

Energieeffizienz bei Planung und Betrieb von Anlagen

Arbeitshilfe



energie

Impressum

Energieeffizienz bei Planung
und Betrieb von Anlagen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax.: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

ÖIB Linckh

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Titelbild: Energie Consulting Allgäu

Stand:

Dezember 2012

Diese Schrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Broschüre auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.



BAYERN|DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Telefon 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Querschnittstechniken	7
1. Energieeffiziente Druckluftanlage	7
2. Energieeffiziente elektrische Antriebe	8
3. Energieeffiziente Beleuchtung	7
4. Energieeffiziente Lüftungssysteme	9
5. Energieeffiziente Kälteanlagen	11
6. Energieeffiziente Raumheizung und Prozesswärme	12
Branchenspezifische Prozesse	13
1. Energieeffiziente Lackieranlagen	13
2. Energieeffiziente Textilveredlung	14
3. Energieeffiziente Kunststoffverarbeitung	15
4. Energieeffiziente Galvanik-Anlage	16
Checklisten	
Checkliste zur Planung energieeffizienter Anlagen	17
Checkliste zum energieeffizienten Betrieb von Anlagen	18
Checkliste zu Querschnittstechniken	19
Checkliste für branchenspezifische Prozesse	22

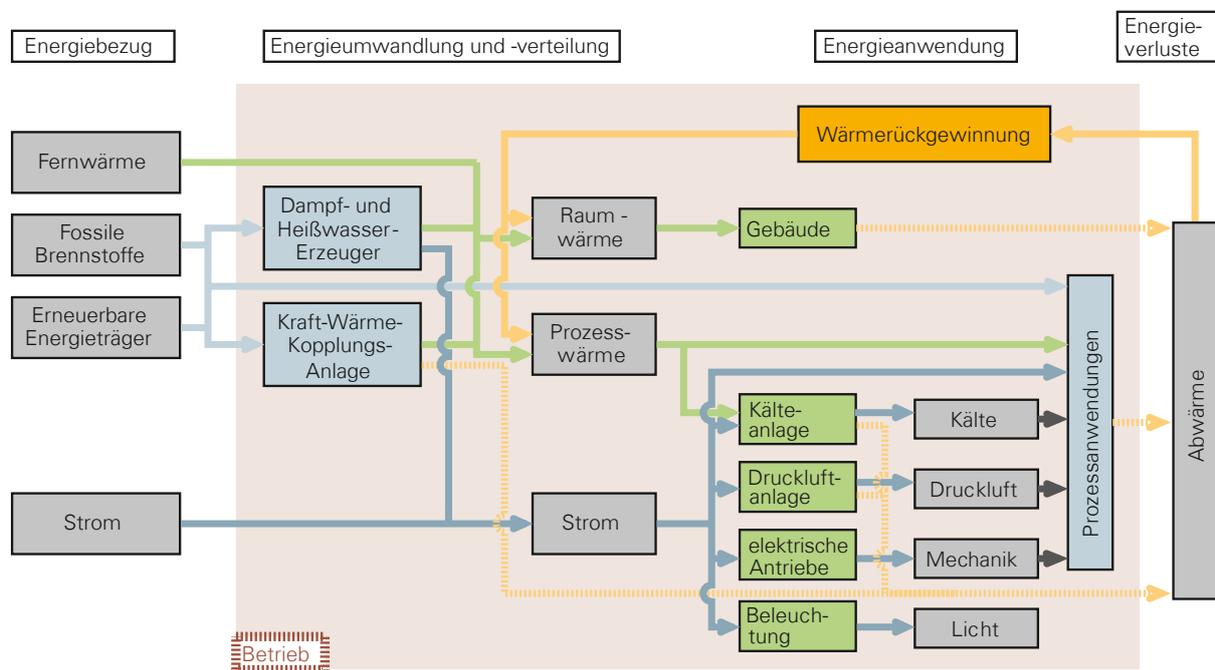
Einleitung

Einsparpotenziale

In Industrieunternehmen sind die Einsparpotenziale für Energie nach wie vor erheblich. Sie werden immer noch häufig unterschätzt. In den meisten Betrieben könnten mindestens 25 % Energie eingespart werden.

Energieeffizienz ist einerseits eine Eigenschaft von einzelnen Maschinen, Apparaten und Anwendungen. Andererseits lässt sich auch der Produktionsbetrieb als technisches System betrachten und ganzheitlich energetisch optimieren. Ein solches technisches System ist sehr komplex, besteht aus vielen verschiedenen Anwendungen und Beziehungen mit zudem zeitlichen Schwankungen.

Das folgende Schema zeigt den Weg der Energie durch einen Betrieb.



Neuinvestitionen sind eine günstige Gelegenheit

Bei einer Umstrukturierung, einem Neubau oder einer Erweiterung eines Betriebes gibt es oft die optimale Chance, wirtschaftliche Energiesparmaßnahmen durchzuführen und die Energieeffizienz deutlich zu steigern.

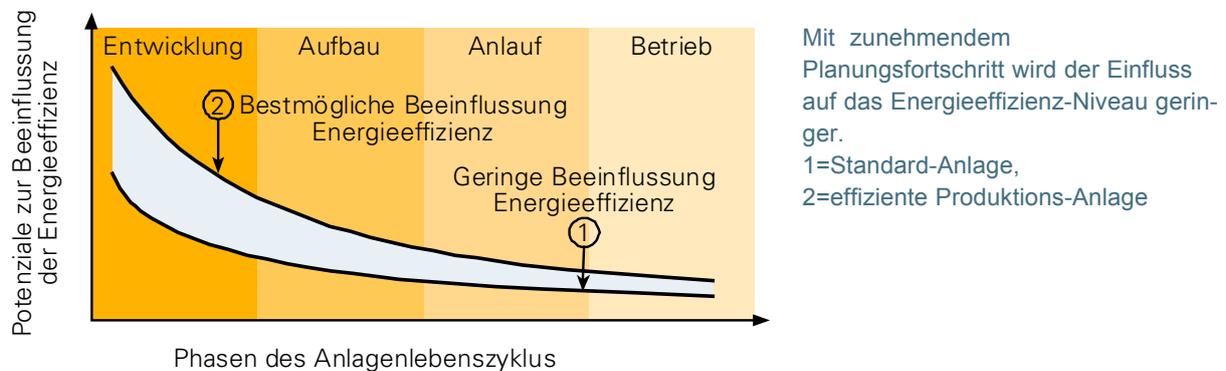
Die größte Wirkung lässt sich bei Neuinvestitionen erzielen, wie sie auch mit (wesentlichen) Änderungen von Anlagen einhergehen. Dabei werden bereits in der Planungsphase die Weichen für die zukünftigen Energiekosten einer Anlage gestellt. Dies gilt sowohl für die spezifischen Produktions- bzw. Fertigungsanlagen als auch für die so genannten Querschnittstechniken (z. B. Druckluft, Kälterzeugung, Heißwasserbereitung), also Komponenten, die für fast jede Produktion benötigt werden.

Es ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, bereits im Planungsstadium einen effizienten Energieeinsatz zu berücksichtigen. Bei größeren Investitionen sollten die Betriebs- und Wartungskosten nicht außer Acht gelassen werden.

Planung einer Anlage

Der Planungsprozess besteht aus einer Kette mehr oder weniger weit reichender Entscheidungen. Wesentlich für eine energieeffiziente Produktion sind:

- die Prozesskenntnis des Anlagenbetreibers
- das Fachwissen des Planers über Energieeffizienz und Lebenszyklusanalyse



Eine koordinierte Planung – die rechtzeitig fachkompetente Berater einbindet und effiziente Techniken nach dem Stand der Technik vorsieht – kann den Energiebedarf einer Anlage deutlich reduzieren. Mit zunehmendem Planungsfortschritt wird der Einfluss auf das Energieeffizienz-Niveau geringer. 1=Standard-Anlage, 2=effiziente Produktions-Anlage

Anlagen energieoptimiert betreiben

Unnötiger Energieverbrauch bewirkt weder eine zusätzliche Produktion noch eine Komfortsteigerung. Daher ist zu jeder Zeit eine energetische Optimierung sinnvoll.

Vermeiden von unnötigem Energieverbrauch

- Verminderung unnötigen Leerlaufs von Maschinen und Anlagen
- Vermeidung unnötiger Aufheiz- und Abkühlvorgänge
- Überprüfung der Prozessparameter und Sicherheitsreserven

Senken des spezifischen Energieverbrauchs durch Wahl energetisch günstiger Techniken

Der spezifische Energieverbrauch lässt sich durch technische Maßnahmen reduzieren:

- z. B. Trocknung mit mechanischer anstelle von thermischer Energie
- z. B. für Prozesswärme Heißwasser gegenüber Dampf bevorzugen

Wirkungs- und Nutzungsgrad lassen sich oft verbessern

Der Wirkungsgrad einer Anlage beschreibt das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung, er ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Wichtig sind verlustarme Konstruktionen, effiziente Einzelkomponenten, die aufeinander abgestimmt sein müssen, sowie ein Verzicht auf Überdimensionierung (Optimierung des Gesamtsystems).

Der Nutzungsgrad liegt unter normalen Bedingungen oft deutlich unter dem Nennwirkungsgrad der Anlagen. Das liegt an einer geringen Anlagenauslastung und einem mangelhaften Wartungszustand.

Wichtig sind:

- Hohe Auslastung der Produktionsanlagen
- Leistungsanpassung
- Reduktion der Verteilungsverluste (z. B. Druckluftleckagen)
- Sorgfältige Instandhaltung

Energieeinsparung durch Abwärmenutzung

- Nutzung im selben Prozess
- Nutzung innerhalb des Betriebes

Energiecontrolling

Das Messen, Registrieren und Auswerten ist die Voraussetzung für die Zuordnung der Energieverbräuche. Erst dann kann man Abweichungen erkennen und Gegenmaßnahmen ergreifen.

Energiemanagement

Mit einem übergreifenden Management (z. B. nach DIN ISO 50001) lässt sich der Energieeinsatz im Betrieb systematisch optimieren. Das Energiemanagement ist ein Konzept, das neben Energiecontrolling auch Schulungen, Beschaffungsvorgaben, Maßnahmenpläne und eine strukturierte Einbindung des Managements vorsieht.

Rechtslage im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

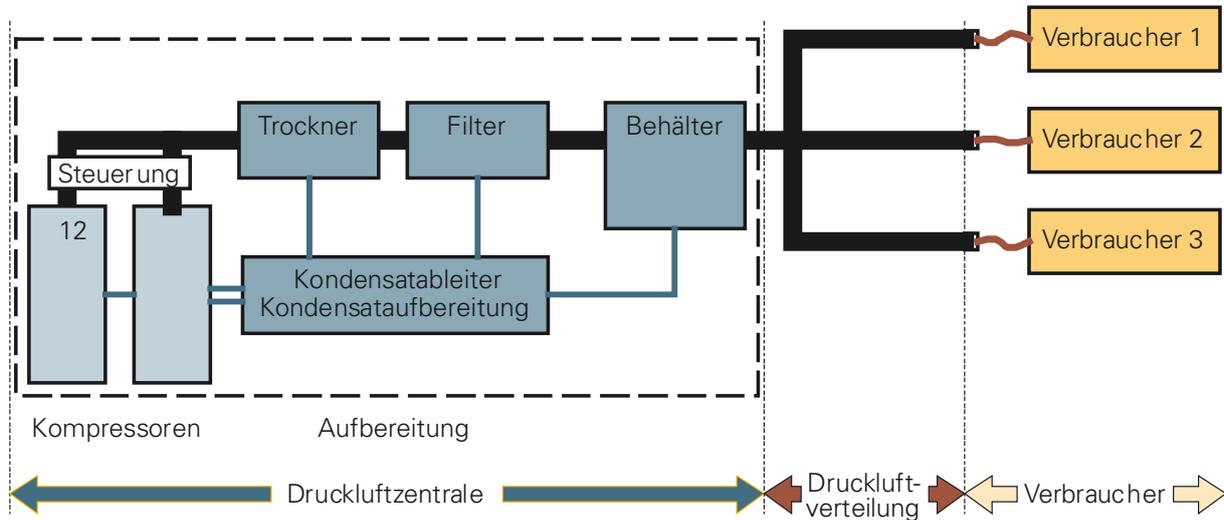
Nach § 5 Abs. 1 Satz 1 Nr. 4 BImSchG ist ein Betreiber einer genehmigungsbedürftigen Anlage verpflichtet, Energie sparsam und effizient zu verwenden. Die Antragsunterlagen müssen nach § 4d der 9. BImSchV Angaben über vorgesehene Maßnahmen zur sparsamen und effizienten Energieverwendung enthalten. Wesentliche Informationen, wie die

- Erreichung hoher energetischer Wirkungs- und Nutzungsgrade,
- die Einschränkung von Energieverlust sowie
- die Nutzung anfallender Energie.

Die vorliegende Arbeitshilfe bietet Informationen über energiesparende Techniken für Anlagenbetreiber.

Querschnittstechniken

1. Energieeffiziente Druckluftanlage



Druckluftherzeugung	Druckluftverteilung	Verbraucher
Energieeffiziente Anlagenkomponenten <ul style="list-style-type: none"> • Kompressor mit geringem spezifischen Stromverbrauch • Drehzahlvariable Antriebe oder Splitting • Hocheffiziente Motoren 	Zielwert: <ul style="list-style-type: none"> • Druckverlust max. 0,1 bar • Leitungsquerschnitt ausreichend groß • Leitung möglichst kurz und widerstandsarm • Ringleitung mit einzelnen Bereichen, die abgesperrt werden können 	<ul style="list-style-type: none"> • Druckluftanforderung der Anlagen überprüfen • Druckluftanwendung hinterfragen (elektr. angetriebene Werkzeuge bevorzugen)
Einsatz einer effizienten und übergeordneten Steuerung	Im Betrieb: Leckagen minimieren	Verbraucher, die nicht benötigt werden, vom Netz trennen
Wärmerückgewinnung: Nutzung der Kompressorabwärme		

Angebotseinholung: Anforderungen an die Druckluftversorgung, nicht jedoch ein bestimmtes System sollten vorgegeben werden.

Für weitere Informationen zur Beschaffung einer Neuanlage:

www.energieschweiz.ch

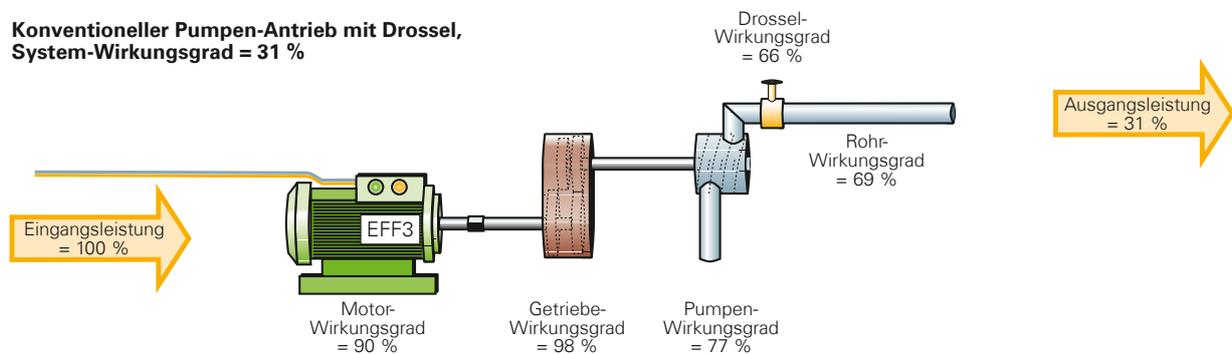
> Unternehmen > Stromeffizienz > Druckluft > Neubau > Anlagen-Neubeschaffung

2. Energieeffiziente elektrische Antriebe

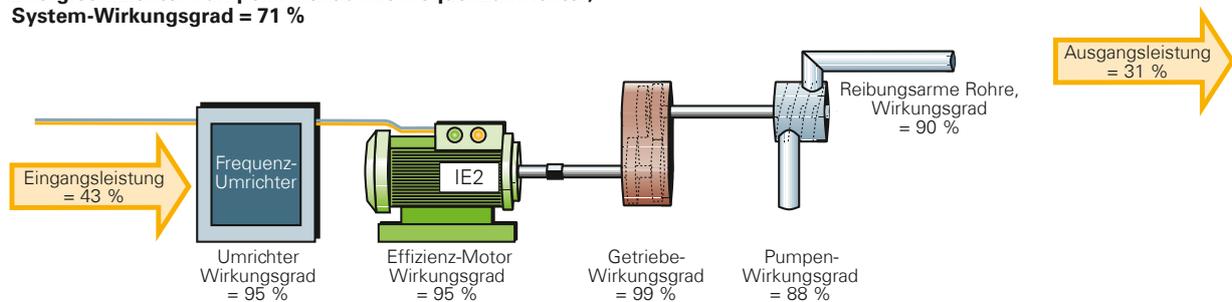
Ein elektrisches Antriebssystem besteht aus Elektromotor und Arbeitsmaschine. Abhängig von der Aufgabenstellung wird es ergänzt durch ein Getriebe und einen Frequenzumrichter.

- Das gesamte System ist zu betrachten und zu planen (Auslegung und Abstimmung der Systemkomponenten).
- Verwendung von effizienten Anlagenkomponenten:
 - Motor mit IE2 (IE2 = Hohe Effizienz; IE3 oder Premium Effizienz bedeutet eine weitere Effizienzverbesserung).
 - Energieeffizienz der nachgeschalteten Komponenten, z. B. der Getriebetechnik
 - Gesamtwirkungsgrad wird durch schlechteste Komponente bestimmt.

**Konventioneller Pumpen-Antrieb mit Drossel,
System-Wirkungsgrad = 31 %**



**Energieeffizienter Pumpen-Antrieb mit Frequenzumrichter,
System-Wirkungsgrad = 71 %**



Beispiel: Vergleich zwischen schlechtem und gutem Systemwirkungsgrad

- Geeignete Steuerung
- Überdimensionierung durch korrekte Auslegung der Anlage vermeiden
- Für wechselnde Last: Verwendung drehzahl geregelter Antriebe (Frequenzumrichter); z. B. Regelung des Volumenstroms von Pumpen und Gebläsen durch Drehzahlveränderung anstelle von Drosselung

3. Energieeffiziente Beleuchtung

Lichtplanung

- Beleuchtungsstärke und Beleuchtungsstärkeverteilung / Reflektorenauswahl
- Anordnung, Art und Anzahl der Lampen
- Lichtmanagement:
 - Einbeziehen von Tageslicht
 - Verschiedene Schaltkreise, die bereichsweise geschaltet werden können
 - Bedarfsgerechte Steuerung (zeitgesteuert, anwesenheitsgesteuert)
 - Aufteilung der Beleuchtung / Beleuchtungsstärke in nutzungsgerechte Zonen

Anhaltspunkte für die Beleuchtung

Elektronische Vorschaltgeräte einsetzen (nicht für höhere Temperaturen ab 50 °C, für Überspannungsschutz der Stromkreise sorgen)

- Dreibandleuchten (Farbwiedergabeindex RA > 80, d. h. gute Farbwiedergabe, hohe Lichtausbeute; Lichtfarbe z. B. 840)
- Hocheffiziente T5-Leuchtstoffröhren (16 mm Durchmesser) können nochmals effizienter als T8-Leuchtstoffröhren (26 mm) sein.
- Betriebswirkungsgrad (Leuchtenwirkungsgrad) wird verbessert durch:
 - einlampige Leuchten
 - direkt strahlende, hochglänzende Spiegelreflektoren
- Beleuchtung so nah am Arbeitsplatz wie möglich, wenn z. B. in Hallen nicht die gesamte Höhe für die Produktion benötigt wird
- In Produktionshallen Lichtbänder entlang der Fertigungslinien einsetzen
- Im Lager (Hochregallager): Beleuchtung der einzelnen Regalgänge mit Leuchtstofflampen (Lichtband) und tief strahlenden Reflektoren verwenden
- Hallenreflektorleuchten mit Hochdruckentladungslampe für die Allgemeinbeleuchtung in hohen Industriehallen vorsehen
- Energieeffiziente Beleuchtung verringert auch die Wärmelasten eines Raumes.

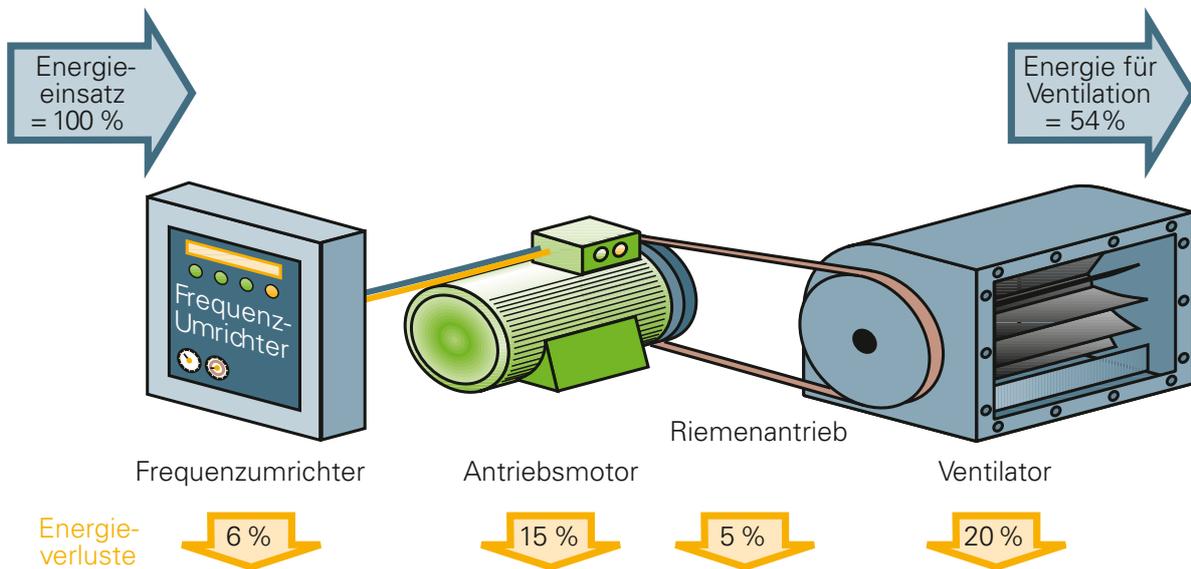
4. Energieeffiziente Lüftungssysteme

Planung und optimale Anlagenauslegung: Der Auslegungsvolumenstrom und die Anpassung der Förderleistung an den jeweiligen Bedarf (Betrieb von Motor und Ventilator sind die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Energiekosten der Anlage).

Die Anlagenkomponenten müssen aufeinander abgestimmt sein:

- Strömungstechnisch optimierte Teile und Komponenten mit möglichst geringem Druckverlust
- Energieeffiziente Aggregate
- Antrieb: Direktantrieb, sonst Flachriemen anstelle von Keilriemen
- Betrieb von Motor und Ventilator im optimalen Betriebspunkt vorsehen.
- Wärmerückgewinnung: Verwendung von Umluft, Nutzung von Wärmeüberschuss aus anderen Hallen

Beispiel: Verluste in einer typischen Lüftungsanlage



5. Energieeffiziente Kälteanlagen

Planung: Anforderungen an die Kälteversorgung, nicht jedoch ein bestimmtes System vorgeben.

Ausschreibung: Möglichst genaue Spezifikationen mit dem Ziel, die Kälteanlage mit der höchsten Energieeffizienz auszuwählen.

Ein wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von Kälteanlagen ist die Leistungszahl ϵ (Epsilon), die sich wie folgt zusammensetzt:

$$\text{Leistungszahl} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{elektrische Leistungsaufnahme}}$$

Minimierung des Kältebedarfs

- Systemtemperatur nicht zu niedrig auslegen: Für viele Fälle (z. B. Kälteerzeugung für Lüftungsanlagen oder Prozesskühlungen) reichen Kaltwassertemperaturen von etwa 14 °C vollkommen aus.
- Möglichkeit der Direktkühlung durch Brunnen- oder Grundwasser oder durch freie Kühlung in den kalten Jahreszeiten prüfen; ggf. kann auf Kälteerzeugung durch Kältemaschinen (teilweise) verzichtet werden.
- Ausreichende Dämmung von Verteilleitungen
- Verwendung von Geräten und Komponenten mit hoher Energieeffizienz
- Steuer- und Regelungstechnik:
 - Systemkomponenten (Regelungstechnik, Anlagenkonfiguration, Betriebsbedingungen) müssen aufeinander abgestimmt sein
 - Adäquate Leistungsregelung für alle Betriebszustände (v. a. Teillast)
 - optimierte Steuerung und Leittechnik einsetzen
- Kopplung der Kälteanlage an externe (Ab-)Wärmequelle: Absorptionskälteanlage möglich, wenn in der Nähe eine preisgünstige Wärmequelle mit Temperaturen über 80 °C verfügbar ist.

6. Energieeffiziente Raumheizung und Prozesswärme

Heizung und Warmwasser

- Eine ausreichende Wärmedämmung des Betriebsgebäudes und der wärmeführenden Anlagen (Rohrleitungen, Armaturen, Wärme- und Kältespeicher) reduziert den Heizwärmebedarf. Kälte- bzw. Wärmebrücken sind konstruktiv zu vermeiden.
- Für die Raumbeheizung sind Niedertemperatur-Heizsysteme anzustreben.
- An den Toren von Industrieanlagen und Werkhallen sollten bei häufiger Öffnung Luftschleieranlagen installiert werden, um das Eindringen von Kaltluft zu vermeiden.
- Ein hydraulischer Netzabgleich von Heizungsanlagen zur Volumenstromreduzierung ist durchzuführen.
- Verwendung korrekt dimensionierter und elektronisch geregelter Heizkreispumpen.
- Bei Verwendung von Gas oder Öl als Primärenergie ist stets der Einsatz von Brennwertkesseln anzustreben.
- Wichtig ist eine korrekte Dimensionierung und Auslegung von Heizkessel und Brenner:
 - keine Überdimensionierung,
 - korrekte Einstellung der Brennerdüse.
- Ein modulierender Brenner vermeidet Takten: Im Teillastbetrieb lässt sich der Brenner auf eine möglichst niedrige Kesselleistung herunterregeln.
- Die Abwärme aus Prozessen und Anlagen (z. B. Druckluftkompressor) kann z. B. direkt für die Beheizung einer weiteren Produktionshalle genutzt werden. Alternativ kann sie auch indirekt über Wärmepumpensysteme auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und somit für entsprechende Prozesse wieder als Nutzwärme verfügbar gemacht werden.
- Ein BHKW (Kraft-Wärmekopplung) kann sinnvoll sein bei einem möglichst gleichmäßigen Grundlast-Wärmebedarf und bei jährlichen Laufzeiten von mind. 5.000 Vollbenutzungsstunden.
- Nutzung von Prozessabwärme oder Solarthermie zur Warmwasserbereitung untersuchen.

Prozesswärme

- Überprüfung der geforderten Prozesstemperaturen und Abkoppelung einzelner Prozesswärme-Verbraucher mit hohem Temperatur- oder Dampfdruckniveau vom allgemeinen Wärmenetz.
- Nutzung von Heißwasser anstelle von Dampf für Prozesswärme prüfen.
- Abgaswärmenutzung durch Vorwärmung der Verbrennungsluft (LUVO) und/oder des Speisewassers (Economizer) einbeziehen.
- Bereitschaftsverluste lassen sich verringern durch Leistungsmodulation des Brenners oder einer Kesselfolgeschaltung.
- Geschlossene Systeme zur Kondensatrückführung vorsehen, um Wärme- und Dampfverluste zu verringern.
- Auslegung und Anschluss von Niedertemperaturwärmeverbrauchern an den Rücklauf eines Heißwassernetzes/Wärmeverteilsystems.

Branchenspezifische Prozesse

1. Energieeffiziente Lackieranlagen

Typischer Verfahrensablauf	Wesentliche Energieverbraucher	Weitere Energieverbraucher
Vorbehandlung einschließlich Abwasserbehandlung	Heizen der Prozessbäder	Druckluft Elektrische Antriebe Verdampfer
Lackierkabine	Zu- und Abluftanlage (entfällt bei Pulverbeschichtung)	Druckluft Elektrische Antriebe
Trocknung/ Aushärtung	Trocknerheizung	Elektrische Antriebe

Anlagenkonzept

- Anordnung der Trockner z. B. als Blocktrockner, um die Oberfläche zu minimieren
- Energieeffiziente Schleusen am Lacktrockner, wenn möglich A-Schleusen (Ein- und Ausfahrt von unten, ausreichende Höhe der Halle wichtig), sonst Umluft-Schleusen
- Ausreichende Dämmung von Gehäusen, Behältern, Rohrleitungen in beheizten Zonen
- Alternative Lackierverfahren (einzelfallbezogen):
 - Pulverbeschichtung anstelle einer Wasserlackierung
 - Tauchen anstelle eines Spritzauftrags (Vorbehandlung, Lackierung)
- Abgasreinigung
 - Thermische Abluftreinigung mit Wärmerückgewinnungssystemen und autothermer Verbrennung
 - Regenerative Nachverbrennung (bei Fehlen von Wärmeabnehmern)
 - Katalytische Nachverbrennung (niedrigere Verbrennungstemperaturen)
- Ausnutzung der geplanten Anlagenkapazität durch optimale Gestaltung des Anlagenquerschnitts und der Warenträger

Vorbehandlung

- Abwärmenutzung aus anderen Fertigungsbereichen kann eine Heizeinrichtung für die Badbehälter reduzieren oder sogar ersetzen
- Abluffreier Betrieb durch Einbau eines Kondensationsaggregats

Lackierung

- Manuelle Beschichtung: Wärme- und Feuchterückgewinnung aus der Abluft über Wärmetauscher (Zuluftvorheizung z. B. durch Wärmerad)
- Automatische Lackierung: Umluftbetrieb mit Teilstrom Frisch-/Abluft

Haftwassertrockner/Lacktrockner

- Haftwassertrockner: Beheizung durch Einleiten der Abluft aus dem Lacktrockner
- Für wasserlösliche Lacke: Entfeuchtung der Umluft und Trocknung bei reduzierter Temperatur (Kälte- oder Sorptionstrocknung)
- Direkte Beheizung anstelle einer indirekten Beheizung (Luftherhitzer)
- Verkürzung der Einbrennzeit über Abgasrückführung durch doppelwandige Innenverkleidung (zusätzliche Wärmeabstrahlung)
- Niedrigere Betriebstemperaturen durch 2K-Lacke (Einsatzmöglichkeit prüfen!)
- IR-Trocknung möglichst gasbetrieben: besonders effizient bei massiven Objekten; Pulverlackaushärtung: Vorschalten einer IR-Zone vor den Umluftofen

Querschnittstechniken

Lüftungsanlage, Prozesswärme, elektrische Antriebe, Druckluft, Beleuchtung

2. Energieeffiziente Textilveredlung

Typischer Verfahrensablauf	Wesentliche Energieverbraucher	Weitere Energieverbraucher
Vorbehandlung (kontinuierlich/ diskont.), wässrig, mechanisch	Baderhitzung Dampferzeugung	Druckluft Elektrische Antriebe
Färberei, Druckerei (kontinuierlich/ diskont.) Drucken Waschen Trocknen	Ggf. Färbebaderhitzung Dampferzeugung Ggf. Spannrahmen (Zu- und) Abluftanlage	Heizung und Lüftung Druckluft Elektrische Antriebe
Ausrüstung Trocknen Fixieren	Spannrahmen Prozessheizung Dampferzeugung (Zu- und) Abluftanlage	Druckluft Elektrische Antriebe

Erstellung eines integrierten Energieversorgungskonzeptes, um für den hohen Wärmebedarf das bestehende große Abwärmepotenzial zu nutzen: Wärmerückgewinnung aus Abwasser, Abluft, Dampf- und Thermoölkessel, Druckluftkompressor prüfen.

Mechanische Entwässerung durch Hochleistungsquetschen vor Trocknungsprozessen

Vorbehandlung

- Kontinuierliche Prozesse
 - Integrierter Wärmetauscher
 - Wasserführung im Gegenstrom
 - Indirektdampf anstelle von Direkt Dampf
- Diskontinuierliche Prozesse
 - Abwasser-Wärmetauscher: getrennter Heiß- und Kaltablass

Färben

- Diskontinuierliche Prozesse:
 - Maschinen mit niedrigem Flottenverhältnis (z. B. Airflow-Technik)
 - geschlossene Ausführung und Dämmung von Bädern
 - Abwasser-Wärmetauscher: getrennter Heiß- und Kaltablass
- Kontinuierliche Prozesse siehe Vorbehandlung
- Zielwert: 1,5 bis 2,5 kWh pro kg eingefärbte Ware

Ausrüstung

- Spannrahmentrockner: Wärmerückgewinnung aus Abluft mit direkter Rückführung in das Aggregat
- Abluftabsaugung: gezielt, richtig dimensioniert, feuchtigkeitsgeregelt

Querschnittstechniken

Lüftungsanlage, Prozesswärme, elektrische Antriebe, Druckluft, Beleuchtung

3. Energieeffiziente Kunststoffverarbeitung

Typischer Verfahrensablauf	Wesentliche Energieverbraucher	Weitere Energieverbraucher
Vorbehandlung		Granulattrocknung (Prozesswärme) Druckluft Elektrische Antriebe
Hauptbehandlung Aufschäumen, Warmumformung	Elektrische (und hydraulische) Antriebe Werkzeugbeheizung Kälteanlage (Kühlung Werkzeuge, Produkt, Hydraulikkreislauf)	Ggf. Zu- und Abluftanlage
Nachbehandlung Transport, Veredeln		Druckluft Elektrische Antriebe

Granulat-Vorbehandlung

- Förderung des Granulats mit Gebläse oder Schneckenrieben anstelle von Druckluft
- Trocknung: Anordnung der Granulat-Trocknung mit direkter Zuführung des vorgewärmten Granulats (80–150 °C) zum Extruder (ggf. zentrale Trocknung für alle Linien sinnvoller)
- Verwendung eines Gastrockners

Fertigung/ Formen

- Auswahl, Dimensionierung und Steuerung des Antriebssystems wichtig
- Ausreichende Wärmedämmung an der Plastifiziereinheit (Schnecke)/Werkzeugen der Maschinen
- Wärmedämmung von Zuleitungen
- Richtige Dimensionierung von Zusatzgeräten (Kühlersystem, Trockenvorrichtungen, Heizung)
- Regelantrieb für Hydraulikpumpe, die nur beim Einspritzen/Formschließung maximale Leistung abgibt.
- Optimierung der Schneckengeometrie für die jeweilige Anwendung

Spritzgießen (im Zyklus)

- Antrieb: entweder vollelektrisch oder als hybride Antriebstechnik (Schneckenantrieb elektrisch zum Plastifizieren und Einspritzen; Schließen des Werkzeugs und Auswerfen des Produkts geschehen hydraulisch)
- Kühlen: Konturnahes Kühlen (Kühlkanäle im Werkzeug, die den Konturen der Kavität folgen) reduziert Kühldauer.
- Extrudieren (kontinuierlich)
- Elektrischer Antrieb mit Direktantrieb
- Beheizung des Extruderringes mit Gas (*noch Pilotprojekt*)

Querschnittstechniken

Lüftungsanlage, Prozesswärme, elektrische Antriebe, Druckluft, Beleuchtung

4. Energieeffiziente Galvanik-Anlage

Typischer Verfahrensablauf	Wesentliche Energieverbraucher	Weitere Energieverbraucher
Vorbehandlung	(Zu- und Abluftanlage - hoher Luftwechsel)	Beheizung der Bäder (Prozesswärme) Druckluft Elektrische Antriebe
Hauptbehandlung	Gleichstrom (Gleichrichter für die Elektrolyse) Beheizung der Galvanikbäder (Prozesswärme) (Zu- und Abluftanlage – hoher Luftwechsel)	Kühlung der Prozessbäder (Prozesskälte) Elektrische Antriebe
Nachbehandlung	Bäderbeheizung, (Zu- und Abluftanlage – hoher Luftwechsel)	Trocknung (Prozesswärme) Kühlen der Galvanikbäder (Prozesskälte) Elektrische Antriebe

Energieoptimierung in der Anlagenplanung

Ziel: Einbindung aller wirtschaftlich sinnvoll nutzbaren Abwärmequellen innerhalb der Galvanik (Prozessbäder, Gleichrichter) sowie im betrieblichen Umfeld (z. B. Druckluftkompressor, Kältemaschinenabwärme der Bäderkühlung) in die Wärmeversorgung der Anlage.

Gleichrichter

- Eigener Gleichrichter für jede Arbeitsstation, um Betrieb im jeweils optimalen Betriebspunkt zu ermöglichen
- Kaskadierte Nutzung des Kühlwassers (möglich für Geräte mit einem geringen Temperaturunterschied, z. B. 5–7 °C – Wasser kann für mehrere Gleichrichter hintereinander genutzt werden)
- Abwärme der Gleichrichter lässt sich verwenden (zur Raumheizungsunterstützung, ggf. Einbindung des Kühlwasserkreislaufs von Gleichrichtern z.B. in die Spülbädererwärmung von Eloxierungen).

Prozesswärme

- Abdeckung: Eine gezielte Bäderabdeckung verringert den Wärmebedarf (sinnvoll bei hoher Badtemperatur, wenn keine Prozesskühlung erforderlich ist, für lange Verweilzeit, bei korrosiven Dämpfen).

Zu- und Abluft

- Verringerung der abzusaugenden Luftmenge und der notwendigen Anlagenleistung durch Verkleinern der freien Fläche oberhalb des Behälters (Einzelfallprüfung notwendig):
 - Durch eine Behälterabdeckung (bei hoher Badtemperatur, wenn keine Prozesskühlung notwendig ist, für lange Verweilzeit, korrosive Dämpfe; geeignet, wenn auch in Behandlungspausen Schadstoffe emittiert werden) oder
 - Durch Teilabdeckung am Gestellträger (geeignet, wenn nur während der Behandlung Schadstoffe emittiert werden).
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft:
 - Für große Anlagen bzw. große Luftmengen (wenn Zuluftanlage vorhanden)

Kraft-Wärme-Kopplung

BHKW: Die anfallende thermische Energie wird zur Prozessheizung genutzt.

Querschnittstechniken

Lüftungsanlage, Prozesswärme, elektrische Antriebe, Beleuchtung

Checkliste zur Planung energieeffizienter Anlagen

Planungs-Phase	Thema	Durchgeführt/ berücksichtigt?
Konzeption	Innovative Produktionsverfahren verwenden Kommen energieeffizientere Verfahren in Frage? Neue Techniken können sehr energieeffizient sein.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Falls neue Produktionshallen geplant sind Werden die Zuständigen für die Produktion (Betriebsleitung, Instandhaltung) rechtzeitig einbezogen, ist das neue Gebäude an die Erfordernisse der Produktion angepasst?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Mit koordinierter Planung das Wissen aller Beteiligten nutzen Werden betriebseigene Fachleute, Fachplaner und Energieberater rechtzeitig an der Planung beteiligt, ist es möglich, ganzheitlich zu planen und die spezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Projektierung	Anlagenkomponenten aufeinander abstimmen Nur ein gut geplantes Gesamtsystem ist wirklich energieeffizient. Werden alle Komponenten der Anlage aufeinander abgestimmt, steigt die Energieeffizienz besonders stark.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Abwärme als Energiequelle nutzen Abwärme (z. B. von Druckluftkompressor oder Kälteanlage) kann genutzt werden und sollte bei der Berechnung des Prozess- und Raumwärmebedarfs berücksichtigt werden.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Einfluss auf die Energiebereitstellung berücksichtigen Bei Automatisierung steigt häufig der Energiebedarf. Ist eine Anlage energetisch optimiert, braucht sie oft weniger Energie als ursprünglich veranschlagt. So lässt sich u. U. eine Erweiterungsinvestition in die Energieversorgungsanlage vermeiden.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Ausschreibung	In den Angeboten den Energieverbrauch einer Anlage angeben lassen	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
	Datenerfassung und -aufzeichnung Messeinrichtungen für den anlagenspezifischen Verbrauch von Energie und anderen Medien (z. B. Wasser, Abwasser) sind für ein Energiecontrolling bzw. -management notwendig.	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

Checkliste zum energieeffizienten Betrieb von Anlagen

Thema	Handlungsfelder	Durchgeführt/ berücksichtigt?
Bedarfsgerechter Betrieb Unnötigen Energieverbrauch vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> • Abschalten von Maschinen und Anlagen bei fehlendem Bedarf • unnötige Aufheiz- und Abkühlvorgänge • Überprüfung der Prozessparameter und Sicherheitsreserven 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Spezifischer Energieverbrauch Wahl energetisch günstiger Techniken	<ul style="list-style-type: none"> • z. B. Vortrocknung mit mechanischer Energie anstelle von thermischer Energie • z. B. Prozesswassererwärmung mit Heißwasser anstelle von Dampf 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Verbesserung der Wirkungs- und Nutzungsgrade	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Auslastung der Produktionsanlagen • Gute Regelanlagen und Betrieb im richtigen Betriebspunkt • Bedarfsgerechter Betrieb der Anlagen • Reduktion der Verteilungsverluste • Regelmäßige Wartung und Instandhaltung 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Zeitliches Verlagern von Energieverbräuchen	<ul style="list-style-type: none"> • Organisatorisches Lastmanagement • Automatisches, zeitweiliges Abschalten von Energieverbrauchern durch Lastmanagementsysteme 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Rückgewinnung der Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung im selben Prozess (Wärmerückgewinnung) • Nutzung innerhalb des Betriebes (Abwärmenutzung) 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Energiecontrolling	<ul style="list-style-type: none"> • Messen, Registrieren und Auswerten ist notwendig, um Energieverbräuche einzelnen Anlagen zuzuordnen, Abweichungen zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen. 	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

Checkliste zu Querschnittstechniken

	Frage		Zusätzliche Informationen										
Druckluft	Übergeordnete Steuerung mehrerer Druckluft-Kompressoren und/oder frequenzge- regelter Kompressor?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	VDMA-Einheitsblatt 24581 (Entwurf 2012), „Fluidtechnik – Anwendungshinweise zur Optimierung der Energieeffizienz von Pneumatikanlagen“										
	Anlagendruck so niedrig wie möglich?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Druckerhöhungsanlagen für einzelne Anwendungen in Betracht ziehen										
	Abwärmenutzung vorgesehen für Warmwassererwärmung, Heizungsunterstützung?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein											
	Rohrleitung: Strömungsgeschwindigkeit der Luft bekannt/optimiert?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Zu klein dimensionierte Rohrquerschnitte führen zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten und zu hohen Druckverlusten in der Rohrleitung.										
	Wenig leckageanfälliges System (moderne Rohrleitungsverbindungen)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Strömungsgeschwindigkeit möglichst kleiner als 6 m/s wählen und die Leckagen im Verteilnetz auf 7–10 % zu reduzieren.										
Elektrische Antriebe	IE2-Motoren, d.h. hohe Effizienz (evtl. IE3) vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Besonders wichtig ist eine sorgfältige Auslegung des Gesamtsystems mit Komponenten, die auf den prozessspezifischen Bedarf abgestimmt sind (keine Überdimensionierung) und eine optimale Prozessführung.										
	Frequenzumrichter vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	bei wechselnder Last und mindestens 2.000 Betriebsstunden im Jahr										
Pumpen	Pumpen mit hohem Wirkungsgrad vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<p>VDMA-Einheitsblatt 24580 (2012) „Fluidtechnik: Anwendungshinweise zur Optimierung der Energieeffizienz von Hydraulikanlagen“ Beispielhaft die Wirkungsgrade von Pumpen in Abhängigkeit von der Leistung:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Leistung (kW)</th> <th>Max. Wirkungsgrad in %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>40–60</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>56–78</td> </tr> <tr> <td>75</td> <td>78–84</td> </tr> <tr> <td>160</td> <td>84–86</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pumpen mit 1500Upm (Quelle: Andritz AG)</p> <p>Ebenso ist die sorgfältige Berechnung der Rohrkenlinie und die Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten der Betriebszustände wichtig.</p>	Leistung (kW)	Max. Wirkungsgrad in %	3	40–60	22	56–78	75	78–84	160	84–86
	Leistung (kW)	Max. Wirkungsgrad in %											
3	40–60												
22	56–78												
75	78–84												
160	84–86												
	Bei variablem Volumenstrom: Drehzahlregelung oder eine Pumpen-Parallelschaltung?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein											

	Frage		Zusätzliche Informationen																		
Lüftungsanlagen/RLT	Wärmerückgewinnung vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Rückwärmezahl (Rwz) für Lüftungsanlagen: mindestens 80 %; Rwz für Kreislaufverbundsystem: mind. 60 % Rwz für Rotationswärmeüberträger: mind. 74 % (nach KfW-Förderbedingungen)																		
	Effiziente Ventilatoren und Kanalnetz mit geringen Druckverlusten vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<p>SFP-Werte (Specific Fan Power): Leistung eines Ventilators in $W/(m^3/s)$. Der SFP-Wert ist eine Kennzahl für die energetische Qualität einer optimierten kompletten Lüftungs- und Klimaanlage (Ventilator und Kanalnetz). Kriterien zur Bestimmung der Energieeffizienzklasse eines RLT Gerätes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luftgeschwindigkeit im Querschnitt • Wirkungsgrad und Druckverlust der Wärmerückgewinnung • Zulässige el. Leistungsaufnahme <p>Wichtig ist außerdem eine auf den tatsächlichen Bedarf ausgerichtete Planung, damit die Anlage im optimalen Betriebspunkt betrieben wird. Die nachfolgend aufgeführten Klassen dienen daher nur zur Information.</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Beispielhaft: spezifische Ventilatorleistungen je Ventilator nach DIN EN 13779</td> </tr> <tr> <td>Klasse</td> <td>Spezifische Ventilatorleistung</td> </tr> <tr> <td>SFP 1</td> <td><500</td> </tr> <tr> <td>SFP 2</td> <td>500–750</td> </tr> <tr> <td>SFP 3</td> <td>751–1250</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Für Einbauten sind Zuschläge vorgesehen, beispielhaft</td> </tr> <tr> <td>Bauteil</td> <td>Zuschlag auf SFP [$W/(m^3/s)$]</td> </tr> <tr> <td>zus. mech. Filterstufe</td> <td>+300</td> </tr> <tr> <td>WRG der Klasse H2–H1</td> <td>+300</td> </tr> </table> <p>Alternativ: Energieeffizienzklassen der RLT-Geräte-Hersteller (z. B. A+, A) berücksichtigen nicht den Druckverlust und Leckrate im Kanalnetz.</p>	Beispielhaft: spezifische Ventilatorleistungen je Ventilator nach DIN EN 13779		Klasse	Spezifische Ventilatorleistung	SFP 1	<500	SFP 2	500–750	SFP 3	751–1250	Für Einbauten sind Zuschläge vorgesehen, beispielhaft		Bauteil	Zuschlag auf SFP [$W/(m^3/s)$]	zus. mech. Filterstufe	+300	WRG der Klasse H2–H1	+300
	Beispielhaft: spezifische Ventilatorleistungen je Ventilator nach DIN EN 13779																				
Klasse	Spezifische Ventilatorleistung																				
SFP 1	<500																				
SFP 2	500–750																				
SFP 3	751–1250																				
Für Einbauten sind Zuschläge vorgesehen, beispielhaft																					
Bauteil	Zuschlag auf SFP [$W/(m^3/s)$]																				
zus. mech. Filterstufe	+300																				
WRG der Klasse H2–H1	+300																				
Drehzahländerung (frequenzgesteuert oder Riemenscheiben) bei variablen Luftströmen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein																				

	Frage		Zusätzliche Informationen
Kälte/ Prozess- kühlung	Alternative Kühlsysteme geprüft?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	z. B. Grundwasserkühlung (8–10 °C), Kühlung über Kühltürme (bis ca. 14 °C möglich), freie Kühlung, solare Kühlung
	Minimierung des Kältebedarfs?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Verbundkälteanlage vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Eine Zusammenfassung der Verdichter zu einer Verbundkälteanlage ermöglicht einen Teillastbetrieb und eine Nutzung der Verdichter-Abwärme.
	Abwärmenutzung vorgesehen bei Kompressionskältemaschine?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	VDMA-Einheitsblatt 24247 „Energieeffizienz von Kälteanlagen“ (2011).
Beleuchtung	Leuchtmittel nach dem Stand der Technik (z. B. elektronisches Vorschaltgerät für Leuchtstofflampen)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Empfehlenswert sind darüber hinaus getrennt schaltbare Stromkreise sowie eine bedarfsabhängige Lichtsteuerung (Tageslicht- und Präsenzsteuerung).
	Einsatz von Reflektoren?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Raum- heizung	Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Leistungsmodulation des Brenners oder Kesselfolgeschaltung vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Möglichkeiten der Abwärmenutzung geprüft?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Dampferzeugung	Bezug von Fernwärme-Dampf?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Economizer für Speisewasser- oder Luftvorwärmer (LuVo) für die Vorwärmung der Verbrennungsluft vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Drehzahländerung (frequenzgesteuert oder Riemenscheiben) bei variablen Luftströmen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	

Checkliste für branchenspezifische Prozesse

	Frage		Zusätzliche Informationen
Lackierung	Angabe des Energieverbrauchs der Anlage im Lastenheft gefordert und in Ausschreibung berücksichtigt?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	VDMA-Einheitsblatt 24378 (2010): Prognose des Energieverbrauchs von Lackieranlagen
	Minimale Luftgeschwindigkeiten?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Luftgeschwindigkeit in der manuellen Lackierkabine: maximal 0,3–0,35 m/s
	Wärmerückgewinnung: Zuluftvorwärmung über Wärmetauscher (manuelle Lackierung), Umluftführung der Spritzkabine-abluft (automatische Lackierung) vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Textilveredelung	Hochleistungsquetschen zur mechanischen Entwässerung vor thermischer Trocknung?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Spannrahmen: Integrierte Wärmerückgewinnung ?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Prozesssteuerung zur Vermeidung von Übertrocknung?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Bedarfsgerechte, feuchtigkeitsgeführte Abluftsteuerung?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Kunststoffherstellung	Spritzgießmaschinen: voll-elektrisch oder mit Hybridantrieb (elektrisch-hydraulisch)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Extruder: elektrischer Direktantrieb?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Galvanik	Behälterabdeckungen oder Teilabdeckungen am Gestellträger vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
	Bedarfsgerechte Schadstoffabsaugung vorgesehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	

