

1. EINLEITUNG

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Gebäudehülle ist prägend für das Erscheinungsbild eines Bauwerks, und zwar sowohl hinsichtlich seiner Optik bzw. architektonischen Gestaltung als auch hinsichtlich seiner bauphysikalischen Eigenschaften. Seit Ende des 20. Jahrhunderts werden technisch hoch beanspruchte Gebäudehüllen, beispielsweise von modernen Büro- und Hochhäusern oder bei Gebäudesanierungen, zusehends mehrschichtig ausgebildet. Eine Möglichkeit der mehrschichtigen Fassade ist der Typ der Glas-Doppel-Fassade, bei der der raumabschließenden Fassade in einem gewissen Abstand noch eine zweite Fassadenebene vorgelagert ist. Dadurch entsteht ein luftdurchströmter Fassadenzwischenraum, der je nach Gestaltung und Funktion wenige Zentimeter, aber auch über einen Meter betragen kann. Ein Hauptgrund für den Aufstieg der Glas-Doppel-Fassade ist sicherlich der Wunsch von Architekten und Bauherrn nach mehr Transparenz und natürlichem Tageslicht.



Abbildung 1.1: Glas-Doppel-Fassade am Berliner Bogen, Hamburg

Weiterhin werden von den Planern folgende bauphysikalische Vorteile genannt:

- günstigerer Wärmeschutz,

- Möglichkeiten zur Verbesserung von Schall- und Brandschutz,
- optimale Nutzung der natürlichen Lüftung, besonders bei hohen Gebäuden,
- Nutzung der Luftmassen im Fassadenspalt zur Raumkonditionierung.

Bisher realisierte Beispiele von Glas-Doppel-Fassaden werden den im Vorfeld an sie gestellten Erwartungen allerdings oftmals nicht gerecht. Ihre Funktionalität und Wirtschaftlichkeit werden daher in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Aufgrund mangelnder Belüftung kann es im Sommer zu einer Überhitzung der Luft im Fassadenzwischenraum kommen, die sich auf die angrenzenden Räume auswirkt. In diesem Fall ist eine künstliche Kühlung notwendig, deren Energieverbrauch die sonstigen Energieeinsparungen der Fassade in der Regel mehr als aufbraucht und eine natürliche Belüftung zudem ausschließt. Neben der finanziellen und energietechnischen Wirtschaftlichkeit sinkt in solchen Fällen auch die vom Nutzer empfundene Qualität der Fassade, die hauptsächlich von ihren bauphysikalischen Eigenschaften abhängt, wobei eine ausreichende Belüftung ein wesentlicher Aspekt ist.

Die Gründe für diese Diskrepanz zwischen Erwartung und Realität liegen meist in einer mangelhaften Planung der Glas-Doppel-Fassade. Zum einen muss, auch durch die zunehmende Technisierung, die Gebäudehülle viele verschiedene Aufgaben erfüllen, deren Anforderungen an ihre Ausbildung teilweise konträr zueinander sind. Die Optimierung all dieser Eigenschaften in Kombination ist eine sehr komplexe Herausforderung für die beteiligten Planer. Zum anderen spielen oft gestalterische Aspekte in der Auslegung eine größere Rolle als strömungsmechanische Fragestellungen. Letztere sind jedoch für eine gute Belüftung der Fassade ausschlaggebend und sollten deshalb genau erfasst werden. Ihre Nichtbeachtung liegt hauptsächlich darin begründet, dass den Planern bisher geeignete Werkzeuge, die auf strömungsmechanischen Untersuchungen basieren, fehlen, um ohne eigene zahlreiche und langwierige Berechnungen mittels CFD oder Versuche die strömungsmechanischen Eigenschaften von Fassadengeometrien vorhersagen zu können. Bei einem Verzicht auf diese Untersuchungen ist die Dimensionierung der Fassade bisher jedoch aus strömungsmechanischer Sicht mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit anhand von CFD-Berechnungen einer realen Fassadengeometrie vom Typ Kastenfenster unter Windbelastung eine

Studie zum Einfluss einzelner Geometrieparameter auf das Lüftungsverhalten von Glas-Doppel-Fassaden durchgeführt. Diese Untersuchungen haben das Ziel, die Abhängigkeit der durch die äußere Einwirkung 'Wind' verursachten Strömung im Fassadenspalt von der Geometrie zu erfassen und somit konkrete Empfehlungen zur Konstruktion von Glas-Doppel-Fassaden geben zu können, mit denen sich deutliche Komfortsteigerungen erzielen lassen. Die Erkenntnisse aus der Parameterstudie können außerdem dazu beitragen, die zukünftige Planung von Glas-Doppel-Fassaden zu vereinfachen bzw. die Planungssicherheit bzgl. der strömungsmechanischen Aspekte zu erhöhen. Durch eine Optimierung der Belüftungseigenschaften können die Wirtschaftlichkeit von Glas-Doppel-Fassaden verbessert sowie Einsparungen von Primärenergie zum Gebäudebetrieb erzielt werden, da sie bestenfalls eine Reduktion, möglicherweise sogar den Wegfall, des Einsatzes von HLK-Anlagen bewirkt. Des Weiteren kann durch die Untersuchungen die Funktionalität von Glas-Doppel-Fassaden durch die Vermeidung von unerwünschten Aufheizeffekten und die Steigerung des Anteils natürlicher Lüftung erhöht werden.

Für die CFD-Berechnungen wird die kommerzielle Software *Star-CD* von *CD adapco* verwendet, die an einer Schnittstelle um eine selbst programmierte Softwarekomponente erweitert wird. Außerdem wird ein Programm zur vergleichenden Auswertung der Berechnung entwickelt, das bei fassadenspezifischen CFD-Berechnungen allgemein als Planungshilfe dienen kann.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Arbeit ist die möglichst realitätsnahe Erfassung der Einwirkung 'Wind' auf Glas-Doppel-Fassaden, deren Abbildung in der CFD sowie ihre Auswirkungen auf die Strömungssituation im Fassadenspalt. Vorliegende Forschungsarbeiten und bisherige CFD-Berechnungen zum Thema Glas-Doppel-Fassaden beschäftigen sich hauptsächlich mit der thermischen Einwirkung, der Lastfall 'Wind' wird aufgrund seines hohen Komplexitätsgrades oft gar nicht, und wenn nur ansatzweise und sehr allgemein analysiert. Die speziellen turbulenten Eigenschaften der Windströmung werden dabei nicht berücksichtigt, obwohl diese für die Strömungen in der Fassade wesentlich sind.

1.2 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 wird der Fassadentyp der Glas-Doppel-Fassade anhand allgemeiner Merkmale und Erfahrungen aus bereits realisierten Projekten genauer beschrieben. Zudem wird ein Überblick über bisherige Forschungsarbeiten zu diesem Themenkomplex gegeben. Der zweite Teil des Kapitels befasst sich mit der turbulenten Windströmung und ihren bisher bekannten Auswirkungen auf Glas-Doppel-Fassaden.

Kapitel 3 gibt einen kurzen Überblick über die relevanten theoretischen Grundlagen der Strömungsmechanik, insbesondere turbulenter Strömungen. Des Weiteren werden CFD-Programme mit den ihnen zugrunde liegenden Modellen und die allgemeine Vorgehensweise bei deren Nutzung beschrieben.

In Kapitel 4 werden die speziellen Eigenschaften der turbulenten Windströmung genauer untersucht, um eine Möglichkeit einer realitätsnahen Abbildung in der CFD zu finden. Schließlich kann ein Zusammenhang zwischen der Windströmung und der stationären ABC-Strömung hergestellt werden, mit der der Wind ersatzweise formelmäßig erfasst werden kann.

Inhalt des Kapitels 5 ist die Validierung der verwendeten CFD-Software *Star-CD* durch die Nachrechnung verschiedener Laborversuche und den Messungen an einer real gebauten Fassade. Anhand der Validierung werden insbesondere die Wahl des Turbulenzmodells sowie die Überlegungen zur vereinfachten Abbildung der Geometrie von Glas-Doppel-Fassaden überprüft, um sicherzustellen, überhaupt aussagekräftige Berechnungsergebnisse zu erhalten.

Kapitel 6 stellt die Berechnung der Strömungssituation im Fassadenspalt einer real gebauten Glas-Doppel-Fassade vom Typ Kastenfenster unter Windbelastung vor. Danach werden die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Qualität der Fassade für den Nutzer ausgewertet. In diesem Zusammenhang wird die strömungsmechanische Größe 'Enstrophie' als Qualitätskriterium herangezogen. Zu deren Berechnung werden die in *Star-CD* bereits enthaltenen Möglichkeiten des Post-Processing um eine eigene Applikation erweitert.

Anhand der Variation einzelner Geometrieparameter wird in Kapitel 7 die Abhängigkeit der Strömungssituation im Fassadenspalt bzw. des Lüftungsverhaltens der Fassade von der Geometrie untersucht. Daraus lassen sich Empfehlungen zur Kon-

struktion von Glas-Doppel-Fassaden ableiten, die die Qualität der Fassade verbessern.

Kapitel 8 fasst die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zusammen und zählt Ansatzpunkte weiterer Forschungsarbeiten auf.

2. STAND DER FORSCHUNG

Der erste Teil dieses Kapitels beschäftigt sich mit der Bautechnik von Glas-Doppel-Fassaden. Neben einer Definition werden die wichtigsten Bauteile und verschiedene Bauweisen benannt. Im nächsten Unterkapitel werden die Vor- und Nachteile von Glas-Doppel-Fassaden bzw. bekannte Probleme ausgeführter Projekte beschrieben. Zudem wird der aktuelle Forschungsstand zum Thema Glas-Doppel-Fassaden anhand von publizierten Forschungsarbeiten dargestellt. Im zweiten Teil des Kapitels wird auf die Entstehung und die Eigenschaften der Windströmung eingegangen und ihre bisher bekannten Einflüsse auf Fassaden und deren Berücksichtigung in der Fassadenplanung beschrieben.

2.1 Glas-Doppel-Fassaden

2.1.1 Definition und Klassifizierung

Bei Glas-Doppel-Fassaden ist der ersten Fassadenebene, der raumabschließenden Primärfassade, eine zweite Fassadenebene vorgelagert. Beide Ebenen zusammen stellen den Übergang zwischen Raum und Umwelt des Gebäudes her. Der Fassade eines Gebäudes werden bauphysikalische Aufgaben wie Wärmeschutz, Schallschutz und Brandschutz zugeordnet. In diesem Zusammenhang wird sie durch äußere Einwirkungen wie Regen, Wind und Temperatur belastet. Außerdem ist die Glas-Doppel-Fassade Teil des Tragwerks des Gebäudes und kann zur Aufnahme der Windlasten und evtl. des Eigengewichts herangezogen werden. Der grundsätzliche Aufbau einer Glas-Doppel-Fassade ist in Abb. 2.1 dargestellt.

Die Primärfassade kann vollständig transparent oder teilweise opak ausgebildet sein. Sie besteht häufig vollflächig aus Glas, es kommen aber auch andere Materialien zum Einsatz. Meist wird ihr die bauphysikalische Aufgabe des Wärmeschutzes zugeordnet, deshalb wird die Verglasung oft als Doppelverglasung ausgeführt bzw. es wird ein Wärmedämmverbundsystem verwendet. Im Allgemeinen hat die Primärfassade Fenster, die vom Nutzer zumindest teilweise zu öffnen sind.

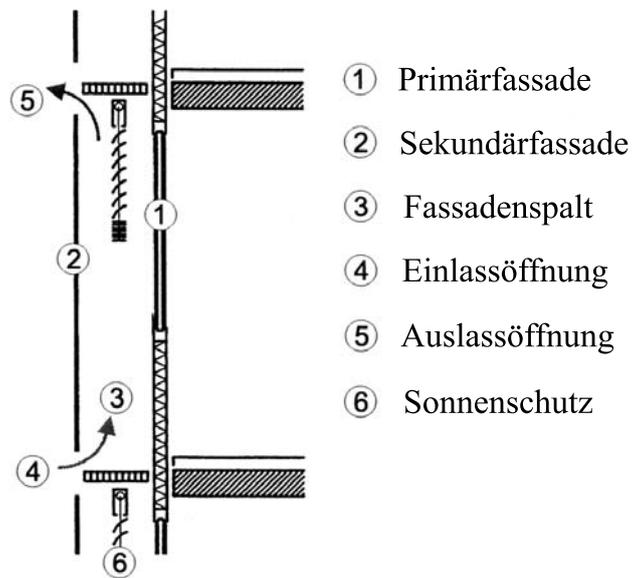


Abbildung 2.1: Aufbau einer Glas-Doppel-Fassade verändert aus [38]

Zwischen den beiden Fassadenebenen entsteht der Fassadenspalt. Dieser ist aufgrund der Öffnungen in den beiden Fassadenebenen luftdurchströmt, und zwar sowohl mit Raumluft aus dem Gebäudeinneren als auch mit Frischluft von außen. Die Breite des Fassadenspalts kann je nach Ausführung zwischen wenigen Zentimetern und über einem Meter variieren. In manchen Fällen ist er sogar begehbar. Oft wird innerhalb des Fassadenspalts der Sonnenschutz angebracht, da er auf diese Weise vor der Primärfassade angeordnet werden kann und trotzdem wettergeschützt ist. Dort ist er am effektivsten und verhindert einen nennenswerten Wärmeeintrag in den angrenzenden Raum.

Die zweite, vorgelagerte Fassadenebene wird als Sekundärfassade bezeichnet. Sie ist meist vollflächig verglast. Da sie im Allgemeinen nur als Witterungs-, nicht jedoch als Wärmeschutz fungiert, wird häufig eine Einfachverglasung verwendet. In der Sekundärfassade befinden sich die Ein- und Auslassöffnungen, über die der Luftaustausch mit der Umgebung stattfindet. Ihre Form, Größe und Lage sind je nach Ausführungsart sehr unterschiedlich. Oft sind sie mit beweglichen Klappen zur Steuerung der Luftzufuhr versehen. Außerdem werden häufig mehr oder weniger feine Gitter zum Schutz vor Schlagregen, Insekten, Vögeln und Schmutz angebracht.