

Toleranzen
bei der Herstell-
ung und Verfor-
mungen des
Materials

Inhaltsübersicht

Vorwort	3
Einführung	4
Beschreibung des Materials	5
Begründungen und Erklärungen für objektive Bewertungsbedingungen	6
Einfluss der Materialeigenschaften	7
Temperatur und ihre Veränderungen	7
Thermische Trägheit des Materials	8
Luftfeuchtigkeit und ihre Veränderungen	8
Schwerkraft und Eigenmasse	9
Heterogene Gebiete	9
Spezifische Oberfläche	9
Transport und Lagerung ohne Stützkonstruktion	10
Formgedächtnis	10
Tragkonstruktion am Gebäude	11
Fertigungstoleranzen und Verfahren zur Bewertung	11
Fertigungstoleranzwerte	12
Verfahren zur Messung von Fertigungstoleranzen und deren Bewertung	13
Kalibrierungstabelle	13
Korrekte Platzierung des Produkts auf dem Kalibriertisch	13
Produktkonditionierung vor der Messung	13
Beseitigung der auf das Produkt einwirkenden heterogenen Bedingungen	14
Grundlegende Fehler bei der Durchführung von Messungen	14
Lösung	15
Stabilität der Abmessungen	16
Definition	16
Einzelne Parameter	16
Physikalische Eigenschaften von Beton als poröses Material	16
Thermische Ausdehnung und ungleichmäßiges Temperaturfeld	16
Schrumpfung der Zementmatrix	16
Kriechen	17
Wie genau bewirken diese Einflüsse Verformungen in	17

Vorwort

3

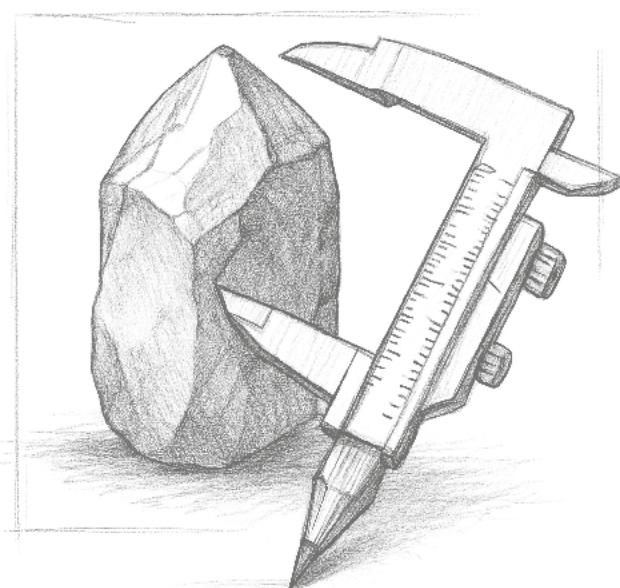
Am Anfang stand die Erwartung – und damit die Vorstellung, dass ein Fassadenelement aus Glasfaserbeton ein Leben lang perfekt gerade, präzise und geometrisch unveränderlich sein würde. Schließlich wird Beton zu einer festen Form, „was kann da schon passieren“, oder?

Dieses Buch ist für alle, die schon mal mit dieser naiven Vorstellung konfrontiert wurden. Egal, ob du Architekt, Planer, Errichter oder Planer bist. Vor allem für diejenigen, die überrascht waren, als eine perfekt gefertigte Platte auf dem Weg aus der Fabrik plötzlich ihren „Charakter“ bekam. Die Form ist der entscheidende Faktor.

Glasfaserbeton ist echt ein erstaunliches Material. Es ist leicht, stark und langlebig und genauso reaktionsfähig wie jedes andere lebende Material. Er reagiert auf Feuchtigkeit, Temperatur, Schwerkraft und wie wir mit ihm umgehen. Deshalb ist es wichtig zu verstehen, was noch natürlich ist und was bereits ein Fehler ist.

Dieses Buch bietet keine magische Lösung für die Herstellung von Beton, der niemals nachgibt. Es bringt aber etwas viel Wertvollereres: Man versteht, **warum und wie** sich Glasfaserbeton verformt und wie man damit rechnen, **leben und arbeiten** kann. Wenn du erwartest, dass das Material der Realität ohne Widerstand dient, empfehle ich dir, über Stahl nachzudenken. Oder Plastik. Oder Photoshop.

Wenn du die Realitäten echter Fassadensysteme verstehen und meistern willst, **bist du hier genau richtig**.



Einführung

4

Formveränderungen von dünnwandigen Glasfaserbeton (GFB)- Fassaden-verkleidungen sind eine natürliche Folge der Eigenschaften des Materials selbst und seiner Wechselwirkung mit der Umgebung. Einflüsse wie Temperatur, Feuchtigkeit, Lagerung, Transport und tatsächliche Handhabung auf der Baustelle sowie die Verankerung führen dazu, dass selbst Elemente, die völlig eben hergestellt werden, nicht völlig stabil bleiben. Ziel dieses Dokuments ist es, das Phänomen der Formverformung detailliert zu beschreiben und zu erklären, damit es zu einem vorhersehbaren Faktor bei der Planung und Konstruktion von Gebäuden wird. Die Kenntnis dieses Themas ist für alle, die an der Planung und Ausführung von Fassadensystemen beteiligt sind - vom Architekten über den Statiker bis hin zum Bauunternehmer - von entscheidender Bedeutung.

Architekt

Für den Architekten ist das Wissen um die Verformungen von dünnwandigen GFB-Elementen in der Entwurfsphase von entscheidender Bedeutung. Formveränderungen können das visuelle Gesamterscheinungsbild der Fassade beeinflussen, das oft das Ergebnis einer präzisen Entwurfsabsicht ist. Der Architekt muss verstehen, wie sich die ursprüngliche Geometrie verändern kann, um die Fugen, Dehnungsfugen und die Kontinuität der Elemente richtig zu gestalten. Ein mangelndes Verständnis dieses Phänomens kann zu ästhetischen Mängeln oder unerwünschten Lücken und Unebenheiten führen. Darüber hinaus ermöglicht die korrekte Einbeziehung dieses Wissens in den Entwurf eine größere kreative Freiheit, so dass die Entwürfe nicht nur schön, sondern auch praktikabel sind.

Hochbauingenieur (Konstrukteur)

Aus der Sicht des Statikers ist es wichtig zu wissen, wie sich die Verformungen von Glasfaserbeton auf die Formstabilität und die Lastübertragung zwischen der Fassadenbekleidung und der Tragkonstruktion auswirken. Wenn diese Verformungen nicht berücksichtigt werden, können unerwartete Spannungen in den Fugen auftreten oder die Verankerungssysteme überlastet werden. Der Statiker muss mit dem Architekten und dem Materiallieferanten zusammenarbeiten, um sicherzustellen, dass der Entwurf der Konstruktion dem tatsächlichen Verhalten des Materials entspricht. Die genaue Kenntnis des Verformungsbereichs ermöglicht den Entwurf sicherer, flexibler und wirtschaftlicher Befestigungssysteme, die sich an den tatsächlichen Zustand der Fassadenverkleidung anpassen.

Installationsunternehmen

Der Verleger wird in der Praxis direkt mit den Folgen von Formverformungen konfrontiert - bei der Handhabung, der Lagerung vor Ort und der endgültigen Verlegung der Platten. Wenn die Kenntnisse zu diesem Thema unzureichend sind und die natürlichen Verformungen nicht im Voraus berücksichtigt werden, können sie den Verlegeprozess erheblich erschweren. Die Platten passen möglicherweise nicht in die vorbereiteten Verankerungspunkte, und es können zusätzliche Änderungen an der Konstruktion und der Bewehrung erforderlich sein. Eine gute Kenntnis des zu erwartenden Verhaltens des Materials ermöglicht es den Verlegern, Arbeitsabläufe vorzubereiten, die diesen Phänomenen Rechnung tragen. Das Ergebnis ist ein effizienter Einbau, eine höhere Verarbeitungsqualität und ein geringeres Risiko von Beschwerden oder Fehlern in der Zukunft.

Beschreibung des Materials

5

Polycon-Material wird in präzisen (flachen, geformten) Gussformen hergestellt, die der gewünschten Form vollständig entsprechen. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich um ein dünnwandiges Betonprodukt handelt, das in seiner grundlegenden Materialbeschaffenheit ein Verbundwerkstoff aus natürlichen Schüttgütern und flüssigen Rohstoffen ist. Polycon ist daher nicht absolut homogen und gleichmäßig, da die einzelnen Materialkomponenten nicht absolut und gleichmäßig über das Volumen und die Oberfläche verteilt sind. Es ist zu berücksichtigen, dass es sich um ein hygrokopisches Material handelt, das auf äußere Einflüsse (Feuchtigkeit, Temperatur, Schwerkraft) natürlich und normal reagiert. Das Material hat also die Fähigkeit, auf natürliche Weise nicht nur Luftfeuchtigkeit, sondern bei direktem Kontakt auch Wasser zu absorbieren und anschließend zu desorbieren. All diese Feuchtigkeit wird anschließend unter geeigneten klimatischen Bedingungen verdunstet. Die Folge dieses Vorgangs kann die Entwicklung innerer Spannungen im Materialgefüge und die daraus resultierende vorübergehende Verformung der Form sein. Die einzelnen Produkte, wie sie an der Fassade verwendet werden, sind gegen diese Verformungen durch eine entsprechend ausgelegte Stützkonstruktion gesichert, die ihnen einen gleichmäßigen Halt gibt und so Verformungen am Gebäude verhindert. Produkte, die während des Reifungsprozesses gelagert oder anschließend auf Paletten und in Transportkäfigen verteilt werden, haben diese gleichmäßige Abstützung in der Tragkonstruktion jedoch nicht und können sich daher vorübergehend in ihrer Geometrie verformen. Es handelt sich also nicht um einen Fehler im Produkt, sondern um eine natürliche Folge von äußeren Einflüssen. Die Art und Weise, wie äußere Einflüsse wirken, zeigt sich bei ebenen Platten und geformten Elementen auf unterschiedliche Weise. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass das Material selbst kein Formgedächtnis hat und die dadurch entstehenden Formabweichungen nicht dauerhaft sind. Durch geeignete und ausreichende Kompensation kann die ursprünglich gewünschte Form wiederhergestellt und dauerhaft beibehalten werden. Die anschließende Montage an der Fassade oder einer anderen tragenden Konstruktion gewährleistet deren dauerhafte Stabilität und Formstabilität.

Begründungen und Erklärungen für objektive Bewertungsbedingungen

6

Auf der Baustelle treten vereinzelte Fälle auf, in denen dünnwandige Glasfaserbetonelemente, die das Werk als präzise gefertigt verlassen haben, nach der Anlieferung auf der Baustelle gewisse Formabweichungen aufweisen. Diese Verformungen sind kein Zeichen eines Herstellungsfehlers, sondern eine natürliche Reaktion des Materials auf die Umgebungsbedingungen - Veränderungen der Temperatur, der Feuchtigkeit, der Lagerung und der Handhabung. Da diese Eigenschaften nicht immer ausreichend bekannt oder verstanden sind, entsteht vor Ort der falsche Eindruck, dass die Ware beschädigt oder von schlechter Qualität ist.

Mangelndes technisches Wissen über die Materialeigenschaften von GFB-Elementen führt häufig zu falschen Qualitätsbewertungen. Verleger, die keine ausreichende Fachkenntnis über das typische Verhalten von GFB haben, sehen selbst natürliche, reversible Verformungen als großes Problem an. Infolgedessen kommt es zu häufigen und ungerechtfertigten Reklamationen, die den Bau verzögern, die Kommunikation zwischen den Auftragnehmern belasten und Misstrauen in die gesamte Kooperation bringen.

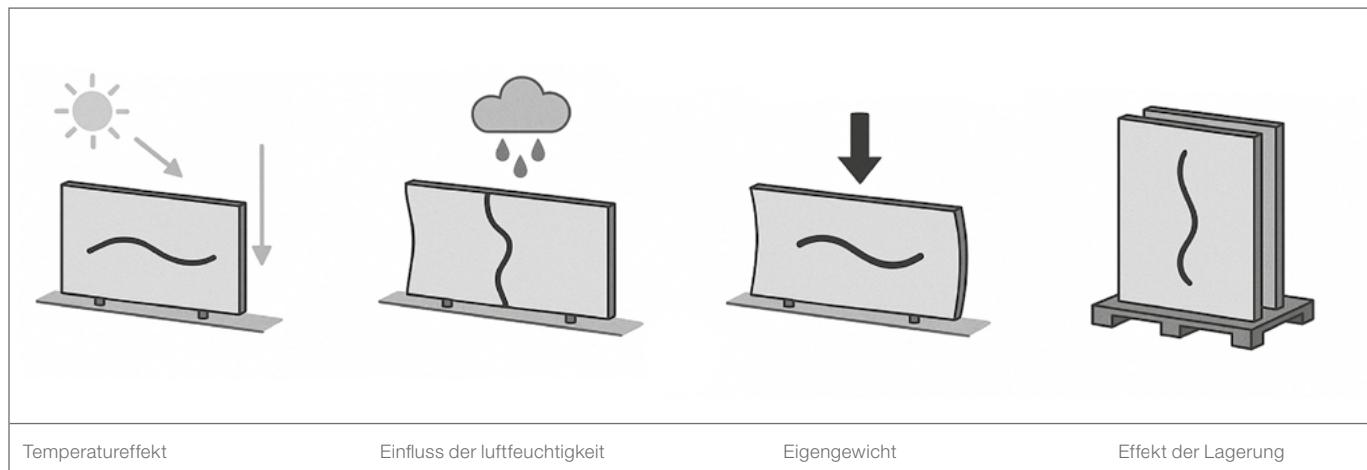
Es ist daher notwendig, objektive und fachlich fundierte Kriterien für die Bewertung von Formveränderungen aufzustellen. Diese Kriterien müssen auf realen, messbaren Werten beruhen und nicht auf subjektiven Eindrücken oder visuellen Beurteilungen ohne Kontext. Sie sollten nicht nur die Maßtoleranzen des Herstellers berücksichtigen, sondern auch die Art der Lagerung, die Zeit seit der Herstellung und die aktuellen klimatischen Bedingungen. Nur so lässt sich feststellen, ob eine bestimmte Verformung normal und vorübergehend ist oder ob es sich tatsächlich um einen Mangel handelt.

Die Schulung der Arbeiter in allen Bauphasen - von der Warenannahme bis zum eigentlichen Einbau - ist ein Schlüsselement für eine ordnungsgemäße Qualitätsbewertung. Nur ein informierter Arbeiter kann erkennen, wann Verformungen ein normaler Teil des Materialverhaltens sind und wann die Situation angegangen werden muss. Dies vermeidet unnötige Konflikte, Verzögerungen und Kosten und erhöht die Effizienz des gesamten Bauprozesses für Fassadensysteme.

Einfluss der Materialeigenschaften

7

Glasfaserverstärkter Beton (GFB) ist ein Verbundwerkstoff, der aus einem zementhaltigen Bindemittel, feinen Zuschlägen, Wasser, Zusatzmitteln und insbesondere kurzen Glasfasern besteht, die für die Zugfestigkeit sorgen und die Gesamtbeständigkeit des Materials verbessern. Diese Kombination macht GFB extrem leicht, dehnbar und ermöglicht die Herstellung von dünnwandigen komplex geformten Elementen. Gleichzeitig erhöhen jedoch die Schlankheit und die relativ geringe Steifigkeit die Empfindlichkeit gegenüber äußeren physikalischen Einflüssen. Diese Bedingungen - wie Temperatur-, Feuchtigkeits-, Eigengewichts- oder Lagerungsänderungen - führen zu Maß- und Formveränderungen. Dabei handelt es sich nicht um Mängel, sondern um das natürliche Verhalten des Materials, das verstanden und bei der Konstruktion, Handhabung und Montage berücksichtigt werden muss.

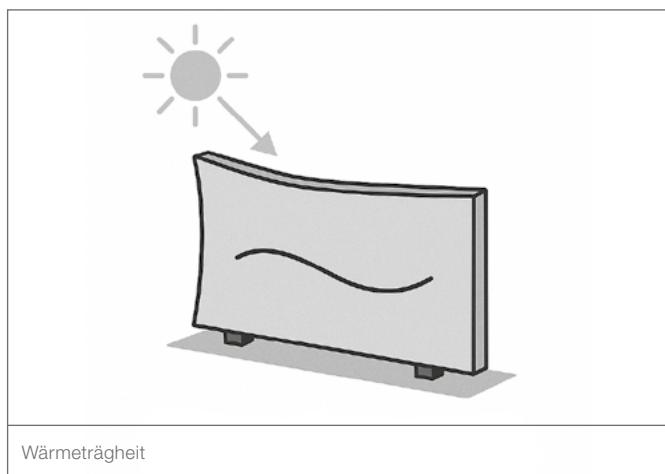


Temperatur und ihre Veränderungen

Temperaturänderungen führen zu einer Ausdehnung und Kontraktion der Zementmatrix. Jedes Material reagiert auf Wärme mit Ausdehnung - Glasfaserbeton ist da keine Ausnahme. Aufgrund der dünnen Materialschicht und des Fehlens einer starren, tragenden Bewehrung kann schon ein kleiner Temperaturunterschied (z. B. zwischen Schatten und direkter Sonneneinstrahlung) zu einer leichten Verwindung oder zum Ausknicken der Elemente führen. Darüber hinaus kann die unterschiedliche Sonneneinstrahlung an verschiedenen Stellen der Platte zu einer ungleichmäßigen Wärmeausdehnung und damit zu lokalen Verformungen führen. Diese Verformungen sind in der Regel reversibel.

Thermische Trägheit des Materials

Glasfaserbetonverbundwerkstoffe haben eine hohe thermische Trägheit, was bedeutet, dass sich Temperaturänderungen nicht sofort und gleichmäßig auf das gesamte Volumen des Materials auswirken. Bei einseitiger Erwärmung - zum Beispiel durch Sonnenlicht - werden die einzelnen Schichten ungleichmäßig gedehnt, was vorübergehend zu leichten Formveränderungen wie Wölbungen oder Verdrehungen führen kann. Diese Verformungen verschwinden in der Regel, sobald sich die Temperaturen auf beiden Seiten angeglichen haben. Unterschiedliche Absorptionsraten und die Struktur der Vorder- und Rückseiten der Elemente, die Wärme unterschiedlich absorbieren, haben ebenfalls einen Einfluss. Dieses Phänomen ist natürlich, und es ist wichtig, es nicht als Defekt zu verstehen, sondern als eine Materialeigenschaft, die je nach den Umgebungsbedingungen ein wiederholbares und vorhersehbares Muster aufweist.



Luftfeuchtigkeit und ihre Veränderungen

Glasfaserbeton ist ein poröses Material, das auf Veränderungen der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung reagiert. Absorption und Trocknung führen zu Volumenänderungen - das Material schrumpft beim Trocknen und quillt leicht auf, wenn es nass ist. Diese Veränderungen treten nicht immer gleichmäßig auf, was zu Oberflächenverformungen oder zum Ausbeulen von dünnen Elementen führen kann. Längere Nasslagerung oder schnelles Trocknen (z. B. durch die Sonne nach Regen) sind häufige Beispiele, bei denen sichtbare Krümmungen auftreten können, die die Maßgenauigkeit beeinträchtigen.

Schwerkraft und Eigenmasse

Obwohl GFB im Vergleich zu herkömmlichem Betonelementen leicht ist, hat das Eigengewicht dennoch Einfluss auf die dünnwandige Struktur. Ohne ausreichende Unterstützung oder tragende Struktur kann es zu leichten Beulen und Formveränderungen kommen. Wenn Elemente ohne Rücksicht auf ihre Steifigkeit gelagert oder gehandhabt werden, können Schwerkraftbelastungen zu Formveränderungen führen, insbesondere in Kombination mit anderen Faktoren wie Feuchtigkeit oder unebenem Untergrund.

Heterogene Gebiete

Glasfaserbetonprodukte haben unterschiedliche Oberflächeneigenschaften auf der Vorder- und Rückseite. Die Vorderseite ist in der Regel glatter, weniger saugfähig und hat eine geringere Porosität, während die Rückseite offener und rauer ist und eine höhere Feuchtigkeitsaufnahmekapazität hat. Diese Unterschiede führen dazu, dass jede Seite unterschiedlich auf äußere Bedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur) reagiert, was zu Spannungen zwischen den Oberflächen führt, die Krümmungen oder Wölbungen verursachen können. Aus diesem Grund ist die Konditionierung vor der Messung unerlässlich - ohne sie ist es unmöglich, ein objektives Bild von der tatsächlichen Form und den Abmessungen des Produkts zu erhalten. Die Stabilisierung des Materials in einer neutralen Umgebung beseitigt vorübergehende Verformungen, die durch die unterschiedlichen Umwelteinflüsse auf die verschiedenen Oberflächen verursacht werden.

Spezifische Oberfläche

Die spezifische Oberfläche (Verhältnis von Fläche zu Gewicht) von Betonverkleidungsmaterialien hat einen direkten Einfluss auf ihren Widerstand gegen Verformungen durch äußere Einflüsse.

Auswirkung der spezifischen Oberfläche

- Eine größere spezifische Oberfläche (z. B. eine dünne, leichte Verkleidung mit einer großen Oberfläche) kann bedeuten, dass das Material anfälliger für Verformungen ist.
- Gleichzeitig kann es eine geringere thermische Trägheit aufweisen und daher schneller auf Temperaturänderungen reagieren, was zu Spannungen und damit verbundenen Formverformungen führen kann.

Die spezifische Oberfläche allein ist nicht ausschlaggebend, aber in Verbindung mit der Dicke, dem Gewicht und dem Design kann sie den Gesamtwiderstand der Fliese gegen Verformung beeinflussen. In der Praxis muss der gesamte Komplex der Eigenschaften berücksichtigt werden. Im Allgemeinen gilt: Je höher der spezifische Oberflächenfaktor, desto anfälliger ist das Produkt für Formverformungen. Einfach ausgedrückt: Je massiver das Produkt (d. h. dicker, nicht flächenmäßig größer), desto höher die Verformungsbeständigkeit. Wenn der Kunde also ein widerstandsfähigeres Produkt wünscht, muss er entweder eine kleinere Größe oder eine größere Dicke im Entwurf berücksichtigen, so dass sich der spezifische Oberflächenfaktor zugunsten einer größeren Formstabilität verändert.

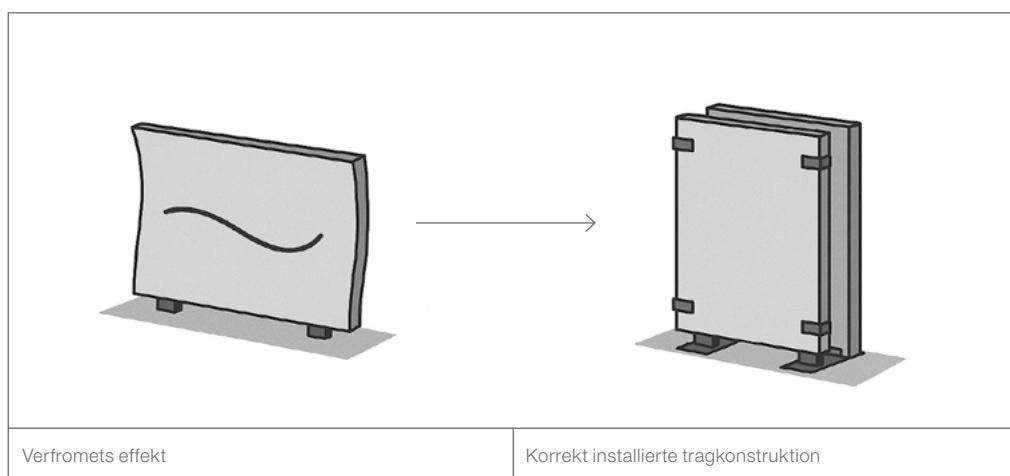
Einer der Hauptvorteile von GRC ist die Möglichkeit, sehr dünne und große Elemente herzustellen. Diese Ungleichheit - große Fläche gegenüber geringer Dicke - macht das Material anfällig für Verformungen. Ein solches Element ist weniger biegesteif und hat ohne Unterstützung eine geringere Stabilität. Selbst minimale Unregelmäßigkeiten in der Umgebung können zu Knicken oder Verdrehungen führen. Aus konstruktiver Sicht ist dies ein zu erwartendes Verhalten von dünnwandigem Material, das bei der Handhabung und Montage bewusst kontrolliert werden muss.

Transport und Lagerung ohne Stützkonstruktion

Während des Transports werden die Elemente häufig auf Paletten gelagert, oft ohne zusätzliche Verstärkungen oder starre Rahmen. Wenn sie nicht gesichert sind oder wenn sie während des Transports Feuchtigkeit oder Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, kann es zu vorübergehenden Verformungen kommen. Auch die Lagerung auf unebenem Boden oder in mehrlagigen Paletten ohne einheitliche Unterlage ist ein wesentlicher Faktor.

Formgedächtnis

Eine der wichtigsten Materialeigenschaften von Glasfaserbeton ist die Tatsache, dass er kein sogenanntes „Formgedächtnis“ besitzt. Das bedeutet, dass Formverformungen, die durch Transport, Handhabung oder äußere Einflüsse verursacht werden, nicht dauerhaft sind. Im Gegenteil - GFB-Elemente haben die Fähigkeit, sich während des Einbaus an die Geometrie anzupassen, in der sie verankert sind. Ist die Tragkonstruktion richtig konstruiert und ausreichend steif, kann ihre Geometrie auch auf ein leicht verformtes Verkleidungselement schrittweise übertragen. Die wichtigste Voraussetzung ist jedoch, dass die Tragkonstruktion wirklich eben und präzise konstruiert ist. Wenn die Verlegung präzise und unter Berücksichtigung der Steifigkeit des Systems erfolgt, werden die Spannungen im Material im Laufe der Zeit gleichmäßig verteilt, so dass sich die Verkleidung an den Untergrund anpassen kann. Diese Eigenschaft des Glasfaserbetons ermöglicht es, auch leicht verformte Elemente einzubauen, ohne das endgültige Aussehen oder die Funktionalität der Fassade zu beeinträchtigen - vorausgesetzt, das Trägersystem bietet eine ausreichende und gleichmäßige Unterstützung.



Formverformungen von GRC-Elementen sind das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels mehrerer Faktoren - Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit, Eigengewicht, Elementgeometrie und die Art des Transports oder der Lagerung. In den meisten Fällen gibt es nicht nur einen dominanten Einfluss, sondern vielmehr ein Zusammenspiel mehrerer sich gegenseitig verstärkender Umstände. Es ist daher wichtig, bei der Bewertung des Zustands von Elementen diesen Zusammenhang zu berücksichtigen. Das richtige Verständnis dieser Phänomene ermöglicht es, normale, reversible Verformungen von echten Defekten zu unterscheiden und führt zu einem effizienten und professionellen Ansatz bei der Handhabung, Inspektion und Montage von Fassadensystemen.

Tragkonstruktion (UK) am Gebäude

Ein wichtiger Faktor, der die resultierende Ebenheit der Glasfaserbeton-Fassadenelemente grundlegend beeinflusst, ist die entworfene und bemessene Tragkonstruktion, die zudem korrekt und gleichmäßig montiert ist. Die Festigkeit bzw. Steifigkeit des Systems allein reicht nicht aus, auch die **Lage und Anzahl der Verankerungselemente** spielt eine entscheidende Rolle. Diese müssen in ausreichender Anzahl und in den richtigen Abständen sowohl zueinander als auch zu den Kanten der einzelnen Fassadenelemente angebracht werden. Eine unsachgemäße Verankerung kann zu einer lokalen Verformung, Durchbiegung oder Verwindung der Platte führen, die auch durch eine präzise Montage nicht beseitigt werden kann. Nur gleichmäßig verteilte Verankerungspunkte, die die Last auf die starre Unterkonstruktion übertragen, sorgen dafür, dass sich GRC-Elemente auf natürliche Weise an ihre Ebene anpassen und auch bei äußeren Einflüssen stabil bleiben. Die richtige Verankerung ist daher nicht nur aus statischen Gründen wichtig, sondern auch für die optische Qualität und die langfristige Funktionalität der Fassade.

Fertigungstoleranzen und Verfahren zur Bewertung

Fertigungstoleranzen sind ein wesentlicher Bestandteil des Produktionsprozesses und legen die zulässigen Abweichungen der Produktparameter fest, die während der Produktion oder nach der Entnahme aus der Form auftreten können. Diese Toleranzen werden im Hinblick auf die technologischen Möglichkeiten des Produktionsprozesses und die Materialeigenschaften festgelegt und sollen sicherstellen, dass das Produkt die Funktions- und Qualitätsanforderungen erfüllt. Parameter wie Ebenheit, Winkeltoleranzen oder Formabweichungen werden zum Zeitpunkt der Entnahme des Produkts aus der Form geprüft, wenn es noch „frisch“ und frei von Umgebungseinflüssen ist. Werden diese Parameter jedoch nach einer gewissen Zeit ausgewertet, können Abweichungen durch äußere Einflüsse wie Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit, mechanische Belastungen oder chemische Reaktionen auftreten, die das Produkt während seines Lebenszyklus beeinflussen. Diese Faktoren lassen sich bei der Messung und Bewertung von Produkten nicht ausschließen. Daher ist es wichtig, zwischen Fertigungstoleranzen, die für ein Produkt ohne äußere Einflüsse gelten, und echten Toleranzen, die für ein der Umwelt ausgesetztes Produkt gelten, zu unterscheiden. Bei der Bewertung von Produkten vor Ort müssen daher nicht nur die ursprünglichen Fertigungstoleranzen berücksichtigt werden, sondern auch die Korrelationskoeffizienten, die die Auswirkungen externer Faktoren auf die einzelnen Produktparameter widerspiegeln. Für einige Parameter, insbesondere Knickung, Durchbiegung und Winkelabweichung der Seiten, kann dieser Koeffizient bis zum Doppelten der für die Fertigungstoleranzen angegebenen Werte betragen. Der Wert dieses Koeffizienten hängt von vielen Faktoren ab, z. B. von den Abmessungen des Erzeugnisses, seiner Dicke, den Temperaturunterschieden in der Umgebung, dem Feuchtigkeitsgradienten, der Farbe und der Oberfläche der Erzeugnisse, der Art der Lagerung, der Dauer der Einwirkung usw. Aus diesen Gründen ist es nicht möglich, den genauen Wert der möglichen Abweichungen mit einem bestimmten Wert zu beziffern, da die einzelnen Abweichungen je nach den oben genannten Faktoren und deren Kombination ständig variieren können.

Fertigungstoleranzwerte

12

Titel	Beschreibung	Wert
Toleranzen und Abweichungen vom Nennmaß	<p>Länge der Schneide</p> <p>a) Länge, Höhe und Krümmung - linear bis zu 3000 mm</p> <p>a) Länge, Höhe und Krümmung - linear über 3000 mm</p> <p>b) Kantenkrümmung</p> <p>c) Dicke</p> <p>c i) 3mm Sichtschicht</p> <p>Hinweis: Bei schwereren dekorativen Zusätzen oder strukturierten Oberflächen oder scharfen Ecken und Kanten kann die Fliesendicke höher sein.</p> <p>c ii) Dicke der GRC-Strukturrückschicht</p> <p>c iii) Tiefe der integrierten Rippen</p> <p>(d) Winkelabweichung der Seitenflächen</p> <p>d i) <= 75mm Tiefe</p> <p>d ii) >75mm Tiefe</p> <p>(e) Rechter Winkel (Unterschied in der Länge der Diagonalen oder andere ähnliche Kriterien)</p> <p>f i) Durchbiegung des Elements bis zu einem Nennmaß von 1500 mm</p> <p>f ii) Durchbiegung des Elements über 1500 mm Nennmaß</p> <p>g) Aussparungen im Sichtbereich</p> <p>h) Position der Aussparungen im Sichtbereich</p>	<p>$\pm 2,0$ mm</p> <p>$\pm 3,0$ mm</p> <p>$\pm 6,0$ mm</p> <p>+ 12,0 mm</p> <p>$\pm 1,0$ mm</p> <p>+ 5,0 mm</p> <p>+10,0 mm, -5,0 mm</p> <p>$\pm 1^\circ$</p> <p>$\pm 1,5^\circ$</p> <p>bis zu 6 mm pro 3 m Länge oder bis zu 12 mm auf 3 m Länge</p> <p>$\pm 6,0$ mm</p> <p>$\pm L/250$ mm</p> <p>$\pm 5,0$ mm</p> <p>$\pm 3,0$ mm</p>
Gewindebuchsen	<p>Position der Gewindeguss im Inneren des Pads</p> <p>Position des Sturzes</p> <p>Fallhöhe</p> <p>i i) Vertikale und horizontale Kantenebenheit</p> <p>i ii) Position der Stützrippen</p> <p>i (iii) Rechtwinkligkeit des Rahmens (diagonale Abweichung)</p> <p>(i iv) die Gesamtlänge des Rahmens</p>	<p>$\pm 1,5$ mm</p> <p>$\pm 3,0$ mm</p> <p>$\pm 1,5$ mm</p> <p>6 mm bis zu 3 m und 12 mm über 3 m</p> <p>$\pm 10,0$ mm</p> <p>10,0 mm</p> <p>$\pm 10,0$ mm</p>
Ständerwerk	<p>j) Durchbiegung (eine Ecke der drei anderen sollte nicht mehr als 5 mm/m Abstand zur nächstgelegenen Ecke haben)</p> <p>Umschlungene Fixierungspunkte</p>	<p>5,0 mm/m</p> <p>$\pm 2,0$ mm</p>

Verfahren zur Messung von Fertigungstoleranzen und deren Bewertung

13

Die korrekte Messung der Fertigungstoleranzen von Glasfaserbetonelementen ist ein wichtiger Schritt zur objektiven Bewertung der Produktionsqualität. Jede Ungenauigkeit oder Nichteinhaltung der Methodik kann zu einer subjektiven Bewertung der Ergebnisse führen, die nicht den tatsächlichen Zustand des Produkts widerspiegeln. Daher ist es wichtig, ein genau definiertes Messverfahren einzuhalten, das den Einfluss des menschlichen Faktors minimiert und die Möglichkeit einer absichtlichen oder unabsichtlichen Verzerrung ausschließt. Das gemessene Element muss unter idealen Bedingungen platziert werden - auf einer ebenen, stabilen Oberfläche und ohne jegliche Belastung oder Verformung durch unsachgemäße Handhabung. Äußere Einflüsse wie Temperaturschwankungen, Luftfeuchtigkeit oder statische Belastungen, die die Form und die Abmessungen des Elements zum Zeitpunkt der Messung beeinträchtigen könnten, müssen ebenfalls ausgeschlossen werden. Nur unter diesen Bedingungen können korrekte und reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden, auf deren Grundlage eine faire Bewertung der Einhaltung der Fertigungstoleranzen erfolgen kann.

Kalibrierungstabelle

Die Messung von Fertigungstoleranzen muss auf einem vollkommen ebenen und stabilen Kalibriertisch erfolgen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die gemessenen Abweichungen tatsächlich auf die Produkteigenschaften und nicht auf die Unebenheiten des Untergrunds zurückzuführen sind. Die Verwendung einer ungeeigneten oder schiefen Messfläche kann zu verzerrten Ergebnissen führen, die ein ansonsten konformes Produkt zu Unrecht als mangelhaft einstufen.

Korrekte Platzierung des Produkts auf dem Kalibriertisch

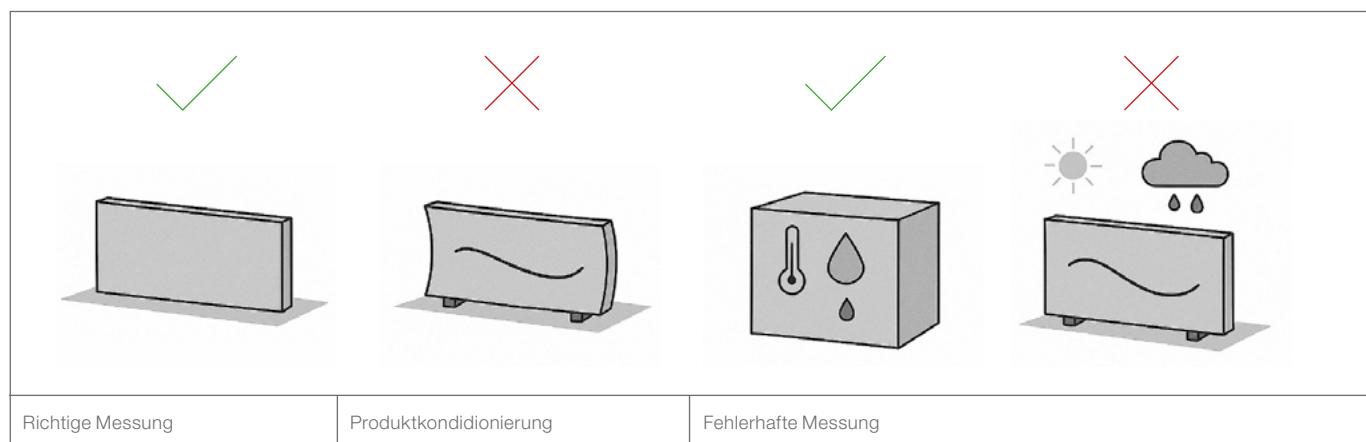
Das Produkt muss so auf dem Kalibriertisch platziert werden, dass es nicht durch sein Eigengewicht in einer Weise belastet wird, die seine Form beeinträchtigt. Wenn es beispielsweise nur an den Rändern abgestützt wird, kann es bei langen Elementen zu einer Durchbiegung kommen. So kann durch eine unsachgemäße Montage eine Verformung während der Messung künstlich erzeugt oder verschleiert werden, die in Wirklichkeit nicht vorhanden ist.

Produktkonditionierung vor der Messung

Vor der eigentlichen Messung muss das Produkt eine gewisse Zeit lang in einer stabilen Umgebung mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit gelagert werden. Dieser Schritt ist notwendig, damit sich das Material an die Umgebungsbedingungen anpassen und sein Volumen und seine Form stabilisieren kann. Ohne diesen Schritt kann der gemessene Zustand durch frühere Lager-, Transport- oder Handhabungsbedingungen beeinflusst werden.

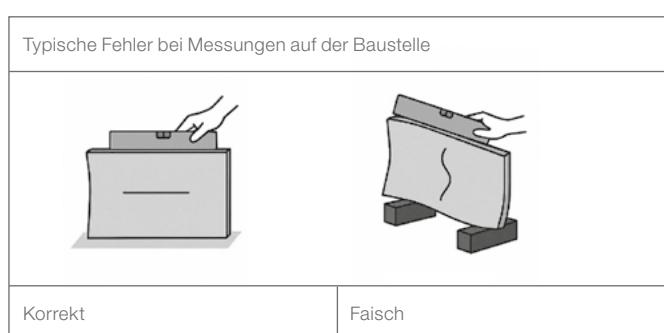
Beseitigung der auf das Produkt einwirkenden heterogenen Bedingungen

Es ist wichtig, dass die Bedingungen, denen das Produkt während der Messung ausgesetzt ist, auf beiden Seiten gleich sind - insbesondere in Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeit. Wenn beispielsweise eine Seite Hitze oder Feuchtigkeit ausgesetzt ist und die andere nicht, kann es zu kurzfristigen Verformungen kommen, die die Messergebnisse verfälschen und nicht das tatsächliche Verhalten des Produkts an der Fassade widerspiegeln.



Grundlegende Fehler bei der Durchführung von Messungen

Eine der häufigsten Ursachen für ungerechtfertigte Reklamationen bei der Lieferung von Glasfaserbeton-Fassadenelementen ist **das falsche und unprofessionelle Aufmaß auf der Baustelle**. Die Monteure übernehmen die Produkte oft in einem Zustand, in dem sie ohne Stützkonstruktion auf Paletten gelagert werden, ihrem Eigengewicht ausgesetzt sind und auch Umwelteinflüssen - insbesondere Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen - ausgesetzt sind. An diesem Punkt ist es natürlich, dass die Elemente gewisse Formschwankungen aufweisen können. Ohne ein tieferes Verständnis des Materials und seines natürlichen Verhaltens nehmen Installateure dann unter ungeeigneten Bedingungen, oft auf unebenem Boden und ohne das Produkt zu konditionieren, Messungen vor und erwarten eine perfekte Übereinstimmung mit den Idealmaßen aus den Fertigungszeichnungen. Diese Situation führt sehr oft zu einer falschen Bewertung des Produktzustands und zu ungerechtfertigten Reklamationen. Die korrekte Beurteilung von Abmessungen und Maßtoleranzen muss auf einer genau definierten Methodik, der Kenntnis des Materials und dem Verständnis beruhen, dass das Glasfaserbetonprodukt seine endgültige Form nur annimmt, wenn es auf einer starren und ebenen Unterkonstruktion installiert ist.



Lösung

Leicht verformte Glasfaserbetonprodukte, deren Form durch äußere Einflüsse während des Transports oder der Lagerung beeinträchtigt wurde, können in den meisten Fällen ohne Probleme an der Fassade angebracht werden. Da dieser **Verbundwerkstoff kein Formgedächtnis hat**, ist er in der Lage, bei korrektem Einbau die Geometrie der Struktur, an der er verankert ist, anzunehmen. Die wichtigste Voraussetzung ist, dass diese Struktur **ausreichend steif, gerade und richtig dimensioniert** ist, um die notwendige Unterstützung und Formstabilität der Elemente zu gewährleisten. In bestimmten Fällen kann auch das Eigengewicht des Produkts dazu beitragen, die Form zu korrigieren - z. B. indem es auf einen flachen und starren Untergrund gelegt wird, so dass die natürliche Last es wieder in die gewünschte Geometrie bringt. Ein erfahrener Monteur muss diese Situationen berücksichtigen und verstehen, dass die natürlichen physikalischen Gesetze des Materials kein Fehler sind, sondern ein normaler Bestandteil der Arbeit mit dieser Art von Produkten. Fachmännische Handhabung, korrekte Manipulation und die Fähigkeit, den tatsächlichen Zustand der Elemente zu beurteilen, sind für die reibungslose Umsetzung der Fassade und die Vermeidung ungerechtfertigter Rückschlüsse auf die Produktqualität unerlässlich.

Stabilität der Abmessungen

16

Definition

Unter der Dimensionsstabilität von Beton versteht man die Fähigkeit des Betons, seine ursprünglichen Abmessungen ohne unerwünschte Verformung (Schwinden oder Quellen) während seiner Lebensdauer beizubehalten. Dünnwandige Betonprodukte (z.B. Fassadenplatten, Verkleidungen, Architekturelemente) zeichnen sich durch ihre geringe Dicke und damit hohe Empfindlichkeit gegenüber äußeren und inneren Einflüssen aus. Eine absolute Maßhaltigkeit kann daher nie erreicht werden.

Einzelne Parameter

Warum dünnwandiger Beton nicht völlig formstabil sein kann

Physikalische Eigenschaften von Beton als poröses Material

- Beton ist kapillarporös - er enthält Poren, durch die Wasser und Wasserdampf diffundieren.
- Das Wasser im Beton tritt je nach Umgebungsfeuchtigkeit und -temperatur aus und ein.
- Diese Wasserbewegung führt zu Volumenänderungen:
- beim Trocknen – Schrumpfung
- wenn sie befeuchtet werden – anschwelle

Dünnwandige Elemente reagieren **schneller und intensiver** auf diese Veränderungen als massive Strukturen, da sie ein höheres **Oberflächen/Volumen-Verhältnis** aufweisen.

Thermische Ausdehnung und ungleichmäßiges Temperaturfeld

- Beton hat einen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa $10-12 \times 10^{-6} /K$.
- Wenn eine Oberfläche stärker erwärmt wird als eine andere (z. B. durch Sonneneinstrahlung), entsteht ein Temperaturgefälle – , das innere Spannungen und Formverformungen (Biegen, Verdrehen) verursacht.

Bei dünnen Betonplatten äußert sich dies natürlich in Form von **Beulen, Knicken, Verformungen oder Verdrehungen der Oberfläche, Winkelabweichungen oder anderen Arten von Formabweichungen**.

Schrumpfung der Zementmatrix

- Aufgrund der geringen Dicke und der schnelleren Trocknung des Betons:
- **schnellere Verdunstung des Wassers** von der Oberfläche,
- **größeres Feuchtigkeitsgefälle** zwischen der Oberfläche und dem Kern.

Dies führt zu einer ungleichmäßigen Schrumpfung, die eine Krümmung oder Verformung verursacht. Besonders problematisch bei ebenen Flächen, wo Durchbiegungen oder konkave/konvexe Krümmungen entstehen. Bei geformten Elementen: Abweichung der Linearität von Seiten und durchgehenden Flächen innerhalb eines einzelnen Teils oder im Verhältnis zueinander.

Kriechen – langfristige Verformung unter Eigenlast

- Bei waagerecht gelagerten dünnen Elementen kann es im Laufe der Zeit zu einer Durchbiegung durch das Eigengewicht kommen (z. B. bei waagerecht gelagerten Teilen).
- Beton härtet mit der Zeit aus, insbesondere unter ungünstigen Handhabungs- oder Lagerungsbedingungen.

Wenn das Element also nicht ausreichend von der tragenden Struktur gestützt wird, äußert sich dies in einem **Durchhängen oder Setzen des Produkts**.

Wie genau bewirken diese Einflüsse Verformungen in:

- Flache Platten
- **Ausbeulen oder Durchhängen** durch ungleichmäßiges Trocknen oder Erhitzen (Schüssel-Effekt).
- **Bildung von Mikrorissen** auf der gestreckten Seite.
- Wenn die Platine auf einer Seite erhitzt wird – , biegt sie sich in der Regel in Richtung der kühleren Seite.

Geformte Elemente (z. B. gebogen, über Eck, mit Ausschnitten)

- **Verdrehung (Torsion)** durch ungleichmäßige Schrumpfung um die Krümmung herum.
- **Ecken abbiegen oder verschärfen** - z.B. für L-, U-Profile oder Formen.
- **Unregelmäßige Durchbiegungen** aufgrund unterschiedlicher Dicke oder inhomogener Masse in verschiedenen Teilen des Elements.

