



Energieeffizienz in Reinräumen

Thomas Heinzmann

Swiss Cleanroom Community Event, Pratteln am 4. November 2024



Thomas Heinzmann

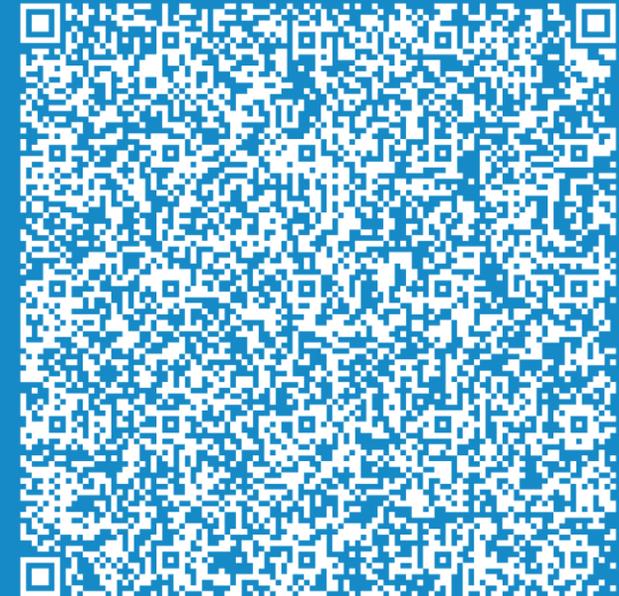
thomas.heinzmann@pixon-ch.com

Jg. 1988
Wohnort: Visp CH

HLKS-Ingenieur

2011 bis heute:
Mitarbeiter im Bereich
HLKS bei pixon engineering AG

Bei Fragen finden Sie mich
am Stand von pixon im Saal unten.
Wir freuen uns auf Ihren Besuch.



Ihr erfahrener Partner für Ingenieur- dienstleistungen in der Pharmaindustrie



End-to-End EPCMQV Services International tätiger Schweizer Anbieter für CAPEX-Projekte

2006 Gegründet Das erste Pharma-Engineering-Unternehmen im Wallis mit Schwerpunkt Verfahrenstechnik

3 Standorte Visp und Basel, Schweiz, und Mannheim, Deutschland, mit über 80 Mitarbeitenden

Expertise Planung und Bau von GMP-gerechten Anlagen und Labors

Key Player Prozesse und Anlagen, Engineering & Design, Architektur, Beratungsleistungen für CAPEX-Projekte

Erfahrener Partner Operative Optimierung in den Bereichen Energie, Produktion und Logistik

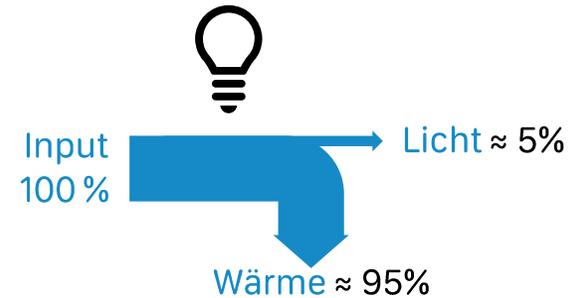
1. Einführung Energieeffizienz
2. Energieeffizienz im GMP-Umfeld
3. Energieeffizienz neue Reinräume
4. Energieeffizienz bestehende Reinräume
5. Mögliche Optimierungsmassnahmen



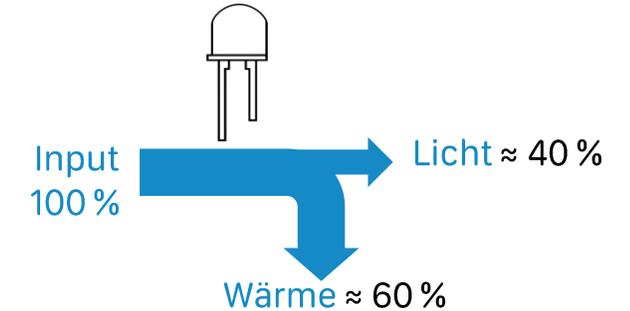
1. Einführung Energieeffizienz

Effizienz

→ Verhältnis zwischen gewünschtem Ertrag (Output) und Eintrag (Input), besser produzieren



vs.



Konsistenz

→ Anders produzieren



Suffizienz

- Weniger produzieren und konsumieren
- „Die billigste und umweltfreundlichste Energie ist die, die wir nicht verbrauchen und deshalb gar nicht erst produzieren müssen.“ (Bundesamt für Energie, CH)



Priorität / Reihenfolge

1. Suffizienz
2. Effizienz
3. Konsistenz

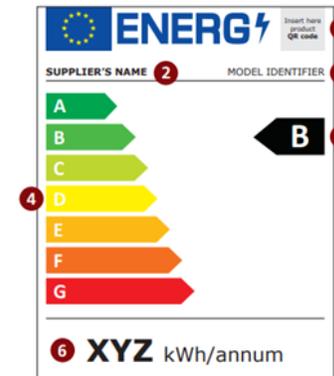
1. Einführung Energieeffizienz

Dekarbonisierung und Transformation

- Kombination aus Effizienz, Konsistenz und Suffizienz!
- Vorsicht: Rebound Effekt
- Effizienz: Laut Studie IEA 17-33 % bei Gebäuden, Transport und Industrie

Politische Instrumente

- UNO: Agenda 2030 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung
- Diverse EU-Richtlinien für verschieden Sektoren
- Richtlinie 2012/27/EU → Ziel 20% höhere Energieeffizienz im Vergleich zu 2008
- CH-Energiestrategie 2050 Zielwert 2050: - 53 % Endenergiebedarf witterungsbereinigt
- Diverse länderspezifische Normen und Richtlinien
- EU-Gesetze und länderspezifische Gesetze



1. Einführung Energieeffizienz

Ziele für Unternehmen

- Nachhaltigkeit steigern → Reduktion CO₂-Emissionen
- Ressourcen schonen → Reduktion Energiebedarf
- Betriebskosten senken → Steigende Energiepreise, CO₂-Abgaben
- Effizienzsteigerung
- Prozessoptimierungen

Potenzielle Nichtwohngebäuden, Anlagen und Systeme →
(Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi))

Staatliche Förderung

- Beratung, Kredite, Zuschüsse etc.
- DE → BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz)
- CH → BFE (Bundesamt für Energie)
- AT → BMK (Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, etc.)



1 Beleuchtung	↓ 70 %	5 Pumpensystem	↓ 30 %
2 IT-Systeme	↓ 70 %	6 Lüftungsanlagen	↓ 25 %
3 Druckluft	↓ 50 %	7 Kälte- und Kühlwasseranlagen	↓ 30 %
4 Wärmeversorgung	↓ 30 %		

1. Einführung Energieeffizienz

Energiebedarf Pharma?

- Endenergieverbrauch Chemie/Pharma am Industriesektor CH: 27 % (2018) Anteil Pharma? (Prognos 2019)
- Primärenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes DE (2020) (Umweltbundesamt DE)
- Pharmazeutische Erzeugnisse 1.4 %
- Chemische Erzeugnisse 33.8 %
- Reinräume benötigen rund 25 x mehr Energie als Büroräume → $\sim 1.25 \text{ kW/m}^2$ vs. $\sim 0.06 \text{ kW/m}^2$
(<https://www.cleanroomtechnology.com/five-forces-driving-energy-efficiency-in-next-gen-cleanroom-design-151385>)

Kennzahlen

- Vergleich Umluft- und Aussenluftanlagen → $\sim 1.2 - 1.6 \text{ CHF}/(\text{m}^3/\text{h})$ vs. $\sim 4 \text{ CHF}/(\text{m}^3/\text{h})$
(CH: 15 Rp./kWh, Masterarbeit Schaller)
- Strommix CH: 218 gCO₂eq/kWh (Krebs & Frischknecht 2018)
Strommix DE: 498 gCO₂eq/kWh (Icha & Lauf, 2023)
- CO₂-Belastung: 5.7 kgCO₂eq/y pro 1 m³/h (AUL)
1.8-2.3 kgCO₂eq/y pro 1 m³/h (UML)
(Berechnung aus Strommix und Strombedarf Masterarbeit Schaller)

Bis zu 60% vom
Energieverbrauch eines
Reinraums ist HVAC!

2. Energieeffizienz im GMP-Umfeld

Herausforderungen GMP

- Einhaltung Prozessanforderungen!
- Firmeninterne Vorgaben Nutzeranforderungen (URS)
 - Starre Haltungen bei Unternehmen hinterfragen
- Bestehende Nutzeranforderungen
- Sicherheit
 - Personen
 - RA notwendig?
- Produkteschutz
- GMP-Anforderungen
 - Annex, FDA, Pharmakopöe, ISO 14644, etc.

Herausforderungen Planung

- Bei Neubau/Sanierung/Umbau: Frühzeitige Einbindung HLKS-Planung
 - Bedürfnisse und Projektziel: Suffizienz und Effizienz
- Auslegungsgrundlagen
 - Zukünftige Klimatische Bedingungen berücksichtigen
- Flexibilität/Änderungen in der Zukunft
 - Unnötige Reserven



2. Energieeffizienz im GMP-Umfeld



Nachhaltigkeit



Interdisziplinarität

Alle wichtigen Akteure sind von Anfang an miteinzubeziehen und ein fachübergreifender Nenner zu finden und fachübergreifende Vorgaben/Bedürfnisse sind zu definieren.

Weiteres Ziel bei optimaler Umsetzung: Aufweichung des Tunnelblicks und Stärkung des Verständnisses gegenüber den einzelnen Akteuren.

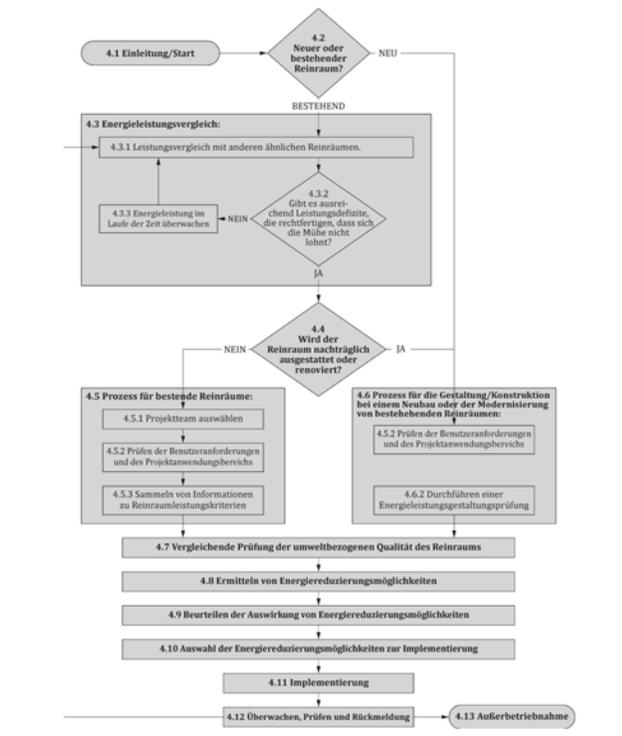


2. Energieeffizienz im GMP-Umfeld

Normen für Energieeffizienz

EN ISO 14644-16

(Energieeffizienz von Reinräumen und Reinluftgeräten)



VDI 2083

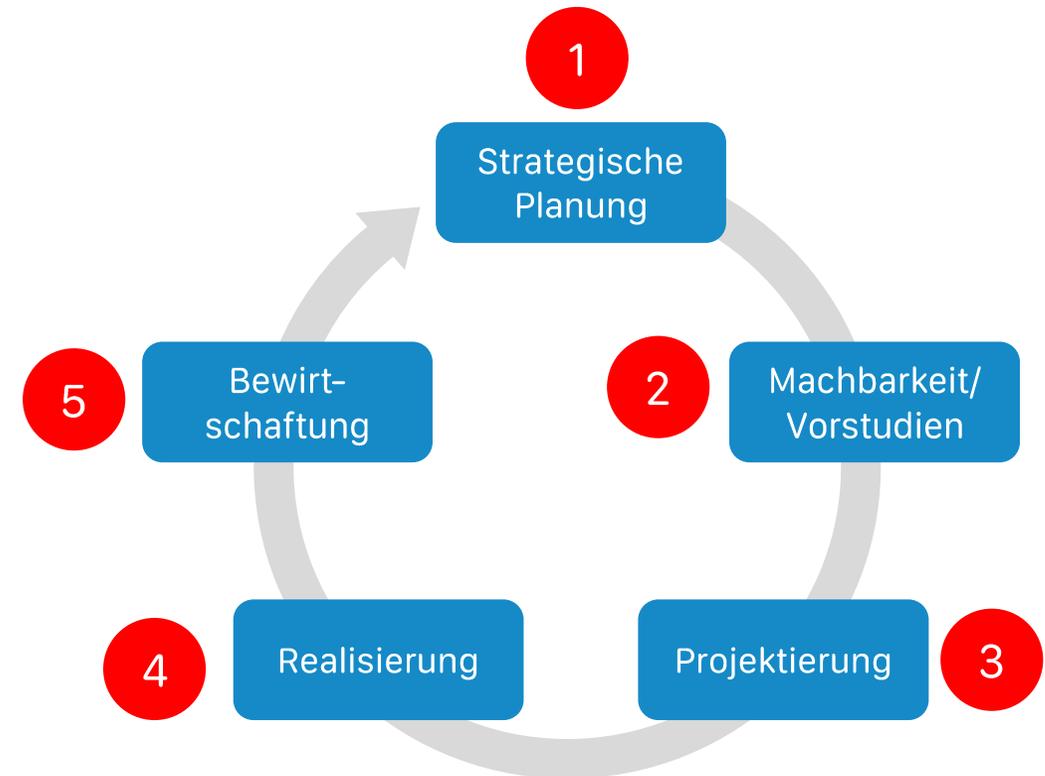
(Reinraumtechnik, Energieeffizienz)

ICS 13.040.35, 91.140.30		VDI-RICHTLINIEN		April 2011	
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE		Reinraumtechnik Energieeffizienz Cleanroom technology Energy efficiency		VDI 2083 Blatt 4.2 / Part 4.2 Ausg. deutsch/englisch Issued German/English	
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich. The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.					
Inhalt	Seite	Contents	Seite		
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2		
Einleitung	2	Introduction	2		
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3		
2 Abkürzungen	5	2 Abbreviations	5		
3 Energiebedarf von Reinräumen	6	3 Energy demand of cleanrooms	6		
3.1 Energierelevante Parameter und Besonderheiten von Reinräumen	6	3.1 Energy-relevant parameters and cleanroom specifics	6		
3.2 Energieverbraucher	7	3.2 Energy consumers	7		
4 Energieoptimierungsmaßnahmen	11	4 Energy-optimising measures	11		
4.1 Parameteranalyse als Planungsvoraussetzung	11	4.1 Analysis of parameters as a prerequisite to planning	11		
4.2 Reinraumkonzept/Luftungskonzept	11	4.2 Cleanroom/air-handling concept	11		
4.3 Kontaminationskontrolle	24	4.3 Contamination control	24		
4.4 Reduzierter Betrieb	26	4.4 Reduced operation	26		
4.5 Energieanalyse und Energiecontrolling	28	4.5 Energy analysis and energy controlling	28		
4.6 Recyclingkonzepte für Reinstwasser	32	4.6 Recycling concepts for ultrapure water	32		
4.7 Weitere Hinweise	38	4.7 Further guidance	38		
Anhang A Branchenbezogene Beispiele (Energieflussdiagramme)	40	Annex A Branch-specific examples (energy flow diagrams)	40		
Anhang B Einfluss des Personalverhaltens	45	Annex B Effects of cleanroom conduct	45		
Anhang C Beispiel für eine Energieanalyse mit Variantenvergleich	46	Annex C Example of energy analysis with comparison of variants	46		
Anhang D Witterungsberichtigung von luftungsbedingten Energieverbräuchen	51	Annex D Climatic correction of ventilation-related energy consumption values	51		
Anhang E Verfahren zur lastabhängigen Reduzierung des Luftwechsels	57	Annex E Method for load-dependent reduction of air change rate	57		
Schrifttum	59	Bibliography	59		

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)
Fachbereich Technische Gebäudetechnik
VDI-Handbuch Reinraumtechnik

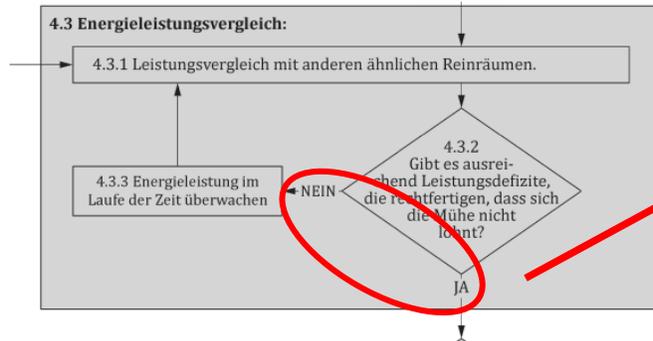
3. Energieeffizienz neue Reineräume

1. Anmeldung Anforderung/Bedürfnis Energieeffizienz **schon bei der strategischen Planung**
2. Prüfung der Benutzeranforderungen (URS), des Projektanwendungsbereiches und Auslegungsgrundlagen
3. Planung energieeffizientes System
 - Interdisziplinarität! Bspw. min. Grösse Reineräume
 - Energiemonitoring
4. Realisierung
 - Changemanagement
 - Kontrolle Ausführung
 - Inbetriebnahmen
5. Bewirtschaftung
 - Energiemonitoring, Prüfung Leistungsdaten
 - Optimierung HLKS nach einem Jahr



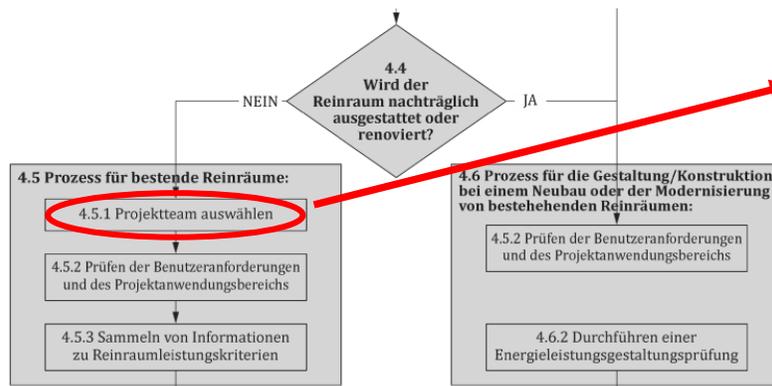
4. Energieeffizienz bestehende Reineräume

1. Anmeldung Bedürfnis
2. Energieleistungsvergleich



Auch ohne Energiedaten möglich und sinnvoll!

3. Sanierung/Umbau oder Betriebsoptimierung

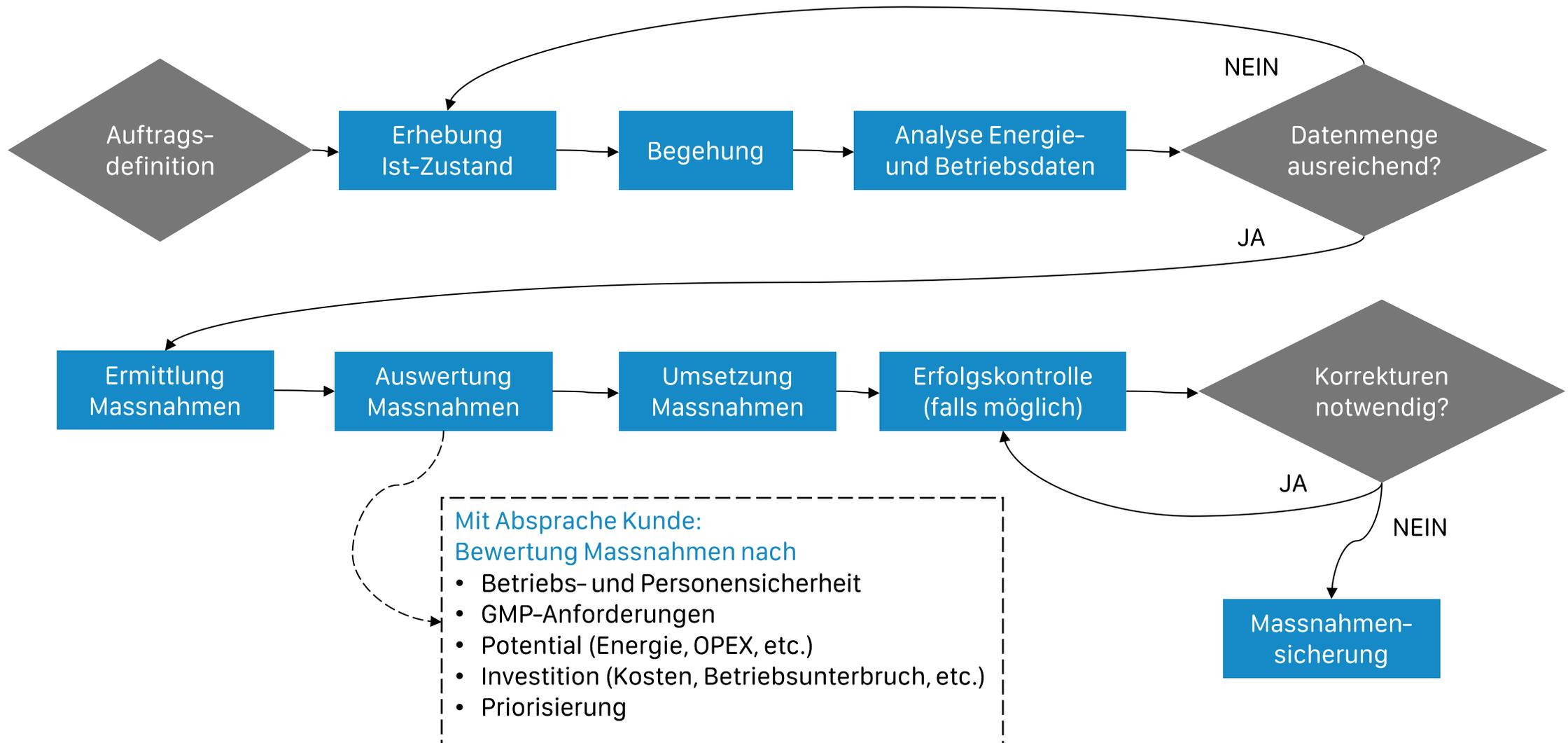


Projektteam bei Umbau und BO notwendig!



4. Energieeffizienz bestehende Reineräume

Vorgehen Planung Betriebsoptimierung



5. Mögliche Optimierungsmassnahmen

Suffizienz

Erhöhung Zulufttemperatur im Sommer

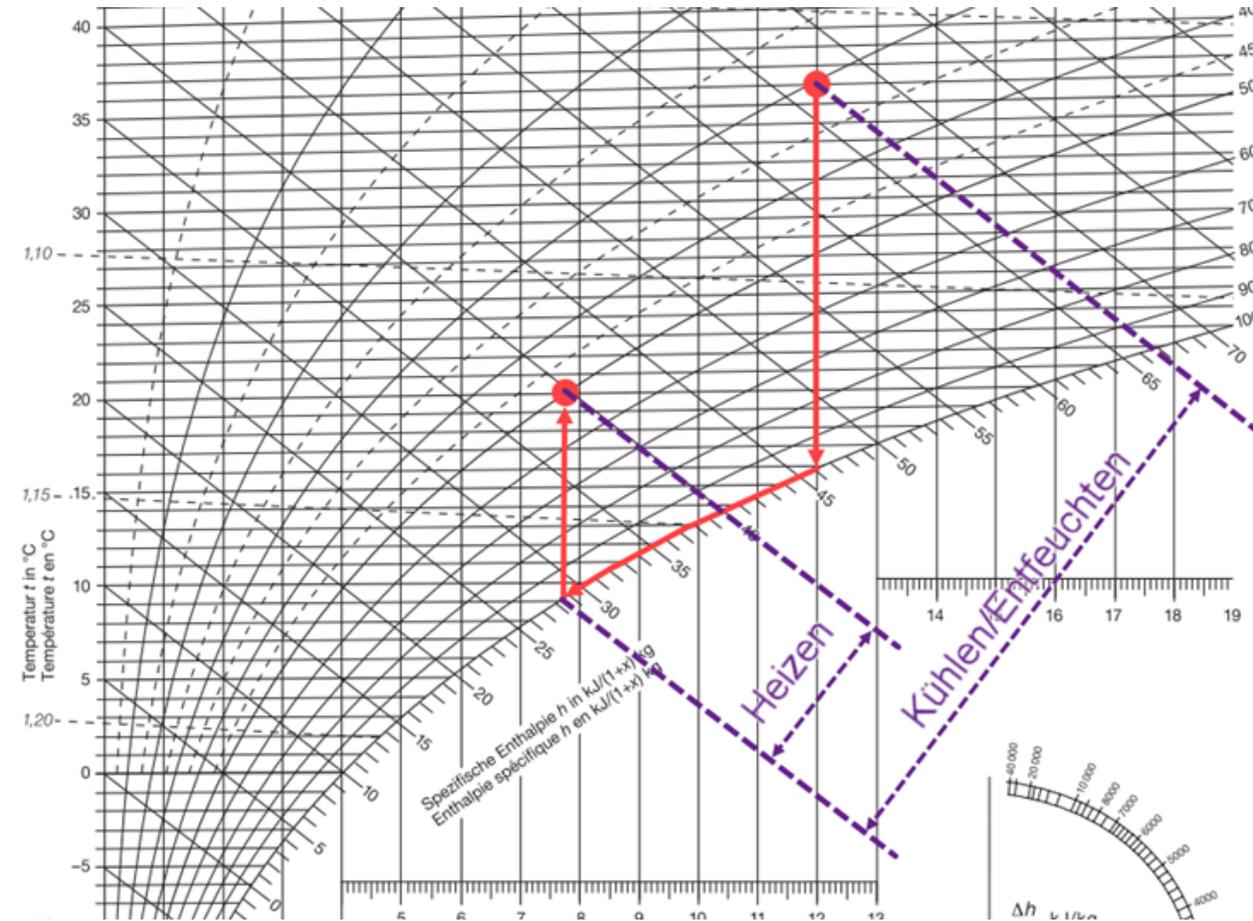
- Tätigkeiten und Kleidungsgrad sind zu berücksichtigen
- Häufig tiefe Raumlufttemperatur in Reinnräumen (AT 35°C → RT 20 °C)

Optimierung Raumluftfeuchte

- Befeuchtung reduzieren
→ Dampf- oder adiabatische Befeuchtung
- Entfeuchtung massiver Energiebedarf!

Lüftungskonzept → Lüftungseffektivität

- Verdrängungslüftung
- Turbulente Verdünnungslüftung



5. Mögliche Optimierungsmaßnahmen

Suffizienz

Optimierung Betriebszeiten

- Nachtabenkung
- Standby
- Abschaltung

Nach Bedarf geregelte Anlagen

- Raumlufttemperatur
- Raumluftfeuchtigkeit
- Luftmengen
 - Dynamically Controlled Flow Rates (DCF)
z.T. kombiniert mit einem
Partikel Monitoring System
 - Druckkaskade?



5. Mögliche Optimierungsmassnahmen

Suffizienz

- Reinraumklasse reduzieren
→ Reduzierung Luftmengen
- Reduktion Partikelaustritt
→ Reduzierung Luftmengen
 - Bspw. Anpassung Kleidungsgrad, Anzahl Personen
- Bedarfsermittlung Luftwechselzahl
→ Reduzierung Luftmenge

Reduktion der Luftmengen hat folgende Auswirkungen:

- Reduzierung Heiz- und Kältebedarf
- Reduzierung Befeuchtungs- und Entfeuchtungsbedarf
- Reduzierung Antriebsleistung Ventilatoren

Ventilatorenleistungen verhalten sich proportional zur dritten Potenz der Luftvolumenströme

Proportionalitätsgesetz
Ventilatoren

$$\left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^3 = \frac{P_1}{P_2}$$

5. Mögliche Optimierungsmassnahmen

Suffizienz

Hinweis zu: Bedarfsermittlung Luftwechselzahl/Luftmenge

- Üblich: Luftwechselrate wird durch Reinraumklasse definiert
 - FDA Guidance for Industry (2004): z.B. ISO 8 Luftwechselrate 20/h «typischerweise akzeptabel»
 - USP 1116 (2015): Verweis auf ISO 14644 und Empfehlung, z.B. ISO 8: 20/h
 - Annex 1 (2022): Contamination Control Strategy (CCS)
Clean-Up-Phase bei Räumen mit turbulenter Verdünnungsströmung (Übergang in operation → at rest)
 - ISO 14644-4 (2022); Reinheitsgrad wird via Quellstärke im Raum und der Lüftungseffektivität erreicht
- keine gesetzlichen Vorgaben zur minimalen Luftwechselzahl!
- Luftmengenbedarfsberechnung bspw. nach EN ISO 14644-16 (Anz. Personen, Kleidungsgrad, Abscheidegrad, etc.)
- Bedarfsgeregelte Lüftungsanlage?



5. Mögliche Optimierungsmassnahmen

Suffizienz

Reduzierung Aussenluftanteil

- Sicherheit muss berücksichtigt werden → Kreuzkontamination vs. H14 Filter
- Dezentrale Umluftanlage:
61% Reduktion Zentrale Umluftanlage vs. reine Aussenluftanlage
69% Reduktion Dezentrale Umluftanlage vs. reine Aussenluftanlage

Leckagen reduzieren (Druckluft, Lüftung)

- Dichtheitsklasse Lüftung
- Regelmässige Prüfung Druckluftnetz
- Reduzierung von Druckluft-Verbrauchsstellen

Raumvolumina so klein wie möglich planen

- Reduzierung der Luftmengen: Kleine Raumflächen für hohe Reinheitsklassen (bis zu 15% Energieeinsparung)



5. Mögliche Optimierungsmassnahmen

Effizienz

- Installation/Ersatz von effizienten Ventilatoren, Pumpen etc.
- Installation/Ersatz effizienten und erneuerbarer Erzeugung Kalt- und Heizungswasser
- Installation/Ersatz effiziente Filter
- Abwärmenutzungen
 - Kälteerzeugung
 - Druckluftherzeugung
- Netzabgleich Lüftung, Heizung, Kälte
 - Ziel: Druckunabhängiges System
- Senkung VL Temp. Heizung, Erhöhung VL Temp. Kälte
 - 1 K Temp. Anhebung bis zu 2.5 % Einsparung
-

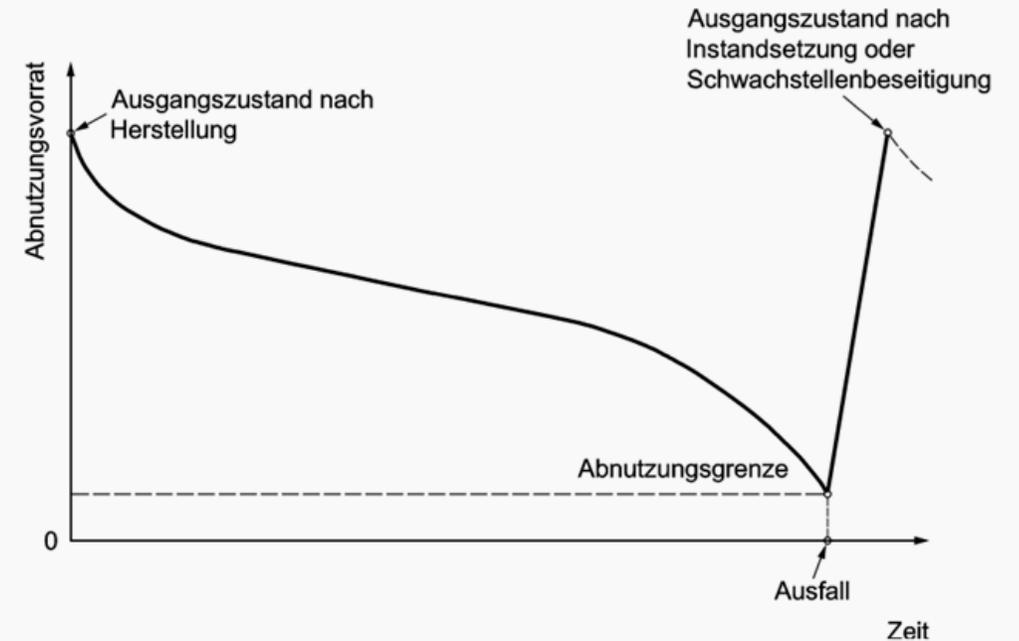


5. Mögliche Optimierungsmaßnahmen

Effizienz

- Dichtheit Reinnräume (Leckage-Klasse von Reinnraumhüllen: VDI 2083-19 / VCCN Guideline 10)
- Maintenance
 - Proaktive Instandhaltung
 - Reaktive Instandhaltung
 - Kontrolle
 - Wartungssoftware
- Energiemonitoring
 - Fehlerquellen ermitteln
 - Optimierungen
 - Auswertung Massnahmen
-

DIN 31051:2012-09



ANMERKUNG Die Abbaukurve des Abnutzungsvorrates ist nur ein Beispiel der möglichen Verläufe.

Bild 2 — Abbau des Abnutzungsvorrates und seine Erstellung durch Instandsetzung oder Verbesserung

Das pixon Team



- ISO 14644-1 bis 4: Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche
- ISO 14644-16: Energieeffiziente Luftstromberechnung
- VDI 2083-4.2: Energieeffizientes Design und Betrieb von Reinräumen
- VDI 2083-19: Dichte von Reinraumhüllflächen
- DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung
- Annex 1
- Master Thesis: Planung von energieeffizienten Lüftungsanlagen in der Pharmaindustrie von Christoph Schaller, 04.07.2019

Vielen Dank

pixon-ch.com



Schweiz

pixon engineering AG
Sandstrasse 2
3930 Visp
Schweiz
+41 27 948 08 60

pixon engineering AG
Holbeinstrasse 75
4051 Basel
Schweiz
+41 61 303 08 60

Deutschland

pixon engineering GmbH
Janderstrasse 9
68199 Mannheim
Deutschland
+49 621 4825 9169

 info@pixon-ch.com

