

DIN EN ISO 14644-16

ICS 13.040.35

Einsprüche bis 2018-06-27

Entwurf

**Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche –
Teil 16: Leitfaden zur Verbesserung der Energieeffizienz von Reinräumen
und Reinluftgeräten (ISO/DIS 14644-16:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 14644-16:2018**

Cleanrooms and associated controlled environments –
Part 16: Code of practice for improving energy efficiency in cleanrooms and clean air devices
(ISO/DIS 14644-16:2018);
German and English version prEN ISO 14644-16:2018

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés –
Partie 16: Code de bonnes pratiques pour améliorer l'efficacité énergétique dans les salles
propres et les dispositifs à air épuré (ISO/DIS 14644-16:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 14644-16:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-04-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nhrs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRs), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 105 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRs)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14644-16:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 209 „Cleanrooms and associated controlled environments“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 243 „Reinraumtechnologie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 041-02-21 AA „Reinraumtechnik (SpA CEN/TC 243 und ISO/TC 209)“ im DIN-Normenausschuss DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 2889:2010	siehe DIN ISO 2889:2012-07
ISO 14644-1:2015	siehe DIN EN ISO 14644-1:2015-06
ISO 14644-2	siehe DIN EN ISO 14644-2
ISO 14644-3	siehe DIN EN ISO 14644-3
ISO 14644-4	siehe DIN EN ISO 14644-4
ISO 14644-5	siehe DIN EN ISO 14644-5
ISO 14644-6:2007	siehe DIN EN ISO 14644-6:2007-10
ISO 14644-7:2004	siehe DIN EN ISO 14644-7:2005-01
ISO 14644-14	siehe DIN EN ISO 14644-14
ISO 50001:2011	siehe DIN EN ISO 50001:2011-12
ISO 50006	siehe DIN ISO 50006

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 14644-1:2015-06, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration (ISO 14644-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14644-1:2015*

DIN EN ISO 14644-2, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 2: Überwachung zum Nachweis der Reinraumleistung bezüglich Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration*

DIN EN ISO 14644-3, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 3: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 14644-4, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 4: Planung, Ausführung und Erst-Inbetriebnahme*

DIN EN ISO 14644-5, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 5: Betrieb*

DIN EN ISO 14644-6:2007-10, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 6: Terminologie (ISO 14644-6:2007); Dreisprachige Fassung EN ISO 14644-6:2007*

DIN EN ISO 14644-7:2005-01, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 7: SD-Module (Reinlufthauben, Handschuhboxen, Isolatoren und Minienvironments) (ISO 14644-7:2004); Deutsche Fassung EN ISO 14644-7:2004*

DIN EN ISO 14644-14, *Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 14: Bewertung der Reinraumtauglichkeit von Geräten durch Partikelkonzentration in der Luft*

DIN EN ISO 50001:2011-12, *Energiemanagementsysteme — Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011*

DIN ISO 50006, *Energiemanagementsysteme — Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI) — Allgemeine Grundsätze und Leitlinien*

DIN ISO 2889:2012-07, *Probenentnahme von luftgetragenen radioaktiven Stoffen aus Kanälen und Kaminen kerntechnischer Anlagen (ISO 2889:2010)*

— Leerseite —

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche — Teil 16: Leitfaden zur Verbesserung der Energieeffizienz von Reinräumen und Reinluftgeräten (ISO/DIS 14644-16:2018)

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés — Partie 16 : Code de bonnes pratiques pour améliorer l'efficacité énergétique dans les salles propres et les dispositifs à air épuré (ISO/DIS 14644-16:2018)

Cleanrooms and associated controlled environments — Part 16: Code of practice for improving energy efficiency in cleanrooms and clean air devices (ISO/DIS 14644-16:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Installation	10
3.3 Emission	12
3.4 Energieeffizienz	12
3.5 Abkürzungen	14
4 Prozess zur Bewertung und Implementierung der Energiereduzierung	14
4.1 Einleitung	14
4.2 Neuer oder bestehender Reinraum	15
4.3 Energieleistungsvergleich	16
4.3.1 Vergleich der Energieleistung	16
4.3.2 Bestimmen des Business Case	16
4.3.3 Überwachung und Überprüfung	16
4.4 Nachrüstung oder Renovierung eines bestehenden Reinraums	16
4.5 Prozess für bestehende Reinnräume	17
4.5.1 Auswahl des Projektteams	17
4.5.2 Prüfen der Benutzeranforderungen und des Projektanwendungsbereichs	17
4.5.3 Sammeln von Informationen zu Reinnraumleistungskriterien	18
4.6 Prozess für die Gestaltung/Konstruktion bei einem Neubau oder der Modernisierung von Reinnräumen	18
4.6.1 Prüfen der Benutzeranforderungen und des Projektanwendungsbereichs	18
4.6.2 Durchführen einer Energieleistungsdesignprüfung	18
4.7 Vergleichende Prüfung der umweltbezogenen Qualität	19
4.8 Ermitteln von Energiereduzierungsmöglichkeiten	19
4.9 Beurteilen der Auswirkung von Energiereduzierungsmöglichkeiten	19
4.10 Auswahl der Energiereduzierungsmöglichkeiten zur Implementierung	19
4.11 Implementierung	20
4.12 Überwachen, Prüfen und Rückmeldung	20
4.13 Außerbetriebnahme	20
5 Auswirkung der Spezifikation der Nutzeranforderungen (URS) auf den Energieverbrauch	20
5.1 Kurzbeschreibung	20
5.2 Kleidungsgrade	21
6 Luftvolumenstrom und Ausgleichsfaktoren	21
6.1 Luftvolumenstrom	21
6.2 Berechnung der Quellstärke und des Luftvolumenstroms für Räume mit turbulenter Verdünnungsströmung	22
6.2.1 Bestimmung des Luftvolumenstroms	22
6.2.2 Wirkungsgradindex der Entfernung von Verunreinigung und der Lüftung	22

6.2.3	Kompensationsfaktoren (C_f).....	23
6.3	Flexibles Verfahren zur Schätzung des Luftvolumenstroms in Räumen mit turbulenter Verdünnungsströmung	23
6.3.1	Allgemeines	23
6.3.2	Gestaltungsphase.....	24
6.3.3	Prüfphase	24
6.3.4	Betriebsphase	24
6.4	Reduzierung des Luftstroms für Räume mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung.....	25
7	Energiemanagement: Abdrehen, Abschalten und Wiederherstellung	25
7.1	Abdrehen	25
7.2	Abschalten.....	26
8	Adaptive Steuerung	26
9	Heiz- und Kühllasten	26
10	Ventilator- und Filterauswahl	27
10.1	Luftumwälzventilatoren	27
10.2	Auswahl von Luftfiltern.....	27
11	Beleuchtungsstärken	28
12	Schulung.....	28
13	Betrieb	29
14	Instandhaltung	30
15	Außerbetriebnahme.....	30
Anhang A (informativ) Quellstärke: Luftvolumen und Anwendungsbeispiel.....		31
Anhang B (informativ) Energiesparmöglichkeiten.....		36
Anhang C (informativ) Wirkungsbeurteilung.....		45
Anhang D (informativ) Benchmarking: Energieleistungsindikatoren für Reinräume.....		46
Anhang E (informativ) Nützliche Maßnahmen zur Minimierung übermäßiger Heiz- und Kühlverluste oder -gewinne		51
Anhang F (informativ) Beispiel für die Reduzierung eines kritischen Bereichs		53
Literaturhinweise.....		54

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 14644-16:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 209 „Cleanrooms and associated controlled environments“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 243 „Reinraumtechnologie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 14644-16:2018 wurde von CEN als prEN ISO 14644-16:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedsländer benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 209, *Cleanrooms and associated controlled environments* erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 14644 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche werden weithin in vielen Industrien wie etwa den Biowissenschaften (einschließlich Pharmazeutika, Medizingeräte und Krankenhäuser), der Mikroelektronik, der Luft- und Raumfahrt, der Lebensmittelverarbeitung und der Nuklearindustrie eingesetzt. Gegebenenfalls können gesetzliche Vorschriften vor bestimmten Empfehlungen gelten. Betriebsgrößen reichen von einigen zehn bis zu einigen tausenden Quadratmetern, und zeichnen sich in den meisten Fällen durch eine besondere Gestaltung und Betriebseigenschaften in Abhängigkeit von ihrer Funktion aus. Ihre Entwicklung ist seit Jahrzehnten von rapider Expansion und Fortschritten geprägt, die zu einem erhöhten Energiebedarf geführt haben. Dieser Teil von ISO 14644 enthält die gesammelten Erfahrungen und Praktiken in der Gestaltung, dem Betrieb und der Instandhaltung von Reinräumen, die formuliert wurden, um ihren Energieverbrauch und die globalen Auswirkungen dieses dramatischen Wachstums zu reduzieren.

Benutzer werden zudem auf die Norm ISO 50001 [1] zum Energiemanagement hingewiesen.

Auch wenn ihre Funktion und Größe erheblich variiert, kann der Energieverbrauch von Reinräumen 10-mal höher sein als der Energieverbrauch von Büroräumen mit vergleichbarer Größe. Eine erhebliche Menge an Energie ist erforderlich, um große Mengen gefilterter und konditionierter Luft zuzuführen, die benötigt wird, um einen bestimmten Reinheitsgrad der Luft zu erzielen. Luftumwälzgebläse können aufgrund der erforderlichen Leistung zur Überwindung der hohen erforderlichen Druckdifferenzen für den Betrieb hocheffizienter Filter und anderer Kreislaukomponenten in dem Reinraumsystem für 35 % bis 50 % des HVAC-Verbrauchs in Reinräumen verantwortlich sein. Die Produktion dieser Art von Luft in hoher Qualität kann bis zu 80 % der in einer typischen Produktionseinrichtung verbrauchten Gesamtenergie ausmachen.

Zusätzliche Energie wird darüber hinaus verbraucht, um die Temperatur- und relative Feuchterege lung für Prozesse in dem Reinraum zu ermöglichen sowie für den Komfort des Personals und die erforderliche Druckbeaufschlagung des Reinraumbereichs. Es besteht daher ein erhebliches Potenzial für Energieeinsparungen durch die sorgfältige Gestaltung neuer Reinräume und durch verbessernde Nachrüstungen und die Modernisierung bestehender Einrichtungen. Dieser Teil von ISO 14644 legt Maßnahmen fest, die getroffen werden können, um diese Verfahren einzuführen, und gilt für das gesamte Spektrum der „Reinraumtechnologie“ von Reinräumen bis hin zu Reinraumgeräten einschließlich Isolatoren, Handschuhbehältern und Minienvironments, wie in ISO 14644-7 [2] festgelegt. Die Norm basiert auf tatsächlichen Erfahrungen, Praktiken und Prüfungen, unterstützt durch theoretische Berechnungen zum Zweck einer klaren und wissenschaftlichen Darlegung der Auswirkung der Energieeinsparung.

Die in diesem Text verwendeten Energiesparverfahren und -techniken können allgemein auf verschiedene Umgebungen und Situationen angewendet werden. Sie sind nicht prozessspezifisch und schließen damit verbundene Produktionsprozesse wie die Wasseraufbereitung und den Ofen-, Autoklav- und zyklischen Belastungsbetrieb aus. Ihre spezifische Anwendung richtet sich nach den zwischen dem Auftraggeber, dem Lieferanten und dem Installationstechniker vereinbarten tatsächlichen Bedingungen des Reinraumbetriebs.

In jeder Phase der Reinraumlebensdauer bieten sich Möglichkeiten zur Optimierung der Systemleistung und Reduzierung des Energieverbrauchs. In der Gestaltungsphase implementierte Energiesparmaßnahmen erzielen die wirksamsten Ergebnisse für neue Reinräume, doch vergleichbare Energieeinsparungen können auch für bereits im Betrieb befindliche Reinräume erzielt werden. Reinräume können basierend auf den praktischen Bedingungen vor Ort einzeln oder als Gruppe betrieben werden.

Wenn während der Gestaltung nur minimale Informationen über das fertige Gebäude und den Prozess vorliegen, könnte Vorsicht zu einer Überdimensionierung der Systeme und Vorgabe zu enger Festlegungen führen. Diese Festlegungen und Gestaltungserwägungen in dieser Phase kritisch zu prüfen, ist wichtig für die Energieeffizienz.

Bei der Inbetriebnahme des Systems und der Durchführung von Leistungsprüfungen bietet sich die Möglichkeit, das System an die tatsächlich vorgefundenen Bedingungen anzupassen, um die Systemleistung zu optimieren und den Energieeinsatz zu minimieren.

Während der Betriebslebensdauer der Einrichtung kann und sollte die Analyse der Überwachungsdaten genutzt werden, um die Systemleistung weiter zu verbessern und den Energieeinsatz zu minimieren.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 14644 bietet einen Leitfaden und Empfehlungen für die Optimierung des Energieeinsatzes und Aufrechterhaltung der Energieeffizienz in neuen und bestehenden Reinräumen, reinen Bereichen und separierende Reinraummodule. Die Norm bietet eine Anleitung für die Gestaltung, den Bau, die Inbetriebnahme und den Betrieb von Reinräumen. Sie enthält reinraumspezifische Merkmale und kann in verschiedenen Bereichen angewendet werden, um den Energieeinsatz in der Elektronik-, Luft- und Raumfahrt-, Nuklear-, Pharma-, Krankenhaus-, Medizingeräte- und Lebensmittelindustrie sowie für andere Reingluftanwendungen zu optimieren. Darüber hinaus führt die Norm das Konzept des Benchmarkings für die Leistungsbeurteilung und den Vergleich der Energieeffizienz von Reinräumen ein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 14644-2, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*

ISO 14644-3, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 3: Test methods*

ISO 14644-4, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 4: Design, construction and start-up*

ISO 14644-5, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 5: Operations*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Allgemeines

3.1.1

Luftbehandlungsgerät

Einheit oder Anlage bestehend aus Ventilator, Filtration, Heizung, Kühlung sowie Mischung von Frischluft und rezirkulierter Luft, die einem Raum oder einer Einrichtung Luft zuführt

3.1.2

Klassifizierung

Verfahren zur Beurteilung des Reinheitsgrads im Vergleich zu einer Festlegung für einen Reinraum, einen reinen Bereich, einen kontrollierten Bereich oder einen darin enthaltenen festgelegten Ort

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Grade werden als ISO-Klasse angegeben, die die zulässige maximale Konzentration von Verunreinigungen in einer Volumeneinheit Luft angibt.

3.1.3

Reinraumgerät

freistehendes Gerät zur Behandlung und Verteilung von Reinluft, das dazu dient, definierte Umgebungsbedingungen zu erzielen

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.2]

Anmerkung 1 zum Begriff: Reinraumgeräte umfassen bestimmte in ISO 14644-7 [2] festgelegte separierende Reinraummodule wie etwa Reinluflhauben, Abgrenzungsumschließungen, Handschuhboxen, Isolatoren und Mini-environments.

3.1.4

Reinraum

Raum, in dem die Konzentration an luftgetragenen Partikeln kontrolliert und klassifiziert ist und der in einer Weise entwickelt, konstruiert und betrieben wird, die der Kontrolle der Einführung, Schaffung und Rückhaltung von Partikeln in den/im Raum dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klasse der Konzentration an luftgetragenen Partikeln ist festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Andere Attribute des Reinheitsgrads wie chemische, lebensfähige oder nanoskalige Konzentrationen in der Luft und auch Oberflächenreinheit bezüglich Partikeln, nanoskaliger, chemischer oder lebensfähiger Konzentrationen können festgelegt und kontrolliert werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Andere relevante physikalische Parameter wie z. B. Temperatur, Feuchte, Druck, Luftdurchfluss, Vibration und Elektrostatik können nach Bedarf ebenfalls kontrolliert werden.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.1]

3.1.5

reiner Bereich

festgelegter Raum, in dem die Konzentration an luftgetragenen Partikeln kontrolliert und klassifiziert ist und der in einer Weise konstruiert und betrieben wird, die der Kontrolle der Einführung, Schaffung und Rückhaltung von Verunreinigungen in den/im Raum dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klasse der Konzentration an luftgetragenen Partikeln ist festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Andere Attribute des Reinheitsgrads wie chemische, lebensfähige oder nanoskalige Konzentrationen in der Luft und auch Oberflächenreinheit bezüglich Partikeln, nanoskaliger, chemischer oder lebensfähiger Konzentrationen können festgelegt und kontrolliert werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein reiner Bereich kann ein festgelegter Raum innerhalb eines Reinraums sein oder durch ein separierendes Reinraummodul geschaffen werden. Solch ein Modul kann sich innerhalb oder außerhalb eines Reinraums befinden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Andere relevante physikalische Parameter wie z. B. Temperatur, Feuchte, Druck, Luftdurchfluss, Vibration und Elektrostatik können nach Bedarf ebenfalls kontrolliert werden.

[QUELLE: ISO 14644-1:2015, 3.1.2]

3.1.6

kontrollierter Bereich

abgegrenzter Bereich, in welchem Kontaminationsquellen mit festgelegten Mitteln kontrolliert werden

[QUELLE: ISO 14644-6:2007, 2.45]

3.1.7

Endfilter

der letzte hochwirksame Filter im System, bevor die Luft in den Reinraum oder den reinen Bereich gelangt

[QUELLE: ISO 14644-3:2005, 3.3.5]

3.1.8

Filtersystem

aus dem Filter, dem Rahmen und dem sonstigen Haltesystem oder sonstigen Gehäuse bestehendes System

[QUELLE: ISO 14644-3:2005, 3.3.4]

3.1.9

Vorfilter

Luftfilter, der stromaufwärts vor einem anderen Filter eingebaut wird, um dessen Beladung zu verringern

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.8]

3.1.10

separierendes Reinraummodul

Ausrüstungsgegenstand, der konstruktive und dynamische Mittel einsetzt, um zugesicherte Grade der Abgrenzung zwischen den Bereichen innerhalb und außerhalb eines fest umschriebenen Volumens zu erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Einrichtung kann als reiner Bereich verwendet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Einige industriespezifische Beispiele für separierende Reinraummodule sind Reinluft-hauben, Abgrenzungsumschließungen, Handschuhboxern, Isolatoren und Minienvironments.

[QUELLE: ISO 14644-7:2004, 3.17]

3.2 Installation

3.2.1

adaptive Steuerung

Fähigkeit des Systems, seine eigenen Betriebsparameter automatisch zu ändern, um die bestmöglichen Leistungen ganzjährig in verschiedenen Betriebsarten zu erzielen

3.2.2

Luftwechselrate

Luftaustausch, beschrieben durch die Anzahl der Luftwechsel je Zeiteinheit und berechnet durch Division des je Zeiteinheit zugeführten Luftvolumenstroms durch das Volumen des Raums

[QUELLE: ISO 14644-3:2005, 3.4.1]

3.2.3

Diffusor

am Eintrittsluftanschluss platzierte Einrichtung zur Verbesserung der Verteilung der eintretenden Luft in der Raumluft

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Luftdurchlassgitter oder eine perforierte Scheibe gilt nicht als Diffusor.

3.2.4

turbulente Verdünnungsströmung (Nicht-UDAF)

Luftverteilung, bei der in den reinen Bereich eintretende Erstluft mit der Innenraumluft durch Induktion vermischt wird

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.6]

3.2.5

Wirkungsgrad der Fremdkörperbeseitigung

CRE

(en: contaminant removal effectiveness)

Verhältnis zwischen der gemessenen Partikelkonzentration in der Abluft/Zuluft und dem Mittelwert der Partikelkonzentration in dem Raum, wenn aus der gefilterten Zuluft eintretende Partikel ignoriert werden

[QUELLE: REHVA Guidebook No. 2]

3.2.6

Zuluftvolumenstrom

Luftvolumen, das einem Reinraum durch Endfilter oder Diffusoren je Zeiteinheit zugeführt wird

[QUELLE: ISO 14644-3:2005, 3.4.4]

3.2.7

Anschlussfilter

Luftfilter an der Stelle, an der die Luft in den Reinraum eintritt

3.2.8

Gesamtluftvolumenstrom

Luftvolumen, das durch den Querschnitt einer Anlage strömt, in Zeiteinheiten

[QUELLE: ISO 14644-3:2005, 3.4.5]

3.2.9

Abdrehen

kontrollierte Reduzierung der Luftstromgeschwindigkeit in Reinräumen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (UDAF) und Reinraumgeräten oder Luftvolumenströmen in Nicht-UDAF-Reinräumen, um Energie in Zeiträumen, in denen der Reinraum nicht in Betrieb ist, zu sparen

3.2.10

Abschalten

kontrolliertes Abschalten eines Teils eines Luftbehandlungsgeräts und/oder von Reinraumgeräten in Reinräumen, um Energie in Zeiträumen, in denen der Reinraum nicht in Betrieb ist, zu sparen

3.2.11

turbulenzarme Verdrängungsströmung

UDAF

(en: unidirectional airflow)

gezielte Luftströmung mit gleichförmiger Geschwindigkeit und nahezu parallelen Strömungslinien über den gesamten Querschnitt eines reinen Bereichs

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine solche Strömung bewirkt einen gerichteten Transport von Partikeln aus dem reinen Bereich.

[QUELLE: ISO 14644-4:2001, 3.11]

3.3 Emission

3.3.1

Emission

Verunreinigungen, die von Objekten in der Innenraumumgebung des Reinraums abgegeben werden

[QUELLE: ISO 2889:2010, 3.30]

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Zwecke dieser Internationalen Norm werden nur Emissionen von Partikeln und Mikroorganismen berücksichtigt.

3.3.2

Quellstärke

Bemessungsbedingung, die die Anzahl der von einem Objekt emittierten Partikel oder koloniebildenden Einheiten je Zeiteinheit angibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Quelle kann eine Person, eine Einrichtung oder ein Objekt sein.

3.3.3

koloniebildende Einheiten

KBE

einzelne Mikroorganismen oder eine einzelne kleine Masse von Mikroorganismen, die bei Ablagerung auf einem mikrobiologischen Wachstumsmedium wächst und eine einzelne sichtbare Kolonie bildet, die gezählt werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine koloniebildende Einheit wird als 1 KBE angegeben.

3.3.4

mikrobentragender Partikel

MCP

(en: microbe-carrying particle)

Partikel, auf dem ein Mikroorganismus getragen wird, normalerweise in die Raumluft dispergiert durch Personal als Hautzelle oder Fragment einer Hautzelle, auf der eine oder mehrere Hautmikroben getragen werden

3.4 Energieeffizienz

3.4.1

Benchmarking

vergleichende Bewertung und/oder Analyse vergleichbarer betrieblicher Praktiken

3.4.2

Energie

Elektrizität, Brennstoffe, Dampf, Wärme, Druckluft und ähnliche Medien

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Anwendung dieser Internationalen Norm bezieht sich Energie auf die verschiedenen Energieformen, einschließlich erneuerbarer Energie, die gekauft, gespeichert, aufbereitet, in einer Ausrüstung oder in einem Prozess verwendet oder wiedergewonnen werden kann.

Anmerkung 2 zum Begriff: Energie kann definiert werden als die Fähigkeit eines Systems, externe Aktivität zu erzeugen oder Arbeit auszuführen.

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.5]

3.4.3

Energieverbrauch

Menge der eingesetzten Energie

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.7]

3.4.4

Energiekosten

finanzielle Gesamtkosten der verbrauchten Energie in Bezug auf die untersuchte Fläche

3.4.5

Energieeffizienz

Verhältnis oder quantitative Beziehung zwischen der Ausgangsleistung, einem Service, der Bereitstellung von Waren oder Energie einerseits und dem Energieeinsatz andererseits

BEISPIEL Effizienz der Energieumwandlung, Verhältnis von benötigter zu genutzter Energie, Verhältnis von bereitgestellter Energie zu Produktionsleistung, Verhältnis von theoretischer zu tatsächlicher Energiemenge für die Aufrechterhaltung eines Betriebsvorgangs.

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.8]

3.4.6

Energieeinsatz

Art und Weise der Nutzung von Energie

BEISPIEL Ventilation; Beleuchtung; Heizung; Kühlung; Transport; Prozesse; Fertigungsstraßen.

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.18]

3.4.7

Energiebezogene Leistung

Messbare Ergebnisse im Hinblick auf die **Energieeffizienz** (3.4.5), den **Energieeinsatz** (3.4.6) und den **Energieverbrauch** (3.4.3)

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.12]

3.4.8

Energieleistungskennzahl

EnPI

(en: energy performance indicator)

quantitativer Wert oder Messung der energiebezogenen Leistung, wie sie von der Organisation festgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: EnPIs können als einfache Messdaten, als Verhältnis oder mithilfe komplexerer Modelle ausgedrückt werden.

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.13]

3.4.9

Energierückgewinnungszeit

der erforderliche Zeitraum zur Rückgewinnung einer finanziellen Investition (Investitionsgewinn)

Anmerkung 1 zum Begriff: Energierückgewinnungszeit (Jahre) = Installationskosten/eingesparte Energiekosten pro Jahr.

3.4.10

Leistung

Zeitraum, mit der eine Arbeit geleistet oder Energie übertragen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die SI-Einheit der Leistung ist Watt (W) oder Joule pro Sekunde (J/s).

3.4.11

wesentlicher Energieeinsatz

SEU

(en: significant energy use)

Energieeinsatz, der einen substantiellen Energieverbrauch ausmacht und/oder ein erhebliches Potential für die Verbesserung der energiebezogenen Leistung hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Signifikanzkriterien werden durch die Organisation festgelegt.

[QUELLE: ISO 50001:2011, 3.27]

3.5 Abkürzungen

AHU	Luftbehandlungsgerät (en: air-handling unit)
CFD	Numerische Strömungsdynamik (en: computational fluid dynamics)
EMS	Umweltmanagementsystem (en: environmental management system)
FFU	Ventilatorfiltereinheit (en: fan filter unit)
HSE	Gesundheit, Sicherheit und Umwelt (en: health, safety and environment)
HVAC	Heizung, Lüftung und Klimatisierung (en: heating, ventilation and air conditioning)
RH	Relative Feuchte (en: relative humidity)
SEU	wesentlicher Energieeinsatz (en: significant energy use)
SFP	spezifische Ventilatorleistung (en: specific fan power)
UDAF	turbulenzarme Verdrängungsströmung (en: unidirectional airflow)
URS	Spezifikation der Nutzungsanforderungen (en: user requirement specification)
Nicht-UDAF	turbulente Verdünnungsströmung (en: non-unidirectional airflow)

4 Prozess zur Bewertung und Implementierung der Energiereduzierung

4.1 Einleitung

Der Energieverbrauch von Reinräumen, reinen Bereichen und separierenden Reinraummodulen kann in Übereinstimmung mit 4.2 bis 4.13 unter Anwendung des in Bild 1 dargestellten Prozesses reduziert werden.

Bild 1 fasst den Prozess zusammen, der für ein übliches Luftstromsystem wie in Bild 2 verwendet werden kann. Der Prozess gilt für bestehende Reinräume im Betrieb, bestehende Reinräume, die umgebaut werden, und neu gebaute Reinräume in der Gestaltungsphase.

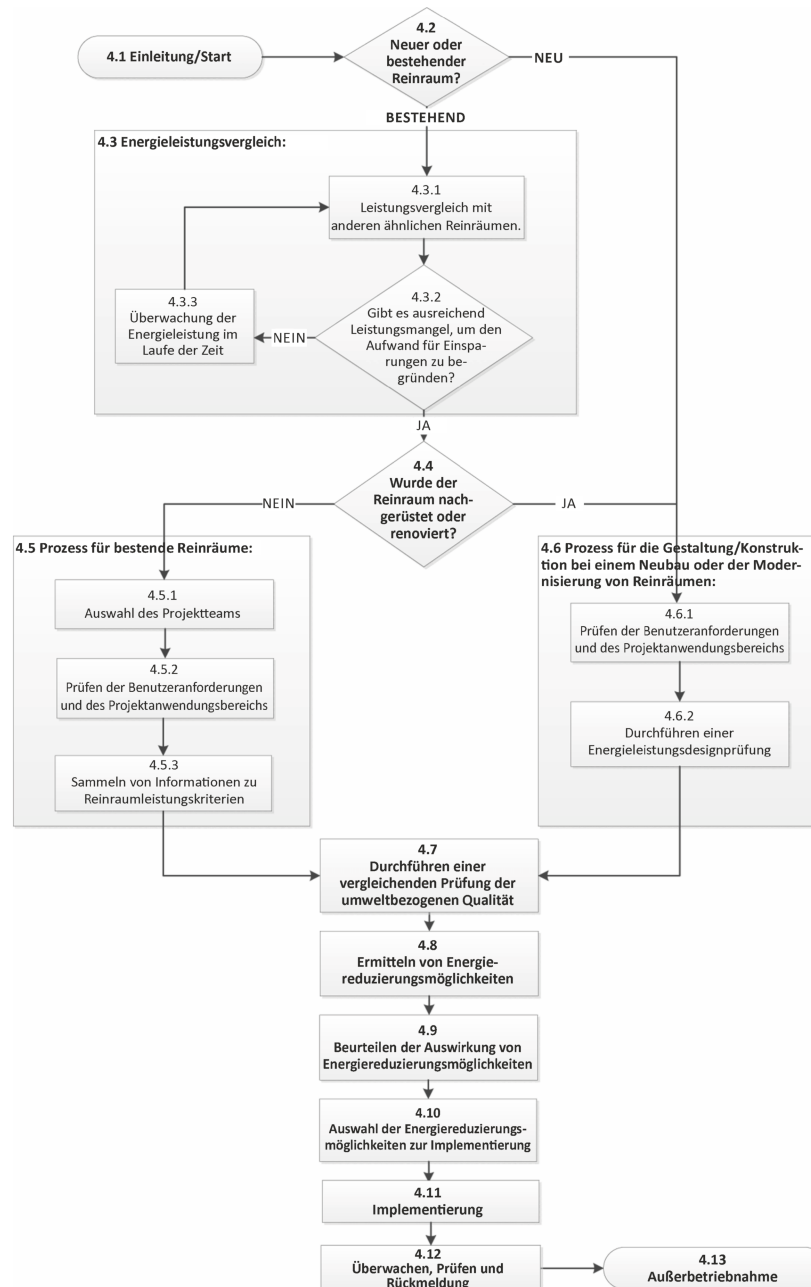


Bild 1 — Systematischer Ansatz zur Energieeinsparung – Projektarbeitsablauf

4.2 Neuer oder bestehender Reinraum

Der Prozess der Reduzierung des Energieverbrauchs neuer und bestehender Reinnräume unterscheidet sich, da der Ausgangspunkt und die verfügbaren Daten unterschiedlich sind.

Die Empfehlungen in 4.5 und 4.6 sollten je nachdem, ob ein neuer Reinnraum gestaltet oder ein bestehender Reinnraum saniert wird, befolgt werden.

Wenn ein bestehender Reinnraum saniert werden soll, können andere Möglichkeiten bestehen, den Energieverbrauch zu reduzieren, die in die Umbauten eingebunden werden können.

4.3 Energieleistungsvergleich

ANMERKUNG Der Prozess der Reduzierung des Energieverbrauchs in bestehenden Reinräumen kann die Zeiteinbindung vieler Ressourcen erfordern und verursacht Kosten. Es ist daher wichtig, den wesentlichen Energieeinsatz (SEU) des Reinraums, der die Reduzierungsaktivität rechtfertigt, zu bestimmen (siehe ISO 50001 [1]).

4.3.1 Vergleich der Energieleistung

die aktuelle Energieleistung des Reinraums wird beurteilt und mit einem geeigneten Komparator oder Benchmark verglichen. Beispiel-Komparatoren könnten eine andere vergleichbare Reinraumeinrichtung, frühere Inbetriebnahmedaten, bei denen die Energieleistung zuvor optimiert wurde, oder einen berechneten Komparator auf der Grundlage von Erfahrungswerten umfassen. Anleitungen zum Benchmarking der Energieleistung sind in Anhang D enthalten.

4.3.2 Bestimmen des Business Case

Es wird festgestellt, ob der Unterschied zwischen dem aktuellen Energieverbrauch und den Energiekosten des Reinraums und dem Komparator oder Benchmark signifikant ist und weiteren Zeit- und Ressourcenaufwand rechtfertigen würde.

4.3.3 Überwachung und Überprüfung

Wenn zu dem jeweiligen Zeitpunkt keine Rechtfertigung gegeben ist, wird die Energieleistung weiter regelmäßig überwacht und im Vergleich zum Benchmark neu beurteilt. Im Verlauf der Zeit können sich verschiedene Variablen ändern und zu einer anderen Beurteilung führen:

- Energieleistung und Energieeffizienz des Reinraums können sich verschlechtern;
- Energiestückkosten und Projektimplementierungskosten können sich ändern, was wiederum die wirtschaftlichen Gegebenheiten des Projekts verändern kann, und
- neue Technologien können verfügbar oder besser nutzbar sein.

4.4 Nachrüstung oder Renovierung eines bestehenden Reinraums

Die Gestaltung eines sanierten Reinraums sollte geprüft werden, um sicherzustellen, dass die Energieeffizienz bei der Gestaltung berücksichtigt wird. Der Luftstrom eines üblichen Raums ist unten abgebildet.

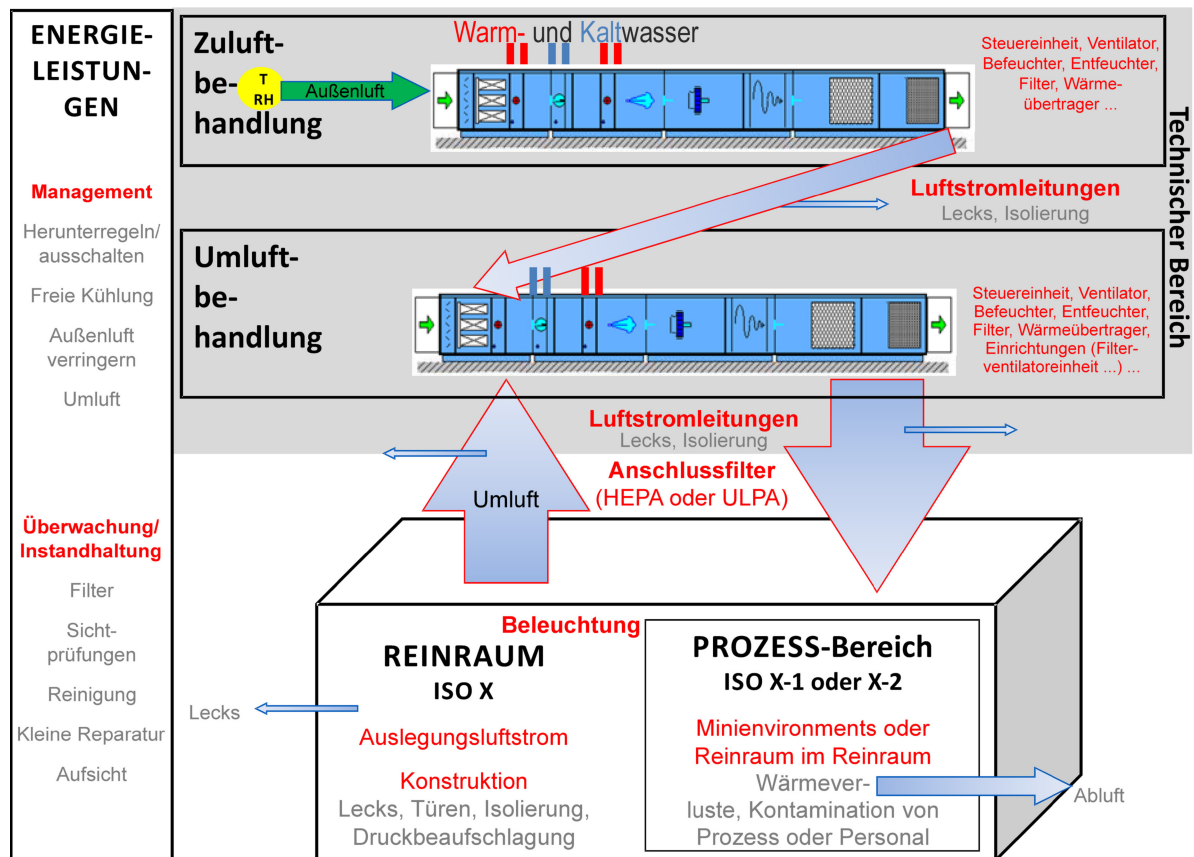


Bild 2 — Betrachtung des Reinraumlufstroms

QUELLE: ASPEC-ADEME-EDF. *Energy performance in clean zones (cleanrooms, controlled environments, safety areas)*, [7] Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von ASPEC France

Die Gestaltung sollte eine spätere Regelung und Optimierung der Energieleistung des Reinraums ermöglichen, z. B. durch die Installation von Regelantrieben für Ventilatormotoren.

4.5 Prozess für bestehende Reinräume

4.5.1 Auswahl des Projektteams

Die für das Projektteam ausgewählten Personen sollten ausreichend qualifiziert sein, Fachkenntnisse zu den folgenden Aspekten beizutragen: technische Bearbeitung und Instandhaltung von Reinraumeinrichtungen/Betriebsmitteln, Reinraumenergieverbrauch, Produktqualität, Validierung von Einrichtungen/Prozessen, Produktionsbetrieb und Gesundheit und Sicherheit.

Das Team kann aus einer beliebigen Anzahl an Mitgliedern bestehen.

4.5.2 Prüfen der Benutzeranforderungen und des Projektanwendungsbereichs

Das Projektteam sollte den Betrieb des Reinraums verstehen und den Anwendungsbereich des Energiereduzierungsprojekts dokumentieren. Dies darf Folgendes umfassen:

- allgemeiner Zweck des Reinraums;
- kritische Prozessparameter, die innerhalb des Reinraums aufrechterhalten werden.

BEISPIEL Temperatur- und relative Feuchtebereiche, Anforderungen an die Sauberkeit des Raums, Rückgewinnungszeit und Druckdifferenzen zwischen angrenzenden Räumen mit unterschiedlicher Klassifizierung.

4.5.3 Sammeln von Informationen zu Reinraumleistungskriterien

Dokumente einschließlich Zeichnungen und Lastenhefte sowie Informationen, die die Reinraumleistungskriterien festlegen, sollten gesammelt werden, um

- a) die Kriterien mit Einfluss auf die Leistung zu identifizieren und die direkten und indirekten Auswirkungen möglicher Energiereduzierungsmaßnahmen zu berücksichtigen,
- b) die Leistungskriterien des Reinraums zu identifizieren, um die Anforderungen an den Prozess, die Produkte und den Komfort des Personals zu erfüllen,
- c) ein Profil des Energieeinsatzes einschließlich der Beleuchtung, der Luftbehandlung, der Komfortheizung, der Kühlung und aller anderen signifikanten Möglichkeiten des Energieeinsatzes zu erstellen oder, wo dies nicht möglich ist, fachgerecht abgeleitete Schätzungen zu verwenden,
- d) die aktuelle Reinheitsleistung zu bestimmen (aus der Klassifizierung und Überwachung: Partikel, Chemikalien und Mikroorganismen),
- e) den Luftvolumenstrom, die Luftstromgeschwindigkeit und die Druckbeaufschlagung zu bestimmen,
- f) praktische Aspekte des Betriebs vor Ort, z. B. Zuverlässigkeit und Kontrolle, Layout, Alter, Zustand, Funktion, Instandhaltung zu identifizieren,
- g) die Ergebnisse von Benchmarking-Aktivitäten, die die bestehende Gestaltung mit den besten Praktiken des Energieeinsatzes im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Kosten vergleichen sollten, zu bestimmen, und
- h) die Lebensdauerkosten und Durchführen von Optimierungsstudien, soweit möglich, zu ermitteln.

4.6 Prozess für die Gestaltung/Konstruktion bei einem Neubau oder der Modernisierung von Reinräumen

4.6.1 Prüfen der Benutzeranforderungen und des Projektanwendungsbereichs

Die Leistungskriterien des Reinraums zur Erfüllung der Anforderungen an den Prozess, die Produkte und den Komfort des Personals sollten identifiziert werden.

ANMERKUNG Siehe Abschnitt 5.

4.6.2 Durchführen einer Energieleistungsdesignprüfung

Die Gestaltung des Reinraums sollte geprüft werden, um sicherzustellen, dass die folgenden Energieleistungsaspekte berücksichtigt werden:

- a) die Bemessungsleistung (im Sinne der Klassifizierung: Partikelkonzentration, überlebensfähige mikrobielle, chemische und Nano-Partikel) und
- b) die Ergebnisse von Benchmarking-Aktivitäten, die bestätigen sollten, dass die neue Gestaltung die besten Praktiken im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Kosten erfüllt.

Die Designprüfung sollte sich insbesondere auf die Energieleistung des Reinraums und die besten Schätzungen des erwarteten Energieeinsatzes konzentrieren. Dies sollte die Beleuchtung, Luftbehandlung, Heizung, Kühlung und jeden anderen signifikanten Energieeinsatz insbesondere für kleine Mini-Environments umfassen.

4.7 Vergleichende Prüfung der umweltbezogenen Qualität

Eine Prüfung sollte durchgeführt werden, um die umweltbezogene Qualität des gestalteten (neuen) Reinraums oder umgestalteten (bestehenden) Reinraums mit den Anforderungen an die umweltbezogene Qualität (des Prozesses, der Produkte und des Personalkomforts) zu vergleichen, um eine überzogene Gestaltung, z. B. Festlegen einer Reinheitsklassifizierung, die niedriger (sauberer) als erforderlich ist, oder reine Bereiche, die größer als nötig sind, zu vermeiden.

4.8 Ermitteln von Energiereduzierungsmöglichkeiten

Das Projektteam sollte die Ergebnisse der vergleichenden Prüfung analysieren, potenzielle Energiereduzierungsmöglichkeiten identifizieren und eine vorläufige Auswahl treffen. Dies kann mithilfe der in Anhang B enthaltenen Checkliste erfolgen.

Sobald die vorläufige Auswahl getroffen wurde, sollte sie als Teil des Entscheidungsfindungsprozesses beurteilt und ebenso wie die Gründe für Auswahl oder Nichtauswahl einer Möglichkeit dokumentiert werden.

Die Lebensdauerkosten von Energiereduzierungsmöglichkeiten sollten bewertet und in der Analyse berücksichtigt werden.

4.9 Beurteilen der Auswirkung von Energiereduzierungsmöglichkeiten

Sobald die potenziellen Energiesparmöglichkeiten identifiziert wurden (beispielsweise unter Verwendung der Tabelle in Anhang B), sollte eine Wärmeströmungs- und Lüftungsstudie sowie eine vorläufige Auswahl vorgenommen werden. Ein ausführlicher Wirkungsbeurteilungsbericht sollte erstellt werden und alle identifizierten potenziellen Möglichkeiten enthalten sowie alle entsprechenden in Anhang B enthaltenen Empfehlungen und die folgenden geschäftlichen Anforderungen berücksichtigen:

- Durchführbarkeit;
- Prozesskompatibilität und Produktqualitätsanforderungen;
- Sicherheit und Vorschriften;
- Kosten;
- Investitionsgewinn;
- Anreize (z. B. staatliche Initiativen);
- Implementierungszeitrahmen/Programm;
- Implementierungsressourcen und
- Betriebskontinuität.

4.10 Auswahl der Energiereduzierungsmöglichkeiten zur Implementierung

Die in dem Wirkungsanalysebericht (4.9) als weniger durchführbar oder problematischer identifizierten Energiereduzierungsmöglichkeiten sollten hinter den einfach und wirksam durchzuführenden Möglichkeiten neu priorisiert werden. Anschließend sollte ein endgültiges Priorisierungs- und Implementierungsprogramm erstellt werden.

Für die zu implementierenden Möglichkeiten sollten Lastenhefte und Leistungsbeschreibungen festgelegt werden. Sofern für bestimmte Industrien Normen oder Richtlinien bestehen, die Leistungsanforderungen

festlegen, sollten alle Situationen, in denen eine oder mehrere Leistungsanforderungen in Konflikt zu einer bestimmten geplanten Energiereduzierungsmaßnahme stehen, identifiziert werden.

ANMERKUNG Solche Leistungsanforderungen können die Luftqualität (im Hinblick auf die Partikel- und Mikrobenkonzentration), den Filterwirkungsgrad, die Geschwindigkeit der turbulenzarmen Verdrängungsströmung, die Austauschrate der Raumluft (durch Änderung der Luftzufuhrate), die Rückgewinnungszeit und die Druckdifferenzen zwischen angrenzenden Räumen unterschiedlicher Klassen umfassen.

Sobald diese Situationen identifiziert wurden, sollte eine ausführliche Begründung erstellt werden, um nachzuweisen, dass die Produktqualität durch die geplante Maßnahme nicht beeinträchtigt wird. Vor der Implementierung sollte die Zustimmung des Auftraggebers eingeholt werden.

4.11 Implementierung

Ein ausführlicher Implementierungsplan sollte erstellt und die Arbeiten sollten ausgeführt werden. Der Implementierungsplan sollte die erwarteten Ergebnisse für alle ausgewählten Elemente enthalten.

4.12 Überwachen, Prüfen und Rückmeldung

Das im Implementierungsplan festgelegte erwartete Ergebnis sollte zum Abschluss des Projekts und anschließend in regelmäßigen Intervallen überwacht und geprüft werden, um sicherzustellen, dass die Veränderungen wirksam bleiben. Die damit verbundenen Energiereduzierungen sollten überwacht, aufgezeichnet und analysiert werden. Die gesammelten Informationen sollten als Rückmeldung für die kontinuierliche Verbesserung genutzt werden.

4.13 Außerbetriebnahme

Wenn ein Reinraum das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat und nicht mehr benötigt wird, sollte er in einen Leerlaufzustand versetzt werden, bevor er demontiert wird, um den Energieverbrauch zu minimieren. Dies darf Rücksetzungs- und Abschaltmaßnahmen beinhalten.

Eine Wirkungsbeurteilung sollte vorgenommen werden, bevor der Leerlaufzustand hergestellt wird, um vor der Abschaltung des ungenutzten Raums die Auswirkung auf angrenzende oder verbundene Räume zu bestimmen.

5 Auswirkung der Spezifikation der Nutzeranforderungen (URS) auf den Energieverbrauch

5.1 Kurzbeschreibung

Die Spezifikation der Nutzeranforderungen (URS) ist ein wesentlicher Bestandteil der Dokumentation des Reinraumprojekts. Sie legt die grundlegenden Anforderungen an die neue oder renovierte Einrichtung in der frühesten Phase fest, sodass die in das Dokument aufgenommenen Informationen sorgfältig erwogen werden sollten.

Die Wissenschaft und das Verständnis der Reinnräume haben sich wesentlich weiterentwickelt und ermöglichen Anforderungen, die über die einfache Festlegung einer Luftwechselzahl für eine bestimmte Reinraumklasse hinausgehen.

Die URS sollte die übliche und maximale Anzahl an erwartungsgemäß in dem Reinraum gleichzeitig anwesenden Personen sowie die erwartete Wärmebelastung der Prozesseinrichtungen angeben. Ein Indikator für den erwarteten Außentemperatur- und Feuchtebereich sollte ebenfalls für den Bereich ermittelt werden. Der akzeptable Bereich der Innentemperatur und die Feuchteanforderungen in Verbindung mit den erwarteten äußeren Anforderungen, insbesondere zu bestimmten Jahreszeiten, hat einen wesentlichen Einfluss auf den allgemeinen Energieverbrauch der Einrichtung. Dies sollte sorgfältig berücksichtigt werden.

Darüber hinaus ist es wichtig, die Gesamtfläche der Einrichtung zu berücksichtigen. Sofern noch kein Layout erstellt oder noch kein Standort ermittelt wurde, sollte die Minimierung der Gesamtfläche der Einrichtung unter Berücksichtigung der räumlichen Standardanforderungen oder die geplante Anwendung einer Barriertechnologie als Anforderungen eingebunden werden.

Zusätzliche Anforderungen können ebenfalls hinzugefügt werden, wie etwa die erwartete Quellstärke, die Isolierungsanforderungen, die minimalen Ventilatorwirkungsgrade oder andere spezifische Energiespar-einrichtungen oder -verfahren.

Die Gestaltung sollte flexibel sein, um zukünftige Änderungen mit dem Ziel, die Energieeffizienz oder die Produktqualität weiter zu verbessern, zuzulassen.

Die Anwendung der in Anhang A bis Anhang E enthaltenen Informationen eröffnet weitere Energie-reduzierungsmöglichkeiten, die der URS hinzugefügt werden können.

5.2 Kleidungsgrade

Der erforderliche Kleidungsgrad in Reinräumen sollte ebenfalls in der URS festgelegt werden, da er eine wichtige Rolle bei der Kontrolle der Partikelverunreinigung spielen kann. Der Personalpartikeldispersions-grad variiert erheblich in Abhängigkeit von der Menge an Kleidung und bedeckter Haut, der Nutzung von Gesichtsmasken und Schuhüberzügen sowie der Art der Handschuhe. Wenn eine Reduzierung des Luftvolumenstroms in Betracht zu ziehen ist, sollten diese Kleidungsgrade kritisch in Verbindung mit der Art, Qualität und Waschkhäufigkeit der zu verwendenden Kleidung geprüft werden. Die Verbesserung der Kleidung kann ebenfalls helfen, die erforderliche Luftzufuhr zu reduzieren (siehe Anhang A). Wenn dies vorgesehen ist, muss auf ein komfortables ausgewogenes Verhältnis zwischen Temperatur und Feuchte des Raums für das Personal geachtet werden.

6 Luftvolumenstrom und Ausgleichsfaktoren

6.1 Luftvolumenstrom

Die Bereitstellung des Luftvolumenstroms trägt erheblich zu dem Energieverbrauch in einem Reinraum bei. Eine Reduzierung der Zuluft kann einen wesentlichen Einfluss auf die gesamte Energiereduzierung haben. Es ist allgemein bekannt, dass höhere Luftvolumenströme bei turbulenter Verdünnungsströmung (Verdünnung) und Geschwindigkeiten (Verdrängung) bei turbulenzarmer Verdrängungsströmung zu einer höheren Verunreinigung durch Schwebstoffe führen [siehe a) und b) unten]. Das sich durch einen Reinraum mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung bewegende Luftvolumen ist wesentlich höher als bei einem Reinraum mit turbulenter Verdünnungsströmung. Gesetzliche Vorschriften und erwartete Praktiken für beide Reinraumtypen haben in einigen Fällen exzessive Luftvolumenströme vorgeschrieben. Ein besseres Verständnis der Reinraumgestaltung und der Entstehung von Verunreinigungen in Reinräumen bietet heute die Möglichkeit, den Luftvolumenstrom zu reduzieren und die Partikelkonzentration gleichzeitig auf ein akzeptables Maß zu beschränken.

a) Partikelverdrängung

Durch die gefilterte turbulenzarme Verdrängungsströmung werden Partikel aus kritischen Zonen entfernt, wenn diese für die ISO-Klasse 5 oder sauberer verwendet wird, und sind geschwindigkeitsabhängig. Die Decke hat eine höhere prozentuale Abdeckung durch HEPA- oder ULPA-Filter für Zuluft und die Raumluft wird durch perforierte Doppelbodenpaneele oder niedrige Seitenwandgitter abgeleitet.

Die Luftströmungsrichtung kann vertikal nach unten oder horizontal gerichtet sein.

b) Partikelverdünnung

Durch die turbulente Mischung werden Partikel in gefilterter Luft verdünnt und aus kritischen Zonen für die ISO-Klasse 6 und weniger sauberen Bereichen entfernt. Die Luft wird oftmals durch niedrige

Seitenwandgitter abgeleitet, um den Wirkungsgrad des Luftaustauschs zu verbessern. In Reinräumen mit turbulenter Verdünnungsströmung kann der Verdrängungsbereich auf den Prozesskern oder innerhalb eines Reinraumgeräts beschränkt werden. Für diese Reinräume muss die Zulufrate und dementsprechend die Luftwechselzahl nur ausreichend sein, um die als Quellstärke bekannten erzeugten Partikel wirksam auf eine akzeptable Konzentration zu verdünnen.

Darüber hinaus sollten die Zuluftanforderungen für den Betriebs- und Ruhezustand betrachtet werden. Wesentliche Energieeinsparungen können durch das Abschalten oder Zurücksetzen in Zeiträumen der Inaktivität in dem Reinraum erzielt werden (siehe Abschnitt 7).

6.2 Berechnung der Quellstärke und des Luftvolumenstroms für Räume mit turbulenter Verdünnungsströmung

6.2.1 Bestimmung des Luftvolumenstroms

Die in [8], [11] und [12] angegebenen Emissionsdaten dürfen angewendet werden, um die Stärke der Kontaminationsquelle D in Abhängigkeit von der Personalzahl, der verwendeten Kleidung und der Prozesseinrichtung einzuschätzen. Die Gleichung A.1 in Anhang A kann anschließend angewendet werden, um die erforderliche Mindestzulufrate zu berechnen. Die Berechnungen sollten nur als Richtwert verwendet werden und alle erforderlichen Kompensationsfaktoren enthalten. Der Gestalter sollte die aktuellen Lasten für bestehende Reinräume bestimmen und alle potenziellen Verunreinigungslasten abschätzen, die geeignet sind, den Prozess für neu gebaute Reinräume zu gefährden. Bei der Gestaltung sollte auf eine ausreichende Einstellbarkeit geachtet werden, um eine progressive Anpassung des Luftstroms nach Bild 3 zu ermöglichen.

Die produzierten Daten sollten nicht verwendet werden, um vertraglich vereinbarte oder von dem Auftraggeber gewünschte Volumen oder Austauschraten zu ersetzen.

ANMERKUNG Die Gleichung A.2 (Anhang A) berechnet die Luftwechselzahl, sofern dies vertraglich gefordert wird. Es besteht keine direkte oder unabhängige Korrelation zwischen der Luftwechselzahl (ACR) und der Raumklassifizierung nach ISO 14644-1. Das heißt, dass die erforderliche Luftmenge für einen bestimmten Reinraum nicht von dem Raumvolumen, sondern eher von der Art der Aktivitäten in dem Raum und der Gestaltung des Luftverteilungssystems abhängig ist. Die Luftwechselzahl ist ein nützlicher und wichtiger Faktor, aber nur ein Faktor von vielen.

Die Luftwechselzahl sollte nicht als unabhängiges Hauptabnahmekriterium für Reinräume verwendet werden, da sie nicht die Rate der Partikelgenerierung und andere Kontrollfaktoren berücksichtigt. So ist beispielsweise die Partikelemissionsrate für zwei Räume mit derselben Art von Aktivitäten und derselben Anzahl an Personal, von denen ein Raum die zweifache Deckenhöhe des anderen Raums hat, gleich. Daher sind in beiden Räumen ungeachtet des Volumens die erforderlichen Luftvolumenströme gleich.

6.2.2 Wirkungsgradindex der Entfernung von Verunreinigung und der Lüftung

Berechnungen der Zulufrate sollten einen geeigneten Wirkungsgrad der Fremdkörperbeseitigung (CRE) oder des Luftaustauschwirkungsgrads (ACE) beinhalten, um sicherzustellen, dass der Reinraum die erforderlichen Partikelbedingungen während der meisten erwarteten Veränderungen der Quellstärke aufrechterhält. Diese Indizes werden in Anhang A erläutert und in dem Beispiel in Bild 3 verwendet (dargestellt als ϵ in Anhang A, Gleichung A.1).

Die numerische Strömungsdynamik (CFD) ist ein geeignetes Instrument für die Abänderung dieses Faktors bei der Vorhersage des Wirkungsgrads verschiedener Reinraumgestaltungen. Ihre Verwendung sollte zusätzlich zu den Standardberechnungen unter Berücksichtigung der Eignung des Computermodells erfolgen.

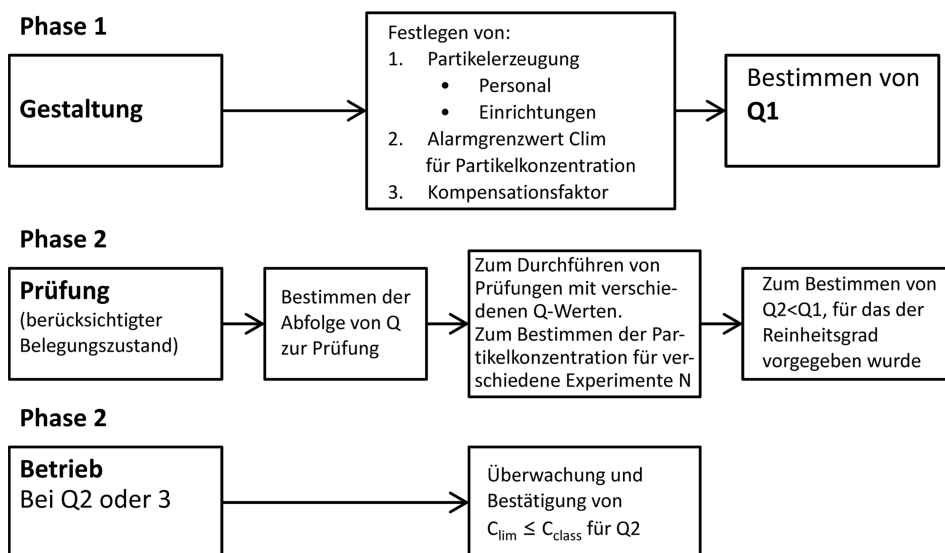
6.2.3 Kompensationsfaktoren (C_p)

Kompensationsfaktoren ermöglichen die Einbindung variabler Redundanzelemente in den berechneten Luftvolumenstrom (AFR) in der Gestaltungsphase. Hierbei ist zu beachten, dass diese Faktoren nur als unterstützendes Instrument für die Berechnungen dienen. Sie sind beliebig und sollten für jede Anwendung durch einen professionellen Reinraum-Ingenieur geschätzt werden.

Kompensationsfaktoren können allgemein auf die folgende Weise angegeben werden, um die Unsicherheit der Daten auszugleichen:

- a) als Spanne für die Alarmgrenzwerte der Partikelkonzentration, z. B. beträgt der ISO-7-Klassengrenzwert C_{class} 352 000 Partikel/m³ für Partikel $\geq 0,5 \mu m$, aber der entsprechende Alarmgrenzwert C_{lim} kann als 100 000 Partikel/m³ oder sogar 50 000 Partikel/m³ gewählt werden; und
- b) als Spanne für den Wirkungsgrad der Partikelentfernung durch Absenken des prognostizierten CRE auf Werte von weniger als 1,0, wenn die Luftverteilung als unzureichend gilt.

Gestaltung — Prüfung — Betrieb



ANMERKUNG Q = Luftstromvolumen in Kubikmeter pro Sekunde.

Bild 3 — Ablauf der Schritte zur Bestimmung der Luftvolumenströme

6.3 Flexibles Verfahren zur Schätzung des Luftvolumenstroms in Räumen mit turbulenter Verdünnungsströmung

6.3.1 Allgemeines

Das in 6.3.2 bis 6.3.4 festgelegte Verfahren sollte angewendet werden.

Das in 6.3.3 empfohlene Verfahren für die Schätzung des Luftvolumenstroms (AFR) ist flexibel, da nur ungefähre Daten zur Partikelgenerierung in der Gestaltungsphase zur Verfügung stehen. Das Verfahren ermöglicht eine schrittweise Verbesserung der Genauigkeit der AFR-Schätzung durch die schrittweise Bewegung durch das Strömungskettendiagramm in Bild 3. Nach dem Abschluss jeder Phase stehen mehr Daten zur Verfügung.

6.3.2 Gestaltungsphase

Unter Verwendung der Ausgangsdaten aus der Spezifikation der Nutzeranforderungen in Bezug auf

- a) die erforderliche Reinheitsklasse,
- b) das Reinraumvolumen (wenn die Luftwechselzahl von dem Auftraggeber vorgegeben wird), und
- c) die Anzahl des Personals, die Art der Einrichtungen und die Art der Reinraumkleidung

wird eine Alarmgrenze, C_{lim} , für die Partikelkonzentration festgelegt, die unter dem Grenzwert C_{class} der Reinraumklasse liegt.

Die Partikelgenerierung in dem Reinraum wird in D Partikeln pro Sekunde geschätzt (siehe 6.2.1).

Ein vorhergesagter Wirkungsgradindex für die Beseitigung von Verunreinigungen aus der Gestaltungsstudie ε (siehe 6.2.2) wird geschätzt.

Ein geeigneter Kompensationsfaktor S_{mf} nach 6.2.3 wird vereinbart.

Der Luftvolumenstrom Q_1 wird anhand der Gleichung A.1 in Anhang A in Kubikmetern pro Sekunden berechnet.

Der in der Gestaltung vorhergesagte Luftvolumenstrom wird nach 6.3.3 geprüft.

6.3.3 Prüfphase

Die Energieeinsparungsprüfung dient dazu, die Eignung von Q_1 zu bestimmen und einen genaueren AFR-Wert zu bestimmen, bei dem Q_2 weniger als Q_1 beträgt.

Diese Prüfung sollte zusätzlich zu den Prüfungen nach ISO 14644-1, ISO 14644-2, ISO 14644-3 und ISO 14644-4 durchgeführt werden, um die Fähigkeit des Reinraums, die erforderlichen Sauberkeitsanforderungen im Betrieb unter Verwendung des reduzierten AFR von Q_2 bei einer geringen Partikelalarmrate $C_{lim} < C_{class}$ zu erfüllen, zu bestätigen.

Die Prüfung mit verschiedenen AFR kann mit Belegung im Ruhezustand und/oder Betriebszustand nach Maßgabe ausgeführt werden. Zwei oder drei dieser Versuche sollten ausreichen, um fortzufahren.

Die Reduzierung des AFR sollte die Reinraumleistungsanforderungen wie etwa die Partikelkonzentration, den Druck, die Temperatur und Feuchte oder andere Kontrollattribute nicht beeinträchtigen.

6.3.4 Betriebsphase

Q_2 sollte in dieser Phase zusammen mit den Anforderungen an den Betrieb mit reduziertem Luftvolumen in den Betrieb eingeführt werden und Schulung, Betrieb und Instandhaltung nach Abschnitt 12 bis Abschnitt 14 umfassen.

Ein übliches Anwendungsbeispiel aus diesem Verfahren ist in Anhang A dargestellt, um zu zeigen, wie diese Gleichungen und Daten genutzt werden können, um den Wirkungsgrad der Optimierungen des Luftvolumenstroms zu quantifizieren und zu bewerten. Siehe auch Literaturhinweis [22].

Statistische Verfahren für die Kontrolle der Verunreinigung wie etwa die Prozessfähigkeitsanalyse können ebenfalls angewendet werden, um die Volumenströme zu bestätigen.

6.4 Reduzierung des Luftstroms für Räume mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung

Die in 6.3 festgelegten Berechnungsverfahren sind nicht anwendbar und die Reduzierung des Luftstroms sollte durch sorgfältige Betrachtung der Geschwindigkeit und der damit verbundenen in Anhang A, A.5 erörterten Aspekte erfolgen. Es hat sich gezeigt, dass geringe Geschwindigkeiten von 0,3 m/s zu geringen Schwebstoffkonzentrationen bei normaler Belegung und Aktivität für diese Art von Raum führen.

7 Energiemanagement: Abdrehen, Abschalten und Wiederherstellung

7.1 Abdrehen

Ein wesentliches Verfahren, das zur Energieeinsparung geprüft werden sollte, ist das Abdrehen des Luftvolumenstroms und Zulassen der entsprechenden Erweiterung des Temperatur- und relativen Feuchtebereichs (RH), wenn der Reinraum oder das Reinraumgerät sich im Ruhezustand befindet oder der Raum nicht besetzt ist. Nach Möglichkeit sollten regelbare Ventilatoren verwendet werden, um die Luftgeschwindigkeit zu regeln und die Energiebelastung zu reduzieren.

ANMERKUNG 1 Das Luftvolumen verhält sich grundsätzlich proportional zur dritten Potenz der Ventilatorleistung und der dritten Potenz des Luftvolumenstroms, sodass eine Halbierung des Luftvolumens die Ventilatorleistung vorbehaltlich der korrekten Bemaßung des Luftkanals um den Faktor acht reduzieren kann.

Bei allen neuen Anlagen sollte es möglich sein, die Zuluftgeschwindigkeit für UDAF und den Zuluftvolumenstrom für Nicht-UDAF auf ein Leerlaufmaß an Wochenenden oder über Nacht oder für Einrichtungen, die nicht 24 Stunden besetzt sind, herunterzuregeln.

Motorisierte Regelklappen sollten an den Hauptabzweigleitungen der Kanäle angebracht werden, die in Verbindung mit dem Umrichter des Ventilatormotors ein nächtliches Abdrehen während der außerbetrieblichen Stunden und geringere Differenzdrücke in Zeiträumen, in denen die Einrichtung nicht besetzt ist, ermöglichen.

ANMERKUNG 2 Unter heruntergeregelten Bedingungen, d. h. während der Reinraum nicht besetzt und nicht in Betrieb ist, sind die Stärke der Verunreinigungsquelle und die Wärmezunahme in dem kontrollierten Raum wesentlich geringer als unter Bemessungsbetriebsbedingungen. Unter diesen Umständen kann eine Ab Drehbedingung in der Gestaltungsphase geschätzt und während der Inbetriebnahme oder Qualifizierung bestätigt werden.

Bei dem Zurücksetzen von Leistungsparametern sollte die Trennung einschließlich physischer Barrieren oder eines Überdrucks im Reinraum aufrechterhalten werden, um das Eindringen von Verunreinigungen aus der Umgebung in den Reinraum oder reinen Bereich zu verhindern. Geeignete sichtbare Hinweise, dass der Bereich heruntergeregelt wurde, sollten angezeigt und das gesamte Personal einschließlich Instandhaltungsmitarbeitern und Hausmeister sollte im Hinblick auf seinen Aufenthalt in dem und den Durchgang durch diesen Bereich während des heruntergeregelten Zustands geschult werden.

Zugangs- und Eintrittspunkte sollte während des Herunterregels geschlossen werden, um jeden unbefugten Zugang, der zu einer Verunreinigung führen könnte, zu verhindern.

Filter sollten bei Reaktivierung des Bereichs nicht direkt auf die Höchstleistung eingestellt, sondern schrittweise hochgefahren werden. Dieser Vorgang sollte extern kontrolliert und von einem Computer überwacht werden.

Die festgelegten Betriebsbedingungen sollten vor dem Beginn oder Wiederbeginn des normalen Betriebs wiederhergestellt werden.

Jedes Herunterregeln sollte gemessen und kontrolliert und während der Inbetriebnahme validiert werden. Zusätzlich zu all den Standardprüfungen einschließlich der Partikelzählung könnte auch die Visualisierung des Luftstroms während des Validierungsprozesses hilfreich sein.

7.2 Abschalten

Wenn geplant ist, Systeme im Rahmen eines vereinbarten Energiemanagementprogramms abzuschalten, sollte eine ausführliche Prozessauswirkungsbeurteilung dokumentiert werden, wie in der Standardverfahrensanweisung der Organisation festgelegt.

ANMERKUNG Die Konfiguration des Reinraums hat einen wesentlichen Einfluss auf abschaltbare Systeme, z. B.: das Abschalten eines Reinraumgeräts mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung in einem weniger sauberen Reinraum oder das Abschalten einiger Ventilatorfiltermodule in einem großen Reinraum mit mehreren Modulen. Dies könnte Heiz- und Kühlsysteme bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des normalen oder heruntergeregelten Luftstroms beinhalten.

Um festzustellen, ob das Abschalten für die Produktqualität akzeptabel ist, sollten die folgenden Risiken berücksichtigt werden:

- a) Eindringen von Verunreinigung durch Schwebstoffe aufgrund des Verlusts der Druckbeaufschlagung in dem klassifizierten Raum;
- b) Ablagerungen von Verunreinigungen, die auf der sauberen Seite der Hochleistungsendluftfilter aufgewirbelt werden, und
- c) die Fähigkeit, die erforderlichen Sauberkeitsbedingungen bei einem Wiederanlauf des Systems innerhalb einer festgelegten Wiederherstellungszeit wiederherzustellen.

Zugangs- und Eintrittspunkte sollten während dieser Verfahren abgedichtet werden.

8 Adaptive Steuerung

Die aktive Steuerung des Raumlufstroms und/oder der Frischluft basiert auf der Rückmeldung von Sensoren oder Analyseinstrumenten in dem Reinraumbereich in Echtzeit. Dieser Ansatz entspricht einem der energieeffizientesten Steuerungsprogramme und beinhaltet die proportionale Anpassung des Luftstroms innerhalb eines Raums an die in Echtzeit durch die Sensoren gefühlte oder gemessene Partikelkonzentration in dem Reinraum. Die Filterung und Mittelwertbildung der Partikelzählsignale könnte erforderlich sein, um ein ausreichend stabiles Signal für die Steuerung des Reinraums zu erhalten. Die Höhe der erzielten Einsparungen wird durch die Variabilität der Partikelquelle in dem Raum beeinflusst. Räume, in denen kurzzeitig hohe Partikelkonzentrationen erzeugt werden, profitieren am meisten von diesem Ansatz.

Übliche adaptive Steuerungsprogramme nutzen Partikelzahlinformationen aus repräsentativen Standorten in dem Reinraum als Rückmeldung an das Steuerungssystem. Es stehen jedoch auch andere Programme zur Verfügung, die die Temperatur, die Feuchte, gashaltige Verunreinigungen oder andere zu regelnde Parameter betrachten.

In der Biowissenschafts- und Medizinindustrie können das Erfordernis, überlebensfähige Schwebstoffe sowie die Gesamtpartikelzahl zu kontrollieren, um gesetzliche Anforderungen und Erwartungen zu erfüllen, die Anwendbarkeit dieses Steuerungsansatzes beeinflussen. Eine angemessene Verifizierung zum Nachweis der zuverlässigen und wiederholbaren Kontrolle überlebensfähiger Schwebstoffe durch adaptive Steuerungsprogramme ist eine Voraussetzung für die Implementierung dieses Ansatzes.

9 Heiz- und Kühllasten

Die Spezifikationen der Temperatur und der relativen Feuchte innerhalb des Reinraums werden festgelegt, um den Komfort für die Bediener, die Kontrolle elektrostatischer Aufladung und die Erfüllung der Prozessanforderungen sicherzustellen. Diese haben einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch und sollten nicht innerhalb eines engeren Bereichs als nötig kontrolliert werden.

In Situationen, in denen keine besonderen Anforderungen an eng gesteuerte Temperatur- und relative Feuchtebedingungen bestehen, sollte die Temperatur üblicherweise nicht in einem engeren Bereich als $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ gesteuert werden und die relative Feuchte (RH) sollte in Übereinstimmung mit den Umgebungsbedingungen in einem Bereich zwischen 30 % und 70 % je nach Komfort des Bedieners schwanken können.

Anhang E listet einige Möglichkeiten zur Begrenzung übermäßiger Heiz- und Kühlverluste oder -gewinne auf.

10 Ventilator- und Filterauswahl

10.1 Luftumwälzventilatoren

Luftumwälzventilatoren sollten so ausgewählt werden, dass der beste Ausgleich zwischen Energie und Luftzufuhr unter Berücksichtigung des Ventilator- und Antriebswirkungsgrads und der Ventilatoreigenschaften erzielt wird, um eine erhöhte Filterbelastung zu bewältigen. Ventilatoren sind mit einer Vielzahl unterschiedlicher Wirkungsgrade verfügbar und Ventilatoren mit hohem Wirkungsgrad sollten als Hauptmittel zur Reduzierung des Energieverbrauchs ausgewählt werden.

Direktantriebsventilatoren mit eingebautem Motor sind die energieeffizientesten Ventilatoren und die modernsten Direktantriebsventilatoren können einen Wirkungsgrad von mehr als 80 % erzielen. Die Energierückgewinnungszeit solcher Ventilatoren sollte berücksichtigt werden.

Ein bestehendes Ventilatorsystem mit einem separaten Motor sollte für eine Aufrüstung des Riemenantriebs in Betracht gezogen oder durch einen Direktantriebsventilator mit hocheffizientem Motor ersetzt werden, da der Riemenantrieb zwischen dem Motor und dem Ventilator 10 % bis 15 % der Motorenergie verbrauchen kann, bevor diese den Ventilator erreicht.

Die Verwendung von reibungsarmen Riemen und Zahnriemen kann die Energieverluste minimieren, wenn Riemen benutzt werden müssen. Direktantriebsventilatoren mit eingebautem Motor sollten für alle Neubauten erwogen werden.

Motoren sollten grundsätzlich Umrichter enthalten, die einen regelbaren Antrieb (VSD) ermöglichen, um eine effiziente Steuerung und Flexibilität sicherzustellen. Der Ventilatorhersteller sollte konsultiert werden, um einen Ventilator mit leisem Betrieb mit dem erforderlichen statischen Druck am Kennlinienpunkt und mit dem niedrigsten Energieverbrauch auszuwählen.

10.2 Auswahl von Luftfiltern

Der Partikelentfernungswirkungsgrad von Endfiltern sollte nicht höher sein als erforderlich, um den festgelegten Reinheitsgrad in dem Reinraum zu erzielen. Die Gestaltung der Filtration sollte den Luftströmungswiderstand des Filtrationssystems minimieren, um den Energiebedarf der Ventilatoren auf ein Minimum zu beschränken. Die Endfilter sollten einen minimalen Druckabfall ermöglichen, um den erforderlichen Partikelentfernungswirkungsgrad zu erzielen. Filter mit einer größeren Menge an Filtermedien haben einen geringeren Druckabfall als Filter mit einer kleineren Menge. Durch die Erhöhung der Tiefe des Medienpakets einer hocheffizienten Luftfilterplatte von 66 mm auf 110 mm kann der Druckabfall beispielsweise um ungefähr 40 % reduziert und die Lebensdauer um das 2,5-fache erhöht werden.

Die Endfilter sollten durch die Anwendung geeigneter Vorfilter vor häufigem Austausch geschützt werden. Ein robustes Reinigungs- oder Austauschprotokoll sollte für Vorfilter in der Rückluft oder rezirkulierten Luft angewendet werden, um eine Überlastung dieser Filter zu verhindern, die zu einem übermäßigen Druckabfall in dem System und einer erhöhten Partikelkonzentration in dem Reinraum führen kann. Energieeffiziente Vorfilter sollten mithilfe eines Energieklassifizierungsverfahrens wie etwa durch Eurovent 4/11 [10] oder andere Tabellen vorgegeben ausgewählt werden.

Ein Betriebsdauerkostenmodell (life cycle costing, en: LCC) sollte in der Gestaltungsphase angewendet werden, um eine informierte Luftfilterauswahl, Filterbeschaffung, Energieeinsatz und Kostenkalkulation der Installation, Instandhaltung und Entsorgung zu ermöglichen, wie etwa die Eurovent-Tabelle [10].

11 Beleuchtungsstärken

Die Beleuchtung in dem Reinraum sollte der Kontrolle des Bedieners unterliegen oder von einer Bedarfsregeleinrichtung gesteuert werden, sodass die Beleuchtung ausgeschaltet wird, wenn der Raum nicht besetzt ist. Lokale LED-Beleuchtung sollte für komplexe Arbeiten erwogen werden, damit die Hintergrundbeleuchtung reduziert werden kann. Die Beleuchtung von Arbeitsplätzen sollte so gestaltet sein, dass die Arbeit erleichtert und Ermüdung reduziert wird.

12 Schulung

Die Mitarbeiter sollten im Bedarfsfall im Hinblick auf Energiesparmöglichkeiten geschult werden.

Um diesen Prozess zu unterstützen, sollten die betrieblichen und gesetzlichen Beschränkungen vereinbart und verstanden werden.

Die Mitarbeiter sollten als Teil der Schulung über Folgendes informiert werden:

- a) für die Organisation geltende aktuelle Normen, Vorschriften, Richtlinien und Verfahrensvorschriften für Reinräume;
- b) bestimmte Einrichtungen und Prozesse, die besonders energieintensiv sind;
- c) Heizung und Belüftung als spezifische Energieverbraucher in einem Reinraum;
- d) Quellen der Partikelerzeugung in Reinräumen und
- e) Zulufraten und ihre Auswirkung auf den Energieverbrauch des Reinraums.

Hierbei sollte betont werden, dass die allgemeinen Zwecke der Hygiene, des Verhaltens und die Gesundheits- und Sicherheitsziele durch die Suche nach Energieeinsparungsmöglichkeiten nicht beeinträchtigt werden dürfen.

Wenn ein Energieeinsparungsprogramm in einer Organisation implementiert wird, sollten spezielle Schulungen im Betrieb der Einrichtung in verschiedenen HVAC-Modi, der Überwachung des Reinraums in verschiedenen Zuständen und dem Verhalten im Fall von Unregelmäßigkeiten durchgeführt werden.

Allgemeine Reinraumschulungen sollten einen Abschnitt zu Energieeinsparungen in Reinräumen enthalten.