

Ausgabe 2021/2

Nutzung der Wirtschaftlichkeitspotentiale von „kalt gebogenen“ Gläsern durch Untersuchung ihres Tragverhaltens und ihrer Tragfähigkeit als Mono-, Verbund- und Isolierverglasung sowie der Zwangsbeanspruchung auf die Stahlbauunterkonstruktion

Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF Nr.: 20191N

Bei der Kaltbiegung von Glasscheiben werden diese in eine Unterkonstruktion gezwängt, um eine geschwungene Form anzunähern. Die Bemessung dieser kaltgebogenen Gläser ist bis heute sowohl auf nationaler, als auch auf europäischer Ebene nicht normativ geregelt. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach einer effizienten Gestaltung geschwungener Glasfassaden und der daraus folgenden Transparenz wird die Methode des Kaltbiegens allerdings immer öfter in Prestigeprojekten angewendet und überzeugt aufgrund entscheidender Merkmale, wie der Energieeffizienz und der höheren Festigkeit der verwendeten Scheiben, im Vergleich mit tradierten Methoden, wie dem Pressbiegen.

Regeln für die Bemessung der Scheiben fehlen bis jetzt. Für die einzelnen Bauprojekte müssen in aufwendigen Zulassungsverfahren Vorgehen für die Bestimmung der einwirkenden Spannungsgrößen und die Berechnung der entstehenden Verformungen festgelegt werden. Ein schlüssiges Bemessungskonzept, das in die bestehenden Normungsdokumente eingearbeitet werden kann und diese Zulassungen ablösen würde, fehlt. Neben den zu bestimmenden Einwirkungen wurden auch Überlegungen zur Festigkeit bis jetzt nicht speziell für die Me-

thode angestellt. Nach größeren experimentellen Studien zu punktgelagerten Scheiben, fehlten außerdem immer noch Erfahrungswerte zu anderen üblichen Lagerungsarten, wie zum Beispiel zu liniengelagerten Anwendungen. Eine genaue Abbildung der Spannungs- und Verformungsgrößen ist für diese Anwendungen bisher nicht gelungen. Weiterhin wurde der Transfer der für monolithische Scheiben geltenden Prinzipien der Kaltbiegung auf weitere Glasprodukte, wie Verbund- und Isoliergläser, welche unerlässlich für die Steigerung der Nutzung dieser Methode ist, kaum wissenschaftlich belegt.

Das Ziel der Forschungsarbeiten war es deshalb, zunächst das Verhalten von Monogläsern während der Kaltbiegung auf bisher nicht untersuchte Randbedingungen zu erweitern, um anschließend Bemessungsgrundsätze für die Kaltbiegung von Glasscheiben herleiten zu können. Die häufigste im Baugewerbe anzutreffende Lagerung stellt dabei die Linienlagerung dar. Um einen Vergleich mit punktgehaltenen Verglasungen zu ermöglichen wurde deshalb ein Versuchsstand entwickelt, der die Biegung der Gläser unter Einhaltung der Geradheit der Kanten erlaubt. Mit diesem Versuchsstand konnte der gesamte Prozess des Kaltbiegens

und die dabei stattfindende Formfindung untersucht werden. Es wurde ein weites Spektrum an Versuchen durchgeführt, dass verschiedene Glasarten, Glasdicken und Abmessungen abdeckt. Dadurch konnte die Kaltbiegung von Glasscheiben anhand unterschiedlicher relevanter Parameter charakterisiert werden. Dabei wurden entscheidende Erkenntnisse zur Formfindung der Glasscheiben in Abhängigkeit der Vorimperfektion, zu Kraft-Verformungsbeziehungen und zum durch die Kaltbiegung eingebrachten Spannungszustand erarbeitet. Diese Versuche wurden anschließend durch Finite-Elemente-Berechnungen nachvollzogen, was einen tieferen Einblick in die versagensauslösenden Spannungen und die Vorgänge im Scheibeninneren während der Kaltbiegung ermöglichte.

Die an monolithischen Scheiben gewonnen Erkenntnisse wurden anschließend auf weitere Glasveredelungsprodukte übertragen. Zunächst wurden Verbundglasscheiben mit unterschiedlichen Dicken und Folientypen untersucht, um

den Einfluss des wirksamen Schubverbundes auf die schon an monolithischen Gläsern gewonnenen Erkenntnisse abzuleiten. Diese Versuche wurden ebenfalls numerisch nachvollzogen und um eine zeitabhängige Komponente erweitert. Durch die Modellierung der viskoelastischen Eigenschaften der Zwischenschichten sind so Aussagen zum Langzeitverhalten von kaltgebogenen Verbundgläsern möglich geworden. Relevante aus dem konstruktiven Glasbau bekannte Grenzzustände der Verbundwirkung konnten den verschiedenen Abschnitten der Kaltbiegung zugeordnet werden. Der Einfluss der Kaltbiegung auf die Resttragfähigkeit der Verbundgläser wurde in Abhängigkeit der Größe der Kaltbiegung untersucht und führte zusammen mit den bei den statischen Versuchen erhaltenen Bruchbildern zu einer Empfehlung der zu verwendenden Glasart.



Bild 1: Versuchsstand zur Kaltbiegung quadratischer Scheiben.

Anschließend wurden auch Isolierglasscheiben kaltgebogen. Dabei wurde insbesondere die Relativverschiebung der beiden Glasscheiben zueinander beobachtet. Die untersuchten Isolierglasscheiben wiesen zwei verschiedene marktübliche Randverbundsysteme auf, die zusätzlich in ihren Abmessungen variiert wurden. Anhand dieser Untersuchungen konnten Einflüsse der Randverbundsysteme auf das Verhalten der Scheiben während der Kaltbiegung geschlossen werden. Wieder konnte

das Verhalten der monolithischen Gläser auf die Veredelungsprodukte übertragen werden. Numerische Simulationen der untersuchten Isoliergläser deckten auf, dass die Relativverschiebung der Scheiben zueinander den im Scheibenzwischenraum wirkenden Druck beeinflussen. Dieser zusätzliche Lastfall war bis jetzt unbekannt, kann allerdings bei bestimmten Formaten eine entscheidende Rolle spielen.

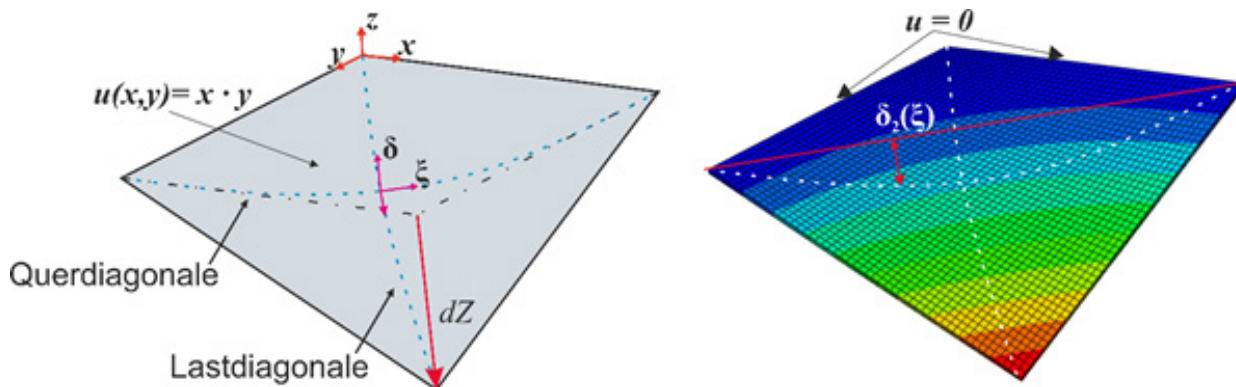


Bild 2: Verformungsfigur und numerische Annäherung.

Zusammenfassend wurde ein Bemessungskonzept mit Vorschlägen für Grenzzustandsbetrachtungen nach dem aktuell gültigen europäischen Normungskonzept für die einzelnen Glasprodukte erarbeitet. Unterstützt wird dieses Konzept durch Hilfestellungen zur genauen

numerischen Modellierung von kaltgebogenen Anwendungen. Damit wurde eine Grundlage geschaffen, die Methode der Kaltbiegung in den Diskurs der Normung aufzunehmen und diese durch zukünftige Regelungen einem breiteren Anwenderfeld zu eröffnen.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages