

Großflächige Fassade für das ICONSIAM in Bangkok

Thomas Spitzer¹, Christoph Bauchinger¹, Stefan Peters², Stephan Engelsmann²,
Christoph Dengler², Christian Fischer²

¹ se-austria GmbH & Co. KG, Schörfling, Österreich

² Engelsmann Peters Beratende Ingenieure GmbH, Stuttgart, Deutschland und Graz, Österreich

Abstract

Der Einsatz lastabtragender Glaselemente wie Glasscheiben und -schwerter, die auf Unterkonstruktionen verzichten, ist schon seit über 20 Jahren im Bauwesen Stand der Technik. Stetige Weiterentwicklungen in der Fertigung und Montage sowie der Methoden der Bemessung und der rechnerischen Vorhersagen haben dieser Bauweise im letzten Jahrzehnt zu einem vergleichsweise beispiellosen Technologiesprung verholfen. Der Neubau einer geometrisch höchst anspruchsvollen Ganzglasfassade steht stellvertretend für diese Entwicklungen und dürfte derzeit einer der größten konstruktiven Glasbauten der Welt sein. Der Beitrag beschreibt die Bemessung und Konstruktion der Ganzglasfassade unter Berücksichtigung von Gesichtspunkten der Fertigung und Montage.

Big scale glass facade for ICONSIAM shopping mall in Bangkok. For the last 20 years, it has been common practice to design glass constructions making use of glass fins and load-bearing glass panels instead of using a separate load bearing structure. The unparalleled leaps that have been made in glass construction technology have been helped along by the constant developments in the fabrication and assembly methods as well as the calculation and failure prediction processes. The newly built facade, with its ambitious geometry is an example of the recent developments. It is currently one of the largest load bearing glass structures in the world. This report explains the calculation and construction of the glass facade as well as issues of fabrication and assembly.

Schlagwörter: *konstruktiver Glasbau, Fassade*

Keywords: *glass construction, facade*

1 Einleitung

Entlang des Chao Phraya River in Bangkok befindet sich ein Großteil der 5-Sterne-Hotels sowie der exklusivsten Eigentumswohnungen der thailändischen Metropole. Das Mega-Projekt ICONSIAM entlang der Charoen Nakhon Road ist ein Einkaufsparadies der Superlative und wird schon jetzt als spektakulärste und größte Attraktion seiner Art in Südostasien gehandelt. Ein besonderes architektonisches Element des Gebäudekomplexes nach den Entwürfen des Architekturbüros URBAN Architects ist die Ganzglasfassade parallel zum Flussufer (Bild 1). Auf einer Länge von rund 300 m und einer Höhe von bis zu 24 m bilden Ganzglasschwerter und -scheiben mit einer Gesamtfläche von rund 5.300 m², angeordnet in einer geschwungenen Linie, den spektakulären Raumabschluss für die unteren drei Geschosse.

Planung, Herstellung und Montage der hochtransparenten Fassade wurden an se-austria GmbH & Co KG, ein Unternehmen der seele Gruppe, vergeben. Von seele erhielten Engelsmann Peters Beratende Ingenieure den Auftrag für die statisch-konstruktive Bearbeitung des Projektes für die Leistungsphasen Genehmigungsplanung und Ausführungsplanung. In enger Zusammenarbeit mit Engelsmann Peters hat seele eine statisch-konstruktive Tragwerksoptimierung und die Entwicklung von Knoten- und Detailpunkten vorgenommen sowie alle für die Ausführung und Montage erforderlichen statischen Nachweise erbracht.

2 Tragwerksbeschreibung

Geometrisch ist die Glasfassade in die drei Bereiche LUX1, LUX2 und LUX3 unterteilt. Die komplette Oberfläche wird dabei im Wesentlichen aus insgesamt 120 ebenen Glasflächen, welche aus 329 Einzelgläsern bestehen, und 333 ebenen Fassadenscheiben gebildet. Durch eine sich stetig ändernde Neigung der Glasschwerter um zwei Achsen



Bild 1 Ansicht der Ganzglasfassade © seele/Andreas Keller

aus der Vertikalen wird gestalterisch ein starres Achsraster vermieden. Es entsteht eine differenzierte und dynamisch erscheinende Gesamtoberfläche. Die Glasfinnen weisen einen Neigungswinkel von bis zu 12° aus der Vertikalen auf, der Überhang der Fassadenscheiben beträgt zwischen 0° und 14° . Zwischen den Glasschwertern sind extrem großformatige Glasscheiben angeordnet, mit einer Spannweite in Querrichtung von 1,7 m bis 3,1 m, die jeweils an eine Glasschwertaußenseite und eine Glasschwertinnen-seite angebunden sind. Diese versetzte Anordnung („Zig-Zag-Shape“) verleiht der Gesamtfassade zusätzlich seine charakteristische Oberflächenstruktur (Bild 2).

Zwischen LUX1 und LUX2 sowie zwischen LUX2 und LUX3 entstehen große nach innen orientierte Einschnitte in die Fassadengeometrie, die die Haupteingänge bilden (Bild 3). Die dabei entstehenden Verschneidungen und Eckbereiche stellen aus statisch-konstruktiver Sicht herausfordernde Sonderbereiche dar. Ein weiterer Hauptein-

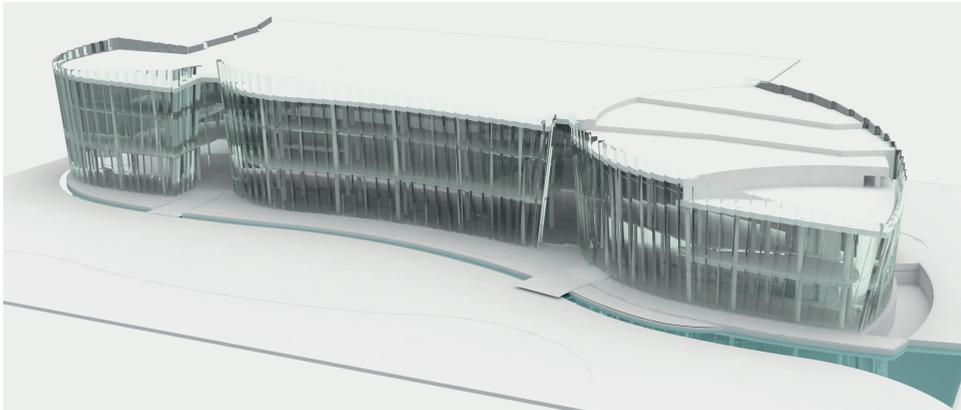


Bild 2 Rendering der Ganzglasfassade © seele



Bild 3 Detail-
ausschnitt der
Ganzglasfassade
© seele/
Andreas Keller

gang befindet sich im Bereich LUX1, zusätzliche kleinere Eingänge sind zwischen den Achsen der Fassadenschwerter angeordnet. Die Ganzglasfassade steht als Hüllkonstruktion vor dem Gebäude in konventioneller Stahlbetonbauweise und krägt über das Flachdach weitere 1,0 m bis 4,2 m aus. Diese Auskrägung fungiert zugleich als Balustrade für die öffentlich zugängliche Dachterrasse.

3 Tragwerksbestandteile, Lagerungskonzept und Tragverhalten

Großformatige Glasschwerter mit einer Gesamthöhe von 24 m und einer Breite von 1,1 m bilden die Haupttragelemente der Fassade und sind im Regelabstand von etwa 2 m angeordnet. Die Schwerter bestehen aus 5 bis maximal 8 Einzelscheiben aus teilvorgespanntem Glas (TVG) mit einer Dicke von 10 mm. Die hohe Verbundwirkung des VSG wird mit einem hochfesten Interlayer aus 1,52 mm SGP-Folie sichergestellt. Das Gesamtbauteil erreicht so ein nahezu monolithisches Tragverhalten. Im Bereich LUX1 ist das statische System der Glasschwerter ein Einfeldträger mit Kragarm. In den Bereichen LUX2 und LUX3 sind die Schwerter dagegen als 1-fach statisch unbestimmte 2-Feldträger mit Kragarm ausgeführt. Die Kragarme haben variierende Auskrägungslängen zwischen 1,0 m und 4,2 m und bilden die Brüstungsbereiche der Dachterrasse. Die Feldlängen der Einfeldträger betragen bis zu 18 m und bis zu 12 m bei den Zweifeldträgern. Produziert wurden die Glasscheiben und -finnen von der sedak GmbH & Co. KG. Die Gesamtlänge der Glasfinnen überschreitet die zum Ausführungszeitpunkt maximal verfügbare Produktionslänge von ca. 16 m (Anmerkung: Seit Mitte 2018 können beim Glasveredler sedak Gläser bis zu einer Größe von 3,51 m × 20 m hergestellt werden). Daher waren biegesteife Stöße sowohl in den Feldbereichen nahe dem Momentennullpunkt als auch über den Stützbereichen auszubilden. Eine bemerkenswerte Tatsache des Tragsystems der Glasschwerter liegt darin, dass alle Schwerter vom obersten Auflagerpunkt abgehängt sind und die Fassade damit nicht – wie sonst üblich – am Boden aufsteht. Diese tragwerksplanerische Entscheidung wurde bereits in der Konzeptionsphase des Stahlbetongebäudes durch die bauseitigen Ingenieure getroffen. Diese Systematik wird auch im Bereich der beiden großen Eingänge konsequent beibehalten. Die Türanlagen der Eingänge erfordern die Ausbildung sogenannter „Portal Frames“, die als Stahlschwerter biegesteif mit den Glasschwertern verbunden und gleichzeitig mit abgehängt sind (Bild 4).

Sämtliche Stöße und Befestigungspunkte der großformatigen Glasschwerter sind durch Scher-Lochleibungs-Verbindungen mit beidseitig außenliegenden 20 mm starken Bindeblechen aus Edelstahl der Materialgüte 1.4462 ausgebildet. Die Bindebleche mit einer hochwertig geschliffenen Oberfläche übergreifen die Scheibengröße nach beiden Seiten. Sie verfügen auf ihrer Innenseite über runde Einfräsungen, die passgenau die Edelstahlbolzen aus 1.4462 auf beiden Seiten des Stoßes aufnehmen. Sie verfügen somit über eine lastverteilende Wirkung zwischen den Bolzen und bilden eine zweischnittige Verbindung. Gesichert werden Bindebleche und Bolzen durch außenliegende Senkkopfschrauben M16 in Edelstahl der Materialgüte A4-70. Die Toleranzaufnahme und Kraftübertragung erfolgt mittels Hilti-Hit-Verguss im Bereich der Bohrlöcher im Glas, sowie durch eine Spaltverfüllung zwischen Bindeblechen und Glasoberflächen. Die Anordnung der Bolzen an den Scheibenenden erfolgte zum Teil mit 2 bzw. 3 Bolzen in einer horizontalen Reihe bzw. in der Anordnung als 5er-Feld



Bild 4 Ausschnitts-Tragwerksisometrie „Portal-Frames“

mit einem zentralen Bolzen. An den Fußpunkten der Glasschwerter stehen die Bindebleche leicht über die Glaskanten hinaus und sind mit weiteren Edelstahlblechen zu einer Box verschraubt, die über vertikal gleitende Schubdorne Horizontalkräfte in zwei Richtungen an den Massivbau übertragen können. Der vertikale Bewegungsausgleich an diesen Punkten wurde mit 20 mm nach oben und 40 mm nach unten ausgelegt. An den Mittelauflagern der Zweifeldträger erhalten die Bindebleche zusätzlich seitlich überstehende horizontale Aussteifungsbleche mit einer vertikalen Kopfplatte, über welche die Schwerter in Windrichtung zug- und druckfest an die Gebäudedecke angeschlossen werden. Durch zwei parallele, vertikale Langlöcher wird eine vertikale Verschieblichkeit bei gleichzeitiger Einspannung der Schwerter um ihre Torsionsachse garantiert und eine ausreichende Stabilisierung gegen Kippen gewährleistet. Am Beginn der oberen Auskragung befindet sich der Hauptauflagerpunkt der Glasschwerter. Die Bindebleche verbinden hier sowohl Kragarm und Feldträger biegesteif miteinander, nehmen aber auch den sogenannten „Main Bolt“ auf, der beidseitig über die Bindebleche hinaussteht. Der aus Montagegründen mehrteilig aufgebaute „Main Bolt“ steht mit den Glasscheiben nicht in Kontakt, sondern überträgt nur Lasten aus den Bindeblechen zu den außenliegenden „Brackets“. Durch diese Verbindung erfolgt auch die Abhängung der Schwerter. Die „Main Bolts“ stehen immer senkrecht zu den Glasschwertern, weshalb alle von der obersten Massivdecke gabelartig auskragenden „Top Brackets“ in unterschiedlichen Verdrehwinkeln ausgeführt wurden. Die gabelartige Halterung der

Schwerter an diesen Punkten sichert die ganze Anordnung ebenso gegen Kippen. Generell erfolgte der Übergang zwischen den Fassadenbauteilen und dem Massivbau über Einlegeteile und entsprechende mehrfach ausgesteifte Aufsetzplatten aus Stahl. Über Stellschrauben und Mörtelausgleichsschichten ermöglichten sie eine Aufnahme der Toleranzen in einer Größenordnung von ± 35 mm.

Die Fassadenoberflächen zwischen den Glasschwertern werden durch Glasscheiben geschlossen, die über die Gesamthöhe von bis zu 24 m maximal dreimal unterteilt sind. Dadurch entstehen großformatige Scheiben mit Abmessungen von bis zu 16 m auf 3,1 m. Ein Laminat aus 2×10 mm TVG-Scheiben in Verbindung mit einer 1,52 mm starken Zwischenschicht aus SGP-Folie sichert eine hohe Verbundwirkung zur Abtragung der Windlasten. Die Glasscheiben sind immer abwechselnd innen- und außen-seitig an den Glasschwertern über Punkthalter befestigt. Die zweiteiligen, sehr platzsparend ausgeführten Randpunkthalter klemmen die Scheiben im Abstand von ca. 2 m, ohne notwendige Bohrungen gegen Windsog- und Drucklasten. Die Punkthalter sind über verhältnismäßig kleine Konterscheiben und Senkkopfschrauben von der Außenseite direkt mit den Glasschwertern verschraubt. Dazu war eine gebohrte Ausführung der Glasschwerter erforderlich. Durch die im Glaslaminat versenkte Konterscheibe ergibt sich eine außen bündige, homogene Ansicht der Glasfinnen. Die Fassadenscheiben leisten auch einen Beitrag zur Aussteifung in Fassadenebene und sind zu diesem Zweck in der Höhe der Punkthalter kraftschlüssig horizontal mit den Schwertern verklotzt. Die zusätzliche Verklebung mit „Structural Silicone“ zwischen den Glas-

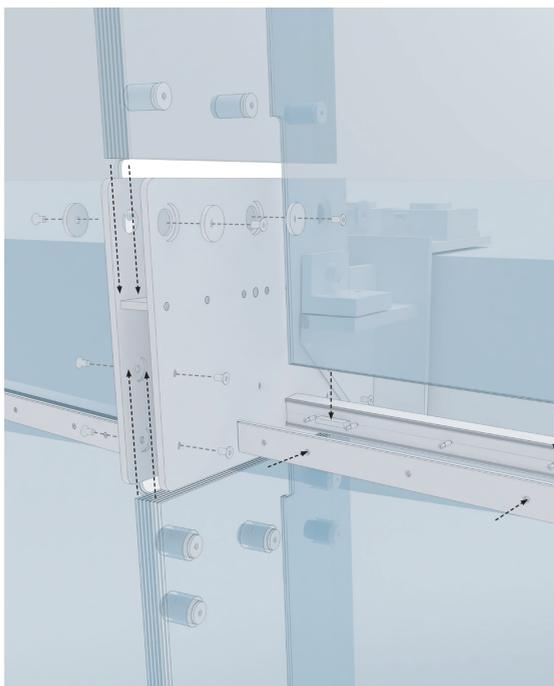


Bild 5 Explosionszeichnung Kopfpunkt

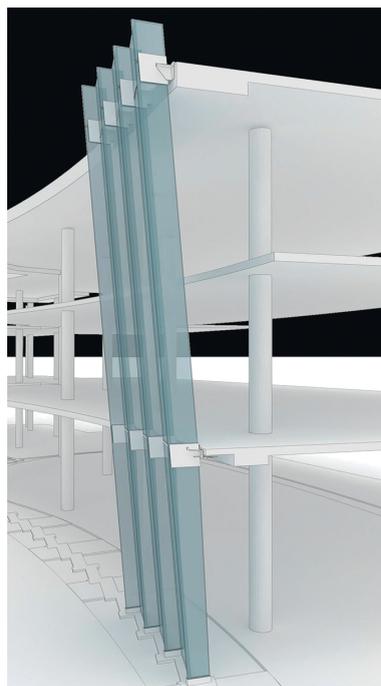


Bild 6 Überblick Lagerungskonzept / Ausschnitt über drei Achsen



Bild 7 Detail Ecke „Transom“ / Punkthalter

Tabelle 1 Querschnittstypen der Glasschwerter und prozentualer Anteil an der Querschnittszusammenstellung

Aufbau Glasschwert	Anzahl	Anteil [%]
5 × 10 mm TVG + SGP-Interlayer	38	32
6 × 10 mm TVG + SGP-Interlayer	33	28
7 × 10 mm TVG + SGP-Interlayer	28	23
8 × 10 mm TVG + SGP-Interlayer	21	18

schwertern und Fassadenscheiben trägt außerdem zur Reduktion der Verformungen in der Fassadenebene bei. Das Eigengewicht der bis zu 2,4 t schweren Scheiben wird jeweils am unteren Ende der Gläser durch Querträger, sogenannte „Transoms“, abgetragen. Durch eine hochtragfähige Klotzung am Rand der Querträger auf Höhe der Bindebleche werden die Lasten in die Glasschwerter eingeleitet. Grundsätzlich bestand für alle Stahlbauteile, die direkt mit den Gläsern in Verbindung stehen, die Vorgabe, diese als geschraubte Verbindungen auszuführen, um Genauigkeitsverluste aufgrund von Schweißverzug auszuschließen (Bilder 5, 6, 7, Tabelle 1).

4 Bemessung und Konstruktion

Die Bemessung der Edelstahlbauteile und der Stahlbauteile erfolgte nach der Eurocode Normenreihe, die Nachweise der Glasbauteile wurden nach ASTM E 1300 geführt. Bei den Windlastannahmen wurde jeweils der Maximalwert gemäß Windlasten nach lokalen Normenreihen sowie einem in der frühen Planungsphase durchgeführten Wind-Tunnel-Test gewählt. So ergaben sich maximale Sog-/Drucklasten von $\pm 2,52 \text{ kN/m}^2$ für die freistehenden Balustradenscheiben und Windsog- und Winddruckkräfte von $-1,58 \text{ kN/m}^2$ und $+1,50 \text{ kN/m}^2$ für die nicht auskragenden Glasscheiben der Fassade.

Weitere Belastungssituationen der Überlagerung von Windsog- und Winddruckkräften wurden im Grundriss berücksichtigt, um der gezackten Form der Fassade Rechnung zu tragen. Als Temperaturbelastung wurde eine maximale Erwärmung der Glasscheiben von 40 K und eine max. Abkühlung von 20 K berücksichtigt, bei Annahme einer Aufstelltemperatur im Bereich von 20°C bis 35°C. Die Ganzglasfassade wurde auch auf Erdbebeneinwirkung bemessen, wobei diese im Vergleich zu den Windlasten nicht maßgebend war.

Mit der Berücksichtigung der vertikalen Auflagersteifigkeiten beim oberen Aufhängepunkt der Glasschwerter und sämtlicher Auflagerverschiebungen der Betonbau-Unterkonstruktion wurden in der statischen Berechnung die Beanspruchungen der vergleichsweise steifen Glasfassade aus Zwang berücksichtigt. Hierzu erfolgte eine enge Abstimmung mit den Ingenieuren des Gesamtgebäudes.

In einer frühen Projektphase wurde bereits die Entscheidung getroffen, alle Bereiche der rund 300 m langen Fassade mit Rechenmodellen abzubilden (Bild 8). Obwohl die Konstruktion über die ganze Länge grundsätzlich gleichartig ausgeführt ist, führten verschiedenste Diskontinuitäten in Anbindung und Geometrie einzelner Abschnitte zu einer „worst-case“-Betrachtung. Durch diese arbeitszeitintensive aber sehr genaue Betrachtungsweise ist es möglich, für jeden einzelnen Bestandteil der Fassade die Größe der rechnerischen Beanspruchungen zu bestimmen. In die insgesamt 13 Teilmodelle wurden in weiterer Folge alle Lasten aufgenommen. Hierzu gehören auch die Verformungen des Gebäudes sowie die unterschiedlichen Steifigkeiten der auskragenden Deckenbereiche als Auflagerfedern. Die 3D-Berechnungsmodelle wurden mit einem hohen Detaillierungsgrad ausgeführt, mit dem Ziel, einen Großteil der rechnerischen Nachweise am Globalmodell zu erbringen. Dieser Logik folgend sind beispielsweise alle Glasbohrungen im 3D-Modell modelliert, ebenso alle Bolzen und Verbindungsbleche.

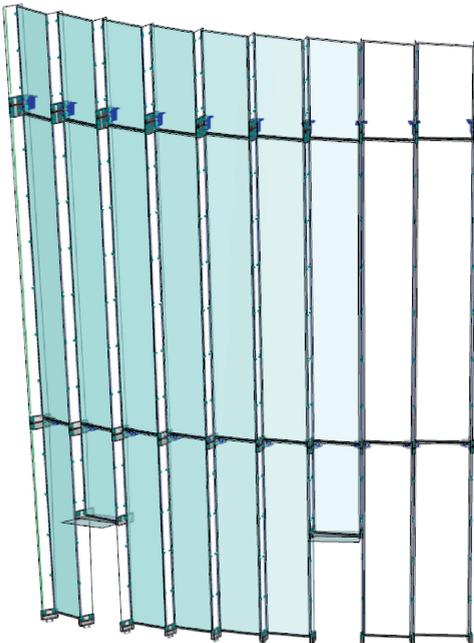


Bild 8 Berechnungsmodell
Ausschnitt Area 09

Sämtliche die Beanspruchungen beeinflussenden Steifigkeiten aus Vergussmaterialien, Klotzungen und Exzentrizitäten von Anschlüssen sind in die Modelle integriert. Daraus resultieren Dateigrößen, die eine Aufteilung der Gesamtfassade in rechnerische Teilmodelle erforderlich machte. Die letztlich zur Ausführung gekommenen Dimensionierungen aller Glas- und Stahlbauteile sind das Ergebnis einer großen Anzahl an Optimierungsschritten. Insbesondere die biegesteife Verbindung der Glasschwerter erforderte eine größere Anzahl an Iterationen. Neben dem anteiligen Erfassen der Glashauptzugspannungen aus Membran- und Querbiegebeanspruchung im Bohrlochbereich waren die Anzahl und Lage der Bolzen sowie Steifigkeit der Lastübertragungen entscheidende Parameter für die Optimierung der Bauteilabmessungen.

Begleitend zu den detaillierten Berechnungen wurden an der FH München Versuche hinsichtlich der Abschertragfähigkeit der Glasverbindungen durchgeführt (Membranbeanspruchung der Glasbauteile). Hierbei wurden verschiedene Versuchsreihen mit den diversen Bolzendurchmessern zum jeweiligen Bohrloch durchgeführt sowie eine Versuchsreihe mit zwei in Serie angeordneten Edelstahlbolzen, jeweils mit einem Glaspaket von 6×10 mm TVG-Scheiben und SGP-Interlayern. Dabei wurde die genaue Geometrie der ausgeführten Bolzenverbindungen berücksichtigt und verschiedene Belastungskurven mit unterschiedlichen Lastniveaus getestet. Zuerst wurde bis zu einer rechnerisch ermittelten Bemessungsbruchlast die Belastung erhöht und zyklisch wieder entlastet, danach wurde dieser Vorgang bis zu einer rechnerisch ermittelten Bruchlast ohne Sicherheiten wiederholt, um dann das Lastniveau wieder auf die Bemessungslast zu verringern. Zum Schluss wurden die Glasproben bis zum Bruch belastet. Das Last-Verschiebungsdiagramm zeigte auf, ob es zu nicht-linearen Effekten im Bohrlochbereich im Zuge der zunehmenden Belastung kommt (z. B.: im Hilti-Verguss), zudem wurde der globale Sicherheitsbeiwert gegen Glasbruch ermittelt. Die Versuche zeigten keine nennenswerten nicht-linearen Effekte im Bohrlochbereich und der globale Sicherheitsbeiwert (auf den 5%-Fraktilwert bezogen) konnte mit 2,55 sowie 3,27 bei der jeweiligen Bolzenverbindung ausgewertet werden.

5 Fertigung und Montage

Hohe Ingenieurs- und Konstruktionskunst, eine Fertigung der Hauptkomponenten innerhalb der seele Gruppe, sowie eine durchdachte und abgestimmte Logistik und Montage ermöglichten die Realisierung der 5.300 m^2 Ganzglaskonstruktion in einer Projektdauer von nur einem Jahr und sieben Monaten. In der Stahlproduktion von seele pilsen wurde die Fertigung für die rund 103 t der Stahlkonsolen sowie die 118 t für die Duplexstahlschuhe und Riegel vorgenommen. Gewährleistet wurde dadurch die Fertigungsgenauigkeit der Finnenschuhe und die „just-in-time“-Lieferungen an die Glasfertigung. Die Finnenschuhe wurden im Werk der sedak an den Glasfinnen vormontiert, um eine exakte Assemblierung sicherzustellen und weitere Qualitäts- und Terminalsicherheiten zu erlangen.

Sedak lieferte 329 Stück Glasfinnen und 333 Stück Glasscheiben mit einer maximalen Länge von bis zu 16 m. Insgesamt wurden hierfür ca. 29.605 m^2 „Low Iron Basisglas“ zu Laminaten aus TVG gefertigt.

Durch die Fertigung von Stahl und Glas innerhalb der seele Gruppe wurde zusätzlich eine hohe Flexibilität erreicht und das Know-how von Spezialisten kombiniert. Ebenso



Bild 9 Montage der Glaspaneele:
Die speziell angefertigte Sauganlage
dreht das Glas in die geforderte Geometrie
zum Einbau in die Fassade ein
© seele

konnte durch enge Abstimmung die Werkplanung effizient an die Fertigung angepasst und Zeit eingespart werden.

Die Logistik für die überdimensionalen Glasscheiben stellte eine Herausforderung dar, denn eine Verschiffung in Containern war nicht möglich. Per Seefracht wurden spezielle Holzkisten auf sogenannten RoRo-Schiffen (Roll on Roll off) verschickt. Die Gläser wurden gegen Feuchtigkeit mittels Folierung geschützt.

Insgesamt wurden über 109 Lieferungen von se-austria, seele pilsen und sedak nach Thailand gesendet. Um eine stetige Versorgung der Baustelle zu gewährleisten, wurde neben dem Puffer für den Seeweg auch der oft langwierige Import berücksichtigt. Zudem wurde die Anlieferung vom Hafen zur Baustelle genau geprüft, da nicht jede Route für einen Transport mit Überlänge geeignet war. Die Anlieferung erfolgte generell nur in der Nacht.

Für die Montage der überdimensionalen Finnen und Scheiben wurden zwei Sauganlagen mit Gegengewicht und kompletter dreiaxialer Verstellungsmöglichkeit speziell für dieses Bauvorhaben entwickelt (Bild 9). Erst durch die neuen Sauganlagen war es möglich, die Gläser mittels „Remote Control“ in die finale Position zu manövrieren. Die Glasfinnen wurden während der Montage von gefrästen Holzschablonen gestützt, die das Design bzw. den Verlauf der Fassade formten. Erst mit dem Einsetzen der Fassadenscheiben wurde die Fassade selbst tragend.



Bild 10 Pionierarbeit von seele: Die hängende Ganzglasfassade erstreckt sich über drei Bereiche (LUX1–3), ragt drei Stockwerke in die Höhe und ist mit ihrer schrägen, nach außen fallenden Geometrie wahrlich ein Meisterwerk © seele/Andreas Keller

6 Schlussbemerkung

Die Ganzglasfassade der ICONSIAM Shopping Mall ist eine der größten konstruktiven Glasbauten weltweit. Hohe Präzision und Transparenz leisten hier einen außergewöhnlichen Beitrag zur Gestaltung eines sehr großen öffentlichen Gebäudekomplexes. Die Fassadenkonstruktion steht stellvertretend für Neuerungen wie extrem großformatige und präzise Bauteile, hochfeste Verbundwirkung zwischen den Glasscheiben, lasttragende Verklebungen und eine sehr hohe Genauigkeit bei Planung, Berechnung, Montage und Logistik. Das sind Eigenschaften, die den konstruktiven Glasbau im letzten Jahrzehnt überdurchschnittlich geprägt haben. Dahinter stehen flexible und exzellent ausgebildete, interdisziplinäre Planungsteams, die es ermöglichen, Projekte in dieser Komplexität und Größenordnung in so kurzer Zeit sicher und qualitativ umzusetzen (Bild 10).

