

Le canal de la double-peau propage les sons horizontalement et verticalement, ce qui peut conduire à une gêne acoustique.

Protections solaires

Des protections solaires (en toile ou à lamelles) sont placés dans le canal de la double-peau. Elles sont détachées de la façade principale afin de favoriser la circulation de l'air.

Conclusions

Le domaine de la façade double-peau est en plein développement, il poursuit une évolution qui devrait permettre de mettre en évidence les solutions qui offrent les meilleurs compromis entre avantages et inconvénients. L'étude brièvement présentée ci-dessus met clairement en évidence les conséquences majeures de la configuration double-peau sur les conditions de travail en saison estivale. La protection offerte par l'écran vitré extérieur conduit à une amélioration du bilan thermique hivernal, mais contribue également à augmenter les risques de surchauffe en périodes chaudes. Pour limiter ce danger, il est essentiel de fixer très tôt les objectifs poursuivis: bilan énergétique, protection acoustique, esthétique, ventilation des locaux... Une fois ceux-ci fixés, on sera automatiquement orienté vers une famille de solutions à l'intérieur de laquelle la forme adéquate sera choisie et dimensionnée. Nous espérons que notre travail permettra de faciliter ce choix. □

Entwicklung im Fassadenbau

Prof. André P. Faist, Institut für Gebäudetechnik – ITB-LESO-PB, EPFL, CH-Lausanne

DIE ZWEITE-HAUT-FASSADE

Glas als Architekturmaterial übt momentan auf Architekten eine wahre Faszination aus. Die bemerkenswerten Qualitäten an Transparenz werden heute durch mechanische Qualitäten ergänzt, die die spektakulärsten Einsatzbereiche und bemerkenswerte Bauten ermöglichen.

Einleitung

Aber jede Münze hat eine Kehrseite. Bauten mit viel Glasfläche führen zu starken und schnellen Erwärmungen und Abkühlungen, die zu schnellen Schwankungen der Innentemperatur führen. Diese Schwankungen sind ohne Innenraumklimatisierung schwierig zu bekämpfen. Zu diesen Wärmeproblemen kommen noch Schallschutzmassnahmen gegen Lärm von aussen und die Belüftung der aussen liegenden Räume hinzu.

Durch Schutz der Hauptfassade – meist mit einer grossen Glasfläche – mit einer transparenten Abschirmung erhält man eine Zweite-Haut-Fassade, mit der man die genannten Wärme-, Schall- und Belüftungsprobleme mindern oder sogar beheben kann. Eine Forschungsarbeit an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne ermöglichte eine Abgrenzung, inwieweit eine Zweite-Haut-Fassade die erwähnten Probleme lösen kann und welche Voraussetzungen hierfür vorliegen müssen.

Das Projekt Zweite-Haut-Fassade

Die Grundlage der Studie an der ETHL ist in den Arbeiten von M. J. Holmes² zu finden, der ab 1985 die bemerkenswerten Möglichkeiten von Zweite-Haut-Fassade darstellte. Das Forschungsprojekt Zweite-Haut-Fassade³ ermöglichte eine Detaillierung und Erweiterung der theoretischen Analyse dieser Fassaden und erlaubte es, vor Ort und im Labor Massnahmen zu treffen und Parameterstudien auf Grundlage eines Computerrechenmodells durchzuführen. Letztere erlaubten die Bestimmung

einer Reihe praktischer Regeln, die Architekten, die Gebäude mit einer Zweite-Haut-Fassade ausstatten wollen, und Ingenieure, die mit der endgültigen Berechnung dieses Elements für eine ordnungsgemässe Funktion des Systems befasst sind, interessieren dürften.

Grundlegende Elemente und deren Wechselwirkung

Die Zweite-Haut-Fassade beinhaltet (Abb. 1) eine Abschirmung vor der Innenfassade (oder Hauptfassade). Der so geschaffene Zwischenraum ermöglicht ein Reinigen der Glasflächen und Wartungsarbeiten an den Fassaden. Die verschiedenen Elemente der Zweite-Haut-Fassade beeinflussen die Funktion der Fassade und des Gebäudes, wenn man die verschiedenen Aspekte der Energiebilanz, des Wärme- und Komforts, der Ästhetik, des Schallschutzes und der natürlichen Belüftung der Räume berücksichtigt (Tabelle 1, 2, 3).

Typologie

Die Sichtung der Realisierungen und Projekte mit Zweite-Haut-Fassaden^{4,5} ergibt einerseits eine Klassifizierung nach der Anordnung der Elemente (vor allem der Sonnenblende) und andererseits eine Klassifizierung nach der Belüftungsart für den Zwischenraum und der anschliessenden Räume. Falls vorhanden, wird die Sonnenblende meist im Zwischenraum untergebracht (wo sie vor der Witterung geschützt ist) und seltener in den Innenräumen selbst (Abb. 2).

Im Schnitt sieht man, dass das wichtigste Problem die Belüftung des Zwischenraumes und der innenliegenden Räume ist. Die Belüftung kann etagenweise (Abb. 3a), auf der gesamten Höhe des Gebäudes (Abb. 3b) oder nur durch Abführen der Luft (Abb. 3c) erfolgen. Wenn die Belüftung etagenweise erfolgt, vermeiden mehrere Kunstgriffe (Abb. 4), dass sich die Abluft aus einem Raum nicht mit der Frischluft für den nächsten Raum vermischt.

Im Rahmen des Projekts Zweite-Haut-Fassade untersuchten wir zwei Ausführungsarten. Bei der ersten erstreckt sich der Zwischenraum auf der gesamten Höhe des Gebäudes. Er verfügt über untere und obere Öffnungen. Die Belüftung der Räume funktioniert nur gelegentlich beim Öffnen der Fenster. Die Fassade, die den Zwi-

schenraum begrenzt, ist zu diesem dicht. Bei der zweiten Ausführung übersteigt der Zwischenraum die letzte Etage und ist unten geschlossen. Die (Quer-)Belüftung der Räume wird durch die Kaminwirkung des Zwischenraumes gewährleistet.

Nach Beschreibung der Grundlagen der Funktion eines Zweite-Haut-Fassadensystems stellen wir die Merkmale und Grenzen dieser beiden Arten dar.

Funktionsweise

Im Winter oder allgemeiner bei Sonneneinstrahlung enthält der Zwischenraum der Doppelwand wärmere Luft als die Umgebungsluft. Durch den Dichteunterschied (zwischen warmer Luft im Zwischenraum und kälterer Aussenluft) entwickelt sich eine Kaminwirkung (Stack Effect), die die Luft im Zwischenraum in Bewegung versetzt (Abb. 5).

Man beobachtet folgende Phänomene:

- Es entwickelt sich ein Unterdruck an der Zwischenraumbasis und ein Überdruck im oberen Bereich des Zwischenraumes. Es bildet sich eine neutrale Zone in der Mitte, in der die Drücke (innerhalb und ausserhalb des Zwischenraumes) gleich sind. Diese Zone steigt, wenn die untere Öffnung des Zwischenraumes kleiner ist als die obere Öffnung. Im entgegengesetzten Fall sinkt sie.
- Die Luft wird nicht direkt durch die Sonneneinstrahlung erwärmt, sondern im Gegenteil durch die äussere Schicht, die Innenwand, die Jalousie und alle Hindernisse (Gitter, Tragkonstruktion ...), die im Zwischenraum vorhanden sind.
- Das Ansteigen der Lufttemperatur im Zwischenraum und der Durchfluss dieser Luft hängen von der Leistung ab, die auf die Luft tatsächlich (durch Leitwärme und Konvektion) übertragen wird. Der Luftdurchfluss nimmt nur langsam in Abhängigkeit von der Leistung zu: Er verdoppelt sich, wenn die Leistung sich verachtfacht (proportional zu $P_{\text{Luft}}^{1/3}$). Die Temperaturzunahme im Vergleich dazu steigt um das Vierfache bei den gleichen Voraussetzungen (proportional zu $P_{\text{Luft}}^{2/3}$). Diese Gesetzmässigkeiten sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Allgemeine Merkmale

Die beiden untersuchten Arten weisen gemeinsame Merkmale auf, die wir im folgen-

den Abschnitt betrachten, und unterschiedliche Merkmale, die wir in den darauf folgenden Abschnitten behandeln. Wir werden für beide Arten eine Reihe von Voraussetzungen nennen, die für diese Merkmale gelten.

Wärmeschutz-Berechnung des Wertes k (Uvalue)

Der Wärmeschutz der Innenfassade wird durch Vorhandensein einer äusseren Schicht intensiviert. Die Luftzirkulation im Zwischenraum beschränkt jedoch den erwarteten Zuwachs, und dies auch dann, wenn die Luftbewegung durch Schliessen der oberen Klappen gebremst wird.

Der k -Wert (Uvalue) der Zweite-Haut-Fassade kann auf herkömmliche Weise berechnet werden, vorausgesetzt man nimmt als Wärmeübertragungskoeffizienten des Zwischenraumes der Doppelwand die Werte, die in Tabelle 4 ausgesetzt sind. Letztere hängen nur in geringem Mass von der Höhe des Zwischenraumes oder vom Ableitkoeffizienten C_a ab.

Die zusätzlichen Verluste durch Abstrahlung einer vertikalen Fläche nach oben⁶ betragen $\Delta R = 25 \text{ [W/m}^2\text{]}$ bei teilweise bedecktem Himmel.

Der absolute Zuwachs der Wärmeverluste der Fassade ist proportional zum k -Wert (wie oben berechnet) und zu ΔR . Bei $k = 1 \text{ [W/m}^2\text{]}$ und $\Delta R = 25 \text{ [W/m}^2\text{]}$ beträgt dieser Zuwachs $1,64 \text{ [W/m}^2\text{]}$, und zwar unabhängig vom Temperaturunterschied zwischen Innen und Aussen.

Verhalten bei kaltem Wetter – Wärmekomfort

Die globale Isolierung einer Zweite-Haut-Fassade hängt vor allem von der Isolationsqualität der Innenfassade ab. Daher ist es von Vorteil, die letztere mit qualitativ hochwertigen Glasscheiben in Rahmen und eventuell einer stark isolierenden Brüstung auszustatten. Nur unter dieser Voraussetzung leistet die Zweite-Haut-Fassade mehr als eine entsprechende einschichtige Fassade (d. h. die die gleiche Glasfläche mit den gleichen selektiven Schichten aufweist).

Wenn keine Brüstung vorhanden ist, steigt die Erwärmung durch Sonnenstrahlen sehr stark. Zusätzlich zu den inneren Wärmelasten (Personen, Maschinen und Licht) kann sie die Verluste (durch Wärmeableitungen [Transmission] an der Fassade und durch die Belüftung), im Winter bei bedecktem Himmel (mit künstlicher Beleuchtung) oder

bei Sonnenschein (ohne künstliche Beleuchtung), ausgleichen. Bei milderem Wetter sind Sonnenblenden unverzichtbar.

Sonnenschutz im Sommer – Wohlbefinden im Sommer

Verglichen mit einer einschichtigen Fassade ist die Zweite-Haut-Fassade stärkeren Erwärmungen ausgesetzt und muss daher mit wirkungsvollen Sonnenschutzanlagen ausgestattet und ausreichend belüftet werden. Es macht keinen Sinn, die äussere Schicht als feste Sonnenblende zu verwenden. Ob in reflektierender oder absorbierender Ausführung, sie hält nur unzureichend die direkten Sonnenstrahlen und die somit aufgebauten Wärmelasten ab und begrenzt auf der anderen Seite die Versorgung mit natürlichem Tageslicht.

Eine Beschattungsanlage (aus Stoff oder mit Lamellen) reduziert die Wärmeeinstrahlung um den Faktor 3 bis 5, je nach den Aussentemperaturen und Sonneneinstrahlungsbedingungen. Sie wirkt besser, wenn die Aussentemperatur unter der Raumtemperatur liegt, und bei schwachen Strahlungswerten.

Wenn die Sonneneinstrahlung über 100 W/m^2 steigt, erwärmt sich die Oberflächentemperatur der Innenscheibe mehr als die Innenraumtemperatur. Die Beschattungsanlage kann diesen Unterschied um 1 bis 2°C senken.

Das dynamische Verhalten des Raums und damit der Raumkomfort bei schönen und sonnigen Tagen hängt von der Belüftungsart und der thermischen Trägheit der Räume ab. Es ist eindeutig vorteilhafter, die solaren Wärmelasten durch das Reduzieren der inneren Glasflächen und die Erwärmung über opake Elemente mit höherer thermischer Phasenverschiebung der Brüstungen zu verzögern.

Natürliches Licht⁷

Eine Zweite-Haut-Fassade unterscheidet sich grundsätzlich nicht von einer herkömmlichen Fassade, was die Verfügbarkeit an natürlichem Licht betrifft. Diese wird bestimmt durch:

- Verteilung des Tageslichtquotienten über den Tag
 - Anteil an ausreichend natürlicher Beleuchtung pro Jahr
 - Optische Wirkung im Raum
- Sie kann nicht mit einer Vorrichtung für natürliches Licht verglichen werden, die die Versorgung des Raums mit Tageslicht verbessern soll.

Die wichtigsten Regeln für die Planung, die bei einer herkömmlichen Fassade für natürliche Beleuchtung angewandt werden, können also direkt auf die Zweite-Haut-Fassade übertragen werden:

- Durchsichtige Scheiben (über 80% Lichtdurchlässigkeit) für die Fassade und die Aussenwand verwenden (unbedingt getönte Scheiben vermeiden)
- So weit wie möglich die Fläche der Fensterrahmen an Fassade und Aussenwand verringern
- Besonders oberen Fenstersturz der Fassadenverglasung (wichtiger Faktor für die Durchdringung mit Tageslicht im Raum) durch maximales Reduzieren der Auswirkung beachten
- Art und Position der Gitter so wählen, dass diese nicht die diffuse Komponente des Tageslichtes von oben abschirmen

Schallschutzkriterien⁸

Eine Zweite-Haut-Fassade, die ordnungsgemäss ausgeführt wird, ermöglicht einen optimierten Schutz gegen Aussenlärm sowohl bei offenem Fenster. Die äussere Schicht der Zweite-Haut-Fassade kann je nach Ausführung jedoch auch keinen Schutz gegen Aussengeräusche darstellen. Die Berechnung des Schallschutzes einer Zweite-Haut-Fassade ist komplex, da sie mehrere Parameter umfasst. Man darf nicht davon ausgehen, dass der Schallschutz der Zweite-Haut-Fassade aus der Summe der Hauptfassade und der äusseren Schicht besteht (Abb. 6).

Aus diesen Gründen ist es ratsam, nur nach Rücksprache mit einem Akustiker den Schallschutz für die Hauptfassade zu definieren.

Die allgemeinen Richtlinien für eine Verbesserung des Schallschutzes durch eine Zweite-Haut-Fassade lauten:

- Ausführung einer dichten äusseren Schicht, d.h. Aussenlärm darf auf keinem direkten Transportweg in den Zwischenraum gelangen wie beispielsweise Öffnungen in der Aussenwand, Spalten zwischen Elementen etc. Diese stellen akustische Brücken dar.
- Für die Abschirmung muss ein ausreichend schweres und/oder dichtes Material gewählt werden, um eine möglichst hohe Oberflächenmasse zu erreichen, am besten über 15 kg/m². Wenn die Dicke 5 mm übersteigt, ist eine Schichtstruktur vorzuziehen.

- Die Tiefe des Zwischenraumes zwischen dichter äusserer Schicht und Hauptfassade sollte zwischen 20 und 50 cm liegen.
- Für Befestigungen sollte man elastische Verbindungen vorsehen, damit diese nicht Vibrationen der äusseren Schicht auf die Hauptfassade übertragen.

Wie alles hat auch die Zweite-Haut-Fassade einen Nachteil: Sie kann die Übertragung von Geräuschen von einem Gebäudeteil auf einen anderen begünstigen, wenn die Fenster geöffnet sind. Um dies auszuschalten, sollte man den Zwischenraum an den Enden der Teile horizontal und vertikal schliessen.

Doppelwand gegen dichte Fassade (Typ 1)

Die besonderen Merkmale dieses Fassadentyps und die Anforderungen werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

In dieser Ausführung weist der Zwischenraum der Zweite-Haut-Fassade in den unteren Etagen einen Unterdruck (unter dem Neutralniveau) und in den oberen Etagen einen Überdruck (oberhalb des Neutralniveaus) auf. Unter diesen Bedingungen wird eine Belüftung der Räume durch den Zwischenraum schwierig. Bei Sonneneinstrahlung kann in die oberen Etagen Warmluft eindringen, Warmluft, die von den unteren Etagen aufsteigt. Abgesehen von einem möglichen Einfluss durch Wind ändert das Öffnen der Klappen in der äusseren Schicht nicht wesentlich diese Situation.

Innenfassade

Gläser mit geringem Wärmedurchgangskoeffizienten ($k < 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) und mit hoher Transparenz (sichtbares Licht) sind im Winter und im Sommer vorteilhaft. Sie werden auf luftdichte Rahmen montiert, die den gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten wie das Glas aufweisen.

Die Behaglichkeit wird durch den richtigen Anteil an Glasfläche gesteigert; eine Entscheidung, die vor allem von den Bedürfnissen an natürlichem Licht bestimmt wird.

Die Brüstungen weisen einen Wärmedurchgangskoeffizienten ($k < 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) und eine thermische Phasenverschiebung von acht Stunden auf.

Je nach Ausführung der äusseren Schicht und des Zwischenraumes der Zweite-Haut-Fassade muss die innere Fassade

allein für die erforderliche akustische Isolierung sorgen.

Tiefe des Zwischenraums

Die Wahl der Tiefe des Zwischenraumes hängt von der Nutzung der Zweite-Haut-Fassade und des Reinigungskonzeptes für die Fenster ab. Für die Luftbewegung spielt die Tiefe von 20 und 60 cm keine grosse Rolle.

Bei der hier vorgestellten Ausführung wird die Höhe der Zweite-Haut-Fassade auf drei oder vier Etagen beschränkt (um den Temperaturunterschied zwischen oben und unten im Zwischenraum zu begrenzen).

Obere Lüftungsklappen im Zwischenraum sollen in kalten Jahreszeiten die Luftbewegung verhindern.

Sonnenschutz

Wirkungsvolle Sonnenschutzanlagen (aus Stoff oder mit Lamellen) sind unumgänglich und darauf kann nicht verzichtet werden. Aus praktischen und ästhetischen Erwägungen werden sie im Zwischenraum angebracht.

Zweite-Haut-Fassade mit Belüftung der Räume (Typ 2)

Bei diesem Typ ist der Zwischenraum der Zweite-Haut-Fassade unten dicht und übersteigt um 2 bis 3 m die oberste Etage. Die Belüftung in Richtung Zwischenraum geschieht nicht durch Öffnen der Fenster, sondern durch Klappen auf jeder Etage, die im Sturzbereich angebracht werden.

Der Zwischenraum einer Zweite-Haut-Fassade ist der Motor für die Belüftung der inneren Räume. Richtig ausgelegt gewährleistet er eine optimale Querbelüftung. Die frische Luft kommt vom Flur und die verbrauchte Luft gelangt durch die Etagenklappen in den Zwischenraum. Die Luftaustauschrate passt sich automatisch an die Sonneneinstrahlung an.

Innenfassade

Sie weist die gleichen Masse auf wie die oben genannte Ausführung. Sie verfügt aber zusätzlich über Klappen oberhalb der Fenster auf jeder Etage. Diese Klappen gewährleisten das Abziehen der verbrauchten Luft durch den Zwischenraum. (Lufteinlässe für Frischluft sind auf der Gangseite angebracht.)

Zwischenraum der Zweite-Haut-Fassade

Die korrekte Auslegung der oberen Öffnung A_{oben} des Zwischenraumes ist ein Schlüssel-

faktor für das Funktionieren des Systems. Sie hängt von folgenden Kriterien ab:

- Höhe h_1 des Kanals oberhalb der Klappe der belüfteten oberen Etage
- Belüftungsvolumen pro Etage (und pro laufenden Meter Fassade)
- Anzahl der belüfteten Etagen
- Sonneneinstrahlung, die auf die Luft übertragen wird

Der «Motor» der natürlichen Belüftung einer beschatteten Fassade stellt das «Motorvolumen» der Tiefe A_{oben} und der Höhe h_1 da, da durch die Übertragung der Sonneneinstrahlung auf die Luft gespeist wird. Eine vorläufige Auslegung kann man mit Hilfe eines Rechenbretts oder durch entsprechende Gleichungen in einem Tabellenkalkulationsprogramm vornehmen.

Wenn die Fassade gleichmässig besonnt wird, steigt die Zahl der maximal belüftbaren Etagen ebenso wie die Lufttemperatur im Zwischenraum. Sie wird zum Faktor, der die Anzahl der Etagen begrenzt. Die Tabellen 5 und 6 zeigen dies.

Der Zwischenraum überträgt Geräusche horizontal und vertikal, was zu einer Lärmbelastung führen kann.

Sonnenschutz

Sonnenschutzanlagen (aus Stoff oder mit Lamellen) werden im Zwischenraum der Zweite-Haut-Fassade angebracht. Sie werden von der Hauptfassade abgesetzt, um die Luftzirkulation zu verbessern.

Zusammenfassung

Die Zweite-Haut-Fassade ist in voller Entwicklung. Sie entwickelt sich so, dass die besten Lösungen meistens diejenigen sind, die den besten Kompromiss von Vor- und Nachteilen darstellen. Die hier vorgestellte Untersuchung stellt die wichtigsten Auswirkungen der Zweite-Haut-Fassade auf die Arbeitsbedingungen im Sommer dar. Der Schutz durch eine äussere Schicht führt zu einer besseren Wärmebilanz im Winter, kann aber eine erhöhte Erwärmung bei sommerlichen Temperaturen mit sich bringen. Um dieses Risiko zu minimieren, sollte man mög-

lichst früh Ziele festsetzen: Energiebilanz, Lärmschutz, Ästhetik, Belüftung der Räume ... Wenn diese festgelegt sind, ergibt sich ohnedies ein Lösungstyp, unter dem die entsprechende Ausführung ausgewählt und berechnet wird. Wir hoffen, dass unsere Arbeit die Entscheidung erleichtert. ■

¹A. Faist – Incidence de la typologie des façades double-peau sur leurs performances énergétiques et en physique du bâtiment (Zusammenhang zwischen der Typologie von Zweite-Haut-Fassaden und ihrem energetischen und bauphysikalischen Verhalten). Projekt vorgelegt an der BFE, Februar 1993.

²M. J. Holmes – Design for Ventilation – 6th AIVC Conference. Niederlande 1985.

³A. Faist et al. La Façade double-peau. Rapport final du projet OFEN, EPFL, 1998.

⁴A. Faist et al. La Façade double-peau, Kap. 10. Dossier Typologie et Réalisations, EPFL, 1998.

⁵Dipl.-Ing. Architekt Werner Lang. Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas. Private Mitteilung.

⁶Th. Frank. NEFF-Bericht Nr. 266. Oberflächentemperaturen von besonnten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Komfort. EMPA, Dübendorf, 1986.

⁷Lumière naturelle. Kap. 10. Dossiers D. Lymberis und J.-L. Scartezini, EPFL 1998.

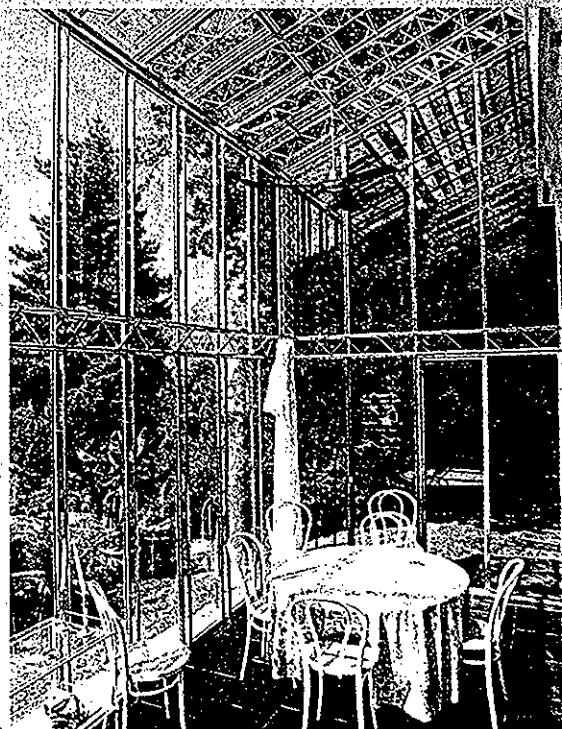
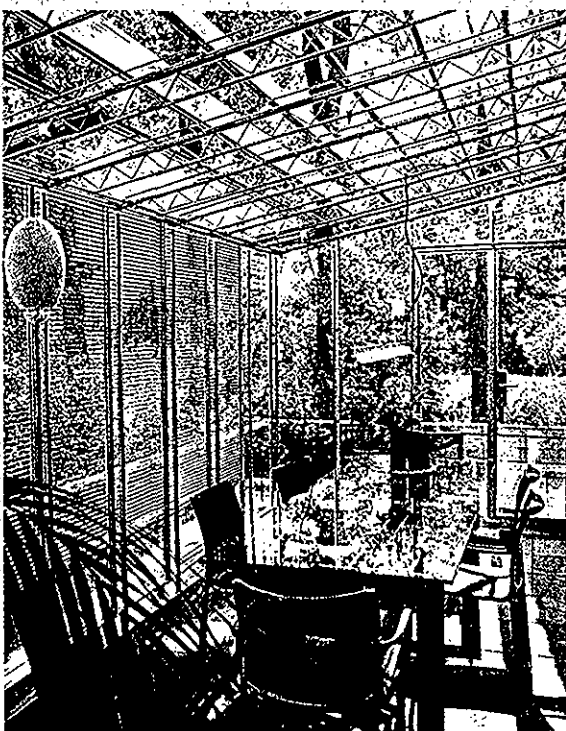
⁸Aspects acoustiques. Kap. 10. Dossiers W. Koeller und M. Rossi, EPFL 1998.

Faszination Glas mit System

Träume werden mit dem Glashaus System STEBLER® Realität.



stebler glashaus ag
Wasserwerkstrasse 29
3000 Bern 13
Tel. 031 311 53 31
Fax 031 311 53 35
e-mail:
steblerag@swissonline.ch
www.stebler.ch



Unser Verglasungssystem erfüllt den Wunsch nach ganzjährig nutzbarem Wohnen. Die raffinierte Schuppenverglasung erzeugt bei allen Witterungsverhältnissen ein angenehmes Klima – aufwendige Beschattungssysteme sind überflüssig. Glashaus System STEBLER® vereint Design und Technik.