

Leistung und Ästhetik – der Weg zu innovativen Gebäudehüllen

Manfred Grohmann¹, Daniel Pfanner²

1 Prof. Dipl.-Ing., Bollinger + Grohmann, Westhafenplatz 1, 60327 Frankfurt, Deutschland

2 Prof. Dr.-Ing., Bollinger + Grohmann, Westhafenplatz 1, 60327 Frankfurt, Deutschland

Die Anforderungen an Gebäude sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und wirken sich unmittelbar auf die Gebäudehülle aus. Die fortlaufende Anpassung der Energieeinsparverordnung beeinflusst die Qualität von Fassaden hinsichtlich des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes, Nachhaltigkeitsaspekte beeinflussen die Materialwahl und verstärkt wird Gebäudehüllen auch eine zentrale Rolle in Sicherheitskonzepten zugeschrieben. Statt diese gestiegenen Anforderungen als Einschränkung im Planungsprozess zu empfinden, interpretiert Bollinger + Grohmann projektspezifische Besonderheiten um: als Inspiration für den Entwurfsprozess. Die besonderen Eigenschaften eines Bauprojekts finden sich somit idealerweise in der Fassade wieder, zum Beispiel in ihrer Materialität oder Formgebung. Entwurfsansätze werden in allgemeiner Form dargestellt und in Projektbeispielen näher erläutert.

Performance and aesthetics – the way to innovative building envelopes. Requirements for buildings have been increased continuously in the past and have direct consequences for the building skin. The ongoing tightening of the German energy performance directive for buildings significantly influences the quality of facades with regard to heat insulation and solar protection. Sustainability aspects affect the material choice and many modern facades fulfil functions in security concepts. Instead of taking those increased requirements as constraints for the planning process, Bollinger + Grohmann try to reinterpret them as inspiration for the engineering design. Ideally, the particular properties of a project can thus be found directly in the facade, e.g. in materiality or form. The design approaches will be explained in general form and discussed by means of project references.

Schlagwörter: ganzheitlicher Entwurfsansatz, Simulation, Materialwahl

Keywords: holistic design approach, simulation, material choice

1 Anforderungen an Gebäudehüllen, Norm und Realität

Fassaden übernehmen einen immer wichtigeren Anteil am Gesamtkonzept moderner Gebäude. Kein Trend in den letzten Jahren hinsichtlich Energieeffizienz oder Nachhaltigkeit, der sich nicht unmittelbar auch auf die ästhetische und technische Ausbildung der Gebäudehülle ausgewirkt hat. Dabei hat sich selbstverständlich an den ursprünglichen Aufgaben von Fassaden nichts geändert, nämlich das Gebäude nach außen hin zu repräsentieren, den Außenbezug und die Behaglichkeit für die Bewohner und Benutzer

des Gebäudes herzustellen sowie die originären Schutzfunktionen hinsichtlich Klima, Feuchtigkeit, Sonne und Lärm zu erfüllen. Hinzu kommen funktionale Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Brandschutz, Wartung, Reinigung, etc. Die in Bild 1-1 dargestellten Anforderungen werden dabei durch inzwischen ca. 1500 Normen und Richtlinien geregelt oder mittelbar beeinflusst. Diese betreffen die unterschiedlichen an der Planung und am Bau beteiligten Fachdisziplinen, von denen in der Darstellung nur einige dargestellt sind.

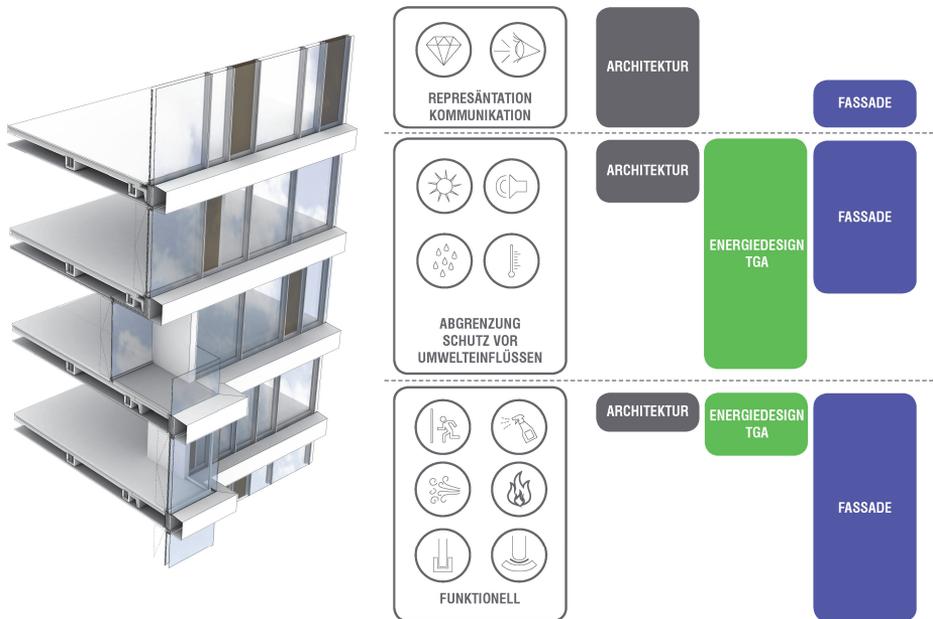


Bild 1-1 Auswahl an Anforderungen an Gebäudehüllen sowie den fachlich Beteiligten.

In der Regel formulieren Normen vereinfachte, präskriptive Berechnungsverfahren, die Einzeleigenschaften eines Gebäudes wie zum Beispiel „Heizwärmebedarf“ oder „Sonneneintragskennwert“ betrachten. In der Regel sind diese Verfahren konservativ, da die in der Berechnung berücksichtigten Kenngrößen stark klassifiziert sind. Zudem wird die herausgelöste Betrachtung von Einzeleigenschaften modernen Gebäuden nicht mehr gerecht, in denen sich bestimmte Eigenschaften der Gebäudehülle, wie zum Beispiel der prozentuale Anteil transparenter Außenfläche, auf eine Vielzahl unterschiedlicher normativ geregelter Anforderungen auswirken. Die Alternative zum besseren und genaueren Verständnis der Gebäudehülle im Gesamtkontext stellen höherwertige Nachweisverfahren, wie beispielsweise thermische Gebäudesimulationen dar. Mit deren Hilfe werden die genaue Fassaden-Geometrie, die jeweiligen haustechnischen Anlagen und entscheidende Qualitäten der Fassade wie Verglasungsart und Sonnenschutzsystem wesentlich genauer abgebildet und insbesondere ihre Auswirkungen auf mehrere unterschiedliche zu erbringende Nachweise berücksichtigt.

2 Entwurfparameter sommerlicher Wärmeschutz

Insbesondere in Hinblick auf den geforderten sommerlichen Wärmeschutz lässt sich ohne den höherwertigen Nachweis einer Simulation kein befriedigendes Ergebnis mehr für das Gebäude erzielen [1]. Das in der DIN 4108-2 vorgeschlagene vereinfachte Nachweisverfahren ist viel zu grob, um den betrachteten Raum realistisch genug abbilden zu können. So werden beispielsweise vorhandene Verschattungselemente wie Markisen nur bei Einhaltung bestimmter Winkel berücksichtigt:

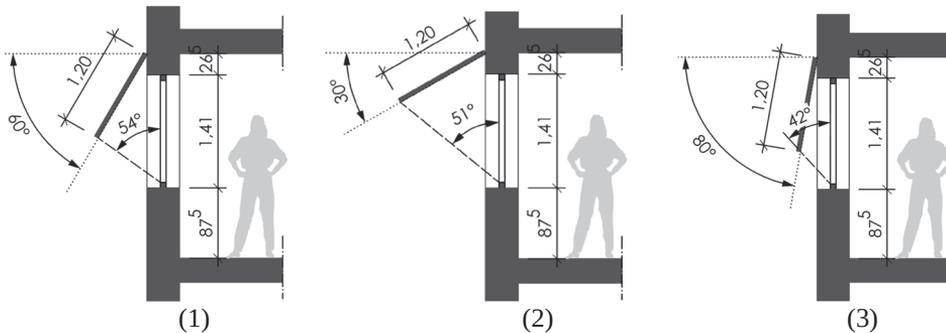
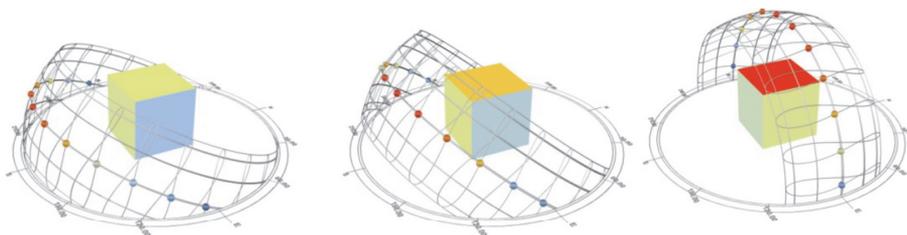


Bild 2-1 Beispiele für Geometrien von Sonnenschutzelementen, bei denen im vereinfachten Nachweisverfahren nach DIN 4108-2 eine Verschattungswirkung berücksichtigt werden darf (Variante 1 und 2) und bei der keinerlei verschattende Wirkung erfolgen darf (Variante 3) [2].

Die Grenzen eines solchen Nachweisverfahrens werden auch deutlich, wenn man den Sonnenverlauf und die resultierenden Werte der solaren Einstrahlung in unterschiedlichen Regionen der Erde betrachtet:



Horizontal	774 kWh/(m ² a)	Horizontal	1060 kWh/(m ² a)	Horizontal	1817 kWh/(m ² a)
Süd	714 kWh/(m ² a)	Süd	736 kWh/(m ² a)	Süd	617 kWh/(m ² a)
Ost	416 kWh/(m ² a)	Ost	510 kWh/(m ² a)	Ost	730 kWh/(m ² a)
Nord	195 kWh/(m ² a)	Nord	245 kWh/(m ² a)	Nord	531 kWh/(m ² a)
West	420 kWh/(m ² a)	West	505 kWh/(m ² a)	West	799 kWh/(m ² a)

Bild 2-2 Abhängigkeit der solaren Einstrahlung von Orientierung und geographischer Breite v.l.n.r. Reykjavik, Mannheim, Nairobi [3].

Es ist offensichtlich, dass eine korrekte Berücksichtigung der Verschattungswirkung auf transparente Flächen nur mittels einer geometrisch korrekten, dreidimensionalen Abbildung im Rahmen einer dynamischen, nicht-stationären Simulation realisierbar ist. Eine solche hat zudem den Vorteil, dass auch die Auswirkung auf die Tageslichttransmission zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten berücksichtigt werden kann.

2.1 Aspekt Tageslicht und Nutzerverhalten

Der sommerliche Wärmeeintrag in Gebäude sollte nicht losgekoppelt von anzustrebenden winterlichen solaren Wärmegewinnen betrachtet werden. Gleichzeitig sollte die Tageslichtqualität sowie der visuelle Komfort der Nutzer über das komplette Jahr verteilt in der Wahl des Fassadensystems Berücksichtigung finden. Letzteres hat zudem eine Rückkopplung auf den Endenergiebedarf des Gebäudes: Je besser die Tageslichtausbeute in einem Raum ist, desto geringer ist der Anteil der Kunstlichtnutzung und somit der Verbrauch elektrischer Energie. Dieser Aspekt wird in der derzeitigen Normenlandschaft nur in unzureichender Form berücksichtigt, obwohl der Anteil der künstlichen Beleuchtung am Gesamtenergieverbrauch in Verwaltungs- und Bürogebäuden beträchtlich ist.

Sollen die Aspekte des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes mit der Tageslichtnutzung entwerflich in Einklang gebracht werden, ist dies beispielsweise mit einer parametrischen Optimierung im Rahmen einer Tageslichtsimulation möglich. Die Tageslichtqualität lässt sich mittels der sogenannten Tageslichtautonomie messen. Diese gibt an, zu welchem Anteil der jährlichen Nutzungszeit ein Raum mit ausreichender natürlicher Beleuchtungsstärke versorgt wird.

Im folgenden Beispiel einer passiv verschatteten Glasfassade nach [3] wurden für einen beliebigen südlich ausgerichteten Fassadenausschnitt gewichtete Zielfunktionen für die Minimierung der sommerlichen Solarstrahlung, die Maximierung der winterlichen Einstrahlung sowie die Maximierung der Tageslichtautonomie definiert:

Zielfunktionen	Solarstrahlung, Sommer R_s	Solarstrahlung, Winter R_w	Mittlere Tageslichtautonomie DA
Idealwert	0	272 kWh/m ²	76,92 %
Anti-Idealwert	426 kWh/m ²	0	0
Wichtungsfaktor	0,33	0,33	0,33
Zielfunktion	$f_1 = \frac{ R_s(x) - 0 }{ 0 - 426 } \cdot 0,33$	$f_2 = \frac{ 272 - R_w(x) }{ 272 - 0 } \cdot 0,33$	$f_3 = \frac{ 76,92 - DA(x) }{ 76,92 - 0 } \cdot 0,33$

Bild 2-3 Mögliche Zielfunktionen für die Optimierung einer passiven Verschattung [3].

Als Referenzgeometrie der passiven Verschattung kam ein orthogonales Raster in Anlehnung an die Brises-soleil des High Court Gebäudes in Chandigarh, Indien von Le Corbusier zum Einsatz, wobei auf den ebenenweisen Versatz verzichtet wurde. In dieser regelmäßigen Geometrie wurden nun nach gestalterischen Vorgaben Punkte definiert, die aus der Ebene heraus verschoben werden konnten.

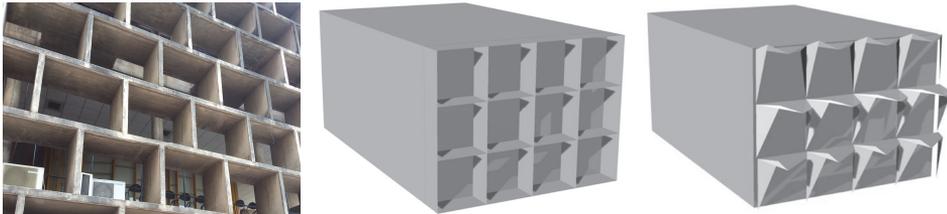


Bild 2-4 Brise-soleil Verschattung des High Courts, Chandigarh (links), Ausgangskonfiguration (Mitte) und Varianten parametrisch optimierter passiver Verschattung (rechts) [3].

Die multikriterielle Optimierung erfolgte anschließend durch die Überführung der oben beschriebenen Zielfunktionen in ein skalares Ersatzproblem sowie unter Verwendung genetischer Algorithmen. Das Ergebnis ist in Bild 2-5 dargestellt und zeigt im Vergleich zur Ausgangsvariante wesentlich verbesserte Ergebnisse hinsichtlich der gewählten Zielfunktionen.

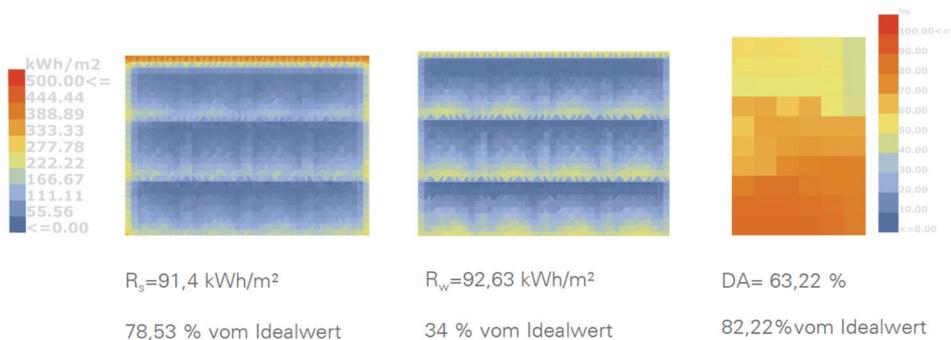


Bild 2-5 Variante mit hoher Wichtung der Zielfunktion „Minimierung der Solarstrahlung im Sommer“ [3]. Solare Einstrahlung in kWh/m² auf die Glasebene im Sommer (links), im Winter (Mitte) und Tageslichtautonomie in der Grundrissfläche eines typischen Raumes (rechts).

Entsprechende passive Verschattungssysteme haben offensichtliche Vorteile gegenüber beweglichen, wartungsintensiveren Systemen. Die Praktikabilität und insbesondere Nutzerakzeptanz ist genau zu untersuchen, erste Projektbeispiele, wie die Middelfart Savings Bank von 3XN Architekten oder das Hochhaus C10 in Darmstadt von Staab Architekten (beides Bild 2-6), weisen jedoch in eine ähnliche Richtung und geben Anlass, entsprechende Ansätze weiterzuentwickeln.



Bild 2-6 Middelfart Savings Bank von 3XN Architekten, Quelle: www.archdaily.com, © Adam Mørk (links). Hochhaus C10 in Darmstadt von Staab Architekten, Quelle: www.detail.de, © Werner Huthmacher, Berlin (rechts).

3 Entwurfsparameter winterlicher Wärmeschutz

Für die Deichmann Bibliothek in Oslo waren die folgenden Anforderungen des Bauherren entwurfsbestimmend:

- Gewährleistung hoher Tageslichtnutzung in den einzelnen Geschossen,
- Herstellung einer passivhaus-äquivalenten Gebäudehülle. Nach den geltenden norwegischen Bestimmungen für öffentliche Gebäude führte dies auf einen geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten der Vorhangfassade von $U_{CW} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Bild 3-1 Rendering der Deichmann Bibliothek in Oslo © Atelier Oslo.

Die grundlegenden Eigenschaften des aus einem Architektur-Wettbewerb hervorgegangenen Entwurfs des Architekturbüros Atelier Oslo waren der hohe Glasanteil von ca. 50 % an der Gebäudehülle sowie die sehr feingliedrige vertikale Einteilung der Fassade (Bild 3-1). Diese beiden Eigenschaften stellten sich hinsichtlich der Erfüllung des geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten als problematisch heraus:

Zum einen weisen klassische Passivhausfassaden Anteile $< 50\%$ an transparenten Flächen auf, da die minimal erreichbaren U_g -Werte der reinen Verglasung für aktuell verfügbare Dreifach-Wärmeschutzverglasungen nur unwesentlich unter $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen. Normalerweise kompensiert man daher die verglasten Bereiche mit vollwärmegedämmten Wandelementen („Lochfassade“).

Zum anderen erwies sich die feine Rasterung der Fassade als problematisch, da eine größere Zahl an Einselelementen eine größere Anzahl an Fugen und somit linearer Wärmebrücken nach sich zieht. Der Wärmedurchgang dieser linearen Wärmebrücken wird beeinflusst durch:

- den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ ,
- den Wärmedurchgangskoeffizienten U_f des Rahmens zur Aufnahme des Dichtsystems sowie die Gewährleistung des geforderten Tragwiderstands.

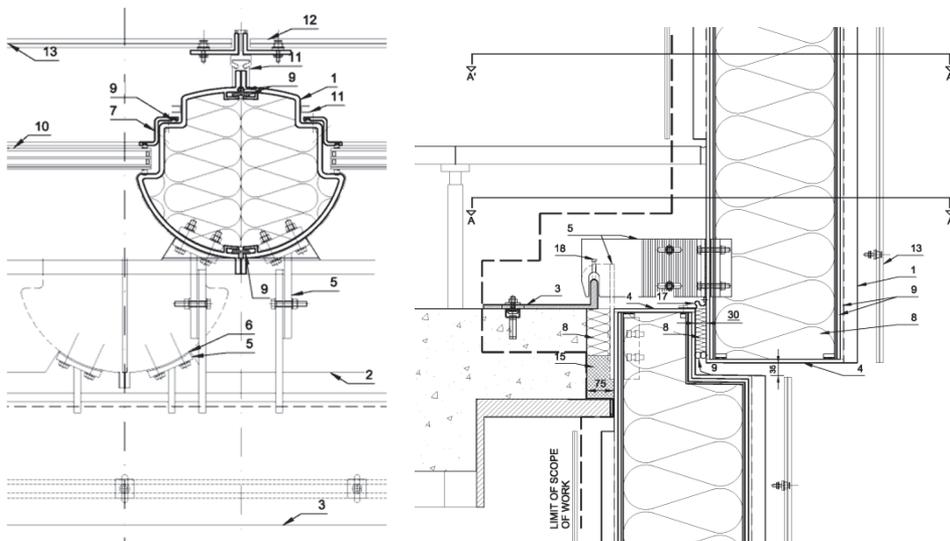


Bild 3-2 Typischer Horizontal- und Vertikalschnitt.

Beide Werte hängen – unter anderem – stark vom Rahmenmaterial ab, in der Regel Aluminium, Stahl oder Edelstahl, deren hohe Wärmeleitfähigkeit sich negativ auf den Wärmedurchgang in den Fugenbereichen auswirken. Aus diesem Grund wurde hier eine

Materialalternative für die Unterkonstruktion der Fassade weiterverfolgt: Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), welcher im Vergleich zu Aluminiumlegierungen ($\lambda = \text{ca. } 160 \text{ W/mK}$) eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit hat ($\lambda = 0,2 \dots 0,6 \text{ W/mK}$). Die Form der ca. 450 mm breiten Profile wurde zunächst in Hinsicht auf die folgenden Eigenschaften / Funktionen festgelegt (Bild 3-2):

- 50 % verglaste Fläche, der Rest kerngedämmte GFK-Profile,
- optimierter Tageslichteinfall durch Vermeidung harter Kanten,
- problemlose Aufnahme weiterer Komponenten (Prallscheibe, Sonnenschutz, Klemmleisten, etc.),
- Elementierbarkeit der Fassade
- mögliche Herstellung im Pultrusions- oder Handlaminationsverfahren.

Bis auf die Befestigung an der Rohdecke, die aus Edelstahlkonsolen (siehe Bild 3-3) besteht, die mit den GFK-Schalen verschraubt sind, kommen keine metallischen Profile in der Konstruktion zum Einsatz. In dieser Form übernimmt die GFK-Konstruktion somit zum ersten Mal für Elemente dieser Größenordnung (bis zu 12 m) lastabtragende Funktion für Eigengewichtslasten von bis zu 2,5 t und für die Wind- und Temperaturlasten. Insbesondere bei Lastkonzentrationen ist GFK in Hinsicht auf verschiedene Aspekte sehr genau zu untersuchen:

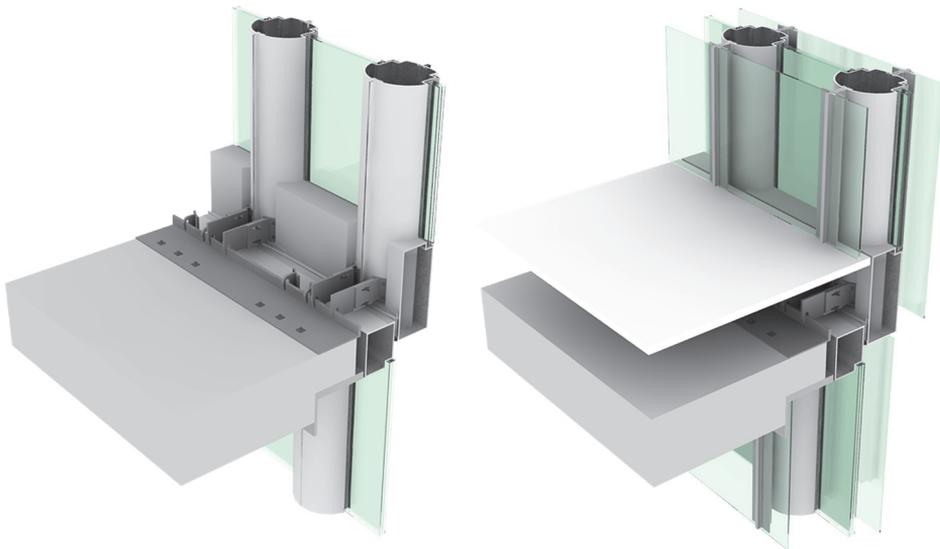


Bild 3-3 Isometrische Darstellung der thermischen Hülle (links) und des Gesamtsystems inklusive Prallscheiben und Doppelboden (rechts).

- Mehraxiale Spannungszustände mit Zugspannungen quer zur Profillängsrichtung. Dies gilt insbesondere bei pultrudierten Profilen mit einer Faserrichtung, wohingegen die Handlamination ein beanspruchungsgerechtes Materialdesign mit lokalen Verstärkungen ermöglicht.
- Kriechverzerrungen der Matrix unter Dauerbeanspruchungen (Eigengewicht). Da im vorliegenden Fall die Dimensionierung der Profile thermisch, also hinsichtlich der Dämmeigenschaften erfolgte, sind sie statisch gewissermaßen überbemessen, so dass die auftretenden Dauerspannungen weit unter den kriecherzeugenden Grenzwerten liegen.

Die entwickelten Profilgeometrien wurden anschließend hinsichtlich des Wärmedurchgangs mittels einer Wärmebrückensimulation untersucht, um den geforderten U_{CW} -Wert erfolgreich nachweisen zu können (Bild 3-4).

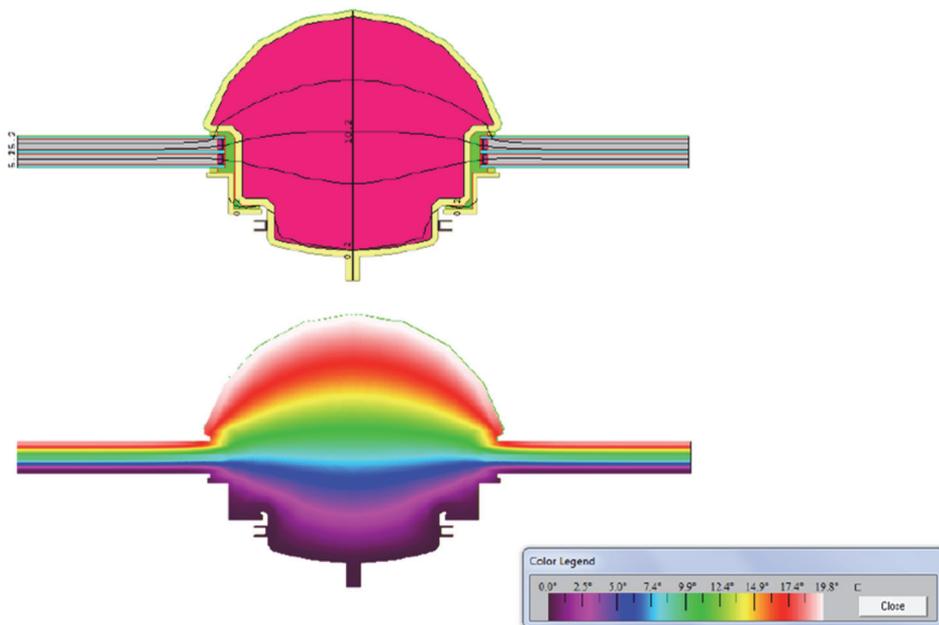


Bild 3-4 Isothermenverlauf der Wärmebrückensimulation des Standard-Horizontalschnitts.

Die weitere Verwendung des Materials GFK im Fassadenbau bietet großes Potential hinsichtlich der Minimierung von Wärmeverlusten durch konstruktiv kritische Stellen. Es sei an dieser Stelle aber auch kritisch angemerkt, dass eine pauschale Forderung nach präskriptiven U-Werten in jedem Projekt kritisch geprüft werden sollte, inwieweit der erzielte Nutzen den Aufwand rechtfertigt.

4 Literatur

- [1] Fischer, C., Hellinger, G., Rogala, D.: Unterkühlte Norm. Deutsches Architektenblatt 09 / 2015.
- [2] Schwickert, S.: Sommerlicher Wärmeschutz, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, 2014.
- [3] Scheuring, L.: Parametrischer Entwurfsprozess für passive Sonnenschutzsysteme. TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baukonstruktion (2015).