



BAUAKADEMIE
Performance Management

IFMA BENCHMARKING

// CHEMIE, PHARMA, LIFE SCIENCE

IFMA BENCHMARKING®

GOOD OPERATING PRACTICE

Whitepaper
CO₂ - und energiereduziertes
Betreiben von Laborgebäuden

Version 19.01.2024

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Arbeitskreis IFMA-Benchmarking	3
1.2	Energie & CO ₂ -Fußabdruck.....	5
1.3	Dekarbonisierung und Energiereduktion.....	6
2	Ausgangslage & Fragestellung	7
3	Grundsätze und Anwendungsbereich.....	8
3.1	Vorbemerkung.....	8
3.2	Kritik am derzeitigen System der Labor-Nutzungskonzept.....	8
3.3	Anwendungsbereich.....	9
4	Grundsätzliche Planungsanforderungen, ausgehend von bestehenden Laborgebäuden.	10
4.1	Technischer Status quo.....	10
4.2	Konsequenzen für energieoptimierte Laborgebäude	10
4.3	Gebäudelayout.....	11
4.3.1	Gebäudeplanung / Layout	11
4.3.2	Nutzungskonzept	12
4.3.3	12/5-Standard-Labor	12
4.3.4	Dokumentationsflächen (Non-Lab Bereiche / Schreibräume)	12
4.3.5	24/7-Labor („Nachtlabor“).....	12
4.3.6	Support-Laborflächen für gemeinschaftlich genutzte Geräte	13
4.3.7	Support-Laborflächen für Geräte mit hoher Abwärme	13
5	Gebäudeausführung.....	14
5.1	Baukonstruktive Ausführung.....	14
5.2	Technische Gebäudeausstattung (TGA)	14
5.3	Energieerzeugung /-speicherung vor Ort.....	14
6	Gebäudeautomatisierung und betriebliche Steuerung	15
6.1	IT und Datenübertragung zur Gebäudesteuerung	15
6.2	Nutzerorientierte Steuerung des Laborbetriebs	15
6.3	Lüftung.....	16
6.4	Wärme und Kälte	16
6.5	Sanitär.....	17
6.6	Druckluft und Vakuum	17
6.7	Materiallagerung	17
7	CO ₂ -neutrale Energieerzeugung und -speicherung im und am Gebäude	18
8	Fallbeispiele	19
8.1	Abschätzung des relativen Energieverbrauchs eines Muster-Laborgebäudes	19
8.2	Verbrauch in ausgewählten Energiespar-Szenarien auf Basis eines durchschnittlichen Laborgebäudes.....	20
8.2.1	Ausgangsbasis und Validierung	21
8.2.2	Gewählte Energiespar-Szenarien.....	21
8.2.3	Ergebnisse und Erkenntnisse.....	22
8.3	Luftwechsel in Arbeitsräumen mit Gefahrstoffeinsatz (Beispieldokument eines Teilnehmers).....	26
8.4	Auswertung der Angaben zum Themenbereich „Haustechnische Anlagen“ im IFMA-Benchmarking.....	27
9	Quellen.....	28
10	Impressum	29

1 Einleitung

1.1 Arbeitskreis IFMA-Benchmarking

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungsergebnisse sind im Rahmen der mehrjährigen Tätigkeit des Arbeitskreises IFMA-Benchmarking® Chemie, Pharma & Life Science entstanden. Mit der Gründung des Arbeitskreises im Jahr 2004 verfolgten die teilnehmenden Unternehmen das Ziel, mittels Benchmarking die erfolgreichsten Konzepte und Lösungen für die Errichtung und das Betreiben von Forschungsgebäuden zu identifizieren. Aktuell nehmen 13 führende Unternehmen der chemischen und pharmazeutischen Industrie, oftmals mit mehreren Standorten, am Benchmarking teil.

Die eingesetzte Benchmarking-Methodik liefert den teilnehmenden Unternehmen Erkenntnisse zur Erschließung von Potentialen zur Qualitätssteigerung und Kostenoptimierung im Facility Management. Das Benchmarking selbst, welches in anonymisierter Form unter Wahrung der wettbewerbsrechtlichen Grundsätze kontinuierlich durchgeführt wird, dient den Teilnehmern zur Bestimmung der eigenen Position im Feld vergleichbarer Unternehmen.

Den Schwerpunkt der Arbeit gemeinsamen bilden Best Practice Workshops, in denen die Teilnehmer Erfahrungen und Konzepte der Optimierung diskutieren. Dieser strukturierte Erfahrungsaustausch liefert allen Teilnehmern kontinuierlich Inspiration und zeigt Verbesserungspotentiale auf. Lösungsansätze, die einen breiten Konsens erzielen, werden als sogenannte Good operating Practices (GoP), allgemeingültig aufgearbeitet. Sie dienen den Teilnehmern als Leitfaden zur Entwicklung unternehmensspezifischer Lösungen und werden in ausgewählten Fällen auch veröffentlicht.

Die Ausarbeitung der vorliegenden GoP erfolgte durch eine Arbeitsgruppe bestehend aus Thomas Herweg (Bayer), Kai-Uwe Thorn (Covestro), Thilo Brockschmidt (Merck) sowie Dr. Stefan Krause und Nikolai Schütz (beide Sanofi).

Darüber hinaus nahmen im aktuellen Benchmarking-Jahr die folgenden Unternehmen an der Best Practice Group IFMA Benchmarking® teil, vertreten durch:

BASF SE	Udo Armin Winnewisser Thomas Wall
Bayer AG - Berlin	Jörg Petri
Bayer AG - Monheim	Martin Ritterbach Christian Schmitz
Bayer AG - Wuppertal	Stephan Schmidt
Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG	Dieter Butz Hermann-Josef Rottkemper
Covestro Deutschland AG	Kai-Uwe Thorn Markus Hauser
CURRENTA GmbH & Co. OHG	Toni Buettgen
Evonik Operations GmbH	Ralf Lohbreyer Kerstin Reifenberger
Infraserv GmbH & Co. Höchst KG	Isabel Löhner Cédric Moschberger Frank Pauli
Merck Real Estate GmbH	Thilo Brockschmidt Martin Wagner
Roche Real Estate Services Mannheim GmbH	Martin Flörchinger Christoph Zeller
Roche Diagnostics GmbH, Penzberg	Klaus Retschy Sven Schuldt
Sanofi Aventis Deutschland GmbH	Dr. Stefan Krause Lars Pfannenschmidt

Sprecher der Best Practice Group sind Jörg Petri und Hermann-Josef Rottkemper. Die wissenschaftliche Leitung und Moderation obliegen Andreas Kühne, BAUAKADEMIE Performance Management GmbH (BPM). Die BPM ist auf branchenspezifisches Roundtable Benchmarking spezialisiert und nimmt die neutrale Funktion des Benchmarking-Koordinators ein. In dieser Funktion übernimmt sie ihr die Organisation, die Fachbegleitung, das Datenmanagement inkl. Berichterstellung sowie die Moderation aller Arbeitstreffen. Die BPM verfügt über eine spezielle Kartellrechtskonformitätsbescheinigung und ist gem. DIN ISO 9001 (Qualitätsmanagement) sowie in Anlehnung an DIN ISO 27001 (Informationssicherheit) zertifiziert. Mit dieser Qualifikation übernimmt die BAUAKADEMIE Performance Management GmbH die Verantwortung für die Wahrung der wettbewerbsrechtlichen Grundsätze und stellt die vertrauliche Behandlung der Daten sicher.

1.2 Energie & CO₂-Fußabdruck

Wie alle Gebrauchsgegenstände durchläuft auch die Immobilie einen Lebenszyklus, beginnend mit der Errichtung und endend mit dem Rückbau. Wobei meist nur die zeitlich längste Lebenszyklusphase, der Betrieb, im Fokus steht.

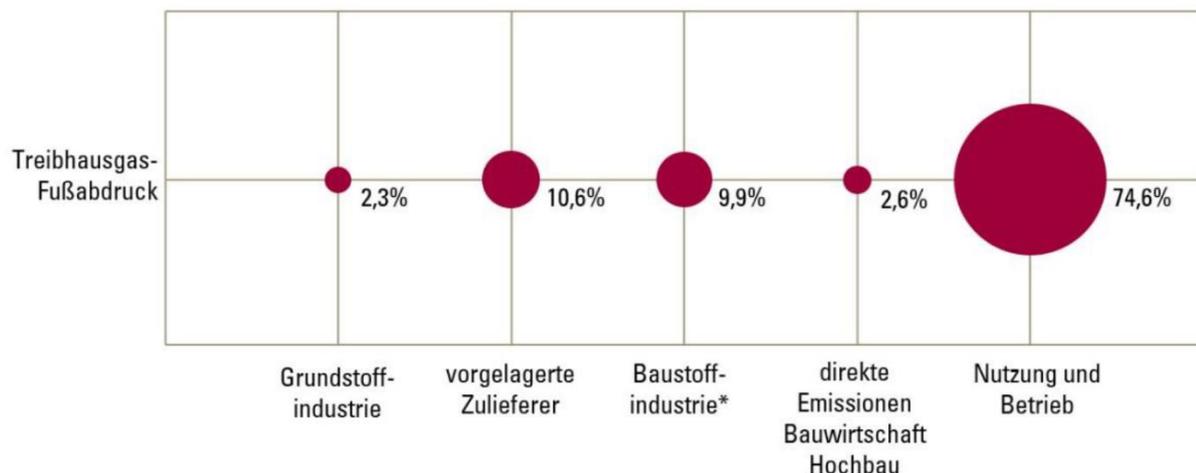
Dementsprechend sind in diesem Whitepaper auch die betriebsbedingten CO₂-Emissionen, auch als Operational Carbon bezeichnet, Hauptgegenstand der Untersuchung.

Wenn im Folgenden der Begriff CO₂ genutzt wird, ist immer CO₂-Äquivalent bzw. Treibhausgas gemeint.

Wird der gesamte Lebenszyklus einer Immobilie betrachtet, spielen jedoch weitere Emissionen eine Rolle, die unter dem Begriff „graue Emissionen“ zusammengefasst werden.

Darunter versteht man den CO₂-Ausstoß, den der Prozess der Herstellung von Baumaterialien und Bauteilen sowie die Errichtung des gesamten Endprodukts Gebäude verursachen. Während Emissionen aus dem Betrieb eines Gebäudes proportional zur Nutzung und zur Dauer seines Lebenszyklus anfallen, werden graue Emissionen innerhalb kurzer Zeitspannen in die Umwelt abgegeben (bei der Herstellung) bzw. werden teilweise langfristig im Gebäude selbst gespeichert (relevant für Emissionen beim Rückbau).

Das Embodied Carbon macht über den Lebenszyklus hinweg grob gerechnet 25% der Emissionen aus, die übrigen 75% entfallen auf das Operational Carbon.¹ Vor diesem Hintergrund sollte vor dem Abriss eines Bauwerks stets sorgfältig geprüft werden, ob eine Weiternutzung nicht sinnvoller wäre.

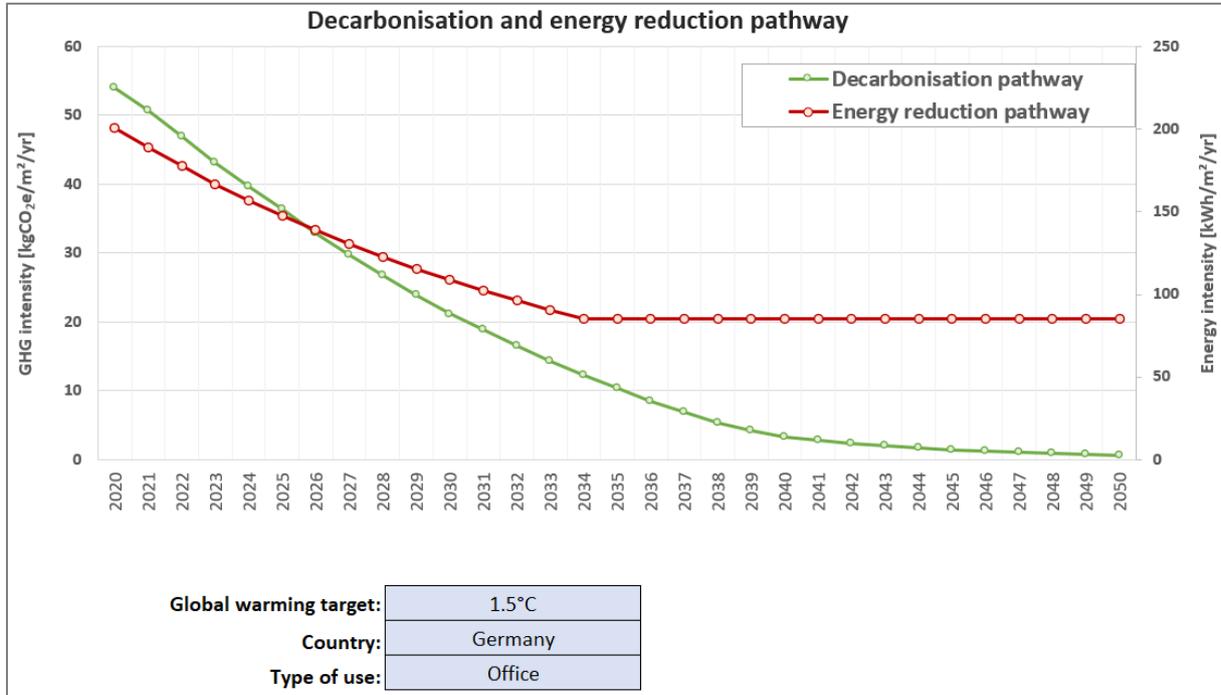


CO₂-Fußabdruck des Handlungsfelds «Errichtung und Nutzung von Hochbauten» (*Baustoffindustrie und weitere direkte Zulieferer).

¹ BBSR -Online-Publikation Nr. 17/2020 Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland

1.3 Dekarbonisierung und Energiereduktion

Einen Eindruck von den künftigen Herausforderungen gibt der Carbon Risk Real Estate Monitor (CRREM), der die notwendige Reduktion des Energieverbrauchs und der entsprechenden CO₂-Emissionen bis zu dem Jahr angibt, in dem der Immobilienbestand in der EU klimaneutral sein soll. Allerdings gibt es im CRREM derzeit noch keine Reduktionspfade für Laborimmobilien. Den Trend jedoch zeigt untenstehendes Diagramm am Beispiel von Büroimmobilien auf².



² CRREM CARBON RISK REAL ESTATE MONITOR v2.03 – EU (18.04.2023)

2 Ausgangslage & Fragestellung

Grundlage für die Klimaschutzbemühungen weltweit ist die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen von 1992, ergänzt und konkretisiert durch das Kyoto-Protokoll von 1997, das erstmals die Pflicht zur Begrenzung und Reduktion von Treibhausgasen rechtsgültig fest schrieb.

Das 2021 aktualisierte, deutsche Klimaschutzgesetz von 2019 ist die Reaktion auf das Übereinkommen von Paris von 2015. Dieses trat im November 2016 in Kraft und verpflichtet alle Vertragsparteien, seinerzeit 195 Staaten und die Europäische Union, die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um eine globale Erderwärmung auf „deutlich unter“ zwei Grad gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen und Anstrengungen für eine Begrenzung auf 1,5 Grad zu unternehmen.

Im aktuellen Bundes-Klimaschutzgesetz wurden mit Blick auf das neue europäische Klimaziel 2030 die Vorgaben für CO₂-Emissionen noch einmal verschärft. In der Klimaschutznovelle vom 24. Juni 2021 wurden die Stufen zur Verringerung der CO₂-Emissionen hinsichtlich sowohl des Zeitraumes als auch der Menge, bis zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2045, neu definiert. Diese Regelungen werden vor allem die Hauptemittenten betreffen, die Industrie, den Verkehrssektor, den Gebäudebereich und die Landwirtschaft.

Aktuell nennt das Gesetz folgende Richtwerte für die Treibhausgasemission:

- Bis 2030: 65% weniger CO₂ als 1990 (Richtwert 2016: 55%)
- Bis 2040: 88% weniger CO₂ als 1990
- **Ab 2045: Klimaneutralität** (Zieljahr 2016: 2050)

Während insbesondere für Wohngebäude, aber auch für Büroimmobilien, umsetzbare Konzepte zur Erreichung dieser Ziele vorliegen, fehlen diese für viele energieintensive Industriebereiche noch. Gerade dort müssen solche Maßnahmen jedoch aufgrund der erheblichen Vorlaufzeit zur Planung, Finanzierung und Umsetzung und auch in Anbetracht der häufig langen Lebensdauer von technischen Anlagen dringend entwickelt werden.

Der vorliegende Leitfaden gibt Hinweise zur Reduktion von CO₂-Emissionen auf dem Weg zur Klimaneutralität im Betrieb von Laborgebäuden.

Detailfragen:

1. Wie kann der Energieverbrauch beim Betrieb von Laborgebäuden reduziert werden?
2. Welche Möglichkeiten der Energieerzeugung vor Ort tragen zur weiteren CO₂-Reduktion bei?
 - a) Energieerzeugung am Objekt
 - b) Energiezufuhr aus dem näheren Umfeld

3 Grundsätze und Anwendungsbereich

Der vorliegende Leitfaden geht insbesondere auf laborspezifische Anforderungen ein (z.B. Luftwechsel, Umgang mit Gefahrstoffen). Er enthält keine Ausführungen zu Punkten, die für Gebäude allgemein gelten (z.B. außenliegender Sonnenschutz, PV, Wärmerückgewinnung, Erdwärme).

3.1 Vorbemerkung

Im Zusammenspiel von Gebäudelay-out / Raumeinteilung, (TGA-) Anlagendesign, (Labor-) Geräteaufstellung, intelligenter Labornutzung etc. sollte ein möglichst genau am tatsächlichen Bedarf ausgerichteter und damit kosten- und energieeffizienter Gebäudebetrieb angestrebt werden. Die Grundlagen dafür, werden bereits während der Planung des Gebäudes geschaffen, beginnend bei der Größe bzw. Fläche der Labore und dem Detaillierungsgrad der TGA-Anlagen. Die entsprechenden Maßnahmen sollen im Folgenden dargelegt werden.

3.2 Kritik am derzeitigen System der Labor-Nutzungskonzept

Dem Leitfaden liegt die Annahme zugrunde, dass eine drastische Reduktion der Energieverbräuche im Labor möglich ist, sofern die Betriebsweise grundsätzlich überdacht wird. Nahezu alle existierenden Labore spiegeln ein jahrzehntelang unverändertes Konzept wider. Es wird daher dringend empfohlen, sich vor jedem neuen Projekt sehr intensiv über die Grundkonzeptionierung des Labors auszutauschen.

Aktuell haben nahezu alle Labore den Richtlinien entsprechend einen als sicher geltenden Luftwechsel von mind. 25 m³/m²/h. Die bereits bestehende Möglichkeit, den Luftwechsel mithilfe einer Gefährdungsbeurteilung bedarfsgerecht zu optimieren, wird nicht ausreichend genutzt. In vielen Fällen wird der Luftwechsel, der zum Schutz der Beschäftigten implementiert wurde, missbräuchlich eingesetzt, um Wärme-/Temperaturlasten von energieintensiven Laborgeräten abzuführen.

Damit entfällt häufig sogar außerhalb der Arbeitszeiten die Option, den Luftwechsel auf null zu reduzieren.

Es ist daher dringend geboten, Gewohnheiten in der Umsetzung von Gesetzen und Laborrichtlinien abzulegen und jeden Luftwechsel, beginnend bei null, begründet festzulegen sowie die Temperierung von (energieintensiven) Laborgeräten über die allgemeine Raumklimatisierung zu beenden. Hierin liegt einer der größten Hebel für die CO₂- und Energieeinsparung.

3.3 Anwendungsbereich

Das vorliegende Whitepaper richtet sich mit seinen Aussagen und Anregungen zu Planung und Betrieb von Laborgebäuden an verantwortliche Mitarbeiter aus dem infrastrukturellen Facility Management und dem Bereich der Arbeitssicherheit im Laborumfeld, an Planer und Technikausrüster von Laborgebäuden, Ingenieur- und Technikabteilungen sowie Mitarbeiter in Labor- und Technikumsgebäuden.

Alle hier beschriebenen Maßnahmen sind Empfehlungen und Anregungen. Jede Einzelmaßnahme muss vor ihrer Umsetzung mit den Betriebsverantwortlichen, d.h. Betriebsleiter und Laborleiter, abgestimmt und durch eine Gefährdungsbeurteilung/ Sicherheitsbetrachtung analysiert werden. Einschlägige Vorschriften und technische Regeln für die Planung und den Betrieb gelten unbenommen. Bei der Umsetzung hier beschriebener Maßnahmen sind in jedem Fall persönliche, technische und organisatorische Schutzvorkehrungen für die Mitarbeiter in Laboren und Technika zu treffen. Die Verantwortung verbleibt bei den vorgenannten Leitungsfunktionen. Bei allen Überlegungen ist der Schutz des Menschen, der Umwelt und des Sachvermögens zu berücksichtigen.

4 Grundsätzliche Planungsanforderungen, ausgehend von bestehenden Laborgebäuden

4.1 Technischer Status quo

Der Energieverbrauch eines Laborgebäudes wird wesentlich durch die lufttechnischen Anlagen verursacht (50 – 70 % vom Gesamtenergiebedarf). Der erforderliche Luftwechsel wird dabei durch den Arbeitsschutz (Umgang mit Gefahrstoffen) vorgegeben. Zudem werden viele Laborgeräte über die allgemeine Raumbelüftung gekühlt. Dies ist ein Grund dafür, dass die Belüftung außerhalb der Arbeitszeit nicht vollständig abgestellt werden kann. Da der Wirkungsgrad von Abluft- & Kälteanlagen bei Teillast abnimmt, wird auch im Absenkbetrieb insgesamt nur eine geringe Energieeinsparung erreicht.

4.2 Konsequenzen für energieoptimierte Laborgebäude

Beim Betrieb eines energieoptimierten Laborgebäudes muss vorrangig der direkte und indirekte Energieverbrauch zur Belüftung inklusive Temperierung der Labore und technischen Anlagen im Fokus stehen.

Erforderliche Luftwechsel sollten daher dem Arbeits- und Produktschutz vorbehalten sein; eine Kühlung von Laborgeräten (insbesondere im 24/7 Betrieb) ist zu vermeiden.

Die Vorgabe der Laborrichtlinie von 25 m³/m²/h Frischluft (ca. 8-facher Luftwechsel) erfordert im Regelfall keine weitere Gefährdungsanalyse und wird daher aus praktischen Erwägungen im Regelfall umgesetzt. Tatsächlich aber sollten Luftwechsel in diesem Umfang die Ausnahme sein.

Für das Laborgebäude ist ein Konzept zu erstellen, wie der Laborbetrieb mit < 25 m³/m²/h Frischluft (bis zu 0) gewährleistet werden kann. Dies ist gem. Laborrichtlinie (TRGS 526, Kap. 6.2.5 Abs. 1) auf Basis einer Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung möglich und wurde schon erfolgreich umgesetzt.

Das Vorgehen ist so zu wählen, dass die jeweils kleinste Nutzungseinheit (z.B. Abzug, Laborraum, ggf. ganzer Raum oder Etage) betrachtet und dann bewertet wird. Hinzuzuziehen sind HSE, Nutzer, Betriebsingenieur und ggf. weitere Verantwortliche.

Dabei sollten zwei Zeitbereiche berücksichtigt werden:

- a) Nacht-, Feiertags- und Wochenendbetrieb
- b) Regelbetrieb während der Normalarbeitszeit

In beiden o.g. Zeiträumen sollten organisatorische und technische Möglichkeiten (z. B. Frequenzumrichter / Lüftungs-Regelklappen etc.) genutzt werden, um den jeweils auftretenden Nutzungsbedarfen von Laborflächen und -equipment (z.B. Laborabzüge, abgesaugte Einhausungen/ Arbeitsplätze) schnell und ohne Einbindung Dritter (Technikpersonal) gerecht werden zu können.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Verlauf der letzten 20 Jahre der offene Umgang mit Gefahrstoffen sehr stark abgenommen hat und heute sehr überwiegend in geschlossenen Systemen oder Abzügen erfolgt.

Die Laborrichtlinie geht bisher nicht auf diese Entwicklung ein.

Ein möglicher Ansatz zur Umsetzung ist die Zonierung eines Laborgebäudes in (große) Bereiche mit vollständiger Abschaltung außerhalb der Arbeitszeiten (Sonderabluft bleibt ggf. erhalten) und 24/7 Betrieb anderer (kleiner) Bereiche.

4.3 Gebäudelayout

4.3.1 Gebäudeplanung / Layout

Das Gebäudelayout ist grundlegend, da der Betrieb nur mit der richtigen Planung flexibel bleibt, um zukünftige Möglichkeiten der Energieeinsparung zu nutzen.

Ausgehend von der Annahme, dass es eine bzgl. Nutzbarkeit und Energieeffizienz optimale Gebäudegröße (Gebäudevolumen) gibt, wird vorgeschlagen, „modulare Basis-Laboreinheiten“ (mit fixer Fläche $x * y$ m²) zu definieren. Diese sollten folgende Eigenschaften haben:

- Optimale Lüftungstechnische Anbindbarkeit
- Ausreichende Größe für Einzelbetrieb z. B. an Wochenenden (Regelbarkeit)
- Optimierte Infrastruktur (TGA, Logistik, Ver- und Entsorgung, Bündelung kritischer Bereiche) zur räumlichen Anbindung der einzelnen Einheiten

Die „modulare Basis-Laboreinheit“ sollte so oft wie erforderlich im optimalen Gebäudevolumen eingeplant werden.

Begrenzende bzw. erforderliche Parameter der einzelnen Einheiten können wesentlich sein für die Planung und sollten deswegen frühzeitig definiert werden, um den Anforderungen a) der Forschung und b) der Klimaneutralität gerecht zu werden:

- Max. erforderliche Flächenlast
- Tür- und Fenstergeometrie
Lichte Raumhöhe/Deckenhöhe bzw. Geschosshöhe (Einfluss auf mögliche Lüftungskanal-Querschnitte)
- Max. Lasten und Abmessungen für den Lastenaufzug
- Logistik-Parameter (z. B. Stapler- und Lkw-Verkehr, Rampe, Montageöffnungen der Geschosse)
- Ggf. weitere Parameter

Das Laborgebäude setzt sich aus folgenden Typen von Laboreinheiten zusammen:

1. 12/5-Standard-Labor (Regellabor mit 12 Stunden Arbeitszeit an 5 Wochentagen), außerhalb der Arbeitszeit wird bis auf Sonderabluft die gesamte Raumbelüftung abgeschaltet)
2. Dokumentationsflächen (Schreibarbeitsflächen mit sehr geringer oder ohne Zwangsbelüftung)
3. 24/7-Labor („Nachtlabor“)
4. Support Laborflächen für gemeinschaftlich genutzte Geräte
5. Support Laborflächen für Geräte mit hoher Abwärme (z.B. MS-Geräte, Tieftemperaturschränke, Kühlräume)

Diesem Ansatz liegt eine „normale“ Labornutzung (= nass-chemisches/biologisches/physikalisches Labor) zugrunde; größere Maschinen und Anlagen sollten möglichst in separaten Nutzungseinheiten nach ähnlichem Muster geplant werden.

Es sollte geprüft werden, ob eine optimale, weil effizient zu betreibende -Größe von Basis-Laboreinheiten (mit xy m²) angestrebt werden kann.

Mögliche Faktoren:

- Zu kleine Nutzungseinheiten => höhere Investitionskosten & höherer Regelungsaufwand
- Zu große Nutzungseinheiten => geringere Spareffekte bei nicht voller Auslastung („anschalten“, auch wenn nur eine Person arbeitet)

4.3.2 Nutzungskonzept

Gemeinsam mit den Nutzern (= Forschungsfunktionen) sollte das je nach Gebäudeauslastung erreichbare Optimum hinsichtlich (Labor-)Flächennutzung und Energieverbrauch angestrebt werden. Geräte und Flächen sollten gemeinschaftlich genutzt und nicht mehr „individuell“ für einzelne Forschungsfunktionen beschafft bzw. betrieben werden.

In diesem Zusammenhang stellt das „Shared Lab Konzept“ eine überzeugende Methode zur Minderung des Flächen- und damit Energiebedarfs dar und sollte flächendeckend eingeführt und umgesetzt werden. Bestehende bzw. realisierte Konzepte sollten regelmäßig überprüft, validiert und ggf. angepasst/optimiert werden.

4.3.3 12/5-Standard-Labor

Außerhalb der Arbeitszeiten (wochentags i.d.R. 18:00–6:00 Uhr, an Feiertagen und Wochenenden, individuell je Objekt zu definieren) wird die Lüftungsanlage vollständig abgeschaltet bzw. auf das technisch mögliche Minimum heruntergeregelt. Dafür muss Folgendes sichergestellt sein:

- keine Rückströmung aus den Abluftkanälen
- ggf. Sonderabluft für Gefahrstoffschränke
- kein Einfrieren der Heizregister bei Wiederanfahren
- kein unzulässiges Auskühlen oder Aufheizen des Gebäudes
- keine Gefährdung von Kontrollpersonal (Sicherheitsdienst nachts/Wochenende)

4.3.4 Dokumentationsflächen (Non-Lab Bereiche / Schreibräume)

Schreibräume und andere Flächen mit Laborbezug, die keinen Lüftungsanforderungen unterliegen, sollten abgetrennt sein, damit keine unnötigen Luftwechsel realisiert werden müssen.

Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

- A) Schreibräume eng an Labore angliedern (dabei ist ein entsprechendes Zonenkonzept zur Überströmung zu entwickeln). Gegenüber B) hat diese Lösung eine schlechtere Energiebilanz bei gleicher Labor-/Schreibraumkonstellation

oder

- B) Schreibräume gebündelt und vollständig getrennt von Laborbereichen. Schreibräume sind nur über schleusenähnliche Verbindungen an die Laboreinheiten angebunden (günstigere Energiebilanz, da unnötige Überströmungen und damit verbundene Druckverluste vermieden werden).

4.3.5 24/7-Labor („Nachtlabor“)

Bei einem überwiegend in Tagschicht betriebenen Laborgebäude sind wenige 24/7-Lüftungsbereiche („Nachträume“) vorzusehen; dort werden Anlagen gebündelt aufgestellt, die auch nachts bzw. am Wochenende laufen sollen. Je nach Forschungsprojekt müssen dort ggf. Geräte oder Prozesse in Abstimmung mit der HSE bzw. dem Betriebsingenieur/Laborleiter ausgetauscht werden können.

Es sind organisatorische (Absprache zwischen den Forschungsfunktionen oder z.B. „Buchungssystem“) und technische Vorkehrungen (z.B. Kopplung Trockenofen – Lüftung) zu treffen, um die 24/7-Räume bedarfsgerecht zu nutzen.

4.3.6 Support-Laborflächen für gemeinschaftlich genutzte Geräte

In den Laborbereichen wird sehr viel Equipment mehrfach vorgehalten, gewartet, geprüft, inventarisiert, ggf. repariert usw. Meist hat jedes Labor bzw. jede Laboreinheit einen „vollständigen Satz“ von Geräten und Anlagen, z.B. Spülmaschine, Waagen, Rührer etc. Diese Organisationsform bringt einen entsprechenden Raum- und letztlich Lüftungsvolumenbedarf jeder einzelnen operativen Laboreinheit mit sich.

Dieser Missstand lässt sich dadurch beheben, dass ein „Shared Equipment“-Konzept ausgearbeitet und für möglichst viele Laboreinheiten umgesetzt wird.

Ein theoretisches Beispiel ist die Einführung eines „zentralen“ Wiegebereichs: Wo vorher zehn Waagen im relevanten Laborbereich vorhanden waren, braucht es nur noch fünf, wenn die Waagen in einem Bereich zusammengeführt und dort von einer bestimmten Person technisch betreut werden. Die Nutzung steht allen Forschern im Bereich frei, es sind ggf. Abstimmungen zu den Nutzungszeiten notwendig.

4.3.7 Support-Laborflächen für Geräte mit hoher Abwärme

(z.B. MS-Geräte, Tieftemperaturschränke, Kühlräume)

Das Konzept sollte sich eng am Beispiel aus Kap. 0 orientieren.

Die Wärmeabfuhr sollte hier regelbar sein, um auf ggf. höhere oder geringere Bedarfe (z.B. durch an-/abgeschaltete Geräte und je nach Jahreszeit) bzgl. Wärmeabfuhr reagieren zu können.

5 Gebäudeausführung

5.1 Baukonstruktive Ausführung

Es ist von zentraler Bedeutung, während der Planungs- und der Errichtungsphase sicherzustellen, dass sämtliche konstruktiven Elemente des Gebäudes – Stützen, Decken, Träger, Wände, Unterzüge oder vergleichbare Strukturen – unter dem Gesichtspunkt einer optimierten Reduktion von CO₂ ausgewählt werden. Eine detaillierte Betrachtung ist nicht Gegenstand dieses Whitepapers.

5.2 Technische Gebäudeausstattung (TGA)

Generell sollte in der Planungs- und Errichtungsphase auch darauf geachtet werden, dass alle Elemente der TGA (z.B. energieoptimierte Motoren, Ventilatoren, Pumpen etc.) CO₂-optimiert ausgewählt werden.

Eine detaillierte Betrachtung ist nicht Gegenstand dieses Whitepapers.

Die derzeit als zentral identifizierte Fragestellung ist, wie der Gebäudebetrieb ausschließlich mittels regenerativ erzeugter Energie und dazu passender TGA (z.B. ggf. WRG, Wärmepumpen, Niedertemperatur-Kühl- bzw. Heizelementen, etc.) erfolgen kann.

5.3 Energieerzeugung /-speicherung vor Ort

Die Betrachtung dieses Themas ist nicht Gegenstand des Whitepapers, da nicht dem Gebäudebetrieb zugehörig.

Mögliche Maßnahmen (informative Stichwortsammlung):

- Photovoltaik-Anlage (Dach/Fassade/Fassadenmodule)
- Warmwasserkollektoren (Dach/Fassade/Fassadenmodule)
- Freie Kühlung
- Dachisolierung, Außendämmung, Erneuerung der Fenster (Verglasung)
- Verschattung

6 Gebäudeautomatisierung und betriebliche Steuerung

Die Automatisierung von Laboren gewinnt im Kontext von Energieoptimierung und Nachhaltigkeit immer mehr an Bedeutung. Ein wichtiger Aspekt, um den Energieverbrauch und die Betriebskosten dem Bedarf entsprechend zu regulieren, ist die Kommunikation zwischen Gewerken und Anlagenkomponenten über die Gebäudeleittechnik.

Damit eine hohe Automatisierung gewährleistet wird, sollte ein Gebäudemonitoring entsprechend VDI 6041 erfolgen.

6.1 IT und Datenübertragung zur Gebäudesteuerung

Mögliche Maßnahmen (informative Stichwortsammlung):

- Eine bedarfsgerechte und zeitnahe Regelbarkeit des Raumklimas und die (automatische) Überwachung der zugehörigen Kenngrößen und Kennlinien ist nur mit einer entsprechend ausgelegten IT-Infrastruktur möglich. Daher muss die zugehörige Informationsübertragungstechnik (Netzwerk) aufgrund der absehbar hohen Nutzungsanforderungen von Anfang an eingeplant werden und über eine sehr hohe Ausbaudichte und Qualität sowie ausreichende Reserven verfügen.
- Sofern sich in einem (Labor-)Gebäude Server bzw. Serverräume befinden, sind diese energetisch gesondert zu betrachten.
- Als nicht weiter ausgearbeitete technische Lösung sollten Wasserkühlung und Umluftkühltechnik als energetisch günstige Verfahren geprüft werden.
- Der Schutz vor Angreifern von außen (Hacker) ist ein besonders relevantes Thema, aber nicht Teil dieses Whitepapers.

6.2 Nutzerorientierte Steuerung des Laborbetriebs

Labornutzer sollten das Labor einfach (durch Taster/Schalter, ggf. Anruf) eigenständig an- und ausschalten können (Druckluft, Vakuumsystem, Beleuchtung, Be- und Entlüftung). Eine Betriebsanzeige sollte dabei möglichst gut sichtbar im jeweiligen Labor angebracht sein.

Davon ausgenommen sind Not- und Rettungssysteme, diese müssen ständig einsatzbereit sein.

Weitere ggf. mögliche Maßnahmen (informative Stichwortsammlung):

- Miniaturisierung von Versuchen zur Reduktion von Lüftungsanforderungen und Ressourcenschonung
- Simulation von Versuchen
- Auswahl und Einsatz von Geräten, die bzgl. Wärmeabgabe optimiert sind
- Bündelung von Laborbereichen mit gleichem Gefährdungspotential oder gleichen Anforderungen (Reinräume, Zwangs-Normklima).

6.3 Lüftung

Generell ist für den teilautomatisierten Betrieb (Hoch- bzw. Herunterfahren von Laboren) ein deutlich höherer Automatisierungsgrad besonders der Lüftungs- und Heizungskomponenten erforderlich als bei herkömmlichem Betrieb.

Die Anforderungen an die Automatisierung gehen dabei in zwei Richtungen:

Einerseits sollen die Anlagen hochautomatisiert auf die bekannten Einflussgrößen (Temperatur, Luftfeuchte, Einzelbedarf von Maschinen/Geräten) reagieren, andererseits soll der Nutzer möglichst einfach ausgewählte Bereiche „ein-“ und „ausschalten“ bzw. in gewissen Grenzen regeln können.

Zur Steuerung von Luftvolumina ist der Einsatz von Gefahrstoffsensoren hilfreich. Dafür ist eine Gefährdungsbeurteilung in Abstimmung mit der HSE erforderlich.

Zudem könnte eine künstliche Intelligenz künftig z.B. Wetter- bzw. Belegungsdaten mit der Gebäudeleittechnik verknüpfen. So ließe sich eine bedarfsgerechte Regulierung im Voraus ermitteln und die gesamten Anlagenkomponenten im Einklang miteinander steuern.

Empfohlen wird der Einsatz von energieeffizienten Filtern, da sie Differenzdruckverluste reduzieren können. Die Differenzdruckmessung kann dazu beitragen, die Standzeit der Filter zu optimieren.

Leckagen und Verluste sind unbedingt zu vermeiden. In dem Zusammenhang ist die Dichtigkeit der Kanäle kontinuierlich zu prüfen.

Be- und Entfeuchtung in Lüftungstechnischen Anlagen sollte nur dort vorgesehen werden, wo unbedingt nötig. Die Anlage muss bedarfsgerecht gesteuert werden können (Nachtabsenkung, Wochenendbetrieb). Wenn möglich und erforderlich, sollte die Luft nicht mit Dampf, sondern mit VE-Wasser befeuchtet werden.

Siehe auch Kap. 3.2.

6.4 Wärme und Kälte

Die Erzeugung und Verteilung von Wärme und Kälte kostet im Gebäudebetrieb sehr viel Energie. Um diesen Aufwand effektiv zu reduzieren, ist grundsätzlich eine Betrachtung des gesamten Gebäudes unter der Fragestellung „Wo ist Heizung/Kühlung zwingend erforderlich?“ sinnvoll.

Auch das CO₂-Potential des Kältemittels muss analysiert werden.

Ein Teil der Wärmeenergie lässt sich über Wärmerückgewinnung einsparen. Andererseits kann durch die Nutzung von Außenluft bei bestimmten Wetterlagen die technische Kälteerzeugung reduziert werden. Weitere technische Möglichkeiten (z.B. Eis- oder Pufferspeicher) können dabei helfen, die Kälteversorgung zu stabilisieren und Schwankungen im Bedarf auszugleichen.

Eine Standardmaßnahme ist der hydraulische Abgleich, der eine gleichmäßige Verteilung und Temperaturspreizung des Heiz- und Kühlwassers im Gebäude gewährleistet und damit potentiell den Energieverbrauch reduziert.

6.5 Sanitär

Generell sollte die Anzahl an Warmwasserzapfstellen (sowohl Trink- als auch Betriebs- bzw. Brauchwasser) so weit wie möglich reduziert werden. Warmwasserversorgung wird nur in begründeten Einzelfällen vorgesehen, beispielsweise bei Duschen.

- Es gibt keine generelle Ausstattung von Handwaschbecken mit Warmwasser, sondern nur dort, wo gesetzlich vorgeschrieben.
- Das Versorgungsnetz (Zirkulationsleitungen) für Warmwasser ist zu beschränken.
- Dezentrale Warmwasserversorgung als Basiskonzept, Zirkulationssysteme nur bei besonderen Anforderungen.

6.6 Druckluft und Vakuum

Druckluft- und Vakuumnetze sind generell anfällig für Leckagen und führen häufig zu nicht bemerkten Energieverlusten. Folgende Maßnahmen sollten berücksichtigt werden:

- Netzstruktur (Stränge, Absperrmöglichkeiten, Durchflusssensoren, automatisierte Drucküberwachung, Verwendung von Messmittel im Bypass)
- Überprüfung von Druckstufenanforderungen (Bedarfsermittlung und ggf. Anpassung, Überprüfung von Standards mit dem Ziel eines möglichst niedrigen Druckniveaus, beispielsweise 6 bar). Sofern unvermeidbar, lokale Erzeugung von Druckluft > 6 bar aus 6 bar Gebäudenetz.

6.7 Materiallagerung

Für den Forschungsbetrieb sollte eine zentralisierte Bevorratung von relevanten Verbrauchsmaterialien eingerichtet werden. Dadurch können Bestellvorgänge gebündelt, Transporte reduziert und Lagerflächen optimal genutzt werden. Lagerflächen sollten außerhalb des Laborbereichs liegen (Kosten/Luftwechsel).

7 CO₂-neutrale Energieerzeugung und -speicherung im und am Gebäude

Bei Neubauten und Bestandsgebäuden besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den Energiebedarf CO₂-neutral zu decken. Folgende Lösungen sind derzeit bekannt:

- Nutzung/Bezug von (zertifiziertem) Ökostrom
- Photovoltaik auf Dach, Fassaden, Freiflächen
- Solarthermie
- Windkraft
- Geothermie
- Wasserkraft
- Wasserstoff
- Batteriespeicher
- Warmwasser-/Kaltwasser-/Eisspeicher
- Wärmelatenzspeicher
- Bauteilaktivierung
- Wärme aus Abwasser oder Flusswasser

Sämtliche Technologien sollten bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit bezogen auf den Einzelfall geprüft werden.

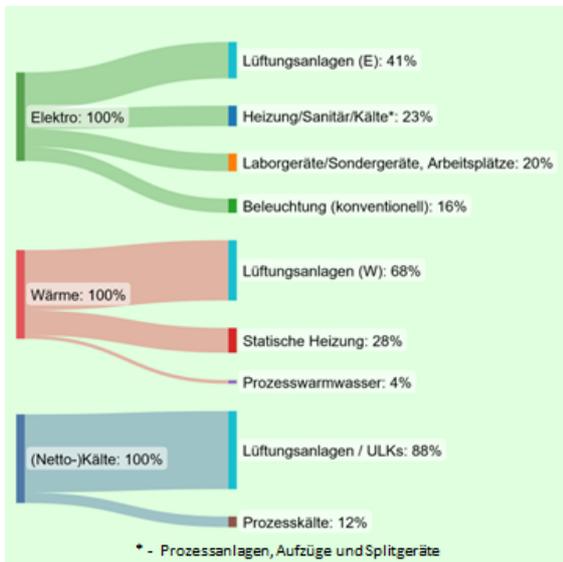
8 Fallbeispiele

8.1 Abschätzung des relativen Energieverbrauchs eines Muster-Laborgebäudes

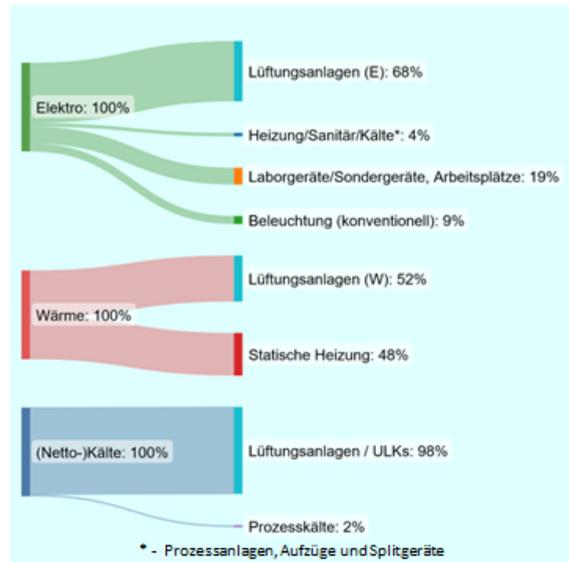
Zur Abschätzung der Wirksamkeit der beschriebenen Maßnahmen sowie generell als Basis für eigene Planungen wurde anhand der Werte des IFMA-Benchmarks ein Sankey-Energieflussdiagramm für ein Muster-Laborgebäude erstellt.

Als Input für das gemittelte Sankey-Diagramm lieferten zwei Unternehmen entsprechende Energieflussdiagramme. Die linke Seite der Sankey-Diagramme wird durch die im IFMA vorhandenen Daten spezifiziert: Elektro-, Wärme-, Kälteenergiemenge.

Die Kategorien, rechts im Diagramm, waren bei den beiden Unternehmen zunächst unterschiedlich aufgebaut, konnten aber in einen übereinstimmenden Satz von Kategorien überführt werden. Die Prozentwerte ergeben sich jeweils aus über mehrere Gebäude gemittelten Mess- bzw. Schätzwerten.

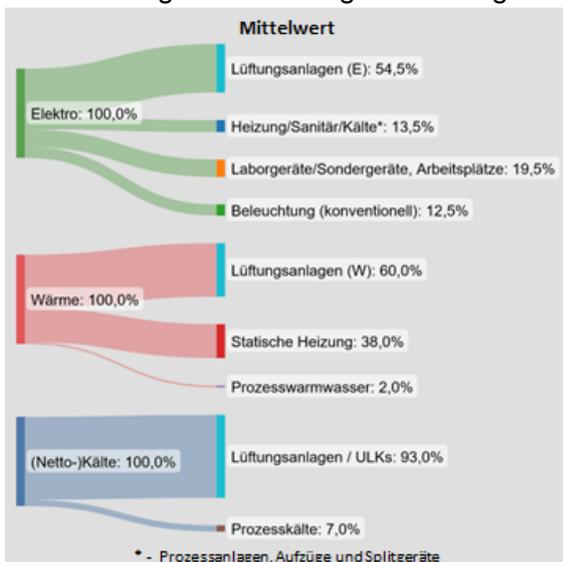


Energiefluss, Firma 1



Energiefluss, Firma 2

Gemittelt ergeben sich folgende Energieflüsse in dem Muster-Laborgebäude:



Energiefluss, gemittelt

Im Elektroenergiefluss sind, bis auf einzelne Splitgeräte, keine Energien für die Kälte-erzeugung vorhanden. Im Kältefluss wird nur die (Netto-)Kälte betrachtet, also die reine Kälte-energie, die im Gebäude verwendet wird, nicht z.B. die Strommenge, die zu ihrer Erzeugung erforderlich ist. Die gesamte Kälteerzeugung bleibt also unberücksichtigt.

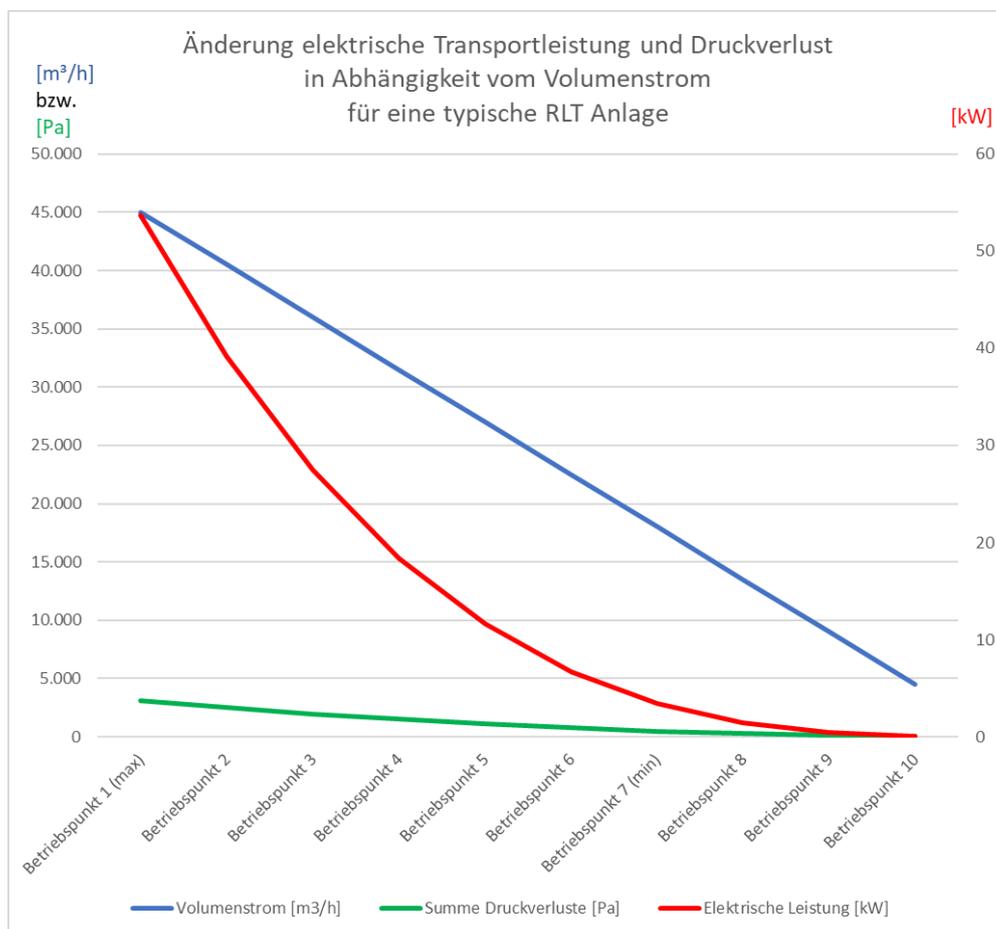
Mittels dieser Energieflussdiagramme können Ergebnisse von Maßnahmen abgeschätzt werden, auch wenn die Gebäudedaten nicht in der erforderlichen Detaillierung vorliegen.

Weitere der Abschätzung zugrunde liegende Annahmen sind:

- LEDs benötigen nur ca. 40% der Energie konventioneller Beleuchtung (T5/T8 Röhren).
- Der mögliche Solargewinn auf Dachflächen wird mit 180kWh/m²/a angenommen.
- Jedes Grad Temperaturreduktion im Winterhalbjahr ergibt eine Wärmeeinsparung von ca. 5-6%.
- Volumenstrom(ab-/zunahme) geht kubisch in den elektrischen Leistungsbedarf ein, Druck(ab-/zunahme) geht quadratisch in den elektrischen Leistungsbedarf ein, siehe Diagramm unten.

Daraus lassen sich Einsparmöglichkeiten leicht ableiten:

- Bestandsanlagen: Absenkung
- Neuanlagen



8.2 Verbrauch in ausgewählten Energiespar-Szenarien auf Basis eines durchschnittlichen Laborgebäudes

Ein Teilnehmer hat in Zusammenarbeit mit einem Labor- und einem TGA-Planer (Ingenieurbüro) mehrere Energiespar-Szenarien eines Laborgebäudes berechnet bzw. simuliert. Hauptziel war dabei die rechnerische Ermittlung möglicher Sanierungs-/Upgrade-Verfahren zur Herstellung von CO₂-Neutralität bei gleichzeitig maximierten, langfristigen Energieeinsparungen. Einzelaufgaben in den Szenarien waren dabei,

- das Einsparpotential des jeweils gewählten Modelles gegenüber dem Istzustand (unsaniert) zu berechnen und
- zu evaluieren, wie sich die Upgrade-Varianten gegenüber einem virtuellen Neubau nach aktuellem energetischem Standard verhalten.

Anhand der Ergebnisse kann – ausgehend vom jeweiligen Status – das weitere Vorgehen für eigene Gebäude abgeleitet werden.

8.2.1 Ausgangsbasis und Validierung

Ausgangsbasis (Szenario 0 „Altbau unsaniert“) ist ein reales Laborgebäude (bzw. ein Teil davon) mit den Verbräuchen gemäß den vorhandenen Energiezählern.

Dieses Gebäude wurde mit seinen relevanten Verbrauchern (z. B. Heizung, Lüftung) in einem Standard-Bausimulationsprogramm und unter Einberechnung seiner energetischen Gewinne und Verluste (z.B. Sonne, Konvektion, elektrische Verluste/Gewinne) abgebildet. Das Ergebnis wurde mit den entsprechenden IFMA-Werten verglichen und so validiert (vgl. Zeile „IFMA-Range“).

8.2.2 Gewählte Energiespar-Szenarien

Entsprechend den naheliegenden Möglichkeiten wurden vier weitere Energiespar-Szenarien (bzw. Varianten) definiert und mittels des o.g. Programmes simuliert:

No.	Gebäude	TGA
0.1	Altbau (Status quo) thermisch unsaniert	Heizung: Dampf 3,7 bar (abs)/(Status quo) RLT/Lüftung: unsaniert, Standardeinstellung (gem. Laborrichtlinie) Kühlung: Kaltwasser 6/12°C
0.2	Altbau (Status quo) thermisch unsaniert	Heizung: Dampf 3,7 bar (abs)/(Status quo) RLT/Lüftung: unsaniert, reduziert auf 6-fach (mit Risikobewertung) Kühlung: Kaltwasser 6/12°C
1	Altbau (Status quo) thermisch unsaniert	Heizung: Hochtemperatur-WP / (saniert) RLT/Lüftung: neu, reduziert auf 6-fach (mit Risikobewertung) Kühlung: Geothermie/freie Kühlung
2	Altbau thermisch saniert	Heizung: Dampf 3,7 bar (abs)/(Status quo) RLT/Lüftung: Standardeinstellung (gem. Laborrichtlinie) Kühlung: Kaltwasser 6/12°C + Photovoltaik
3	Altbau thermisch saniert (Neubaustandard)	Heizung: Geothermie/Niedertemperatur-WP RLT/Lüftung: neu, reduziert auf 6-fach (mit Risikobewertung) Kühlung: Geothermie + Photovoltaik
4	Neubau	TGA/RLT: komplett neu gemäß aktuellem Standard Kühlung: Geothermie, thermische Betonkernaktivierung in Büro- & Sozialräumen + Photovoltaik

Im Folgenden werden die Ergebnisse der nachfolgenden Tabelle erläutert. Themenbereiche sind wie folgt gekennzeichnet:

- Gelb:** Technische Auslegungsdetails
- Rot:** Heizen: Thermische (Ergebnis-)Daten
- Hellblau:** Raumkühlung: Thermische (Ergebnis-)Daten
- Dunkelblau:** Elektrische (Ergebnis-)Daten
- Grün:** Flächenbezogene (Ergebnis-)Daten
- Violett:** Hinweis zur Ergebnisvalidierung (Bezug: IFMA Daten)
- Blau:** CO₂ Reduktion

8.2.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Vorbemerkung:

Aufgrund der Komplexität der Analysen und der großen Anzahl von Einflussfaktoren kann nur eine ganzheitliche Betrachtung vorgenommen werden. Die Übertragung der Ergebnisse auf ein spezifisches Gebäude mit seiner Detailsituation ist mit der abgebildeten Tabelle nicht möglich, wohl aber eine prinzipielle Einordnung und relativ genaue Abschätzung von Möglichkeiten der energetischen Optimierung.

Einzelne Erkenntnisse sollen an dieser Stelle besonders hervorgehoben werden, da sie je nach Ausgangssituation für das eigene Vorgehen von besonderer Bedeutung sein können.

Alle Zahlen sind mit Toleranzen zu bewerten, da sie mittels Simulationsprogramm auf Basis von Annahmen, bekannten Werten und bewährten Rechenverfahren ermittelt wurden.

Bei den Kosten wurde nur der Gebäudebetrieb betrachtet, nicht die Aufwendungen für die Umstellung auf neue Anlagen und den Betrieb (z.B. Geothermie).

Erkenntnisse:

A) Validierung

- Szenario 0.1 und 2: Validierung Wärmebedarf, Zelle D28/32 und Zelle G28/32.
Der rechnerische Wert liegt jeweils gut im Bereich der IFMA-Durchschnittswerte.
- Szenario 0.1 und 2: Validierung Kältebedarf, Zelle D37/38 und Zelle G37/38.
Der rechnerische Wert liegt jeweils gut im Bereich der IFMA-Durchschnittswerte.

B) Energieeinsparung

- Szenario 0.2:
Gebäude und TGA unsaniert, Reduktion LW auf 6-fach
 - Dampfbedarf sinkt um 49% (Zelle E33), Strombedarf um 15% (Zelle E50).
 - Gesamt-Primärenergiebedarf sinkt um 34% (Zelle E67).
 - Kosten sinken um 39%.

=> Diese Maßnahme allein ist kostenbedingt langfristig nicht ausreichend. Die übergangsweise Verwendung sollte aufgrund der Kosteneffizienz geprüft werden.
- Szenario 1:
Gebäude: unsaniert; TGA: saniert + Geothermie
 - Dampfbedarf sinkt auf 0% (Zelle F33), Strombedarf um 19% (Zelle E50).
 - Gesamt-Primärenergiebedarf sinkt um 62% (Zelle F67).
 - Kosten sinken um 41%.

=> Diese Maßnahme allein ist kostenbedingt langfristig nicht ausreichend.
- Szenario 2:
Gebäude: saniert (Isolierung + Fenster); TGA: unsaniert + Photovoltaik
 - Dampfbedarf sinkt um 40% (Zelle G33), Strombedarf um 0% (Zelle G42).
 - Kosten sinken um 19%.

=> Diese Maßnahme allein ist nicht ausreichend.
- Szenario 3 (= Kombination Szenario 1 & 2)
Gebäude: saniert (Isolierung + Fenster); TGA: saniert (Geothermie, Photovoltaik, etc.)
 - Dampfverbrauch sinkt auf 0 (Zelle H33), Strombedarf sinkt um 33% (H50).
 - Kosten sinken um 61 %

=> Diese Maßnahme kann ausreichen.

- Szenario 4:
Gebäude: Neubau; TGA: neu (Geothermie, Photovoltaik, etc.)
 - Dampfverbrauch sinkt auf 0 (Zelle I33), Strombedarf sinkt um 36 % (I50).
 - Kosten sinken um 63%
- => Diese Maßnahme kann ausreichen.

Fazit:

- Die Sanierung der Außenhaut (Isolierung, Dach und Fenster) bzw. die Erneuerung der TGA unterstützen jeweils sehr stark, sind aber insbesondere langfristig nicht ausreichend.
- Die Reduktion der Luftwechselrate (und damit des Gesamt-Energieverbrauchs) kann eine prüfungswürdige Übergangslösung sein.
- Bei Erhalt des vorhandenen Gebäudes kann die Kombination der Maßnahmen Sanierung Außenhaut und Modernisierung TGA + Geothermie + Photovoltaik + Umstellung auf Ökostrom die Lösung sein.
- Neubau: Diese Maßnahme kann ausreichen, ist aber kostenseitig angesichts des geringen Vorteils gegenüber Szenario 3 abzuwägen.
- Voraussetzung für alle Lösungen ist die Verfügbarkeit von ausreichend und günstigem CO₂-neutral erzeugtem Strom. Ohne diesen können die Kosten immens steigen.

Ergebnistabelle

	A	B	C	D	E
1	Energiewerte		Variante	0.1	0.2
2	Untersuchung	Gebäude	Modellgebäude	Altbau unsaniert (Status Quo)	Altbau unsaniert, RLT reduzierte Lüftung, 6-fach tags, nachts und WE 20%)
3	Bedarf/Primär	Wärme/Kälte	Konzept	Dampf 4 bar/6-12	Dampf 4 bar/6-12
4	* Strom für Geräte wird separat behandelt	Gerätestrom ist in Bilanz Strom enthalten	Annahmen		Nachtragsvariante
5	* Strom für RLT wird separat behandelt	Luftförderung ist in Bilanz Strom enthalten	Fassade opak	Ungedämmt, U-Werte (W/m²/K) Betonfassade 3, Paneele 5,6	Ungedämmt, U-Werte (W/m²/K) Betonfassade 3, Paneele 5,7
6	Farbcodierung:		Dach	Dach Ist-Zustand, U-Wert ca. 0,62 (W/m²/K)	Dach Ist-Zustand, U-Wert ca. 0,62 (W/m²/K)
7	Technische Auslegung		Fassade transparent	2-fach Iso-Glas, U=2.8 W/m²/K	2-fach Iso-Glas, U=2.8 W/m²/K
8	Heizenergie		Fensteranteil	35%, kein Sonnenschutz	35%, kein Sonnenschutz
9	Kühlenergie		Lüftung Labor	8 facher LW (WRG 35%), DP 2000 Pa	6 facher LW (WRG 35%), DP 2000 Pa
10	Strom (mit RLT und Labortechnik)		Regelung	Kein reduzierter Betrieb	reduzierter Betrieb
11	Primärenergie		Lüftung Büro	Büro 3-fach LW	2-fach LW im Büro
12	CO ₂ -Bilanz		Innere Wärmelast Tags, (Nacht+WoE)	20, (8) W/m²	20, (8) W/m²
13	IFMA-Range		Sollwert Heizen/Kühlen (ArbStRichtlinien-gerecht)	21 °C, 23 °C	21 °C, 23 °C
14	Genauigkeit	Alle Angaben sind mit einem Fehlerbalken von ca. +/-10% behaftet	Umrechnungsfaktoren Energiebedarf -> Endenergie	Aufwandszahl Wärme aus Verbrauch COP Kälte aus Verbrauch	Aufwandszahl Wärme aus Verbrauch COP Kälte aus Verbrauch
15					
16	Bedarf Raumheizung	Heizenergiebedarf (Simulation)	kWh/m²/a	280	142
17	Heizwärme	Faktor Wärme	1/COP oder Aufwandszahl	1,5	1,5
18	Quelle			Dampf	Dampf
19	Endenergie	Heizenergiebedarf x Aufwandszahl	kWh/m²/a	420	214
20	IFMA-Range		kWh/m²/a	250 - 550	250 - 550
21	Prozentuale Einsparung	Heizenergie	%	0%	49%
22					
23	Bedarf Raumkühlung	Kühlenergiebedarf (Simulation)	kWh/m²/a	55	41
24	Zusatzbedarf (aus Lastkurve Kälte 2022)	Rückkühlung für Kühlschrankräume (derzeit ganzjährig über Turbo-Kältem.)	kWh/m²/a	70	70
25		Summe	kWh/m²/a	125	111
26	IFMA-Range		kWh/m²/a	ca. 100 - 150	ca. 100 - 150
27	Quelle			Kältemaschinen/Strom	Kältemaschinen/Strom
28	Kühlen	Faktor Kälte	1/COP	0,40	0,40
29	Strom Kälte	Faktor Kälte x Bedarf kühlung	kWh/m²/a	50,2	44,4
30	Prozentuale Einsparung	Strom für Kälte (Gebäude ohne Rückkühlung Kühlschränke)	%	11%	22%
31					
32	Strombedarf	Strom Wärme und Kälte	kWh/m²/a	50	44
33		Strom für Luftförderung (RLT)	kWh/m²/a	93	58
34		Strom für Geräte/Ausstattung	kWh/m²/a	139	139
35		Rückkühlung für Kühlschrankräume (derzeit ganzjährig über Turbo-Kältem.)	kWh/m²/a	28	28
36		Summe	kWh/m²/a	310	269
37	Prozentuale Einsparung		%	2%	15%
38					
39	Einsparung		%	0%	39%
40					
41					
42	Primärenergie	Faktor Strom (ca. EnEV)		2,0	2,0
43	Dampfheizung		kWh/m²/a	420	214
44	Strom Kälte/Wärme Gebäude + RK Kühlschränke	Strom x Faktor Strom	kWh/m²/a	100	89
45	Strom Luftförderung	Strom x Faktor Strom	kWh/m²/a	186	116
46	Strom Geräte in der Fläche	Strom x Faktor Strom	kWh/m²/a	139	139
47	Summe	Dampf/Strom	kWh/m²/a	846	557
48	Primärenergie	prozentuale Einsparung	%	0%	34%
49					
50	CO ₂ -Bilanz	Endenergieart	CO ₂ -Faktoren [g/kWh]		
51	Quelle: IWU Stand 2020	Erdgas für Dampferzeugung	230		
52	Stand: 2022, nach Reaktivierung der Kohlekraftwerke	Strom aus D-Kraftwerksmix (kein reiner Ökostrom)	420		
53	Dampferzeugung	Dampf mit Primärenergiefaktor	kWh/a	420	214
54	Stromverbrauch	Strom ohne PV	kWh/a	310	269
55	CO ₂ -Emissionen		kg/m²/a	227	162
56	Einsparung		%	0%	28%
57					

	F	G	H	I
1	Altbau unsaniert, RLT-neu (reduzierte Lüftung, nachts und WE 5%)	Altbau baulich saniert	Altbau, saniert (Neubaustandard), RLT neu (reduzierte Lüftung)	Neubau, mit thermischer Betonkernaktivierung im Bürobereich und in Sozialräumen
2	Hochtemperatur-WP/freie Kühlung/Geothermie	Dampf 4 bar/6-12	Niedertemperatur-WP/Geothermie	Niedertemperatur-WP/Geothermie
3				
4	Ungedämmt, U-Werte (W/m²/K) Betonfassade 3, Paneele 5,6	Altbau baulich saniert, U-Wert Fassade 0,23 W/m²/K	Altbau baulich saniert, U-Wert Fassade 0,23 W/m²/K	Neubau, U-Wert Fassade 0,23 W/m²/K
5	Dach Ist-Zustand, U-Wert ca. 0,62 (W/m²/K)	Dach 20 cm Dämmung, U-Wert 0,08 W/m²/K	Dach 20 cm Dämmung, U-Wert 0,08 W/m²/K	Dach 20 cm Dämmung, U-Wert 0,08 W/m²/K
6	2-fach Iso-Glas, U=2.8 W/m²/K 35%, kein Sonnenschutz	3-fach WSV-Glas, U=1.1 40%, kein Sonnenschutz	3-fach WSV-Glas, U=1.1 40%, kein Sonnenschutz	3-fach WSV-Glas, U=1.1 40%, außenliegender Sonnenschutz
7	6 facher LW (WRG 73%), DP 2000 Pa	8 facher LW (WRG 35%), DP 2000 Pa	6 facher LW (WRG 73%), DP 2000 Pa	6 facher LW (WRG 73%)
8	reduzierter Betrieb 2-fach LW im Büro	Kein reduzierter Betrieb Büro 3-fach LW	reduzierter Betrieb 2-fach LW im Büro	reduzierter Betrieb 2-fach LW im Büro
9	20, (8) W/m²	20, (8) W/m²	20, (8) W/m²	20, (8) W/m²
10	21 °C, 23 °C	21 °C, 23 °C	22 °C (Mo-Fr 7-19), 24-26°C (nach Aussenluft)	22 °C (Mo-Fr 7-19), 24-26°C (nach Aussenluft)
11	COP Wärme 2.5 , Kälte 20	Aufwandszahl Wärme aus Verbrauch COP Kälte aus Verbrauch	COP Wärme 3.5 , Kälte 30 (freie Kühlung)	COP Wärme 3.7 , Kälte 30 (freie Kühlung)
12				
13				
14				
15	117	169	80	56
16	0,4	1,5	0,29	0,27
17	Wärmepumpe/Strom	Dampf	Wärmepumpe/Strom	Wärmepumpe/Strom
18	47	253	23	15
19		250 - 550		
20	89%	40%	95%	96%
21				
22	47	71	70	55
23	70	70	21	21
24	117	141	91	76
25		ca. 100 - 150		
26	Geothermie/Strom	Kältemaschinen/Strom	Geothermie/Strom	Geothermie/Strom
27	0,05	0,4	0,03	0,03
28	5,8	56,6	3,0	2,5
29	90%	0%	95%	96%
30				
31				
32	53	57	26	18
33	38	93	38	38
34	139	139	139	139
35	28	28	8,4	8,4
36			vom System abhängig, das künftig für Rückkühlung zuständig sein soll; Annahme: Red. auf 30%	vom System abhängig, das künftig für Rückkühlung zuständig sein soll; Annahme: Red. auf 30%
37	258	317	211	203
38	19%	0%	33%	36%
39				
40	41%	19%	61%	63%
41				
42	2,0	2,0	2,0	2,0
43		253		
44	105	113	52	36
45	77	186	77	77
46	139	139	139	139
47	321	691	267	251
48	62%	18%	68%	70%
49				
50				
51				
52				
53	0	253	0	0
54	258	277	171	163
55	108	174	72	69
56	52%	23%	68%	70%
57				

8.3 Luftwechsel in Arbeitsräumen mit Gefahrstoffeinsatz (Beispieldokument eines Teilnehmers)

Zur Ermittlung des erforderlichen Luftvolumenstroms ist je Arbeitsraum das folgende Raumdatenblatt auszufüllen und entsprechend den genannten Gefahrstoffen einzustufen (Prozess der Gefährdungsbeurteilung).

Raumdatenblatt Erstelldatum: _____

Ausfüllhinweise: n.z. = nicht zutreffend x = Pkt. trifft zu Labor-/Produktionsleiter: _____ Betriebsingenieur /Betreiber der RLT /TPL/TPV/TPK _____ Site Safety _____

Zelle 1 Labor-/Produktionsleiter: _____

2

3 **Allgemeine Raumdaten und Anforderungen**

4 **Raum** **Arbeitszeit** (falls abweichend zu Regelarbeitszeit-Roche) **Raumkonditionen** (falls abweichend von ASR3.5)

5 Gebäude: _____ Raumnummer: _____ von Mo Di Mi Do Fr Sa So Temperatur: _____ bis _____ °C ± _____ K

6 Raumbezeichnung: _____ Raumtyp: _____ von 6:00 6:00 6:00 6:00 6:00 6:00 6:00 Uhr Feuchte: _____ bis _____ % r.F. ± _____ % r.F.

7 Raumfläche: _____ Raumhöhe: _____ Volumen: _____ bis 20:00 20:00 20:00 20:00 20:00 20:00 20:00 Uhr

8

9 **Anlagen- und Gerätedaten** (entspricht Messzustand)

10 **Lüftungsgeräte**

11 R&I DVS-Nr.: _____ Luftausfallüberwachung: _____

12 Sonstiges: _____

13 **Geräte und Einrichtungen im Mess- und Beurteilungszustand (bei komplexen Schaltungen separates Dokument)**

14 Anlagenzustand technisch sichergestellt (keine Eintragung in Zeile 15-20 erforderlich) **Detailbeschreibung:** _____ **Betriebsanweisung:** _____

15

	Laborabzug	Objekt/Behälter- absaugung	Sicherheits- werkbank	Zytostatika- werkbank	Isolator	Säure-/Lauge- schrank	Lösemittel- schrank	Umluftkühl- anlage	Sonstiges
Normalbetrieb	Anzahl Zustand								
Absenkbetrieb	Anzahl Zustand								

17

18

19

20

21

22 **Gefahrstoffnutzung** (Lagerort, Arbeitsweise, Umgang nur im Abzug)

23 **Tätigkeiten bzw. Arbeitsprozesse gemäß** **Ablageort** **Dokumenten-Nr.** **Quelldokument**

24 Gefahrstoffverzeichnis

Art	Einsatzort/ Beschreibung	Art	Einsatzort/ Beschreibung
KMR		erstickende Gase	
brennbare Stoffe/Gase		Dampf	
Biologische Gefahrstoffe		Gifte	
Säuren/ Laugen		Desinfektionsmittel	
		Sprühdesinfektion	
		Wischdesinfektion	

26

27

28

29

30

31

32

33

34 **Tätigkeitseinstufung auf Basis der Gefahren in Zeile 22 bis 32 und Rationalen gemäß Kapitel 3 IQS_SOP_PZ_12419_DOK_D im Normalbetrieb während der Arbeitszeit?** **gelb**

35 **Tätigkeitseinstufung auf Basis der Gefahren in Zeile 22 bis 32 und Rationalen gemäß Kapitel 3 IQS_SOP_PZ_12419_DOK_D im Absenkbetrieb außerhalb der Arbeitszeit?** **gelb**

36

37 **Weitere Gefahrenquellen und Anforderungen**

38 **Tätigkeiten bzw. Arbeitsprozesse gem.:** **Ablageort** **Dokumenten-Nr.** **Dokumentenbezeichnung** **Volumenstromanforderung**

	Ablageort	Dokumenten-Nr.	Dokumentenbezeichnung	Normal	Absenkt
Schutzstufe Labor (z.B. GenTG, BioStoffV, IfSG, TierSEV) Schutzstufe:			Gefährdungsbeurteilung BioStoffV / RA nach GenTG		m³/h
Chemisches Labor	SAP DVS		Gefährdungsbeurteilung		m³/h
Isotopenlabor (Radionuklidlabor, StriSchV) Gefahrengruppe:	SAP DVS		Gefährdungsbeurteilung		m³/h
Betriebs sicherheitsV (BetrSichV) EX-Zone (Gas/ Dämpfe):	SAP DVS		Explosionsschutzdokument		m³/h
EX-Zone (Staub):					m³/h
n.z. K16 Kataster	SAP DVS	K16-Kataster			m³/h
SONSTIGE:					m³/h
SONSTIGE:					m³/h

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49 **SHE-Lüftungsanforderungen**

50 **Mindest-Volumenstromanforderungen auf Grund weiterer Gefahrenquellen gemäß Zeile 24 bis 32 im Normalbetrieb?** m³/h

51 **Mindest-Volumenstromanforderungen auf Grund weiterer Gefahrenquellen gemäß Zeile 24 bis 32 im Absenkbetrieb?** m³/h

52 **Volumenstrom aufgrund weiterer Gefahrenquellen 40 bis 47 im Normalbetrieb** m³/h

53 **Volumenstrom aufgrund weiterer Gefahrenquellen Zeilen 40 bis 47 im Absenkbetrieb** m³/h

	entspricht Luftwechsel	entspricht flächenbezogenem Volumenstrom	Volumenstrom (gerundet)
Nachzuweisender SHE-Volumenstrom im Normalbetrieb	1/h	m³/(h*m²)	m³/h
Nachzuweisender SHE-Volumenstrom im Absenkbetrieb	1/h	m³/(h*m²)	m³/h

55

56

57 Anrechenbarer Volumenstrom muss den Kriterien gemäß IQS_SOP_PZ_12419_DOK_D entsprechen und frei von Schadstoffen sein!

58 Nachweis des Volumenstrom erfolgt durch _____ Zuluft _____ oder _____ Abluft _____

59

60 **Weitere Lüftungs-Anforderungen - Nachweis über separate Messung, ggf. Abgleich erforderlich**

61 **Tätigkeiten bzw. Arbeitsprozesse gem.:** **Ablageort** **Dokumenten-Nr.** **Quelldokument**

	Ablageort	Dokumenten-Nr.	Quelldokument
Thermische Lasten werden über RLT abgeführt	SAP DVS		Heizlast/Kühlalstberechnung
Anforderungen Reinraum (IQS_SOP_PZ_04319_DOK_D oder Bereichsspez.)	SAP DVS		Zonenplan/Filterplan/Testspezifikation
SONSTIGE:			

62

63

64

65

66 **Überströmungen aufgrund SHE-Anforderungen**

67 Es bestehen Anforderungen an Überströmungen Anforderungen resultieren aus Zeile: _____

68 Überströmung von _____ Überströmung nach _____

69

70 **Sonstige Angaben**

71

72

73

74 entfällt bei DVS Workflow

75 Name _____

76 Datum/Unterschrift _____

77 (Labor-/Produktionsleiter) _____ (Site Safety) _____ (Betriebsingenieur/Betreiber der RLT /TPL/TPV/TPK) _____

78

79

80 **History**

Datum	Wer	Was	Wo
		Erstellung, Eingabe Grunddaten	Lüftung, Sicherheit, Allg. Raumdaten, Gefährliche Stoffe

81

82

83

84

85

86

87

8.4 Auswertung der Angaben zum Themenbereich „Haustechnische Anlagen“ im IFMA-Benchmarking

			Anteil der „Ja“-Antworten	
			Büro	Labor
Haustechnische Anlagen				
Dauer des Standby-Betriebs	Mo-nate (m)	1 Labor: 12 m; 1 Labor: 3m; 4 Labore: 1m; 5 Büros: 1m		
Überwiegend 24h Betrieb	j/n		21%	68%
Besitzt das Gebäude eine bedarfsgerechte automatisierte Lüftungs- und Temperaturregelung?	j/n		35%	68%
Gründe, warum die lufttechnischen Anlagen in diesem Gebäude außerhalb der Betriebszeiten nicht vollständig ausgeschaltet werden:				
<i>Häufiges An- und Abschalten erhöht den mechanischen Verschleiß und verkürzt damit die Lebensdauer der Maschinen und Anlagen</i>	j/n		11%	21%
<i>Unterbrechung zu kurz (stabiler Betrieb lässt sich nicht ausreichend schnell wieder herstellen)</i>	j/n		7%	11%
<i>nächtlicher Betrieb (z.B. Notdienst, Rundgänge, Schichtdienst)</i>	j/n		7%	34%
<i>Produktschutz (z.B. offener Umgang mit Substanzen)</i>	j/n		3%	42%
<i>Ex-Schutz (aufgrund fehlender Verdünnung)</i>	j/n		5%	37%
<i>Tierschutz (Tierhaltung)</i>	j/n		0%	12%
<i>Infektionsschutz (Übertragung von Krankheitserregern durch Raumluft)</i>	j/n		3%	7%
<i>Abwärme von nachts laufenden Geräten (Raumtemperatur wird zu hoch)</i>	j/n		20%	60%
<i>Es gibt keine eigenständige Sonderabluft (allg. Abluft entlüftet auch Gefahrstoff- oder Lösungsmittelschränke)</i>	j/n		30%	40%
<i>Raumluftsteuerung lässt sich nicht (einfach) verändern</i>	j/n		7%	24%
<i>Rechtlich nicht zulässig (z.B. Druckhaltung gem. Genehmigungsbeseid, Verordnungen)</i>	j/n		8%	26%
<i>Intern nicht zulässig (HSE-Regeln)</i>	j/n		10%	33%
<i>Entspricht nicht der Kultur, nicht gewünscht</i>	j/n		3%	9%
<i>Umsetzung organisatorisch zu aufwendig</i>	j/n		5%	21%
<i>Schaden am Gebäude (z.B. Frostschutz)</i>	j/n		21%	24%
<i>Bis dato nicht betrachtet</i>	j/n		3%	9%
Temperaturänderung nachts und WE (statische Heizung)	j/n		84%	71%
Temperaturänderung nachts und WE (Lüftung)	j/n		50%	55%
Nachtreduktion der Luftmengen	%	Büro: 21x100%; 70%; 60%; 2x50%; 30%; 10% Labor: 2x100%; 70%; 65%; 4x60%; 14x50%; 3x30%;20%; 8x10%; 6%		
Luftstrommengenerfassung vorhanden?	j/n		25%	49%
Luftmengenähler strangweise vorhanden?	j/n		10%	18%
Einzelraum- bzw. Raumgruppensteuerung vorhanden	j/n		70%	89%

(Bezugsjahr 2022)

9 Quellen

1	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Laborgebäude BNB_LN 4.1.7 / Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
2	VDI 6041: Facility-Management - Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen (2017-07)
3	VDMA 15391-1: Wirtschaftliche und sichere Druckluftverteilung – Teil 1: Planung und Neubau (2020-05)

10 Impressum

Benchmarking Roundtable:

IFMA BENCHMARKING®
Industrielles Facility Management

Vertreten durch die Sprecher:

Jörg Petri
(Bayer AG)
Hermann-Josef Rottkemper
(Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG)

Autoren des Whitepapers:

Thomas Herweg (Bayer AG)
Kai-Uwe Thorn (Covestro Deutschland AG)
Thilo Brockschmidt (Merck Real Estate GmbH)
Dr. Stefan Krause (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH)
Nikolai Schütz (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH)

Benchmarking-Koordinator und Herausgeber:

BAUAKADEMIE
Performance Management GmbH
Berlin

BAUAKADEMIE
Performance Management GmbH
Alexanderstraße 9
10178 Berlin
+49 30 – 54 99 75-0
info@bauakademie.de
www.bauakademie.de
www.benchlearning.de

© Copyright 2023

Alle in diesem Whitepaper veröffentlichten Texte, Tabellen und Abbildungen dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers nachgedruckt, veröffentlicht oder in elektronischen Medien publiziert werden. Zuwiderhandlungen werden vom Herausgeber rechtlich verfolgt.

IFMA BENCHMARKING

// CHEMIE, PHARMA, LIFE SCIENCE



BAUAKADEMIE
Performance Management

Herausgegeben von:

BAUAKADEMIE
Performance Management GmbH
Alexanderstr. 9
10178 Berlin



Die BenchLearning Community® ist eine Gemeinschaft von Unternehmen, die zum gegenseitigen Nutzen und unter Wahrung der wettbewerbsrechtlichen Grundsätze zusammenarbeiten. Sie wird betrieben von und ist eine geschützte Marke der BAUAKADEMIE Performance Management GmbH in Berlin.