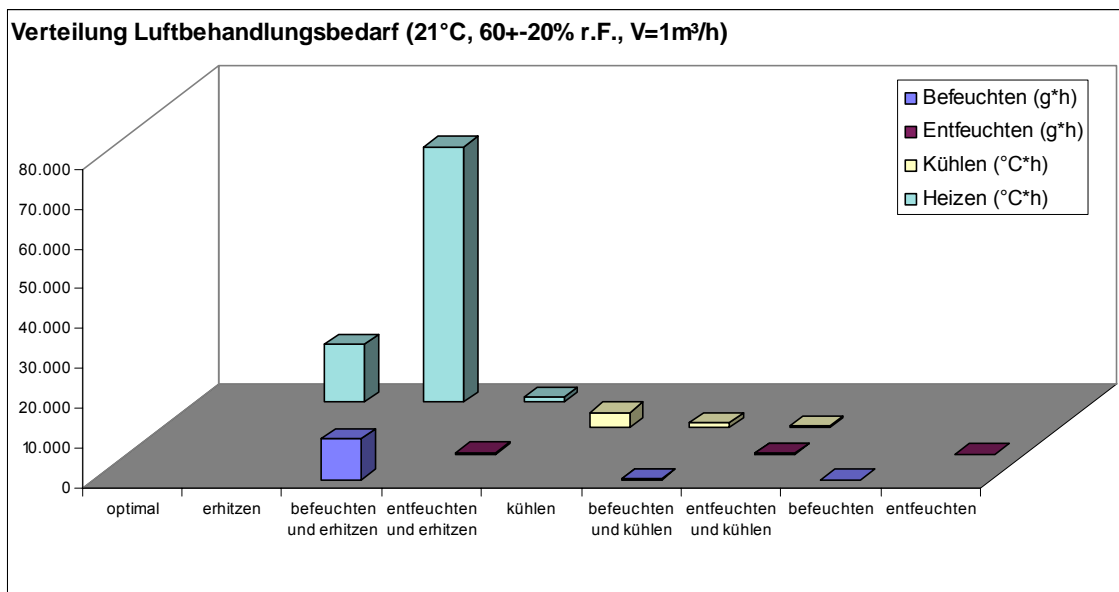


Abb. 28: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 21°C und 40-60% rel. Feuchte

Wählt man die kürzeste Strecke im h, x-Diagramm um in einen Toleranzbereich von  $19-21^\circ\text{C}$  und 40-60% relativer Feuchte zu kommen, erhält man folgendes Bild mit reduziertem Heiz- und Befeuchtungsaufwand:

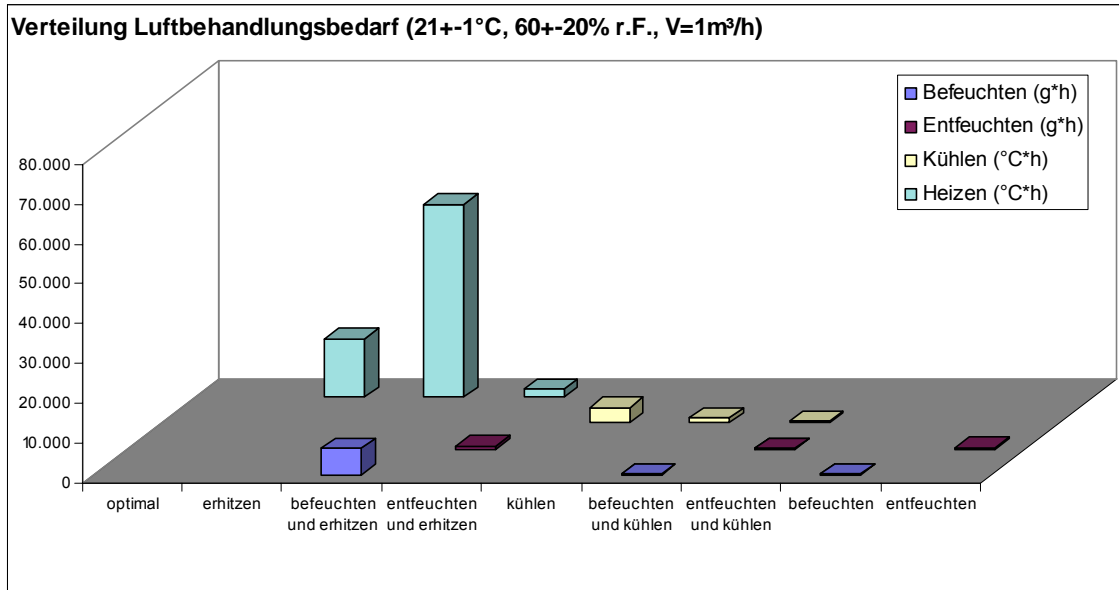


Abb. 29: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 19-21°C und 40-60% rel. Feuchte

Zu erwähnen ist, dass gleichzeitig in Übergangszeiten (auch im Tagesgang) die Entfeuchterstunden ansteigen, da die auf 19°C erwärmte Luft partiell Feuchtwerte von über 60% aufweist. Da aus energetischer Sicht die Entfeuchtung die aufwändigste Luftbehandlungsfunktion ist, ist es zeitweise günstiger die Luft auf 21°C aufzuheizen, um dadurch die relative Feuchte senken und eine Entfeuchtung zu vermeiden. Aus energetischer Sicht ist es noch günstiger, das untere Temperaturniveau anzusteuern und gleichzeitig auf die Entfeuchtung zu verzichten. Laut Anlagenbetreiber werden die Feuchte-Sollwerte nach unten durch die elektrostatische Aufladung begrenzt, nach oben durch die Tauwasserbildung. Bei einem Erweitern des Sollwertebereiches auf 70% maximale Feuchte sinkt der Entfeuchtungsbedarf um ca. 50%, Taupunktunterschreitungen sind lediglich an Flächen mit Temperaturen unter 15°C zu erwarten. Bei Luftführung in warmen Gebäudeteilen sind keine Taupunktunterschreitungen innerhalb der RLT-Anlage anzunehmen. Ob nach dem Luftaustritt aus der RLT-Anlage ein störender Tauwasserausfall im Raum oder an den Produktionsmaschinen (Kaltwasserleitungen, etc.) zu erwarten ist, ist vom Betreiber zu prüfen.



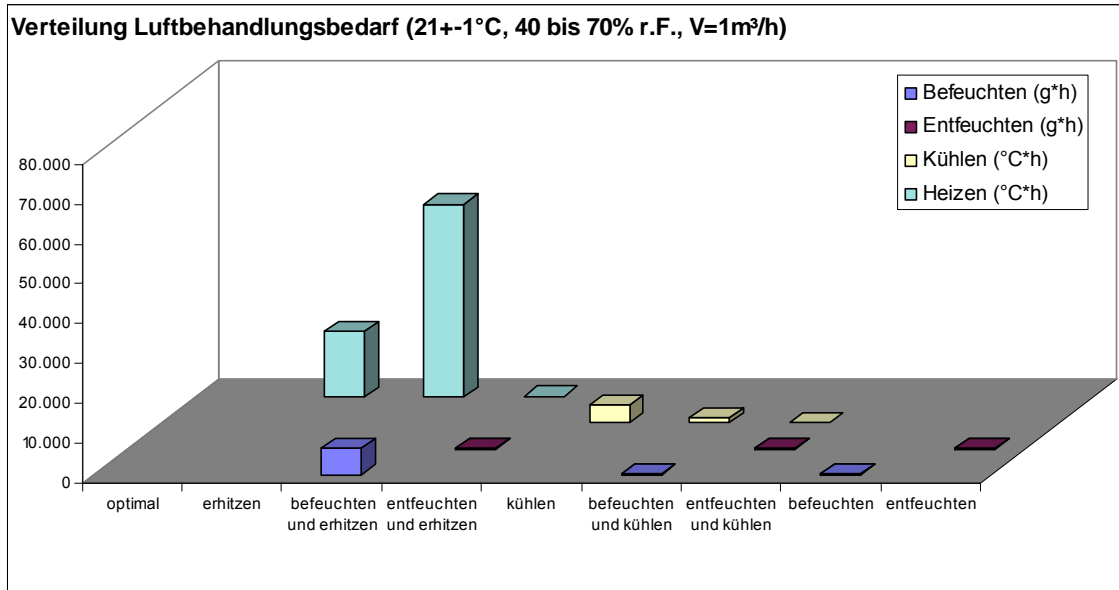


Abb. 30: Fallverteilung, Anblaseluft Maschine 15 bei 19-21°C und 40-70% rel. Feuchte

Da derzeit die Sollwerte bei extremen Außenbedingungen nicht eingehalten werden und die Produktion dennoch läuft, sollte überlegt werden, ob diese Bedingungen ganzjährig zugelassen werden können, da hier Einsparpotenzial ohne bauliche Änderungen an den Anlagen genutzt werden könnte. Im oben genannten Beispiel wirkt sich die Verschiebung der Sollwerte wie folgt auf den Wärmebedarf und Wasserverbrauch aus:

Tabelle 13: Wärmebedarf und Wassermengen in Abhängigkeit vom Anforderungsprofil

Temperatur	21°C	19-21°C	19-21°C
Feuchte	40-60%	40-60%	40-70%
Wärmebedarf in MWh/a	330	260	260
Wasserbedarf Befeuchtung in m³/a	145	105	105
Entfeuchtungswasser in m³/a	90	100	40

Ein weiteres Beispiel bezieht sich auf die Anlage Anblaseluft der Maschinen 1+2. Der gewünschte Soll-Zustand beträgt 21°C und 60% relative Feuchte. Der derzeitige Toleranzbereich beträgt ca. 5% des Soll-Zustandes. Die Auswirkungen von Toleranzbereichserweiterungen auf energetischer Seite sind im folgenden Diagramm dargestellt:

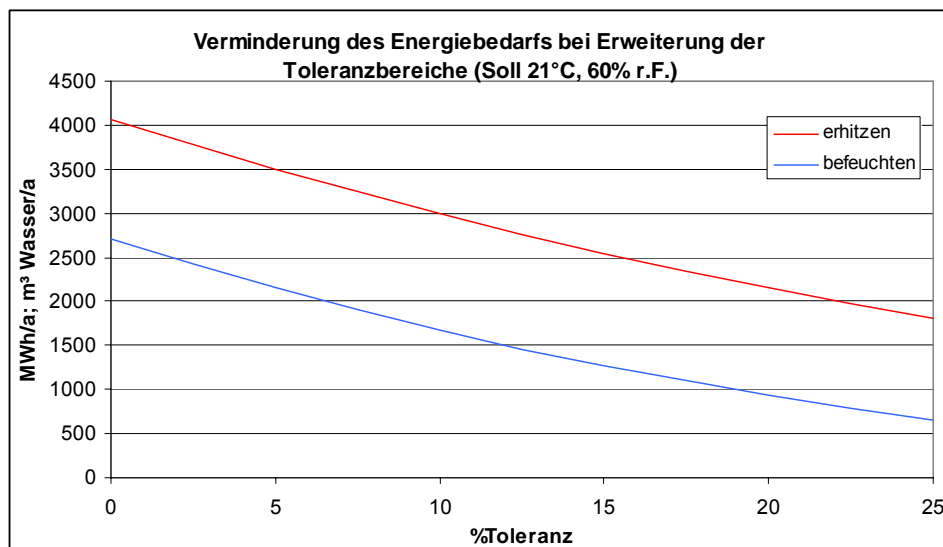


Abb. 31: Energiebedarf bei Erweiterung der Toleranzbereiche

Auch an den Anlagen Aufwickelraum und Spinnbühne ist Optimierungspotenzial zu erkennen. Der Temperatur-Sollwert für diese Anlagen liegt bei ca. 20°C. Dieser Wert wird im Sommer zum Teil überschritten. Außerdem werden die vorgegebenen Feuchte-Sollwerte überschritten, wobei es technisch durchaus möglich wäre, die Sollwerte auch im Sommer einzuhalten. Im Winter dagegen werden die Sollwerte mit mehr oder weniger großem Energieaufwand eingehalten. Unabhängig von einer weitergehenden Kostenbetrachtung sollte überlegt werden, welche Anforderungen hinter der Definition dieser Sollwerte stehen. Gerade in der geeigneten Definition des Anforderungsprofils liegt – wie bereits beschrieben – vermutlich ein großes Energieeinsparpotenzial.

Bei Betrachtung des Gesamtsystems und unter der Berücksichtigung der eingesetzten Luftwäscher mit der Abschlammung reduziert sich das Einsparpotenzial am Standort Obernburg aus folgenden Gründen auf die Beheizung:

- Durch den unregelmäßigen Dauerbetrieb der Luftwäscher sind hinsichtlich einer vermindernden Befeuchtung keine Einsparungen erreichbar.
- Lediglich die Anlage Anblaseluft ist mit Kühlregistern ausgestattet. Die Kältemaschine setzt nur in den Spitzenzeiten ein, wenn das Mainwasser zu warm wird. In diesen relativ kurzen Spitzenzeiten dürften auch erweiterte Sollwertbereiche nur minimal zur Verringerung des Energiebedarfs beitragen.
- Die Entfeuchterzeiten sind insgesamt kurz, zudem werden die Feuchtwerte beim Entfeuchtungsbetrieb (im Sommer) nicht eingehalten.

Durch die Reduktion des Heizenergiebedarfes kann am Gesamtsystem der Anlagen 1+2 - bei Verdoppelung der Toleranzbereiche wie folgt - eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von über 20% erreicht werden:

Tabelle 14: Mögliche Reduktion des Heizenergiebedarfs

Anlage (M 1+2)	T Soll in °C	Feuchte Soll in % r.F.	Reduktion des Heizenergiebedarfes in %
Anblaseluft	15+-3	60+-25	33
Aufwickelraum (inkl. Umluft)	21+-2	60+-10	23
Spinnbühne	21+-2	60+-10	22
Gesamt (gewichtetes Mittel)	-	-	23

### 9.2.2.2 Reduktion des Luftwechsels

Wie in Kapitel 7.2 beschrieben ist die Luftwechselrate an den Maschinen 1+2 als relativ hoch zu bewerten. Ausschlaggebend für diesen hohen Luftwechsel dürfte die Kühllast sein, die im Wesentlichen von der von den Produktionsmaschinen abgegebenen Wärme bestimmt wird. Im Bereich Spinnbühne/ Extruderbühne erwärmen sich beispielsweise 58.000 m<sup>3</sup>/h Luft von 22 °C Einblastemperatur auf 31,5°C an der Absaugung. Nimmt man die 31,5 °C Absaugtemperatur als Maßstab und verringert man die Einblastemperatur, so reduziert sich der erforderliche kühllastbedingte Luftwechsel. Da durch die Volumenstromreduktion in einem bestehenden Kanalsystem letztendlich die Luftgeschwindigkeit abnimmt, reduzieren sich auch die Druckverluste der Apparate im System. Eine Reduktion des Volumenstroms kann durch eine Absenkung der Ventilator-drehzahl erreicht werden. Der Leistungsbedarf von Ventilatoren bei Volumenstromänderungen ändert sich theoretisch proportional zur 3. Potenz der Drehzahl des Ventilators. Voraussetzung für eine Energieeinsparung ist, dass die Reduktion der Förderleistung am Ventilator über die Reduktion der Stromaufnahme des Antriebsmotors erfolgt. Zudem wird es bei Eingriffen in ein bestehendes System zu Wirkungsgradänderungen bei Ventilator, Motor und Antrieb kommen, d.h. die theoretische Leistungsreduktion hinsichtlich der Förderleistung ist nicht unbedingt gleich zu setzen mit der energetischen Einsparung. Die potenziellen Einsparungen sind am Einzelfall zu überprüfen. Erfahrungsgemäß sind aufgrund von Wirkungsgradketten Exponenten realistisch, die sich zwischen 1,8 und 2,5 bewegen. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die theoretisch möglichen ventilatorseitigen Einsparungen im Bereich der Anlagen Spinnbühne:

Tabelle 15: Theoretische Einsparungen auf der Ventilatorseite bei Reduktion des Volumenstromes

Einblas-temperatur in °C	Ausblas-temperatur in °C	Volumen-strom in m <sup>3</sup> /h	Volumen-strom-reduktion in %	erforderliche Drehzahl Ventilator in U/min	Antriebs-leistung Ventilator in kW	Leistungs-reduktion in %
22	31,5	58.600	0	1065	5,9	0
21	31,5	53.019	10	964	4,4	26
20	31,5	48.409	17	880	3,3	44
19	31,5	44.536	24	809	2,6	56
18	31,5	41.237	30	749	2,1	65
17	31,5	38.393	34	698	1,7	72
17	35	30.928	47	562	0,9	85

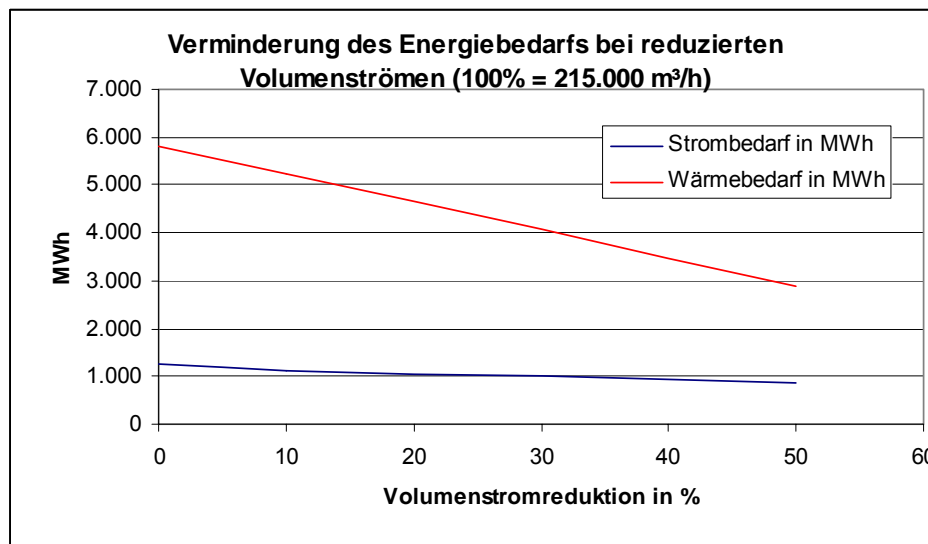
Theoretisch sind an allen Anlagen Energieeinsparungen an der Zuluffförderung, an der Abluffförderung und an der Luftbehandlung, insbesondere der an Luftbeheizung möglich. Hier liegt ein Doppelleffekt vor, da einerseits geringere Luftmengen erhitzt werden müssen und gleichzeitig der Zielwert der Temperatur tiefer liegt. Bei den Filtern verringert sich die Druckdifferenz durch die Volumenstromabsenkung. Gleichzeitig wird die Standzeit verlängert, da bei reduzierten Luftmengen weniger Staub abgefiltert werden muss.

Derzeit existiert keine Möglichkeit zur Kühlung der Zuluft. Dementsprechend kann eine Reduktion der Einblastemperatur nur in den Wintermonaten stattfinden, da im Sommerbetrieb zum einen keine verminderte Temperatur erreicht werden kann und zum anderen eine zusätzliche (maschinelle) Kühlung aus energetischer Sicht keine Vorteile bringt (zumal es derzeit auch ohne Kühlung geht). Da keine Informationen vorliegen, wie eine verringerte Einblastemperatur im Bereich Anblaseluft den Prozess beeinflussen würde und von Seiten den Betreiber negative Auswirkungen auf die Produktqualität befürchtet werden, können wohl keine Reduzierungen vorgenommen werden. Realistisch ist eine Reduktion des Gesamt-Luftwechsels auf 60-80-fach statt des derzeitigen 100-fachen Luftwechsels in den Wintermonaten. Für einen ganzjährigen Betrieb mit reduzierten Einblastemperaturen müssten zusätzliche Kühleinheiten vorgesehen werden. Im Gesamtsystem der untersuchten Anlagen wirkt sich eine Reduktion der Volumenströme im Winterbetrieb wie in folgender Tabelle dargestellt aus:

**Tabelle 16: Einsparpotenzial bei verringertem Luftwechsel**

Luftwechsel	Volumenstrom in m³/h	Strombedarf in MWh	Wärmebedarf in MWh	Strom-einsparung in MWh/a	Wärmeeinsparung in MWh/a	CO <sub>2</sub> -Emission in t/a	Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emission in %
100	215.000	1.250	5.800	-	-	1.981	-
90	193.500	1.125	5.220	125	580	1.783	10
80	172.000	1.063	4.640	188	1.160	1.619	18
70	150.500	1.000	4.060	250	1.740	1.455	26
60	129.000	938	3.480	313	2.320	1.292	34
50	107.500	875	2.900	375	2.900	1.128	42

Graphisch aufbereitet ergibt sich folgendes Bild:



**Abb. 32: Verminderung des Energiebedarfs bei reduzierten Volumenströmen**

Eine Reduktion der Luftmengen kann an den Bestandsanlagen am einfachsten durch eine Änderung der Antriebsübersetzung der Ventilatoren erreicht werden; durch diese Maßnahme wird allerdings der Stromverbrauch nicht reduziert. Inwieweit der derzeitige Luftwechsel tatsächlich ohne Umbauten reduziert werden kann, hängt im Wesentlichen von der Flexibilität der MSR-

Technik ab. Will man das Potenzial voll ausschöpfen, so müssen die Bestandsanlagen mit Drehzahlregelungen über Frequenzumrichter und mit der erforderlichen MSR-Technik versehen werden. Hier sind allein für die Anlagen Aufwickelraum und Spinnbühne Kosten von bis zu 30.000 € anzunehmen. Außerdem sollten bei Absenkungen der Einblastemperatur unter 19°C zur Vermeidung von Zegerscheinungen großflächige Quellaftauslässe installiert werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen würden.

### 9.2.2.3 Verlagerung von Aufgabenkomplexen aus dem RLT-Bereich

Der Verzicht auf Anlagenkomponenten oder die Umgestaltung der Luftführung und der Luftauslässe kann, ebenso wie die Verringerung der Durchsätze, eine Senkung der Druckverluste zur Folge haben.

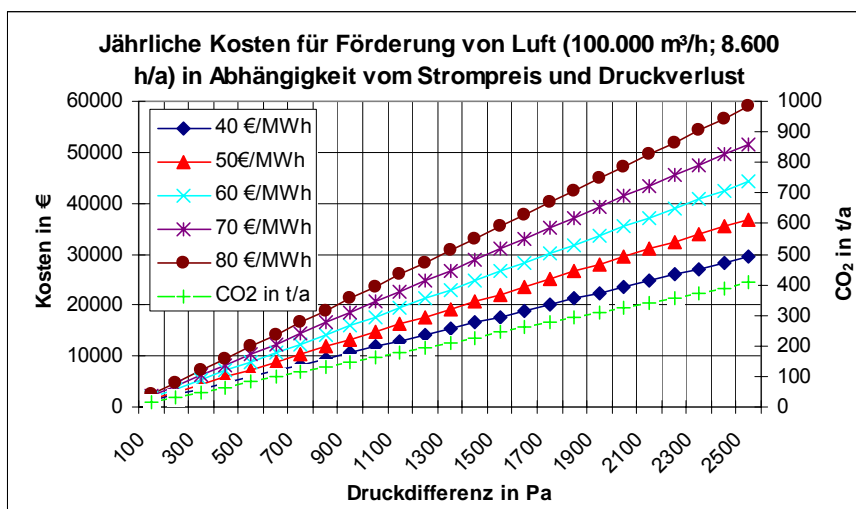


Abb. 33: Betriebskosten (ökologisch und monetär) für Ventilatoren (theoretisch) in Abhängigkeit vom Druckverlust bei konstantem Volumenstrom (100.000 m³/h) und Wirkungsgrad (0,8)

Eine Möglichkeit die sich anbietet ist z.B. der Austausch der Luftwäscher. Bei Kenntnis der Grundlagen des Anforderungsprofils können Aufgaben eventuell von technischen Anlagen außerhalb der RLT-Anlagen übernommen werden. Denkbar wäre eine Verminderung der elektrostatischen Effekte durch UV-Bestrahlung, Wärmeabfuhr oder Wärmeverschiebung durch Einsatz von Wasserkühlungen an den Produktionsmaschinen usw. Der Sinn solcher Maßnahmen hinsichtlich energetischer Auswirkungen innerhalb und außerhalb der Bilanzgrenze RLT-Anlage ist von Fall zu Fall zu prüfen.

## 9.2.3 Technische Maßnahmen

### 9.2.3.1 Ventilatoren

Wie oben beschrieben setzen sich die Kosten für den Energiebedarf der Ventilatoren aus mehreren Faktoren zusammen (siehe auch Gleichung 3). Wesentlich sind

- Fördermenge
- Druckdifferenzen
- Wirkungsgrade

Unter der Annahme, dass das Anforderungsprofil hinsichtlich des Volumenstromes beibehalten wird und die Druckdifferenzen ebenfalls gleich bleiben, verbleibt lediglich eine Wirkungsgradver-

besserung als Maßnahme zur Energieeinsparung. Um eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades zu erreichen, sollte das ganze Fördersystem (Ventilator, Motor, Übertragung) durch direkt angetriebene Ventilatoren ersetzt werden. Bei einer Abschätzung der möglichen Wirkungsgradverbesserung und der Kosten für die Neuanschaffung von Ventilatoren ergeben sich folgende Werte:

**Tabelle 17: Abschätzung der Kosten für Ventilatoren, Maschine 1+2**

Bereich, Anlage	Wirkungsgrad (%)	Verbrauch elektr. Energie (MWh/a)	jährliche Stromkosten bei 75 €/MWh (€/a)	geschätzter möglicher Wirkungsgrad	geschätzte Investitionskosten für Ersatz (€)	mögliche Energieeinsparung (MWh/a)	mögliche Einsparung (€/a)	stat. Amortisationszeit (a)
Anblaseluft (Zuluft, 3 parallel betriebene Ventilatoren)	67%	250	18.912	72%	8.300	18	1.317	6,3
Spinnbühne 1 (Zuluft, 1 Ventilator)	69%	50	3.793	74%	17.000	3	259	>20
Aufwickelraum (Abluft, 1 Ventilator)	74%	220	16.652	79%	23.700	14	1.065	>20
Aufwickelraum (Zuluft, 2 parallel betriebene Ventilatoren)	80%	440	33.240	83%	23.700	16	1.206	>15
Extruderbühne 1 (Abluft, 1 Ventilator)	20%	18	1.337	25%	4.600	3	258	>15
Extruderbühne 2 (Abluft, 1 Ventilator)	23%	18	1.337	28%	4.600	3	250	>15
Extruderbühne 3 (Abluft, 1 Ventilator)	25%	18	1.337	30%	4.600	3	215	>20
Gesamt:	-	1.014	76.610	-	-	61	4.571	-

Es wird deutlich, dass Investitionen in diesem Bereich mit langen Amortisationszeiten verbunden sind. Selbst bei der Anlage Anblaseluft, die die geringste Amortisationszeit aufweist, beträgt diese noch mehr als 6 Jahre. Hinzu kommt, dass bei den in der Tabelle aufgeführten Investitionskosten lediglich die Materialkosten für den Ventilator (inkl. Antrieb) berücksichtigt wurden. Eine etwaige Redundanzhaltung wurde nicht berücksichtigt. Zusätzliche zu erwartende Kosten sind:

- Bauliche Änderungen an der Peripherie (Fundamente, Schaltschränke, etc.)
- Stillstandszeiten der Produktionsanlage
- Montagekosten
- Planungsaufwand

Unter Einbezug aller genannten Aspekte ist eine wirtschaftliche Umsetzung derzeit nicht gegeben, da bereits ohne zusätzliche Kosten eine statische Amortisationszeit von weit über 3 Jahren anzunehmen ist. Variiert man das Maß für die Wirtschaftlichkeit und den Strompreis, kann diese Aussage relativiert werden:

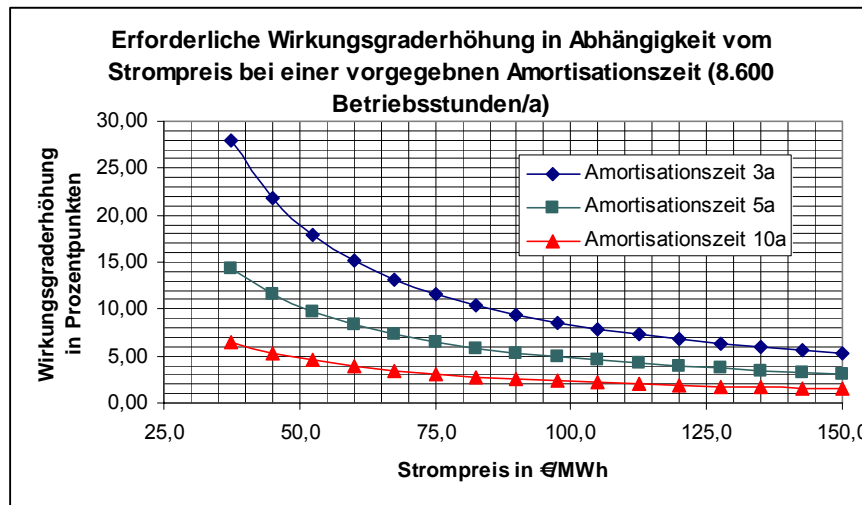


Abb. 34: Anblaseluft Maschine 1+2; erforderliche Wirkungsgraderhöhungen (Ventilator) in Abhängigkeit vom Strompreis

Auch der Austausch einzelner Komponenten der Fördermaschinen (Motor, Ventilator, Antrieb) im funktionierenden System macht wirtschaftlich keinen Sinn. Sollte jedoch ein defekter Motor ausgetauscht werden müssen, wird der Einsatz von Hocheffizienzmotoren empfohlen. Die Mehrkosten gegenüber einem Standardmotor betragen laut Herstellerangaben 15-20% und amortisieren sich in Abhängigkeit von der jährlichen Betriebsstundenzahl erfahrungsgemäß innerhalb von 1 bis 3 Jahren. An dieser Stelle soll unterschieden werden zwischen dem Austausch eines funktionierenden Bestandmotors (Ersatz) und einer zwingend erforderlichen Anschaffung, bei der zwei Motorvarianten (Hocheffizienz und Standard) in Frage kommen (Wahl). Nimmt man an, dass bei einer zwingend erforderlichen Neuanschaffung die Kosten für Planung, Einbringung und Anschluss der Motorvarianten gleich hoch sind, kann eine Wirtschaftlichkeit anhand der Mehrkosten beim Motorkauf bewertet werden. Soll jedoch ein funktionierender Bestandmotor ausgetauscht werden, sind die zusätzlichen Kosten für Ausbau des Bestandmotors, Planung, Einbringung und Anschluss zu berücksichtigen, ggf. sind auch Kosten für einen etwaigen Produktionsstillstand in die Betrachtung aufzunehmen.

Tabelle 18: Hocheffizienzmotoren im Vergleich zu Standardmotoren

	Hocheffizienzmotor	Standardmotor
Motorleistung in kW	22,0	22,0
Kaufpreis in € (netto)	1.000	870
Mehrkosten Kauf in €	130,0	-
Wirkungsgrad in kW	92,6	90,5
Strompreis in €/MWh	60,0	60,0
Betriebsstunden in h/a	8.600	8.600
Strombedarf in MWh/a	204,3	209,1
Stromkosten in €/a	12.259,2	12.543,6
jährl. Einsparung in €	284,5	-
jährl. Einsparung CO <sub>2</sub> in %	2,3	-
Amortisationszeit (Wahl) in a	0,5	-
zusätzliche Kosten (Ersatz) in €	500	-
Amortisationszeit (Ersatz) in a	5,3	-

9.2.3.2 Filter

Beispiel RLT-Anlage Spinnbühne für Maschine 1+2: Derzeit sind 30 Taschenfilter (6 Taschen pro Filter) mit quadratischer Ansichtsfläche (60x60 cm) und einer Tiefe von 58 cm verbaut. Es ergibt sich eine gesamte Ansichtsfläche von 11m<sup>2</sup> mit einer verfügbaren effektiven Filterfläche von ca. 130m<sup>2</sup>. Ein Volumenstrom von ca. 60.000m<sup>3</sup>/h auf 11m<sup>2</sup> Ansichtsfläche bei 30 Filterkassetten entspricht einem durchschnittlichen Volumenstrom von 2.000m<sup>3</sup>/h pro Filterkassette. Dabei handelt es sich um einen typischen Auslegungswert, wie er von Hersteller vorgeben wird.



Abb. 35: Filterkammer (Ausschnitt)

Im Folgenden werden Wirkungsgrade bzw. Druckdifferenzen von EU5 bzw. EU7 Filtern bei Nennvolumenstrom in Abhängigkeit von der Staubaufgabe graphisch dargestellt:

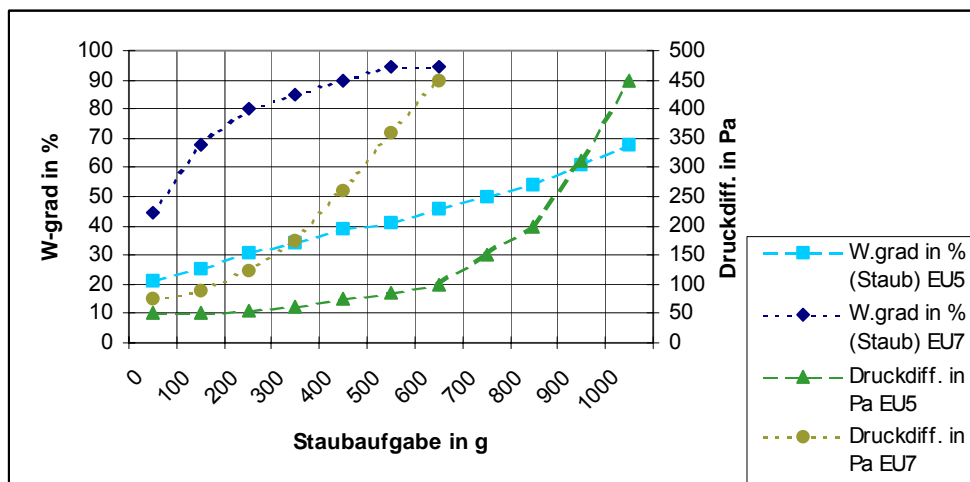
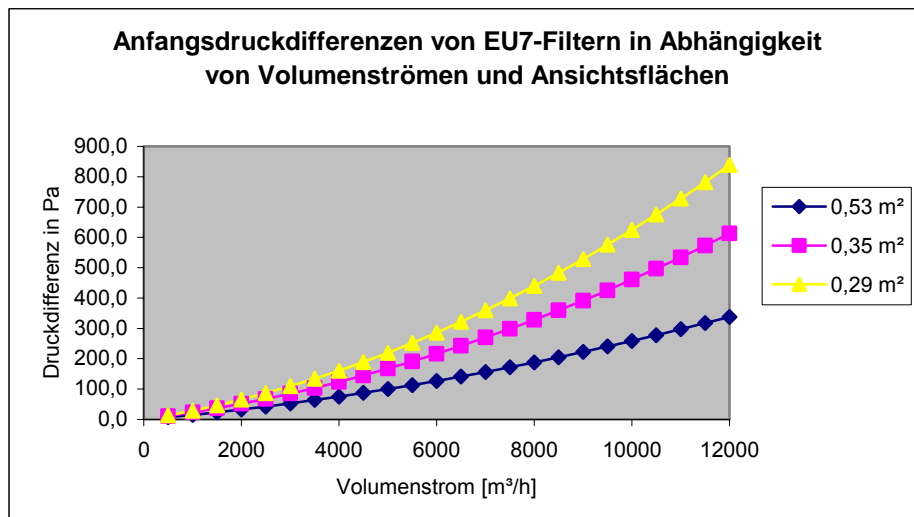


Abb. 36: Wirkungsgrad und Druckdifferenz von EU5 und EU7 Filtern in Abhängigkeit von der Staubaufgabe



Folgendes Bild zeigt, wie sich die Anfangsdruckdifferenzen von EU7-Filtern in Abhängigkeit vom Volumenstrom ändern (Nennvolumenstrom 2.000 m<sup>3</sup>/h):



**Abb. 37: Anfangsdruckdifferenz von EU7 Filtern bei unterschiedlichen Ansichtsflächen in Abhängigkeit vom Volumenstrom**

Bei gleichem Volumenstrom weisen größere Ansichtsflächen geringere Druckverluste auf. Bei zunehmender Staubsättigung steigen die Druckverluste. Energetisch machen sich die Druckverluste beim Strombedarf für den Ventilator bemerkbar, entsprechend bedeutet eine Überdimensionierung von Filtereinheiten einen geringeren Strombedarf bei den Ventilatoren.

Es besteht die Möglichkeit einer Luftqualitätsverbesserung mit relativ einfachen Mitteln, d.h. ohne Umbauten besteht die Möglichkeit von EU5 auf EU7-Filter umzurüsten. Aus Abb. 36 geht hervor, dass mit dem EU7-Filter bereits unmittelbar nach dem Einsetzen bessere Wirkungsgrade (relativ zur Staubaufgabe) erzielt werden.

Wesentlicher Kostenfaktor ist die schlechtere Staubausbeute, das heißt ein EU7-Filter erreicht die (vom Hersteller empfohlene) Enddruckdifferenz von 450 Pa bereits nach der Einspeicherung von 650g Staub, während ein EU5-Filter in der Lage ist über 1.000g Staub einzuspeichern. Die Wechselfrequenz steigt also und damit auch die Kosten für Beschaffung der Filter und die Lohnkosten für die aufgewandte Arbeit. Für eine exakte monetäre Abschätzung ist es erforderlich, eine Staubmenge bzw. eine Staubverteilungsfunktion am Standort zu kennen. Alternativ kann eine Referenz-Standzeit für einen Filtertyp festgelegt werden (hier: EU5, Standzeit drei Monate) und die Kostenentwicklung relativ zum Referenz-Filter dargestellt werden.

Tabelle 19: Annahmen für die Kostenschätzung bei Verwendung verschiedener Filtertypen

Filtertyp	EU5	EU7
Staubmenge in g (pro Kasette)	1050	650
Standzeit in Monaten (alle Kassetten)	3	1,86
Lohnkosten für Filterwechsel in €	300	300
Materialkosten für Filterwechsel in €	670	825

Aufgrund der verkürzten Standzeit und der etwas höheren Kosten für den Filterkauf beim hochwertigeren EU7-Filter entstehen im Laufe eines Jahres Mehrkosten von ca. 3.000 €. Folgende Abbildung stellt die Kostenentwicklung graphisch dar:

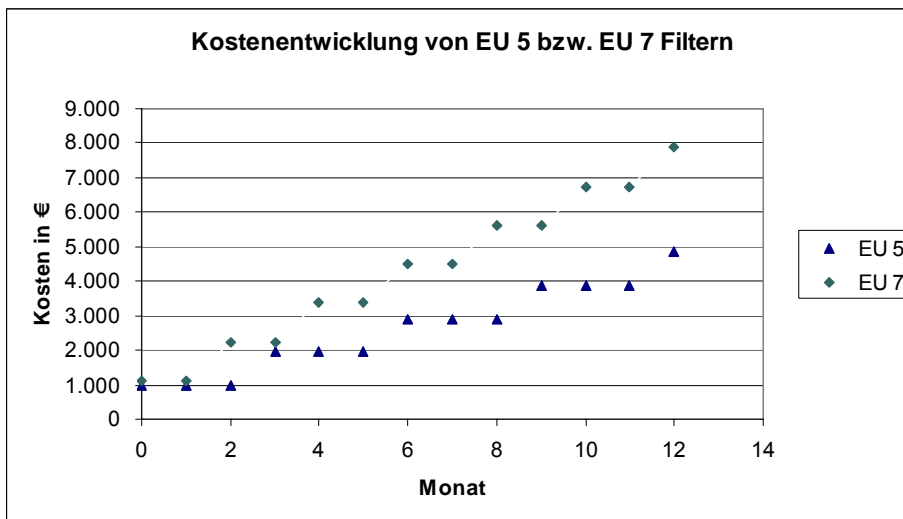


Abb. 38: Kostenentwicklung von EU5 bzw. EU7 Filtern bei konstantem Volumenstrom

Die Mehrkosten können eventuell zum Teil durch eine Vergrößerung der Filterfläche kompensiert werden, da sich dadurch die einzuspeichernde Staubmenge - und damit auch die Standzeit - erhöht und die Wechselfrequenz sinkt. Gleichzeitig erhöhen sich die Materialkosten pro Filterwechsel. Es wäre ein Ausbau der Anlage auf 48 Kassetten nötig, um bei EU7-Filtern die gleiche Standzeit wie bei 30 EU5-Filtern zu erreichen. Dadurch steigen die Materialkosten in der Beispielrechnung im gleichen Maße wie die angenommenen Lohnaufwendungen für den Filterwechsel sinken. Da sowohl Lohnaufwendungen als auch Standzeiten sensitiv wirken können und keine genauen Werte bekannt sind, sei an dieser Stelle nochmals auf die vorgeschlagenen organisatorischen Maßnahmen verwiesen.

Eine weitere Möglichkeit der Qualitätssteigerung wäre der Ausbau zu einem zweistufigen Filtersystem. Dazu sind jedoch größere Umbauten notwendig. In den bestehenden Anlagen dürfte dies kaum ohne größeren Aufwand (Umbauten am Gebäudekörper) möglich sein. Eine Auslagerung z.B. als Dachlösung hat weitere Kanalwege zur Folge, entsprechend auch zusätzliche Investitionskosten. Gleichzeitig würde ein Teil der eingesparten Druckdifferenz durch den zusätzlichen Kanal (Reibungsverluste, Verluste durch Formteile) zunichte gemacht.

Eine Druckkonstanthaltung auf niedrigem Niveau ist auch durch ein dynamisches Filterwechsel-Verfahren möglich. Dabei muss die Filterfläche beobachtet und in Wechsel-Segmente aufgeteilt werden. Bei Erreichen der gesetzten Druckdifferenz wird das Segment ausgetauscht. Dies bietet

die Möglichkeit höherklassige Filter mit höheren Druckverlusten ohne Änderungen an der Anlage einzusetzen. Hier sind zwar keine Einsparungen zu erwarten, jedoch wäre eine weitere Qualitätssteigerung der Zuluft bei gleichbleibenden Energiebedarf zu erreichen.

### 9.2.3.3 Luftbefeuchtung, Luftwäscher

Vorab soll nochmals kurz auf die Wirkungsmechanismen der Luftwäscher im System eingegangen werden. Er hat drei Aufgaben:

- 1) Reinigung
- 2) Kühlung
- 3) Befeuchtung

zu 1) Da die Luft bereits trocken vorgefiltert wird und in der Außenluft keine nennenswerte Belastung durch wassergängige Schadgase anzunehmen ist, dürfte der Reinigungseffekt als gering anzusehen sein. Ob bei Umluftbetrieb (Aufwickelraum) wassergängige Schadgase in nennenswerten Mengen auftreten, ist nicht bekannt.

zu 2) Der Kühleffekt ist dann am größten, wenn eine Verdunstung stattfindet, d.h. wenn sich der Aggregatzustand des Wassers von flüssig auf gasförmig ändert. Optimal ist dieser Vorgang dann, wenn Befeuchten und Kühlen gleichzeitig stattfinden sollen. In anderen Fällen ist der Kühleffekt meist mit einer Überschreitung der Feuchte-Sollwerte verbunden. Dies gilt vor allem im Sommer, wenn bereits hohe absolute Feuchtegehalte in der Außenluft vorliegen. Durch die Abkühlung der Außenluft steigt die relative Feuchte bereits an, eine Verdunstung des Wäscherwassers sorgt für einen weiteren Anstieg der Luftfeuchte. Messungen an der Anlage Aufwickelraum ergaben, dass die Außenluft von 24°C und 52,5% r.F. durch die Luftwäscher auf 20,5°C gekühlt werden kann, dabei die relative Feuchte allerdings auf 91% ansteigt. Dieser Anstieg der r.F. entspricht einen unerwünschten Anstieg der absoluten Feuchte um fast 4 g Wasser pro kg Luft.

zu 3) Beim Befeuchten findet wie oben erwähnt eine Kühlung statt, die erwünscht oder unerwünscht sein kann. Prinzipiell gilt für die Befeuchtung, dass dem Wasser mindestens die Energie zum Verdunsten zugeführt werden muss. Hinzu kommt je nach Temperaturniveau die Energie zum Einhalten der Soll-Temperatur. Im Falle der Luftwäscher wird diese Energie dem Luftstrom entzogen und muss anschließend - meist über die Heizregister - wieder zugeführt werden (Winterbetrieb). Bei anderen Befeuchtungssystemen können andere Mechanismen zugrunde liegen. Die theoretisch benötigte Nutzenergiemenge zur Verdunstung des Wassers ändert sich dadurch nicht, lediglich die praktisch eingesetzten Energiemengen und Wirkungsgrade der Anlagen unterscheiden sich.

Nimmt man die für die Befeuchtung nötige Wassermenge als Maßstab und setzt sie mit der durch den Dauerbetrieb der Luftwäscher durchgesetzten Menge an Abschlammwasser ins Verhältnis, so stellt man fest, dass der Wäscher der Anlage Anblaseluft durch die Abschlammung pro Jahr über 50 mal mehr Wasser durchsetzt als für die eigentliche Luftbefeuchtung erforderlich ist. Bei den Anlagen Aufwickelraum und Spinnbühne liegt der Faktor aufgrund der Sollwertvorgaben etwa bei 5-10.

Die Luftwäscher könnten z.B. durch Verdunstungs- oder Verdampfungsbefeuchter ersetzt werden. Auch Hybridbefeuchter wären denkbar, deren Einsatz bei staubbelasteter Luft ist jedoch problematisch. Wesentlicher Vorteil dieser Systeme ist, dass nur die tatsächlich benötigte Wassermenge durchgesetzt werden muss, eine Abschlammung entfällt. Moderne Verdampfer können zudem Kalk vor dem Eintrag in den Luftstrom ausscheiden, entsprechend findet eine Qualitätssteigerung bei gleichzeitiger Senkung der Wartungs- und Inspektionskosten statt. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die exakte Dosierung keine Tropfenabscheider etc. nötig sind und die Sprühdüsen praktisch keinen statischen Druckverlust im Kanal verursachen. Ein Nachteil ist, dass die Befeuchterstrecke länger wird und entsprechend Raum zur Verfügung gestellt werden

müsste. Auch beim Einsatz von Verdunstern ist ein Kühleffekt gegeben. Dieser ist im Vergleich zum Luftwäscher zwar geringer, dafür ist das System aber besser regelbar.

Da die Luftwäscher relativ hohe Druckverluste im System verursachen (siehe Tabelle 8) können durch einen Austausch der Wäscher durch ein druckverlustarmes System zusätzliche Einsparungen auf der Ventilatorseite erreicht werden. Problematisch könnte unter Umständen die durch einen Umbau verursachte Änderung an der Anlagenkennlinie sein.

Bezieht man diese Faktoren mit ein, so stellt sich eine Abschätzung des Einsparpotenzials bei einem Ersatz der Luftwäscher durch Verdunstungszerstäuber wie folgt dar:

**Tabelle 20: Einsparungen bei Ersatz der Luftwäscher**

	Frischwasserkosten in €/a	Kosten für Abschlammwasser in €/a	Stromkosten in €/a für Pumpen und Ventilatoren (anteilig)	geschätzte Kosten für Wartung und Inspektion in €/a	Betriebskosten gesamt in €/a	Einsparungen in €/a	Einsparungen CO <sub>2</sub> in t/a
<b>Wäscher</b>							
Anblaseluft M 1+2	170	640	3.180	1.000	4.990	-	
Spinnbühne M 1+2	230	640	13.500	1.500	15.870	-	
Aufwickelraum M 1+2	240	640	8.700	1.250	10.830	-	
<b>Zerstäuber</b>							
Anblaseluft M 1+2	4	0	100	200	304	4.686	23
Spinnbühne M 1+2	60	0	500	200	760	15.110	96
Aufwickelraum M 1+2	70	0	400	200	670	10.160	60

Eine mögliche CO<sub>2</sub>-Reduktion durch die Entlastung der Kläranlage wurde nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die Verluste, die durch einen Produktionsstillstand durch Baumaßnahmen verursacht würden. Die geschätzte Stillstandszeit beträgt etwa 2-5 Tage. Bei geschätzten Investitionskosten von ca. 30.000 Euro pro Befeuchtereinheit könnte sich die Maßnahme für die RLT-Anlagen von Spinnbühne und Aufwickelraum innerhalb von 3 Jahren amortisieren:

**Tabelle 21: Amortisationszeiten bei Ersatz der Luftwäscher**

	Investitionskosten in €	Einsparungen in €/a	stat. Amortisationszeit in a
Anblaseluft M 1+2	20.000	4.686	4,3
Spinnbühne M 1+2	30.000	15.110	2,0
Aufwickelraum M 1+2	30.000	10.160	3,0

Ein großer Teil der oben genannten Einsparungen resultiert aus der Gegenrechnung einer verminderten Ventilatorleistung. Um das energetische Potenzial umsetzen zu können, sind auch seitens der Ventilatoren größere Umbauten nötig. Zieht man weiterhin eine zusätzliche Kühlung durch Brunnenwasserregister in Betracht, ist auch hier eine wirtschaftliche Umsetzung kaum anzunehmen.

#### 9.2.3.4 Heizregister, Wärmeerzeugung

Am Standort Obernburg ergeben sich aufgrund der örtlichen Energieversorgungssituation (Kraft-Wärme-Kopplung) nur sehr geringe Kosten für Wärme, da der Dampf primär für den Antrieb der Generatoren des Kraftwerkes gebraucht wird und dann in Form von Überschusswärme zu günstigsten Konditionen an die Firma Acordis geliefert wird. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht gibt es deshalb auch kaum Optimierungspotenzial, d.h. eine Minderung des Dampfbedarfes würde kaum Einsparungen mit sich bringen.

Indirekt beeinflussen die Register (wie auch alle anderen Einbauteile im Kanal) den Strombedarf des Ventilators, sind aber bei den Bestandsanlagen so ausgelegt, dass hier kein Handlungsbedarf besteht.

### 9.2.3.5 Energierückgewinnung

Prinzipiell bieten sich zwei Möglichkeiten der Energierückgewinnung an:

- Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher
- Umluftbetrieb

Durch den von den Produktionsmaschinen verursachten Wärmeeintrag in das Gebäude besteht lediglich die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung. Energetisch gesehen besteht – vor allem aufgrund der hohen Luftwechselraten und des damit verbundenen Aufwands für die Behandlung der Außenluft – großes Einsparpotenzial. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, verursacht durch die Beheizung, kann analog der Rückwärmezahlen reduziert werden (siehe Tabelle 6), wobei bei Einsatz von Wärmerückgewinnungs-(WRG) -Elementen auch die Abwärme der Produktionsmaschinen genutzt wird. Im Falle der Bestandsanlagen ist bei den Fallschachtanlagen mit hohen Staubbelastungen zu rechnen. Bei der Anlage Aufwickelraum wird bereits Umluft gefahren, es verbleibt also die Anlage Spinnbühne für eine Potenzialabschätzung. Aufgrund der räumlichen Distanz zwischen Zu- und Abluft und der dreigeteilten Abluftanlage kommt nur ein Kreislauf-Verbund-System (KVS) zur Wärmerückgewinnung in Frage.

Der Wärmeeintrag durch die Produktion im Bereich Spinnbühne beträgt etwa 200 kW und entspricht einer Erwärmung der Luft zwischen Einblas und Absaugung um 10°C. Aufgrund der Wirkungsgrade von WRG-Systemen ist eine vollständige Wärmerückgewinnung nicht möglich. Bei einer angenommenen mittleren Rückwärmezahl von 0,5 könnte bei einer Außenlufttemperatur von 16°C eine Erhitzung der Zuluft auf die Soll-Temperatur von 21°C rein durch Wärmerückgewinnung aus der Produktionsabwärme erfolgen. Sinkt die Außentemperatur unter 16°C, ist eine zusätzliche Lufterwärmung nötig, wobei wiederum ein Teil der über die Register eingebrachten Energie rückgewonnen werden kann. Eine vollständige Nutzung der rückgewonnenen Wärme innerhalb der RLT-Anlage ist theoretisch nur bei Außentemperaturen unter 11°C möglich, entsprechend beginnt hier der Regelbereich. Die mögliche reale Einsparung beträgt ca. 50-80% der derzeit eingebrachten Heizenergie im Bereich Spinnbühne.

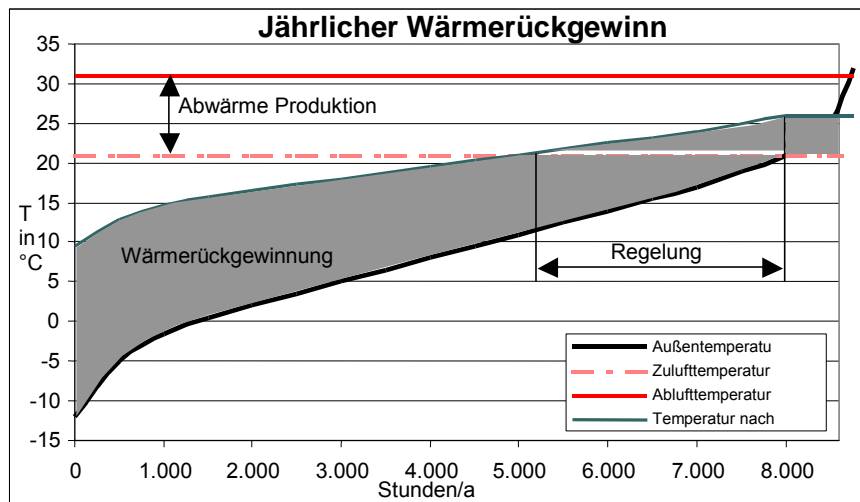


Abb. 39: Jährlicher Wärmerückgewinn

Bei einem nachträglichen Einbau von WRG-Elementen ist mit zusätzlichen statischen Druckverlusten im System zu rechnen, d.h. eine Anpassung der Ventilatoren und ggf. zusätzliche Ventilatoren sind erforderlich. Zudem sollte eine Filtration der stark staubbelasteten Abluft vor den WRG-Elementen erfolgen, entsprechend sind auch hier zusätzliche Druckverluste zu erwarten. Aus den unter 9.2.3.4 beschriebenen Gründen ist aus wirtschaftlicher Sicht am Standort keine Einsparung möglich. Das WRG-Potenzial sinkt außerdem bei einer Erweiterung der Sollwertbereiche oder einer Reduktion der Volumenströme, wie sie bereits vorgeschlagen wurden.

Ähnliches gilt für den Umluftbetrieb, d.h. es besteht durchaus die Möglichkeit Emissionen zu reduzieren, bei den Anlagen Aufwickelraum wird dieses Potenzial bereits genutzt. Bei den Anlagen Anblaseluft und Spinnbühne ist eine Nachrüstung auf Umluftbetrieb wirtschaftlich kaum zu realisieren. Auch aus hygienischen Gründen ist der Umluftbetrieb nicht zu empfehlen. Da durch die Produktion partikelförmige Schadstoffe emittiert werden, ist bei Umluftbetrieb mit einer stark erhöhten Staubbelastung der Filter zu rechnen.

#### 9.2.3.6 Kühlregister, Kälteerzeugung

Lediglich die Anlagen für die Anblaseluft sind mit Kühlregistern ausgestattet, hier können keine Verbesserungsvorschläge gemacht werden. Mögliche Maßnahmen liegen im Bereich der Kälteerzeugung. Da mit Mainwasser gekühlt wird, solange seine Temperatur max. 8°C beträgt, werden die Kältemaschinen nur relativ selten zugeschaltet. Entsprechend ist das Potenzial bereits ausgeschöpft.

Die Nachteile der Kühlung über Luftwäscher wurden bereits beschrieben. Eine Nachrüstung der verbleibenden Anlagen mit Kühlregistern könnte die Einhaltung der vorgesehenen Sollwerte gewährleisten, Einsparungen sind dadurch jedoch nicht erreichbar. Der Einsatz von Brunnenwasser als Kühlmedium zur trockenen Kühlung hat zwar einen geringeren Effekt als die Verdunstungskühlung durch Wäscher, das Wasser kann aber, da es unbelastet ist, über Schluckbrunnen wieder zurückgeführt werden. Gleichzeitig entfällt die unerwünschte Befeuchtung.

#### 9.2.3.7 Entfeuchtung

Eine Entfeuchtung der Luft ist nur selten und dann nur kurzzeitig notwendig. Hier bieten sich wartungsarme Katabare an, wie sie am Standort bereits für die Erzeugung von Trockenluft eingesetzt werden. Im Prinzip kreuzen dabei stark hygroskopische Materialien (Salze, Lithium-Bromid) den Luftstrom, entziehen diesem die Feuchte und werden anschließend durch Wärmezufuhr wieder regeneriert. Wesentlicher Vorteil dieses Systems ist, dass im Gegensatz zur Taupunktentfeuchtung keine Kälteanlage vorgehalten werden muss. Die erforderliche Wärme zur Regeneration ist dann, wenn eine Entfeuchtung nötig ist (d.h. im Sommer), am Standort in Form von Dampf vorhanden. Aufgrund der kurzen Zeiträume, in denen eine Entfeuchtung der Zuluft nötig ist, besteht unter wirtschaftlichen Aspekten keine Möglichkeit, die Bestandsanlagen umzurüsten.

### 9.3 Zusammenfassende Darstellung der Maßnahmen

In folgender Tabelle werden die genannten und berechneten möglichen Maßnahmen am Standort Obernburg zusammenfassend genannt:

**Tabelle 22: Maßnahmen im Überblick**

Maßnahmenbereich	Maßnahme	CO <sub>2</sub> -Einsparung in %, relativ zur derzeitigen Gesamtemission*	Umsetzung aus wirtschaftlicher Sicht empfehlenswert?**
organisatorische Maßnahmen	Bestandsdokumentation; Betriebskostenerfassung; Wartungsplan	-	-
technische Maßnahmen an Einzelkomponenten	Austausch der Luftfördereinheiten	2-3%	nein
	Filter	0,5-2%	nein
	Ersatz der Luftwäscher	5-15%	nein
	Wärmerückgewinnung	20-30%	nein
Änderung des Anforderungsprofils	Erweitern der Toleranzbereiche für Temperatur und Feuchte	10-15%	ja
	Reduktion des Luftwechsels bei veränderten Einblastemperaturen	15-30%	ja
	Kombination aus Erweiterung der Toleranzbereiche und Reduktion des Luftwechsels	30-40%	ja
* Emissionen verursacht durch den Betrieb der untersuchten RLT-Anlagen; Berechnungsgrundlage: Emissionsdaten des Kraftwerks am Standort Obernburg			
**Berechnungsgrundlage: Strom und Wärmepreise am Standort Obernburg			

Lässt man wirtschaftliche Aspekte außer Acht, so zeigt sich, dass durchaus CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial vorhanden ist. Die Frage, wie viel der jährlich emittierten 2.000 t CO<sub>2</sub> tatsächlich eingespart werden können, lässt sich nicht durch Addition der Einzelpotenziale klären, da bei vielen Maßnahmen Auswirkungen an anderer Stelle entstehen. Wird zum Beispiel das Anforderungsprofil dahingehend geändert, dass tatsächlich 30-40% der derzeitigen Gesamtemission vermieden werden, reduziert sich das angegebene Wärmerückgewinnungspotenzial, da bereits weniger Wärmeenergie durch die reduzierten Volumenströme und die erweiterten Toleranzbereiche benötigt wird. Andererseits können sich Änderungen am Anforderungsprofil oder am Aufbau der Anlagen auch dahingehend auswirken, dass sich Maßnahmen an Einzelkomponenten, die aus wirtschaftlicher Sicht derzeit nicht interessant sind, u.U. doch rentieren.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass das wirtschaftliche Potenzial anhand von Preisen für Strom und Wärme am Standort Obernburg abgeschätzt wurde. Maßnahmen, die am Standort Obernburg aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert sind, können daher an anderen Standorten durchaus wirtschaftlich sein.

## 10 Kennzahlen

Die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 2.000 t/a durch den Betrieb der RLT-Anlagen wurden mit den Emissionswerten des Kraftwerks Obernburg berechnet. Bei einer Berechnung mit den GEMIS-Werten für den deutschen Strommix bzw. Prozesswärme aus Gaskesseln, erhöhen sich die Emissionen um etwa 12,5% auf 2.250 t/a.

Oben wurde bereits auf die Einzelkomponenten im System eingegangen. Die für die Einzelkomponenten ermittelten Werte bewegen sich weitgehend im Rahmen der in der Literatur vorgefundenen und im allgemeinen Teil genannten Kennzahlenbereiche. Im Folgenden werden weitere, aus den Ergebnissen abgeleitete Kennzahlen dargestellt. Spezifiziert man den Energieverbrauch der RLT-Anlagen im Sinne einer Normierung auf das Produkt, erhält man folgende Werte, wobei Leitungsverluste nicht berücksichtigt sind:

**Tabelle 23: Kennzahlen: RLT-Verbräuche bezogen auf den Durchsatz der Produktionsmaschinen**

<b>Kennzahlen</b>	<b>M 1+2</b>	<b>M 15 (+16)</b>
Strom in MWh/t Produkt	0,15	0,18
Wärme in MWh/t Produkt	0,58	0,78
Kälte in MWh/t Produkt	0,01	0,01
Wasser in m <sup>3</sup> /t Produkt	1,87	2,30
t CO <sub>2</sub> /t Produkt (ohne Wasser)	0,21	0,27

Diese Kennzahlen können jedoch nicht ohne Interpretation stehen bleiben, da der Eindruck entsteht, die moderneren RLT-Anlagen der Maschine 15 würden eine schlechtere Performance abgeben als die Anlagen der älteren Maschinen 1+2. Tatsächlich ist eine Produktionserweiterung geplant, welche bei der RLT-Anlagenplanung berücksichtigt wurde, d.h. momentan ist die RLT-Anlage Maschine 15 etwas überdimensioniert und läuft im gedrosselten Betrieb. Wesentlichere Auswirkungen hat jedoch der Umstand, dass auf den Produktionsmaschinen unterschiedliche Produkte gefahren werden. Dies äußert sich im Vergleich zu den Maschinen 1+2 in einem geringeren Durchsatz der Produktionsmaschine 15 und anderen Sollwertvorgaben für die RLT-Anlagen. Die größten Unterschiede in den Sollwertvorgaben liegen bei den RLT-Anlagen Anblaseluft, entsprechend unterscheiden sich der Luftbehandlungsbedarf und die damit verbundenen energetischen Aufwendungen:



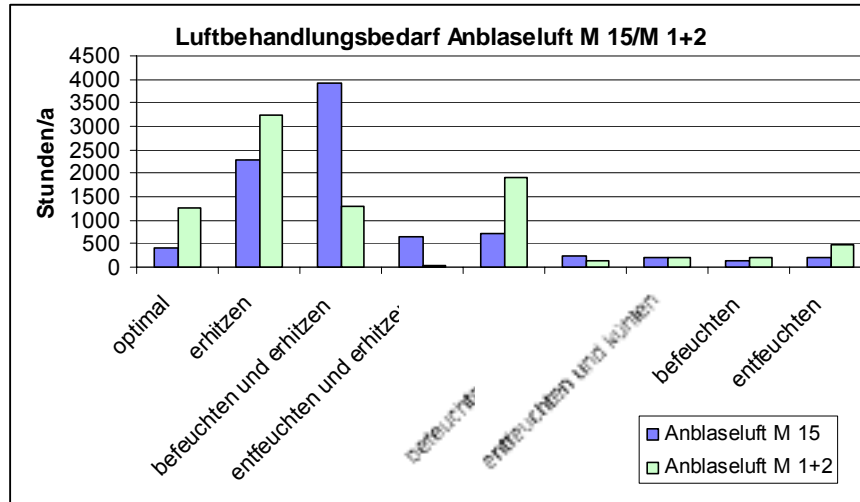


Abb. 40: Gegenüberstellung des Luftbehandlungsbedarfes der Anlagen Anblaseluft

Bei einem Vergleich der RLT-Anlagen unter exakt gleichen Voraussetzungen dürften die RLT-Anlagen der Maschine 15 den Anlagen der Maschine 1+2 überlegen sein.

An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass nicht alle installierten RLT-Anlagen untersucht werden konnten. Tatsächlich sind die Aufwendungen für die Klimatisierung etwas höher, entsprechend spiegeln die in Tabelle 23 angegebenen Werte nicht den tatsächlichen Energieaufwand für die Klimatisierung pro Tonne Produkt wieder, sondern stellen aus den bilanzierten Anlagen abgeleitete Kennzahlen dar. Gleiches gilt für die nachfolgenden Diagramme, die den Energieaufwand bzw. die CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Betrieb von RLT-Anlagen mit dem Aufwand für den Betrieb der Produktionsmaschinen ins Verhältnis setzen:

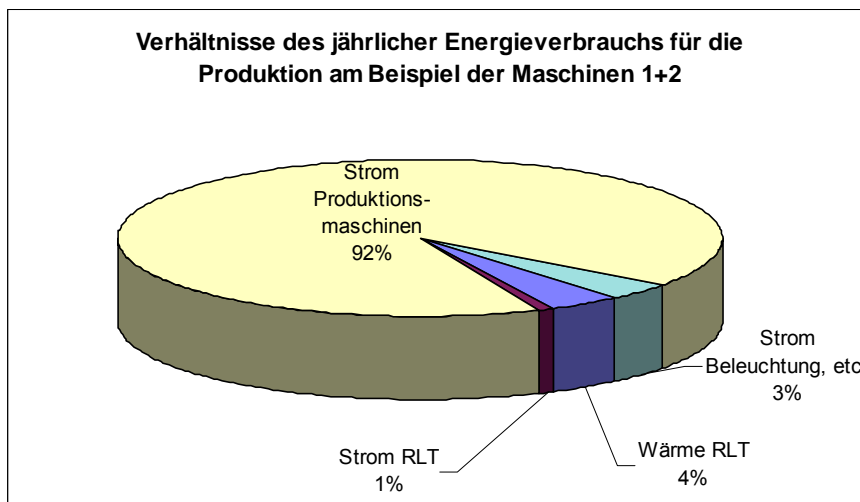


Abb. 41: Energieverbrauch Produktionsmaschinen, Gebäude und RLT-Anlagen im Vergleich

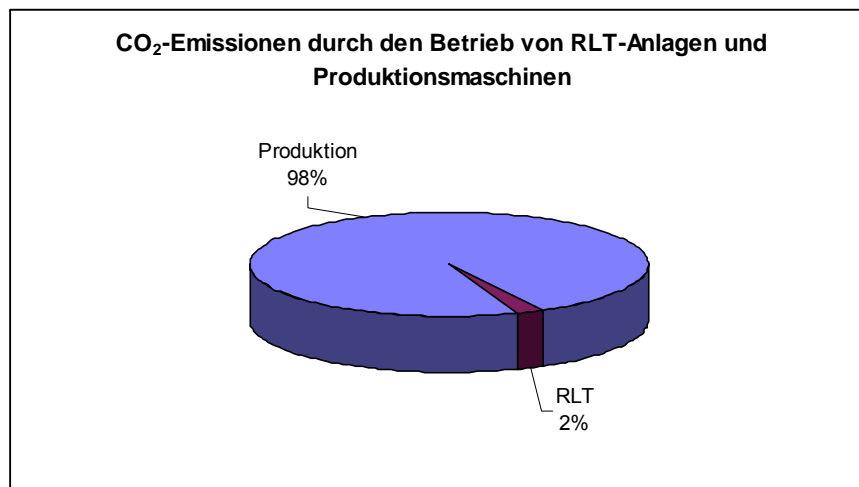


Abb. 42: Emission durch den Betrieb von RLT-Anlagen und Produktionsmaschinen

Die spezifischen energetischen und monetären Aufwendungen für die Klimatisierung bezogen auf das hergestellte Produkt sind relativ gering im Vergleich zu den Aufwendungen für den Betrieb der Produktionsmaschinen.

Eine Übertragbarkeit von Kennzahlen ist insofern schwierig, da kaum Betriebe mit identischer Ausgangssituation zu finden sein werden. Bereits innerhalb des hier untersuchten Betriebes waren die gebildeten Kennzahlen zu interpretieren. Ein sinnvoller Kennzahlenvergleich kann im Prinzip nur vor einer Aggregation von Einzelergebnissen erfolgen. Da das Anforderungsprofil an die RLT-Anlagen hinsichtlich der Sollwerte wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf hat und diese Vorgaben in der Industrie meist produktbezogen und damit variabel sind, ist ein sinnvoller betriebs- oder branchenübergreifender Ansatz über Jahresverbräuche nicht zu realisieren. Entsprechend sind die ermittelten Ergebnisse nicht vergleichbar. Es besteht aber die Möglichkeit, die Vorgehensweise zu übertragen.

Das Vorgehen für die Einschätzung von RLT-Anlagen in anderen Betrieben könnte analog zur Vorgehensweise in dieser Arbeit erfolgen:

- Erfassen des Ist-Zustandes durch Messen der relevanten Parameter, (Temperaturen, Druckdifferenzen, Feuchtwerte, Volumenströme, elektrische Leistungen)
- Definition des Soll-Zustandes (Anforderungsprofil)
- Vergleich von Ist-Zustand und Soll-Zustand
- Ermitteln von allgemeinen Größen des Gesamtsystems und Vergleich mit Literaturkennwerten (Luftwechselraten, Frischluftbedarf)
- Bewertung der Einzelkomponenten anhand von Literaturkennwerten (Druckdifferenzen, Wirkungsgrade, Verbräuche)

Die Definition des Soll-Zustandes ist einerseits der schwierigste Teil bei dieser Vorgehensweise, gleichzeitig ist dies aber auch der wichtigste Teil. Ist das Anforderungsprofil falsch definiert, hat auch eine technisch und energetisch sinnvoll ausgelegte RLT-Anlage einen zu hohen Energieverbrauch.

Vor allem die Kennwerte für die Einzelgrößen eignen sich für eine Ersteinschätzung von RLT-Anlagen aus technischer Sicht. Insbesondere eine Überschreitung der Sollwertbereiche von Druckdifferenzen ist ein Indiz für vermeidbaren Energieverbrauch.

## 11 Allgemeine Hinweise zur Optimierung von industriellen RLT-Anlagen

### 11.1 Fragenkatalog

Die Erfahrung zeigt, dass periphere Anlagen, d.h. Anlagen die nicht unmittelbar zur Erzeugung eines Produkts dienen, meist erst dann Gegenstand einer Betrachtung werden, wenn die Produktion negativ beeinflusst wird. Läuft die Produktion reibungslos, bleiben periphere Anlagen wie z.B. industrielle RLT-Anlagen meist unangetastet. Die Frage an dieser Stelle ist, ob ein reibungsfreier Produktionsablauf auch mit geringerem (Nutz-)energetischen Aufwand in der Peripherie gewährleistet werden kann. Eine Beantwortung dieser Frage ist in der Regel eng mit dem Produktionsprozess und den prozessspezifischen Parametern verbunden. Die Definition des Anforderungsprofils seitens der Produktion ist Voraussetzung für eine Anlagenoptimierung:

#### **Welche(n) grundsätzlichen Zweck(e) hat die RLT-Anlage zu erfüllen?**

Lüftung, Abtransport von Schadstoffen, Raumkühlung, Raumheizung, Druckoptimierung, Prozesskühlung, Prozessheizung, Trocknung, Befeuchtung ...

#### **Gibt es einzuhaltende Grenzwerte?**

Optimale Prozesstemperaturen, optimale Prozessfeuchten (ist die relative oder die absolute Feuchte der Maßstab für die Prozessoptimierung?), Behaglichkeitskriterien, gesetzliche Grenzwerte, optimale Druckverhältnisse, ...

#### **Welche Größenordnungen liegen vor?**

Schadstoffmengen, Wärmemengen, tolerierbare Abweichungen zum Optimalzustand, ...

#### **Wo und wann sind definierte Parameter einzuhalten?**

Überall im Raum, nur in Teilbereichen, nur an bestimmten Maschinen, permanent, nur während der laufenden Produktion, nur in einer bestimmten Prozessphase, ...

Erste Optimierungsschritte liegen oft außerhalb der eigentlichen RLT-Anlagen. Gegebenfalls können die Anforderungen an die Anlagen durch organisatorische oder energetisch passive Maßnahmen minimiert werden:

#### **Kann Wärme- oder Kälteeintrag vermieden oder minimiert werden?**

Dämmung an Produktionsanlagen, Optimierung der Produktionsanlage, Wasserkühlung, Dämmung am Gebäude, Vermeidung von Spitzenlasten, Abkühlräume für das Produkt, ...

#### **Können Schadstoffeinträge vermieden oder minimiert werden?**

Schadstoffärmere Verfahren, räumliche Begrenzung der Ausbreitung, ...

#### **Können Bereiche mit unterschiedlichen Anforderungen separiert werden?**

Auslagerung bzw. Trennung unterschiedlicher Prozesse, punktuelle Absaugungen, Abgrenzung von Bereichen mit hohen Anforderungen an die RLT-Anlagen, ...

Sind die Anforderungen an die RLT-Anlagen hinsichtlich Temperaturen, Volumenströme, Druck, etc. definiert, kann eine energetische Optimierung an den eigentlichen Anlagen erfolgen. Im Prinzip soll die erforderliche Nutzenergie mit minimalen Einsatz bereitgestellt werden. Dazu sind ein optimales Konzept und eine optimale technische Umsetzung erforderlich:

**Kann der Energiebedarf der Anlagen organisatorisch minimiert werden?**

Regelmäßige Inspektion und Wartung der Anlagen, Anpassung von Altanlagen an neue verfahrenstechnische Erkenntnisse, Vermeidung von Störfaktoren wie z.B. Leck- oder Kurzschlussströmungen durch geöffnete Fenster und Türen, Optimierung der Anlagen auf den häufigsten Betriebszustand, Minimierung von Vor- und Nachlaufzeiten, Energieoptimierung, ...

**Können die Anlagen regelungstechnisch an veränderliche Anforderungen angepasst werden?**

Regelstrategie, bedarfsgeregelter Betrieb, z.B. sensorische Schadstofffassung und Anpassung des Volumenstroms an die jeweilige Konzentration, Erfassung von Temperatur bzw. Feuchte an prozesstechnisch relevanten Stellen und Anpassung der Luftbehandlung an den Bedarf, Wärme- oder Kältespeicherung zur Spitzenlastdeckung, Abschaltung der Anlagen zu Pausen oder Stillstandszeiten, ...

**Ist Energierückgewinnung möglich?**

Wärme-, Kälte- und/ oder Feuchterückgewinnung, Umluftbetrieb, Nutzung von Produktionsabwärme, Wärmeverschiebung, Wärmepumpenbetrieb, ...

**Kann Umweltenergie genutzt werden?**

Grundwasser/ Oberflächenwasser für Kühlzwecke, solare Energie, Vorkonditionierung der Luft durch Grundwassereinsatz, Erdwärme/ Erdkältenutzung, freie Nachtkühlung, ...

**Werden optimale Energieerzeuger bzw. Energieträger eingesetzt?**

Kraft-Wärme-Kopplung, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, hocheffiziente Wärme- und Kälteerzeugung, optimale Dimensionierung der Erzeugersysteme, ...

**Sind zentrale oder dezentrale Anlagen sinnvoll?**

Übertragungsverluste, Leitungslängen, Wirkungsgrade unterschiedlicher Erzeugergrößen, ...

**Ist ein druckverlustarmes Gesamtsystem möglich?**

Große Apparate-, Filter- und Kanalquerschnitte, kurze und geradlinige, formteilarme Kanalführung

**Werden energetisch sinnvolle Fördereinheiten eingesetzt?**

Geeignete Ventilatorbauarten, ggf. Direktantriebe, hocheffiziente Motoren und Pumpen, ...

**Werden energiesparende Regelungen verwendet?**

Drehzahlregelungen, Frequenzumrichter, bedarfsgeregelte Betriebsweise, ...

## 11.2 Bewertungsschema

Das nachfolgende Bewertungsschema dient zur Ermittlung des Handlungsbedarfs bei Bestandsanlagen mit mehreren Luftbehandlungsfunktionen. Im ersten Teil werden Punkte ermittelt, über die im Wesentlichen das Nutzerverhalten und die Anlagenperformance bewertet werden. Anhand der Punktesumme kann der Handlungsbedarf aus energetischer Sicht grob eingeschätzt werden.

Der zweite Teil dient der Faktorenermittlung und spiegelt die Größenordnungen der Anlage wieder. Grundgedanke hierbei ist, dass das Einsparpotenzial mit Größe, Alter und jährlicher Anlagenlaufzeit zunimmt. Das Produkt aus Faktor und Punktesumme ergibt einen Wert, der über eine Auswertungstabelle die Ersteinschätzung des möglichen Potenzials aus betriebswirtschaftlicher Sicht ermöglicht.

### Teil 1: Nutzerverhalten und Anlagenperformance

Wurden Leistung und Funktion von Gesamtanlage und Einzelkomponenten überprüft?	ja, regelmäßige Überprüfung		0	
	ja, bei der Erstinbetriebnahme		2	
	nein, noch nie		5	
Läuft die RLT-Anlage problemlos?	ja		0	
	nein		10	
Gibt es einen verantwortlichen Anlagenbetreuer?	ja		0	
	nein		2	
Liegt eine Anlagendokumentation vor?	ja		0	
	nein		2	
Gibt es Inspektions- und Wartungspläne?	ja		0	
	nein		2	
Ist das Anforderungsprofil für die RLT-Anlage bekannt, d.h. sind Sollwertvorgaben, Volumenströme, Drücke, etc. plausibilisierbar? (MAK-Werte, Heiz-, Kühllasten, erforderlicher Luftwechsel)	ja	Erfüllen die Anlagen ihren Zweck?	ja, immer	0
			nicht immer	3
			nein	6
			nicht bekannt	9
	nein		12	
Wird das Anforderungsprofil überprüft?	laufende Überprüfung		0	
	gelegentliche Überprüfung		2	
	keine Überprüfung		5	
Liegen verlässliche Zahlen zu Wartungs- und Betriebskosten vor?	ja	Wurde das vorliegende Zahlenmaterial analysiert? (Benchmarking, Energieanalyse, etc.)	ja	0
			nein	2
	nein		5	
	nein		8	
Wurden seit Inbetriebnahme der RLT-Anlage Änderungen in der Produktion vorgenommen? (Durchsatzänderungen etc.)	ja	Wurden die RLT-Anlagen an die geänderten Verhältnisse angepasst?	ja	0
			nein	4
	nein		1	
<b>Summe Punkte</b>				

Punkte	Bewertung
0 – 10	gut betreute, funktionierende Anlage, kein Optimierungspotenzial, kein Handlungsbedarf
11 – 20	Anlage noch im Rahmen, ggf. kleinere Optimierungen möglich
21 – 30	größere Mängel in Teilbereichen, Optimierungspotenzial vorhanden, Handlungsbedarf
31 – 40	viele Mängel, Optimierungen empfohlen
41 – 50	offensichtliche Mängel in allen Bereichen, Optimierung erforderlich

Teil 2: Faktorenermittlung

Alter der RLT-Anlage?	neu	1	
	weniger als 5 Jahre	2	
	zwischen 5 und 10 Jahre	3	
	zwischen 10 und 20 Jahre	4	
	älter als 20 Jahre	5	
Welche Volumenströme werden durchgesetzt?	weniger als 5.000 m³/h	1	
	5.000 bis 25.000 m³/h	2	
	mehr als 25.000 m³/h	3	
Totaldruckdifferenz der Anlage?	weniger als 100 Pa	1	
	100 bis 800 Pa	2	
	über 800 Pa	3	
Jährliche Laufzeit der Anlage?	bis 2000 h	1	
	2000-4000 h	2	
	über 4000 h	3	
<b>Summe Faktor</b>			

Summe Faktor	
Summe Punkte	
<b>(Summe Faktor) x (Summe Punkte) = Ergebnis</b>	

Ergebnis	Bewertung
0 – 100	kein Potenzial oder Kleinanlage, keine Einsparungen möglich
101 – 200	wenig Potenzial oder Kleinanlage, Einsparungen unwahrscheinlich
201 – 400	Handlungsbedarf gegeben, Einsparungen möglich
über 400	Handlungsbedarf offensichtlich, Einsparungen wahrscheinlich

## 12 Glossar

- **Abluft** Luft, die dem Raum entnommen wird
- **Anlagenkennlinie** Totaldruckverluste einer RLT-Anlage, dargestellt in Abhängigkeit vom Volumenstrom
- **Außenluft** Luft, die aus dem Freien zuströmt
- **Behaglichkeit** physisches und psychisches Wohlbefinden des Menschen in einem Raum (einer Umgebung) abhängig von Tätigkeit, Kleidung, Allgemeinbefinden der Einzelperson sowie Aufenthaltsdauer und Anzahl der Personen in einem Raum
- **Befeuchter** Komponente einer RLT-Anlage, die zur Erhöhung der absoluten Feuchte dient
- **Entfeuchter** Komponente einer RLT-Anlage, die zur Verringerung der absoluten Feuchte dient
- **Filter** Komponente einer RLT-Anlage zur Abscheidung von Verunreinigungen aus der Luft
- **Fortluft** Luft, die an die Umgebung abgegeben wird
- **Heizregister** Komponente einer RLT-Anlage, die zur Lufterwärmung dient
- **Kanalsystem** Zu- und Ableitungswege für Luftströme in einer RLT-Anlage
- **Kühlregister** Komponente einer RLT-Anlage, die für die Kühlung des Luftstroms in der Anlage verantwortlich ist
- **Luftwäscher** Befeuchter, der zusätzlich zur Reinigung der Luft dient
- **Mischkammer** Komponente einer RLT-Anlage, in der die verschiedenen Luftströme zusammentreffen und sich vermischen (Mischluft)
- **Mischluft** „Luft verschiedenen Ursprungs (...) oder verschiedenen Zustands“ <sup>27</sup>(z.B. Außenluft und Umluft)
- **MSR-Technik** Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik zur optimierten Kontrolle und Bedienung einer Anlage
- **Pneumatik** technisches Teilgebiet, das sich mit dem Einsatz von Gasen (speziell Druckluft) als Energieträger für Arbeits- und Steuerungsprozesse befasst
- **Prozesslufttechnik** Förderung von Luft innerhalb von Maschinen zur Durchführung von technischen Prozessen (z.B. Absaugung, Trocknung, pneumatische Förderung...)
- **RLT-Anlagen** Raumlufotechnische Anlagen zur maschinellen Förderung von Luft, mit der Aufgabe, Raumluf eines bestimmten Zustands bereitzustellen
- **Steam-Jet-Anlage** Dampfstrahlanlage
- **Taschenfilter** häufig eingesetzte Filterart mit großer Filterfläche und hoher Staubspeicherfähigkeit durch angebrachte Taschen
- **Thermodynamik** physikalisches Teilgebiet, das sich vor allem mit der Umwandlung von Wärme in andere Energieformen befasst
- **Umluft** Luft, die dem Raum entnommen wird und (nach Behandlung) wieder zugeführt wird

---

<sup>27</sup> vgl. BIASIN, 1995. RWE Bauhandbuch, S. 640

- **Ventilatoren** Strömungsmaschinen, die zur Förderung der Luft in RLT-Anlagen dienen
- **Ventilator Kennlinie** Totaldruckerhöhung eines Ventilators, dargestellt in Abhängigkeit vom geförderten Volumenstrom
- **Wärmerückgewinnung** „Maßnahme zur Nutzung des Energieinhaltes eines Luftstroms“<sup>28</sup>
- **Zuluft** Luft, die dem Raum zugeführt wird

Eine umfangreiche Definition von Lüftungstechnischen Begriffen und Symbolen ist in der DIN 1946, Teil 1 zu finden.

---

<sup>28</sup> BIASIN, 1995. RWE Bauhandbuch, S.640



## 13 Literaturverzeichnis

- BIASIN, K.; BALKOWSKI F.-D. und 14 weitere Autoren; 1995. RWE Energie, Bau-Handbuch. 2. Auflage, 11. Ausgabe. Energie-Verlag GmbH, Heidelberg.
- BIENIEK, K. 1999. Life-Cycle Costs elektrischer Industrieantriebe. Artikel in etz Elektrotechnik und Automation, Ausgabe 11-12 99. Herausgeber: VDE-Verband
- FEDDECK, P. 1999. Erfolgsfaktoren und Hemmnisse rationeller Energienutzung in Industrie und Gewerbe. BINE Informationsdienst IV/99. Herausgeber: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, Eggenstein-Leopoldshafen.
- BOTH, I. und A. MOHN; 1998. Umgang mit Gefahrstoffen. Schriftenreihe Umweltschutz im Betrieb, Band 8. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.
- FÖRSTNER, U.; 1995. Umweltschutztechnik eine Einführung. 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg- New York.
- FRITSCHKE, U. 1999. Umweltaspekte von Brennstoffzellen. Öko-Institut. ([www.oeko.de](http://www.oeko.de))
- HEINZE, R.; 2000. Ökologie und Ökonomie in Symbiose. Artikel in etz Elektrotechnik und Automation, Ausgabe 11-12 00. Herausgeber: VDE-Verband.
- RECKNAGEL, H.; SPRENGER, E. und E. R. SCHRAMEK; 1997. Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. 68. Auflage. R. Oldenbourg Verlag, München.
- TÖNSING, E.; N.N. Energieeffiziente Lüftungstechnische Anlagen. Fachpublikation Fraunhoferinstitut Systemtechnik Innovationsforschung. Karlsruhe ([www.isi.fhg.de/e/publikation/fachartikel/05-Lueftung.pdf](http://www.isi.fhg.de/e/publikation/fachartikel/05-Lueftung.pdf))

### VDI-Richtlinien

- VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, Beiblatt; Stand 1991. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen.
- VDI 2067; Blatt 2 Stand 1991. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Raumheizung.
- VDI 2067 Blatt 3; Stand 1983. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Raumlufttechnik.

### INTERNETADRESSEN

- [www.acordis.com](http://www.acordis.com)
- [www.bayern.de.lfu](http://www.bayern.de.lfu)
- [www.isi.fhg.de/e/publikation/fachartikel/05-Lueftung.pdf](http://www.isi.fhg.de/e/publikation/fachartikel/05-Lueftung.pdf)
- [www.oeko.de](http://www.oeko.de)
- [www.statistik-bund.de](http://www.statistik-bund.de)
- [www.stmwvt.bayern.de](http://www.stmwvt.bayern.de)
- [www.stmlu.bayern.de](http://www.stmlu.bayern.de)
- [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

## Anhang

## Anhangsverzeichnis

Abb. 1: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M15, Winterbetrieb .....	2
Abb. 2: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M15, Sommerbetrieb .....	2
Abb. 3: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M15, Winterbetrieb.....	2
Abb. 4: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M15, Sommerbetrieb.....	3
Abb. 5: Luftbehandlungsbedarf Aufwickelraum M 15 .....	3
Abb. 6: Luftbehandlungsbedarf Anblaseluft M 15 .....	4
Abb. 7: Luftbehandlungsbedarf Spinnbühne M 15 .....	4
Abb. 8: Schema Anlage Anblaseluft, M 1+2 .....	5
Abb. 9: Schema Anlage Aufwickelraum, M 1+2.....	6
Abb. 10: Schema Anlage Spinnbühne, M 1+2.....	7
Auswahl gültiger Normen aus dem Bereich Lüftungs- und Klimatechnik.....	8

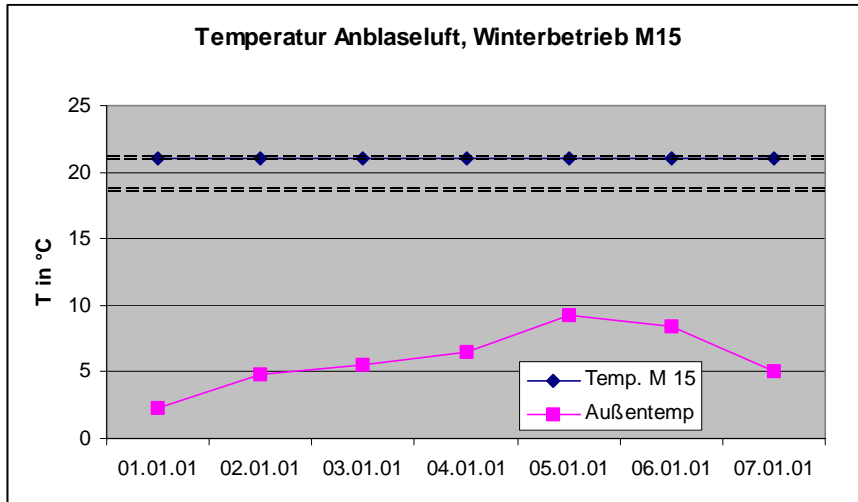


Abb. 1: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M15, Winterbetrieb (01.-07. Januar 2001, Mittelwerte)

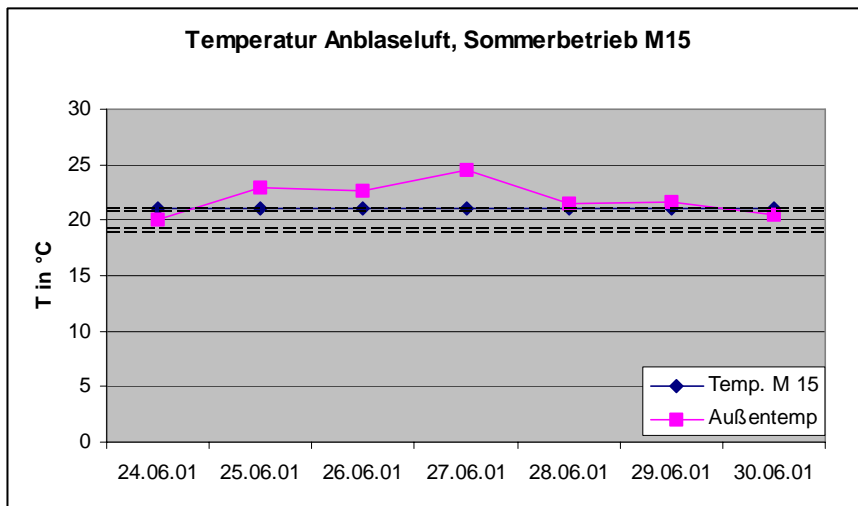


Abb. 2: Temperatur Außenluft und Anblaseluft M15, Sommerbetrieb (24.-30. Juni 2001, Mittelwerte)

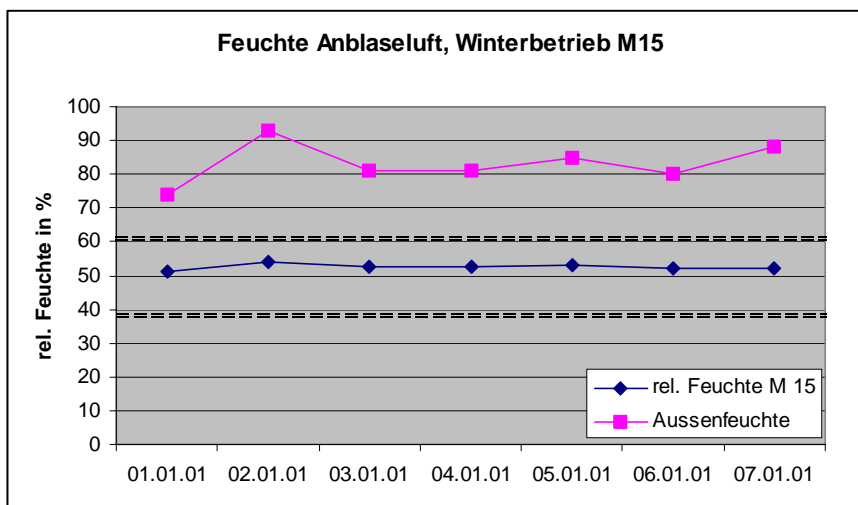


Abb. 3: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M15, Winterbetrieb (01.-07. Januar 2001, Mittelwerte)

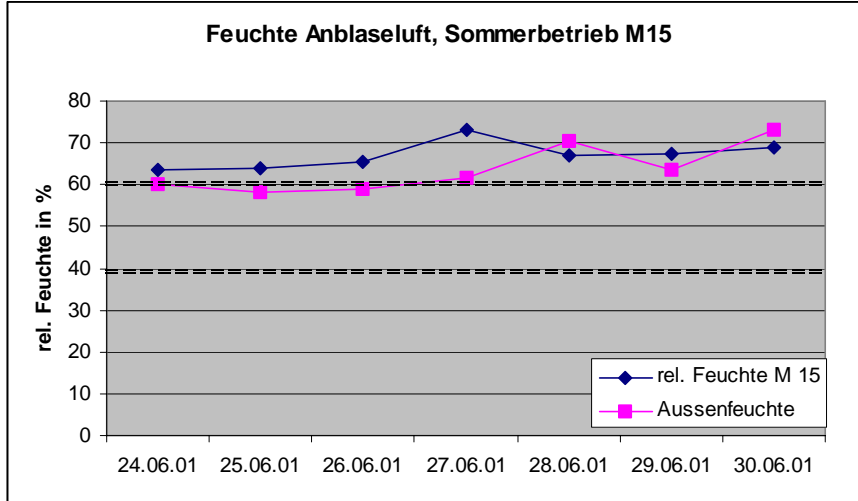


Abb. 4: Feuchte Außenluft und Anblaseluft M15, Sommerbetrieb (24.-30. Juni 2001, Mittelwerte)

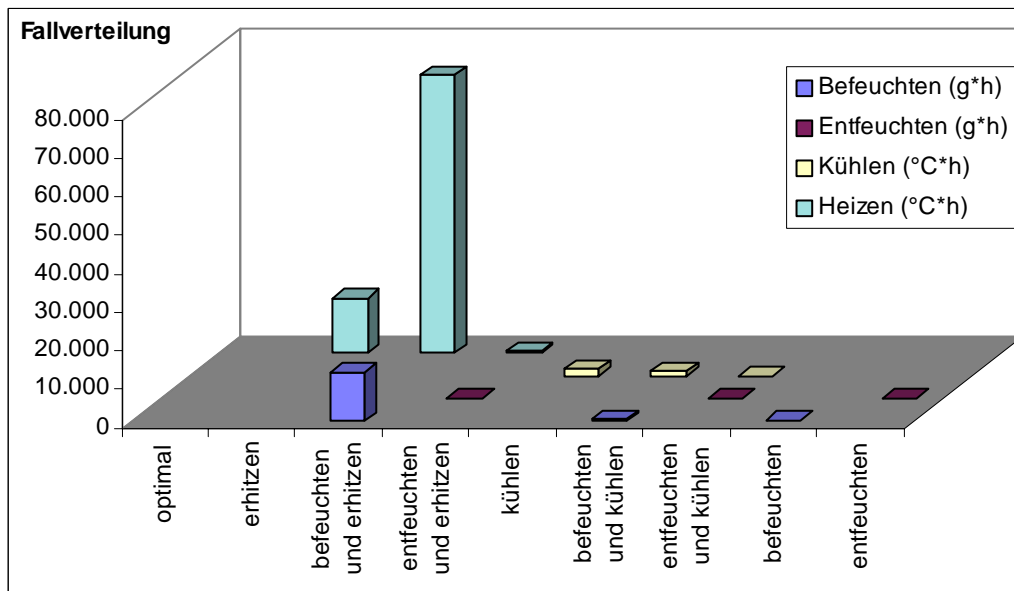


Abb. 5: Luftbehandlungsbedarf Aufwickelraum M 15

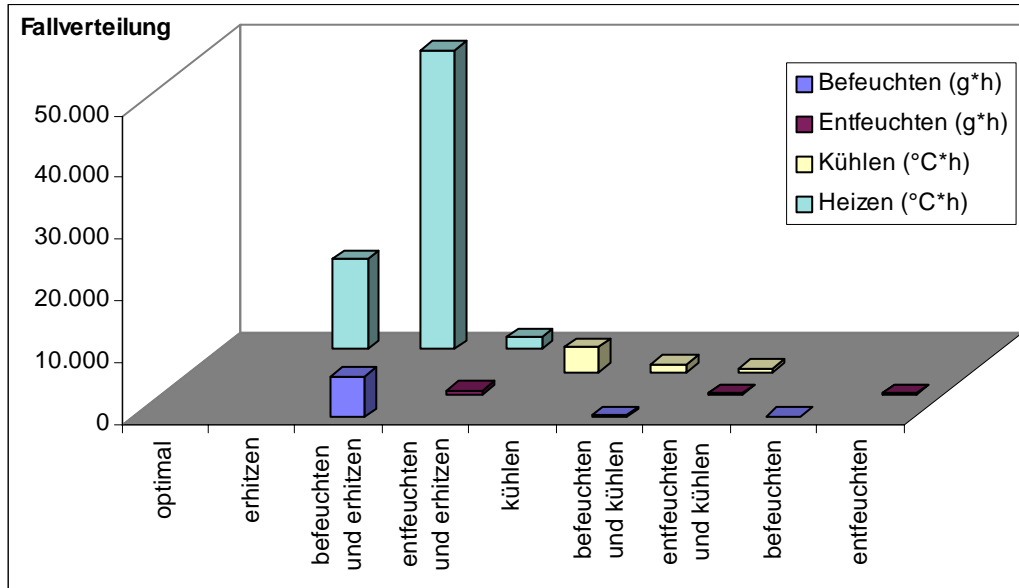


Abb. 6: Luftbehandlungsbedarf Anblaseluft M 15

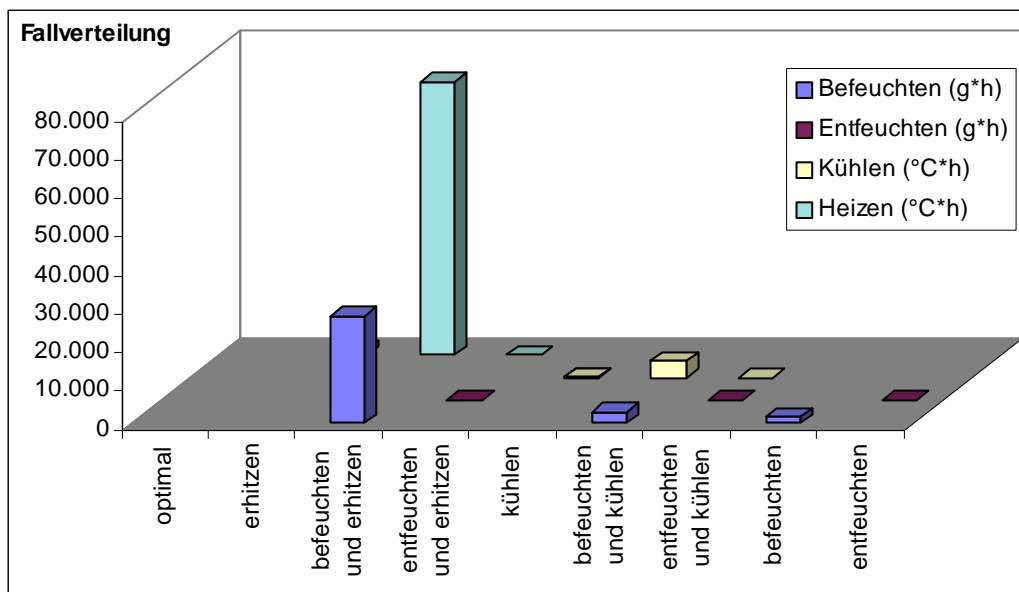


Abb. 7: Luftbehandlungsbedarf Spinnbühne M 15

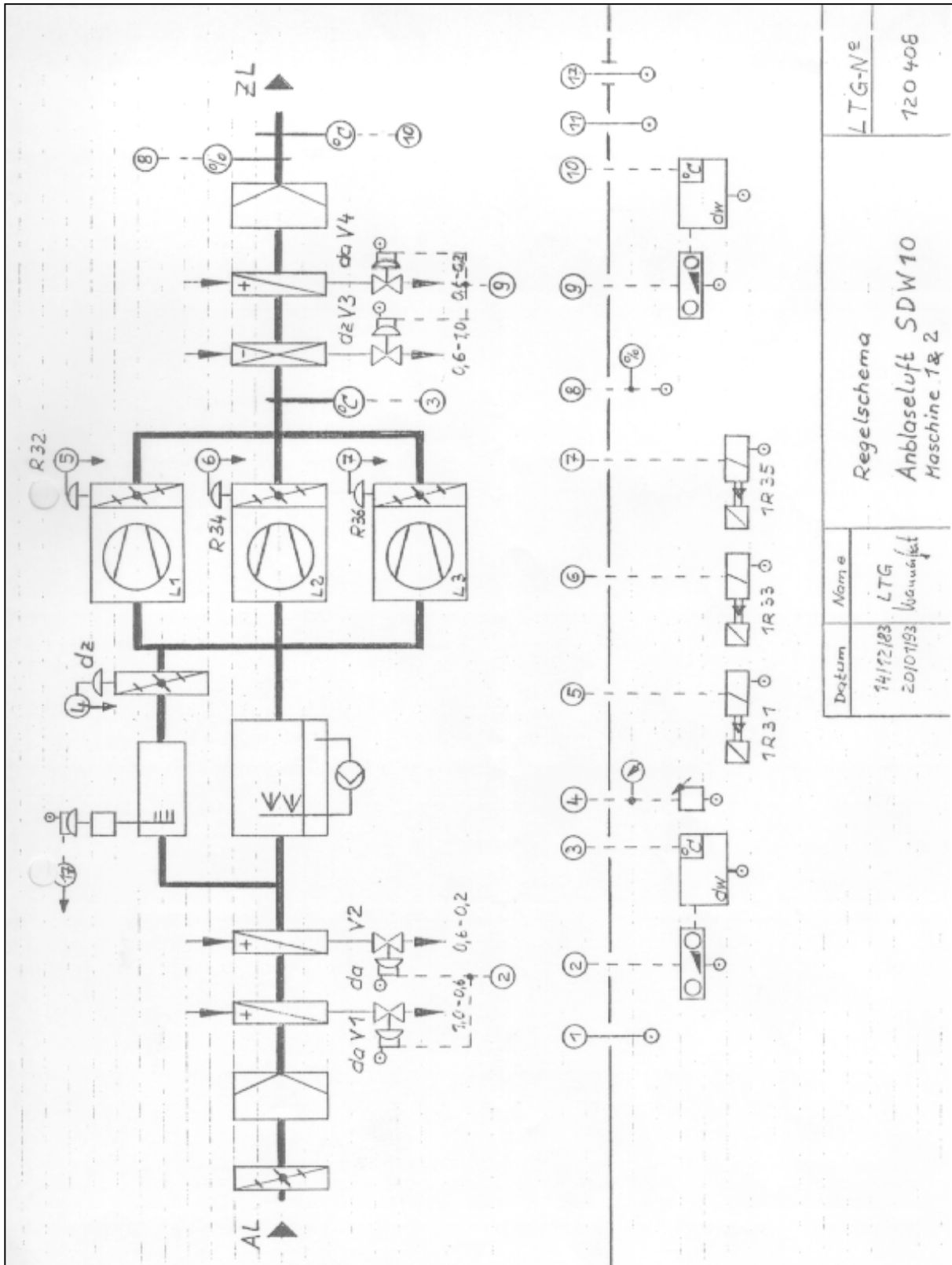


Abb. 8: Schema Anlage Anblaseluft, M 1+2

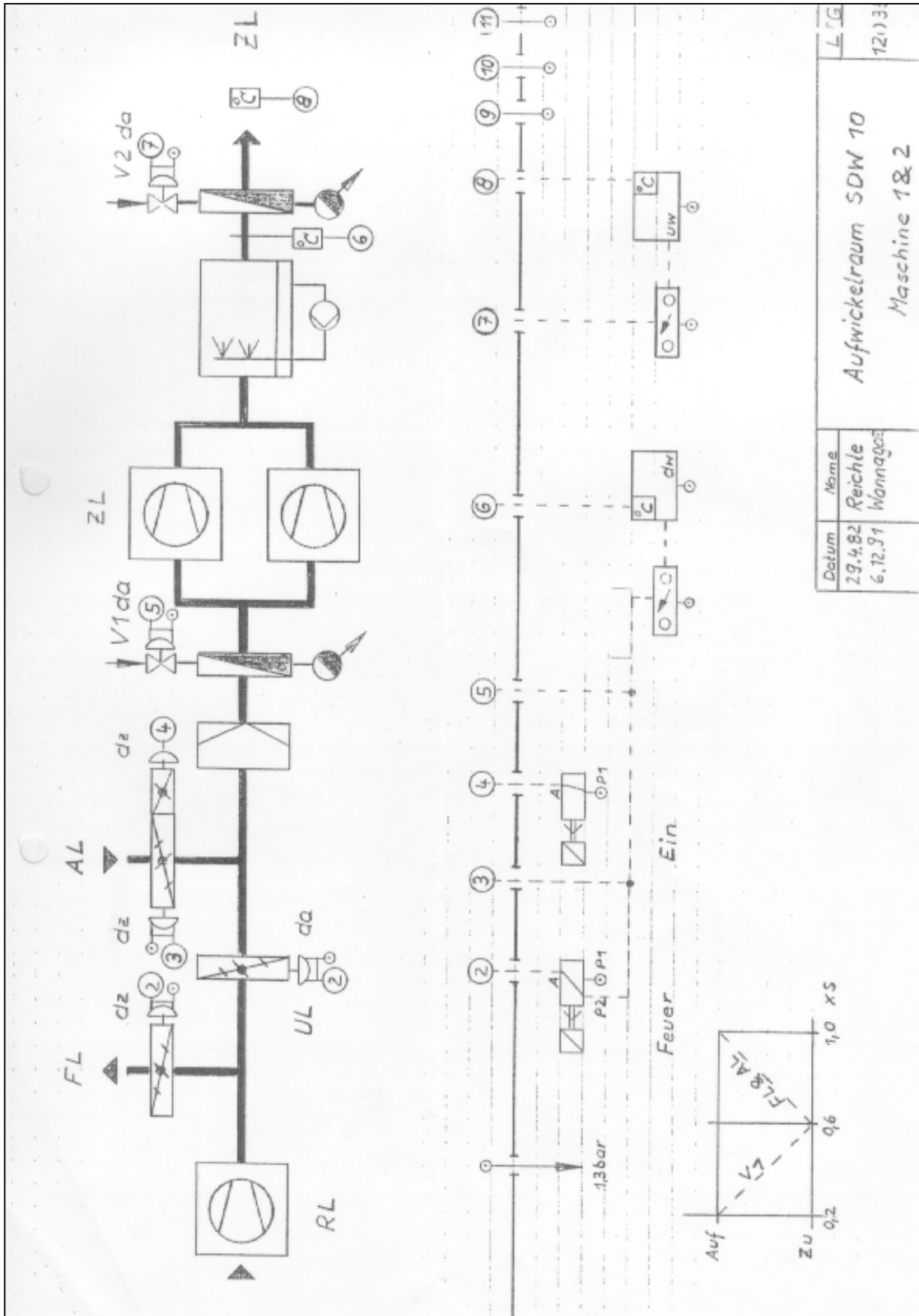


Abb. 9: Schema Anlage Aufwickelraum, M 1+2



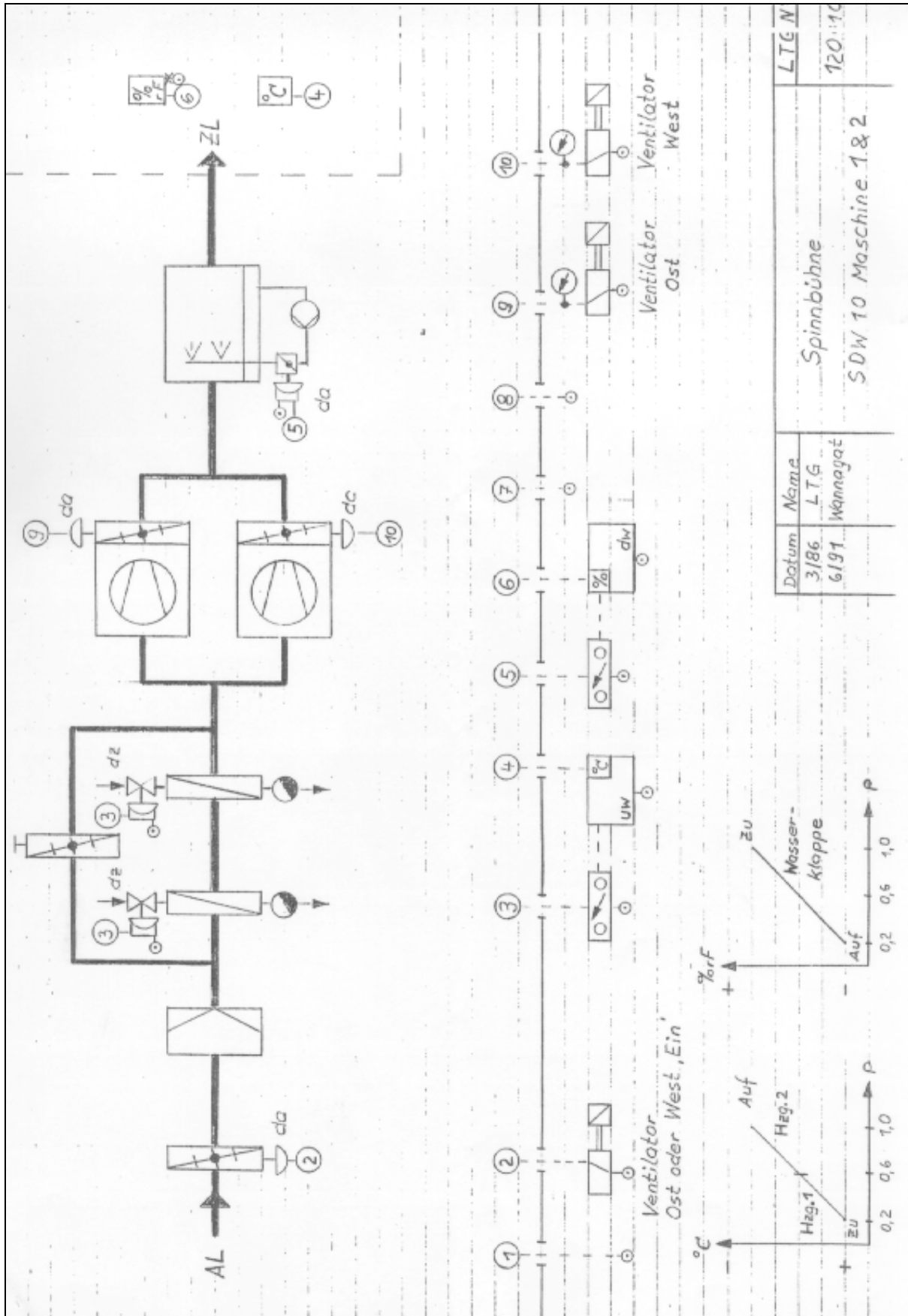


Abb. 10: Schema Anlage Spinnbühne, M 1+2

### **Auswahl gültiger Normen und Regeln in der Lüftungs- und Klimatechnik (Deutsches Institut für Normung e.V. [DIN]; Verein deutscher Ingenieure [VDI])**

DIN 1946 T1	Klassifikationen, Sinnbilder und Symbole, Abkürzungen etc. in der RLT
DIN 1946 T2	weitere Normen und Bestimmungen, Außenluftstraten etc. (auch T3, T4 Krankenhäuser, T6 Wohnhäuser, T5 für Schulen und Museen zurückgezogen, T7 Laborräume)
VDI 2068	weitere Sinnbilder und Zeichen
DIN 19226	Regelungs- und Steuerungstechnik
DIN 19227	Sinnbilder für messen, steuern, regeln
VDI 6022	Hygienevorschriften (Befeuchtung, Kanäle)
VDI-Berichte	353, 356, 1464, 124, 184
DIN 4715	Kühldecken, Leistungsprüfung
DIN 24163	Ventilatoren, Leistung, Kennlinien
VDI 3803	Bauliche und techn. Anforderungen bei RLT-Anlagen
VDI 2044	Abnahme, Leistungsprüfungen von Ventilatoren
VDI 2076	Leistungsnachweis für Wärmetauscher
VDI 2080	Messverfahren und Messgeräte für RLT-Anlagen
DIN 24184-...5	Filterprüfung
DIN 4102	Brandverhalten, Brandschutz (T6, von Lüftungsleitungen)
DIN 24154	Normen Kanäle (auch DIN 24151, DIN 24190, DIN 24145, DIN 24146, DIN 24147, DIN 24194)
VDI 2087	Kanäle, Bemessung, Schalldämpfung
VDI 2081	Lärmerzeugung und Lärminderung in RLT-Anlagen
VDI 3731 Bl. 2	Schall, Ventilatoren
VDI 3733	Geräusche Rohrleitungen
VDI/VDE 3525	Regelung von RLT-Anlagen
VDI/VDE 2173	Stellventile, Strömungstechnik
VDI/VDE 2176	Stellklappen
VDI 2071	Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen
VDI 2078	Kühllast-Regeln
DIN 18017	Lüftung von Sanitarräumen
VDI 3804	RLT-Anlagen für Bürogebäude
VDI 2052	RLT-Anlagen für Küchen
VDI 2053	Bl. 1 RLT-Anlagen für Garagen
DIN 18232	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen
VDI 2082	Luftgeschwindigkeit
VDI 3802	RLT-Anlagen für Fertigungsstätten
DIN 4794	Warmluftherzeuger
VDI 3803	Platzbedarf für RLT-Anlagen
DIN 33403	Klima am Arbeitsplatz (T1-T3)

### **Andere gängige Normen (europäische/internationale Ebene, International Organisation for Standardisation [ISO])**

ISO 3258	Begriffe Luftverteilung, Strömung
DIN EN ISO 14163	Akustik, Schalldämpfer
DIN EN ISO 7235	Akustik, Messungen
DIN EN 1886	Gebäudelüftung, Zentralgeräte

**Begleitende Normen- und Regelwerke**

VDI 2714	Schallausbreitung
DIN 4109	Schallschutz Hochbau
ArbStättV §15	Arbeitsstättenverordnung, Lärmschutz
VDI 2720	Schallschutz durch Abschirmung
VDI 2057	Schwingungen (auch DIN 4150)
VDI 3814	Gebäudeautomation
DIN 4755	Ölfeuerungen
DIN 4756	Gasfeuerungen
VDI 2230	max. Immissions-Werte
VDI 2262	Staubbekämpfung am Arbeitsplatz
TRgA 900	MAK-Werte
VDI 2083	Reinraumtechnik
DIN 4701	Wärmebedarfsberechnung
DIN EN 832	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden
DIN EN 689	Arbeitsplatzatmosphäre
DIN 4710	Meteorologische Daten zur Energieverbrauchsrechnung in der RLT
VDI 2967	Kostenberechnung, Blatt 3 Raumluftechnik

**Andere institutionelle Richtlinien und Regeln****Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)**

1988	Bedienen von RLT-Anlagen in öffentlichen Gebäuden.
1993	RLT-Anlagen-Bau für öffentliche Gebäude.
1983	Hinweise zur Planung und Ausführung von RLT-Anlagen für öffentliche Gebäude.

**Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**

Technische Regeln für gefährliche Arbeitstoffe (TRgA)

**Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV)**

Forschungsberichte

**Eurovent, Frankfurt und Paris**

Dokumentenserie (Prüfregeln, Terminologie, Richtlinien)

**Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)**

Unfallverhütungsvorschriften (z.B. Schutz gegen Staub, Lärm; Sicherheitsregeln für Anlagen der Luftreinhaltung)

**Deutsches Institut für Bautechnik**

11.77	Brandschutzklappen
1.81	Anforderungen an Lüftungsanlagen
11.77	Lüftungsleitungen

**Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)**

Einheitsblätter

24772	Sensoren zur Messung der Raumluftqualität in Innenräumen
24243	Emissionsminderung von Kältemitteln
24186	Leistungsblätter für Wartung von lufttechnischen Anlagen



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

**ISBN 3-936385-22-x**