

*Günther Weigle

Höchste Anforderungen an Reinraumfassade

REINRAUM- FASSADE



Der Reinraum ist üblicherweise ein Raum im Raum. Nicht so bei den Bauten der Fassaden-Ingenieure IFM aus Bietigheim-Bissingen. Seit 2008 entwickeln und realisieren sie gemeinsam und unter Federführung der Stuttgarter Generalplaner und Industriearchitekten Koppenhöfer & Partner Projekte für die pharmazeutische Industrie. Merkmal dieser Bauten: Die Aussenfassaden wurden als direkte Umfassungswände von Reinräumen der Klasse C ausgeführt.

* Günther Weigle
Geschäftsführer
IFM GmbH
D-74321 Bietigheim-Bissingen

Der Autor erklärt in folgendem Beitrag, welche Anforderungen Reinraumfassaden erfüllen müssen, welchen Mehrwert sie für den Nutzer bereit halten und wie sich in ihnen gute Architektur widerspiegeln kann.

Eine Reinraumfassade, was ist das eigentlich?

Reinräume sind hochsensible Einrichtungen, bei welchen zwingend extrem hohe Reinheitsanforderungen an Lüftung und Umgebung erforderlich sind, denn durch Verunreinigungen in der Luft könnten folgenschwere Schäden am Produkt entstehen oder die Arbeit in diesen Räumen könnte negativ beeinträchtigt werden. Es muss daher sichergestellt werden, dass beim Umgang mit problematischen Stoffen in der Forschung und Produktion die Umwelt- bzw. Raumumgebung möglichst keinen Belastungen ausgesetzt ist. Um diesen Zweck zu erfüllen, werden so genannte Reinräume eingesetzt.

An die Raumphülle oder auch Fassaden solcher Reinnräume bestehen sehr hohe Anforderungen, insbesondere an die dauerhafte Luft- und Schlagregendichtheit auch bei extremen Witterungsbedingungen und schwerem Sturm mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 160 km/h. Hier sprechen wir von so genannten reinraumgeeigneten Fassaden oder auch von Reinraumfassaden.

Hochhaus- und Reinraumfassade – welche Unterschiede gibt es?

Beide Fassadentypen haben bezüglich der Luftdichtheit und Schlagregensicherheit sehr hohe Anforderungen zu erfüllen. Erst bei näherer, fachtechnischer Betrachtung ist jedoch ein grosser Unterschied erkennbar.

Bei einem schweren Sturm mit Windgeschwindigkeiten von 100 bis 160 km/h entsteht auf einer Gebäudefassade ein Winddruck von 600 bis 1200 Pa und an den Gebäudeecken und Dachrandbereichen eine noch grössere Windsoogbelastung. Diese grossen Windkräfte werden

1 Ansicht Fassade

2 Grossprüfstand Dichtigkeit (SCHÜCO Technologiezentrum)

3 Montage Edelstahlkonsolen

4 Dichtheitsprüfung (SCHÜCO Technologiezentrum)

5 Elementmontage



2



3

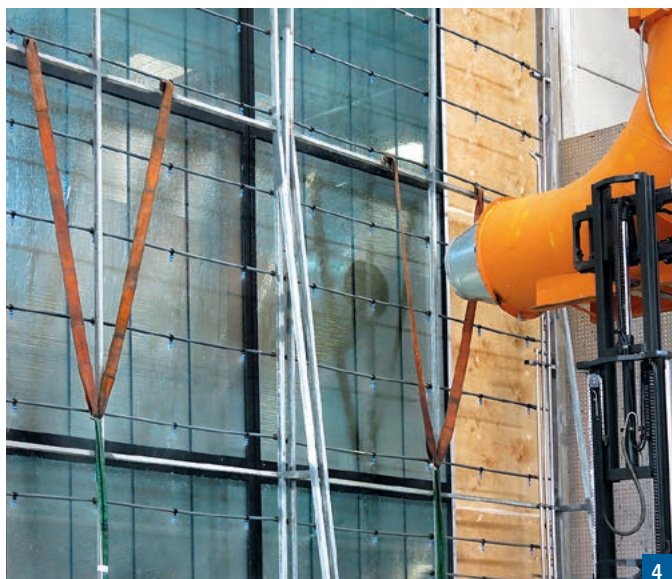
zwar bei der Tragwerksplanung und statischen Bemessung eines Gebäudes und der Bauteile, so auch der Fassadenelemente, konstruktiv berücksichtigt. Jedoch führt eine zunehmende Windbelastung zu einer steigenden Infiltration der Aussenluft ins Gebäudeinnere bzw. im Sogbereich zum Austritt der Innenluft durch die Fassadenfugen nach aussen.

Bei der Auslegung und Bemessung von Wärmeschutzmassnahmen, Heizungs- und Klimaanlage wird die Infiltration bei den durchzuführenden bauphysikalischen u. klimatechnischen Berechnungen durch ein eindeutig definiertes Regelwerk angemessen berücksichtigt. Diesbezüglich gelten für alle Gebäude, egal ob Hochhaus oder Pharmafabrik, dieselben Regelwerke bzw. Anforderungen.

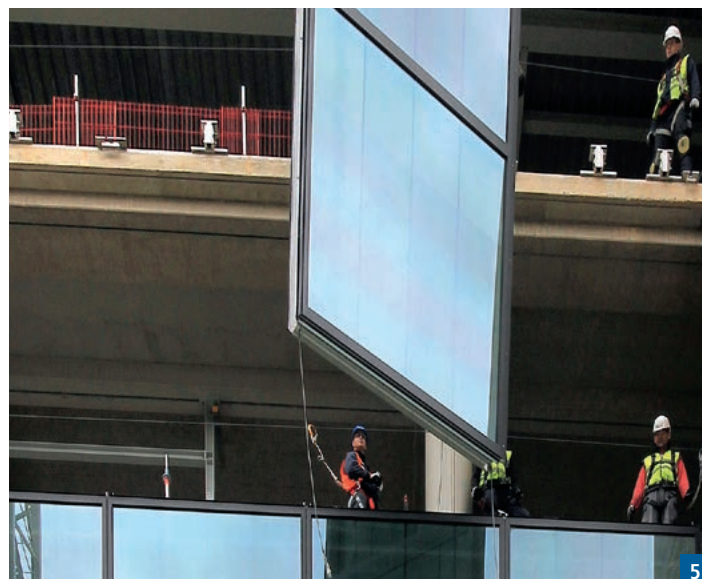
Bei Gebäuden mit Reinraumanforderungen verursacht die Infiltration jedoch zusätzlich eine Kontamination. Denn mit der eindringenden Aussenluft werden die darin dispergierten Aerosolteilchen (Feinstaubteilchen) in das Gebäude transportiert. Es gibt aber derzeit bezüglich des «Partikeltransports durch die Fassadenfugen und der daraus resultierenden Reinraumeinflüsse» kein eindeutiges und aussagefähiges Regelwerk. Hier liegt genau die Schwierigkeit und der wesentliche Unterschied: Bei einer Reinraumfassade ist gegenüber einer Hochhausfassade bzw. einer normalen Gebäudehülle eine wesentlich geringere bzw. keine Infiltration und/oder Kontamination tolerierbar.

Grundsätzlich ist es so, dass die Kontamination mit zunehmender Undichtheit einer Fassaden- oder Reinraumhülle relativ stark zunimmt. Die Umweltbedingungen oder genauer gesagt der Grad der äusseren Luftverschmutzung / Aerosolanteile in der Aussenluft kann die Kontamination von aussen nach innen dazu hin noch wesentlich verstärken. Während bei einer absolut luftdichten Hülle keine Kontamination über die Umfassungshülle – auch bei sehr grosser Luftverschmutzung aussen – auftreten kann

Nach den bekannten Erfahrungen und technischem Kenntnisstand im Reinraumsektor haben in der Vergangenheit durchgeführte Messungen und Überprüfungen der Luftdichtheit von Reinräumen immer wieder gezeigt, dass die Raumhüllen der gemessenen Reinräume oftmals hochgradig luftdurchlässig, d.h. undicht waren. Die Mehrheit der Reinraumspezialisten ging deshalb bisher davon aus, dass die Aussenfassaden eines Gebäudes luftdurchlässig, d.h. undicht seien, und aufgrund einer daraus resultierenden erhöhten Kontaminationsgefahr durch Infiltration als direkte Umfassungswände für Reinräume zu risikoreich bzw. nicht geeignet seien.



4



5

Deshalb setzte sich letztendlich eine aufwendige Raum-in-Raum-Bauweise durch, d.h. die Reinnräume werden umlaufend mit vorgelagerten Luftgängen als Schutzbarrieren gegen eine direkte Kontamination bzw. Partikeleinwirkung geplant und ausgeführt.

Der Mehrwert für Bauherr und Nutzer

Die Raum-in-Raum-Bauweise verkörpert aus einer verständlichen Unsicherheit heraus sozusagen «Gürtel und Hosenträger». Wenn jedoch weder die direkte Reinnraumhülle noch die äussere Fassade eine hohe Luftdichtheit aufweisen, wird das Gebäude zunächst über die Aussenfassade kontaminiert und von dort dann über die Reinnraumhülle. Um dies auszuschliessen, wird im Reinnraum selbst z.B. durch einen permanenten Überdruck von bis zu 30 Pa und einem mindestens bis zu 40-fachen Luftwechsel einschliesslich einer entsprechenden Luftfilterung ein grosser klimatechnischer Aufwand betrieben.

Reinnraumtechnisch wesentlich günstiger ist natürlich eine Bauweise bzw. Lösung, bei der über eine sichere, hochdichte Aussenfassade Kontaminationen über diesen Bereich erst gar nicht stattfinden können bzw. so stark minimiert werden, dass die zweite innere Hülle bzw. der Schutzpuffer entfallen kann. Daraus resultiert auch ein wesentlich wirtschaftlicherer Ansatz, da der umbaute Raum bzw. die BGF, ja letztlich die Bau- und Betriebskosten für Reinnraumgebäude deutlich reduziert werden können.

Dies erfordert jedoch, dass die Reinnräume direkt an der Aussenfassade des Gebäudes angeordnet werden können. Die Aussenfassade

avanciert sozusagen zur luftdichten Hülle des Reinnraums bzw. zur Reinnraumfassade mit besonders hohen bautechnischen, bauphysikalischen und reinnraumspezifischen Anforderungen. Hierbei ist die unabdingbare zwingende Voraussetzung, dass die umfassende Reinnraumfassade – auch bei extremen Witterungsbedingungen – eine eindeutig quantifizierte und sehr hohe Luftdichtheit dauerhaft gewährleistet – und dies unter Berücksichtigung aller spezifischen Objekt-, Umgebungs- und Prozessbedingungen.

Reinnräume liegen in diesem Fall also direkt an der Gebäudehülle. Die Fassade avanciert sozusagen zur luftdichten Hülle des Reinnraums mit besonders hohen bauphysikalischen Anforderungen. Voraussetzung ist aber, dass die Reinnraumfassade dauerhaft eine eindeutig quantifizierte und sehr hohe Luftdichtheit gewährleisten kann – und dies selbst bei extremen Witterungsbedingungen sowie unter Berücksichtigung aller spezifischen Objekt-, Umgebungs- und Prozessbedingungen.

Reinnraumfassaden lassen sich als grossflächig verglaste Elementfassaden realisieren. Im Zusammenspiel mit einem guten Lichtlenksystem erscheinen so die Innenräume lichtdurchflutet und hell; dies wertet den Arbeitsplatz auf und trägt zu einer hohen Nutzerzufriedenheit bei. Die natürliche Belichtung reduziert den Kunstlichteinsatz und spart somit Energie.

Definition Reinnraum

Ein Reinn- oder Reinnraum ist ein Raum, in dem die Konzentration luftgetragener Teilchen so gering wie nötig gehalten wird.

Reinn- und Reinnräume werden für spezielle Herstellungsverfahren vom Gesetzgeber vorgeschrieben und dort eingesetzt, wo in gewöhnlicher Umgebungsluft befindliche feinste Partikel die Produktionsabläufe und Produktqualität stören würden. Reinnräume werden z. B. in der pharmazeutischen Industrie, in der Optik- und Lasertechnologie, der Luft- und Raumfahrttechnik, den Biowissenschaften und der medizinischen Forschung und Behandlung, der Forschung und keimfreien Produktion von Lebensmitteln und Arzneimitteln und in der Nanotechnologie eingesetzt.

Die Anzahl luftgetragener Teilchen, die in den Reinnraum gelangen oder entstehen können, müssen so gering wie möglich sein.

Bei der Herstellung pharmazeutischer Produkte zum Beispiel muss je nach Anforderung die Partikelanzahl und auch die Anzahl der Keime überwacht werden. Andere Anforderungsparameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck müssen der Regel ebenfalls geregelt werden, um die notwendigen Raumbedingungen sicherzustellen.

Hierbei werden diverse Verfahren und Bauweisen angewendet, welche zum einen verhindern, dass unerwünschte Partikel in die Luft gelangen können und zum anderen durch den Prozessablauf im Reinnraum entstehende Partikel wieder entfernt werden.

Im Reinnraum eingesetzte Materialien müssen aus abriebfesten Oberflächen bestehen. Anlagen, Geräte und Bauteile dürfen die laminare Luftströmung nur minimal stören. Sämtliche Materialien, Maschinen und sonstige Stoffe, die in den Reinnraum gebracht werden, müssen zuvor gereinigt werden. Ein Reinnraum wird im Regelfall

mit Überdruckbelüftung betrieben, um zu verhindern, dass über Undichtheiten der Reinraumhülle Partikel eindringen können. Es gibt aber auch Reinnräume mit Unterdruckbelüftung um umgekehrt zu verhindern, dass z. B. gefährliche Substanzen oder Krankheitserreger nach aussen dringen können.

Die verwendeten Verfahren und Anlagenarten der Klimatechnik müssen sicherstellen, dass Verunreinigungen sofort aus der Luft entfernt werden. Dazu wird eine turbulenzarme Verdrängungsströmung (Laminarströmung, engl. laminar flow) genutzt. Zusammen mit einer in der Regel mehrstufigen Filterung und grossem Luftdurchsatz wird die Reinheit der Luft sichergestellt. Reinnräume und Reinnluftanlagen werden in Übereinstimmung mit der Norm EN ISO 14644-1 eingeteilt. Die Klassifizierung sollte deutlich von der Überwachung der Umgebung im Betriebszustand abgegrenzt werden. Die maximal erlaubte Zahl von Partikeln pro m³ Umgebungsluft für jede Reinheitsklasse zeigt untenstehende Tabelle.

Eigenschaften und generelle Anforderungen an Reinnraumfassaden

Die Fassade als thermische Hülle des Gebäudes hat neben den sehr hohen bauphysikalischen und bautechnischen Anforderungen folgende Zusatzfunktionen zu übernehmen, um als reinnraumtauglich eingestuft werden zu können.

- Sehr hohe Luft- und Fugendichtheit sowohl von innen nach aussen als auch von aussen nach innen – auch bei extremen Witterungsbedingungen, siehe Bilder 1–2.
- Grossformatige glatte und schmutzabweisende Verglasungen und Fassadenoberflächen innen, schmutzabweisende Beschichtungen, polierter Edelstahl.
- Innen keine Profilversätze, horizontalen Projilerungen, Glasleisten, und Versprünge, so dass keine Staubablagerungen möglich sind.
- Minimaler Fugenanteil, flächig, leicht zu reinigen, alle Materialien abriebfest.
- Innenfassade reinigungsmittel- und desinfektionsmittelresistent
- Absolut kondensatfreie Innenfassade

- Permanente dauerhafte Funktionsgarantie aller bauphysikalischen, bautechnischen und reinnraumspezifischen Anforderungen zur Erzielung einer sehr hohen Prozesssicherheit z.B.
- Wartungsfreie und wartungsarme Bauteile
- Reparaturverglasung ohne grössere Störung des laufenden Reinnraumbetriebes
- voll funktionsfähiger Sonnenschutz, auch bei starken Windböen und Sturm
- Die raumhohen Verglasungen mit integriertem Sonnenschutz-Lichtlenksystem gewährleisten eine besonders gute Rauntiefenausleuchtung
- Bereitstellung von Tageslicht für die Arbeitsbereiche durch Lichtlenkung nach innen, Sichtverbindung nach aussen
- Rammschutz innen, da in der Regel Produktionsbereiche, Staplerverkehr
- Grosse Einbringöffnungen für Anlagen und Apparate, in der Regel 2 Grundrissraster breit, geschosshoch – auch nach der Montage im Betrieb einsetzbar
- Der Lifecycle des Gesamtfassadensystems beträgt bei fachmännischer Wartung mindestens 40 Jahre

Reinnraum-Fassaden-System mit allerhöchsten Qualitätsanforderungen

Grundsätzlich ist eine sehr hohe Ausführungsqualität der Fassade unabdingbar. Die Fassadenelemente müssen bereits im Betrieb reinnraumgerecht hergestellt werden. Modulares Prinzip, Elementsystem, siehe Bild 4 als Aluminium- oder Edelstahl-Elementfassaden. Sie werden vollständig im Werk in Serie hergestellt. Die Fassadenprofile sind hochwärmegedämmt und innen absolut kondensatfrei, sämtliche Materialien und Werkstoffe nicht korrodierend und mit sehr hohen Qualitätsanforderungen. Resistenz aller Materialien und Oberflächen gegen Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Hochdichtes EPDM-Dichtungssystem für alle Ausfachungen, reinnraumgerecht. Elementdichtungen mit Edelstahlarmerungen als Widerstand gegen mechanisches Durchstossen.

Sehr hohe Luftdichtheitswerte sowohl bei Windstaudruck und Windsog $\leq 0,01$ bis max.

$0,05 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ bei einem Prüfdruck $p_{\text{stau/Sog}}$ bis 1200 pa (ca. 160 km/h) und mehr.

Strenge Dichtheitsprüfungen, Prototypenprüfungen mit Originalelementen und Prototypenabnahmen, siehe Bilder 2 u. 4. Edelstahl-Präzisions-Verankerungssysteme und Mehrfach-Dichtungs-Kopplungssysteme, siehe Bild 3.

Sehr hohes Qualitätssicherungssystem, durch ein konsequentes und sehr strenges Qualitäts- und Bauüberwachungsmanagement in allen Bereichen, welches durch reinnraum erfahrene Fassadeningenieure in Kooperation mit allen Planungsbeteiligten, dem Fassadenbauer und Projektleitung erfolgen muss.

Die Montagearbeiten auf der Baustelle müssen auf ein Minimum reduziert werden. Das Risiko von Montagefehlern und Qualitätseinschränkungen muss durch den Einsatz von qualifiziertem Montagepersonal und einer durchdachten, durchgängigen Montage- und Logistikplanung ausgeschlossen werden können, siehe Bild 5. Permanente Bauleitungsüberwachung durch geschulte Reinnraumfassadenbauleiter in der Montage.

Grundsätzlich sind nur hochleistungsfähige Fassadenbauer mit Reinnraumfassadenerfahrung geeignet. Hier sind strenge Eignungsprüfungen eine unabdingbare elementare Voraussetzung. Der Fassadenbauer muss sicherstellen, dass im Fertigungsbetrieb optimale Arbeitsbedingungen herrschen und hoch qualifiziertes Personal eingesetzt wird.

Die momentanen Entwicklungen und realisierbaren Kontrollmechanismen eröffnen durchaus die Möglichkeit zukünftig auch Fassaden als direkte Umfassungswände von Reinnräumen der Klasse B, auszuführen.

Der gestalterische Anspruch

Die wesentlichen architektonischen Elemente wie die Gebäudegeometrie und insbesondere die Fassadengestaltung wie die Rasterteilung, der prozentuale Anteil an geöffneten und geschlossenen Flächen oder die Wahl der Materialien sind zum Grossteil ein Abbild der sehr hohen funktionalen Reinnraum- und Prozessanforderungen. Das heisst: Nicht die Architektur, sondern der Prozess gibt diese weitgehend vor.

Die Pharma-Produktionsgebäude, die gemeinsam mit Dieter Dresing von Koppenhöfer & Partner Architekten realisiert wurden, spiegeln mit ihren Reinnraumfassaden eine anspruchsvolle Glasarchitektur wider. Sie sind sozusagen im «Licht und Glanz» der realisierten innovativen Reinnraumtechnologie entstanden. Auch im Industriebau lässt sich so gute und zeitlose Architektur konsequent umsetzen.

Klasse	Ruhezustand $\geq 0,5 \mu\text{m}$	Ruhezustand $\geq 0,5 \mu\text{m}$	Betriebszustand $\geq 0,5 \mu\text{m}$	Betriebszustand $\geq 5,0 \mu\text{m}$
A	3 520	20	3 520	20
B	3 520	29	352 000	2 900
C	352 000	2 900	3 520 000	29 000
D	3 520 000	29 000	nicht festgelegt	nicht festgelegt