

Titel

„3D-gedruckte faserverstärkte Gelenkpunkte für adaptive Falwerke (engl.: 3D printed fiber reinforced hinges for adaptive folded plates)“

Anlass/ Ausgangslage

Formveränderliche Falwerke gewinnen zunehmendes Interesse als filigrane, materialsparende und wandelbare Hüllelementstrukturen für Fassaden- und Dachkonstruktionen. Sie sind grundlegend aus ebenen Platten aufgebaut, die gelenkig miteinander verbunden sind. Ein neuer Ansatz für eine geeigneten Füge- und Faltechnik ist der Einsatz innovativer 3D-Drucktechnologien für die Entwicklung faserverstärkter Gelenkpunkte zur Verbindung der Plattenelemente.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Formveränderliche Fassaden- und Dachkonstruktionen sind häufig motiviert durch szenographische als auch bauphysikalisch-energetische Aspekte (Verschattung bzw. Belichtung, gebäudeintegrierte Photovoltaik). Die Integration zusätzlicher Funktionen in zukünftige Hüllelementkonstruktionen für Dach- und Fassadenbereich darf dennoch nicht zu höheren Konstruktionsgewichten bzw. Transportabmessungen führen. Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer leichten und effizienten tragfähigen Hüllelementstruktur. Die formveränderlichen Hüllelementstrukturen sind grundlegend aus ebenen Platten aufgebaut, welche durch eine geeignete Füge- und Faltechnik verschiedene Bewegungsvorgänge realisieren und zu einem räumlichen Tragwerk geformt werden können. Speziell die Fügetechnologie der einzelnen Plattenelemente soll unter Anwendung innovativer faserverstärkter 3D-Drucktechnologien weiterentwickelt werden. Die Ansprüche an die "Fugen" sind aus Gründen der mechanischen Beanspruchung und der Dauerhaftigkeit aus Umwelteinflüssen als sehr hoch einzuschätzen. In diesen Bereichen erfolgt die wesentliche Kraftübertragung zwischen den Platten. Der Ansatz des Forschungsvorhabens besteht darin, die einzelnen schubsteifen Plattenelemente mit Hilfe von 3D-gedruckten faserverstärkten Gelenkpunkten zu verbinden. Aufgrund der angestrebten Formveränderbarkeit übernehmen die Fügestellen die Funktionen räumlicher Gelenke, deren komplexe Geometrie materialeffizient in einem Fertigungsschritt über geeignete 3D-Druckverfahren hergestellt werden kann. Um den hohen auftretenden Beanspruchungen Rechnung zu tragen, wird im Rahmen des Forschungsvorhabens der Einsatz faserverstärkter 3D-Drucksysteme präferiert. Die entwickelten Knotenpunkte werden sowohl numerisch mit der Finite-Elemente-Methode als auch experimentell untersucht. Validierte Materialmodelle werden anhand geeigneter Versuche mit 3D-gedruckten Proben bestimmt. Anhand von Demonstratoren wird die Anwendung und Tragfähigkeit der entwickelten Knotenpunkte untersucht.

Fazit

Es konnte eine Fügetechnologie für leichte und formveränderliche Falwerke aus schubsteifen Plattenelementen entwickelt werden, die auf dem 3D-Druck von Verbindungselementen aus langfaserverstärkten Kunststoff (Polyamid PA 6) basiert. Die Verbindungselemente übernehmen die Funktion eines in mehrere Richtungen faltbaren Gelenkknotens, der Platten aus Glas, Holz, Kunststoff oder Aluminium zu einer tragfähigen faltbaren Struktur verbindet. Die additive Fertigung mit lokaler Faserverstärkung (Kohlenstoff-, Glas- oder Aramidfaser) ermöglicht es unterschiedliche Materialanforderungen an Festigkeit und Steifigkeit in einem Bauteil und einem Fertigungsschritt zu vereinen. Die experimentell ermittelten Materialkennwerte für den Verbundwerkstoff ermöglichen es, die Gelenkknoten beanspruchungsgerecht zu dimensionieren. Mit Hilfe von Demonstratoren konnte die Tragfähigkeit unter Kurzzeitbeanspruchung nachgewiesen werden. Zukünftige Forschungsarbeit muss sich der Untersuchung der Langzeitbeanspruchbarkeit der Fügeverbindung unter real wirkenden Last- und Umweltbedingungen widmen.

Eckdaten

Kurztitel: HiPlast

Forschungsstellen:

- (1) Bauhaus-Universität Weimar, Professur Tragwerkslehre (TWL), Belvederer Allee 1, 99425 Weimar
- (2) Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Fertigungstechnik (IFt), Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

Forscher / Projektleitung:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Ruth (TWL)
Dr.-Ing. S. Rasche (TWL+IFt)
S. Hage, M.Sc. (TWL+IFt)
Dr.-Ing. K. Linne (TWL)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J.-P. Bergmann (IFt)
Dr.-Ing. J. Hildebrand (IFt)

Projektpartner/Projektunterstützer:

3D-Schilling GmbH, Sondershausen/OT Oberspier
Mebitec Meerbuscher Informationstechnik GmbH, Meerbusch
PORTEC GmbH, Zella-Mehlis
RSB Rudolstädter Systembau GmbH, Rudolstadt
SKZ – KFE gGmbH, Würzburg
Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK), Rudolstadt

Gesamtkosten: 220.000,26 € €

Anteil Bundeszuschuss: 135.000,00 €

Projektlaufzeit: 24 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

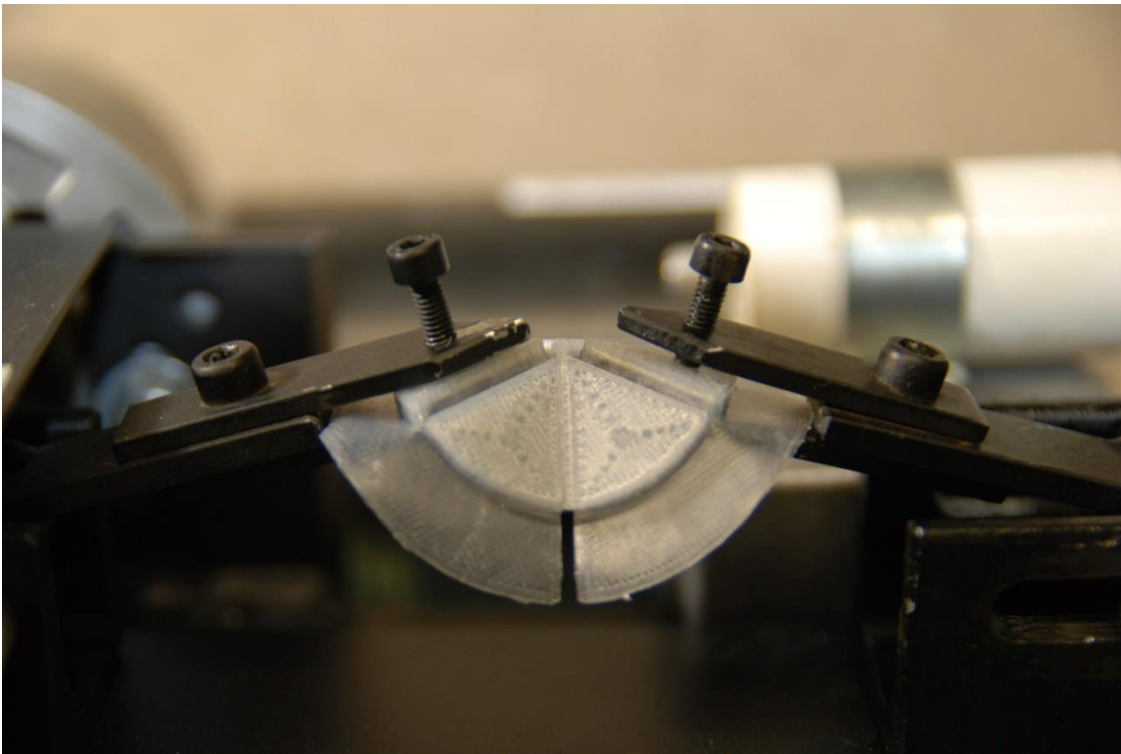


Bild 1: Einspannung eines 3D-gedruckten Gelenkpunktes in Ermüdungsprüfeinrichtung. Die 6 biegeweichen Bereiche (Filmgelenke) sollen Biegewinkel von 0° (entspricht 3D-gedruckter Geometrie) bis 180° (maximal möglicher Faltwinkel im zusammengeklappten Zustand) realisieren können.

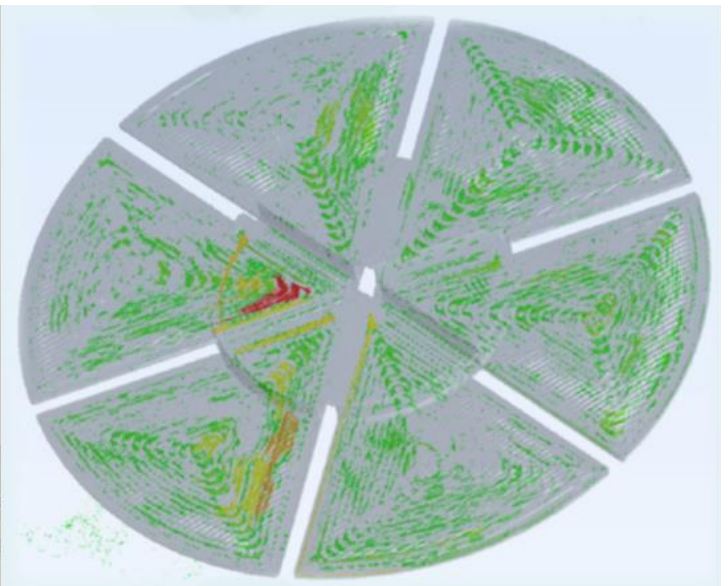


Bild 2: Foto eines 3D-gedruckten Gelenkpunktes und Computertomographie mit Analyse von Luftpneinschlüssen

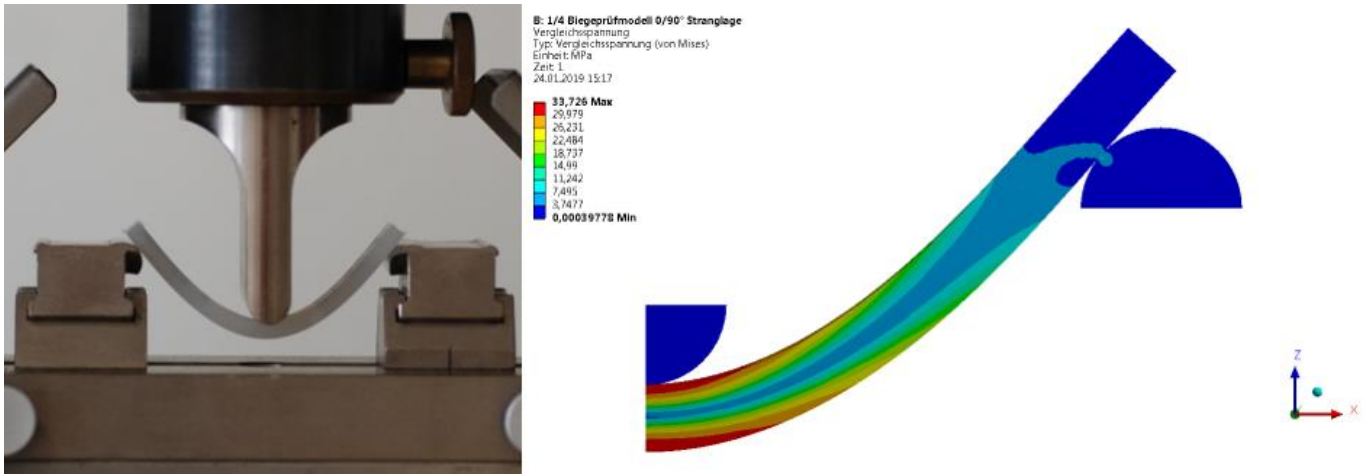


Bild 3: Experiment und FEM-Simulation der 3-Punkt-Biegeprüfung mit 3D-gedrucktem Biegebalken aus PA 6

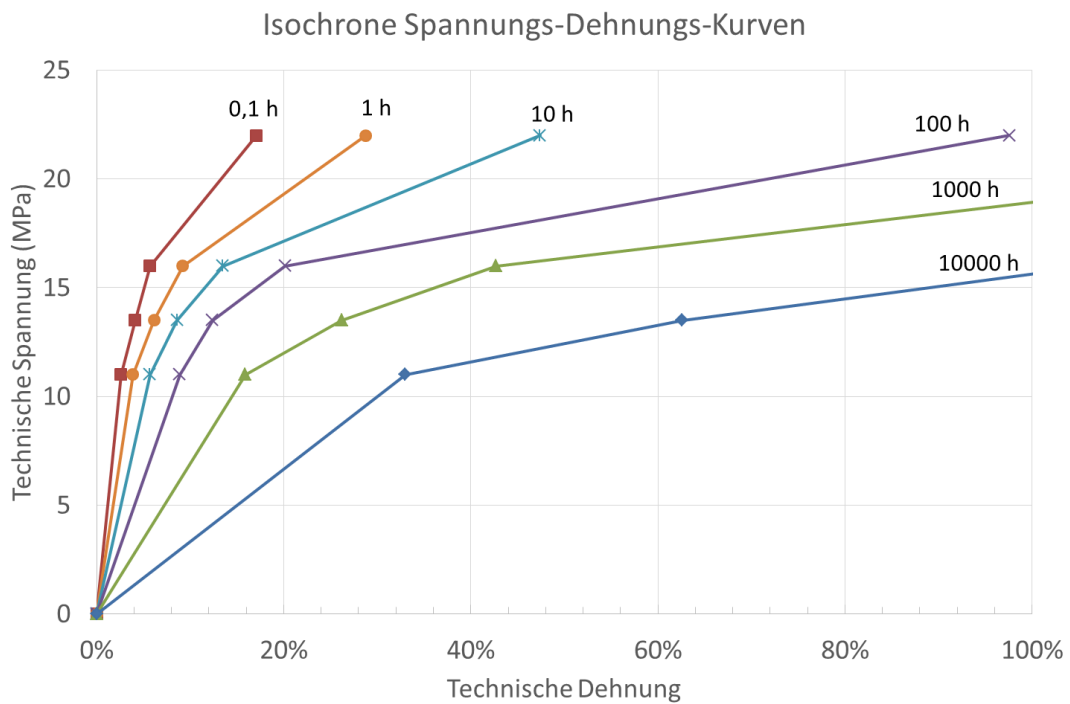


Bild 4: Isochrone Spannungs-Dehnungs-Kurven für das Kriechverhalten von Zugproben aus 3D-gedrucktem PA 6. Die Kurven bis zu einer Zeit von 1000 h wurde aus Zugkriechversuchen bei 11 MPa, 13,5 MPa, 16 MPa und 22 MPa ermittelt. Die Kurve für 10000 h wurde durch Extrapolation mit dem Findley-Potenzansatz vorhergesagt.

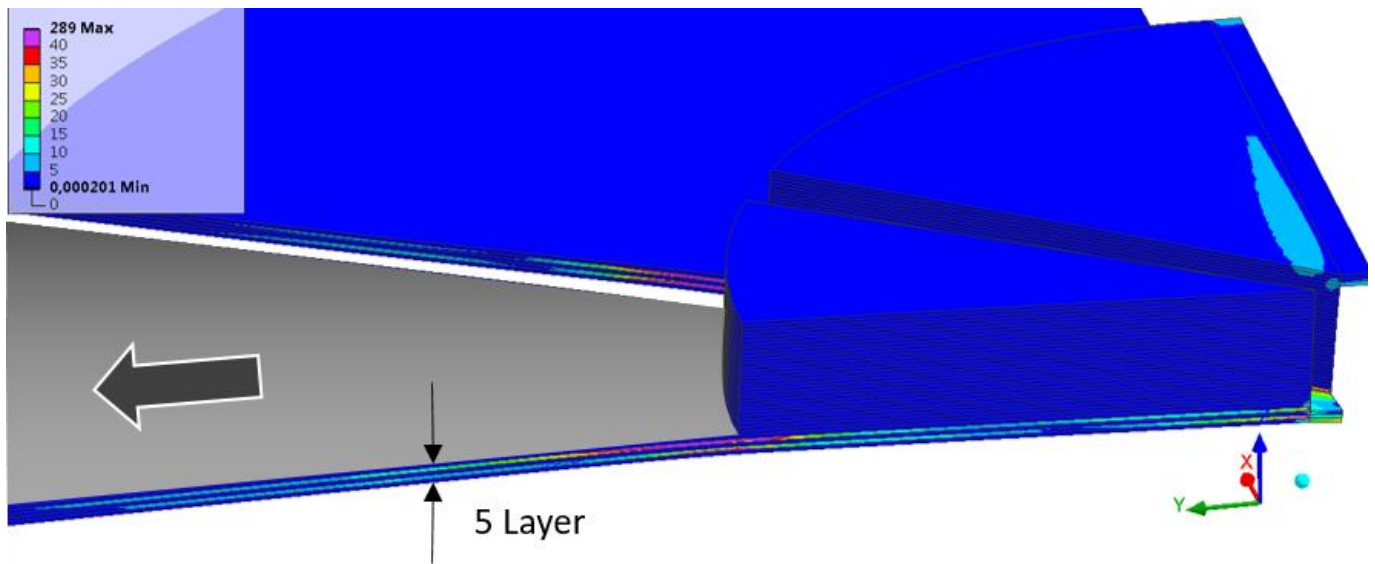


Bild 5: FEM-simierte Mises-Vergleichsspannung (in MPa) im faserverstärkten Gelenkpunkt unter Zugbelastung in y-Richtung (grauer Pfeil). Seitliche Ansicht auf den Symmetriequerschnitt (y-z-Ebene). Die höchsten Spannungen (> 20 MPa) treten in der 2. und 4. Schicht auf, die mit Kohlefasern verstärkt wurden. Die Faserverstärkung begrenzt die Dehnungen in Faserrichtung und übernimmt die wesentliche Kraftübertragung im Materialverbund.

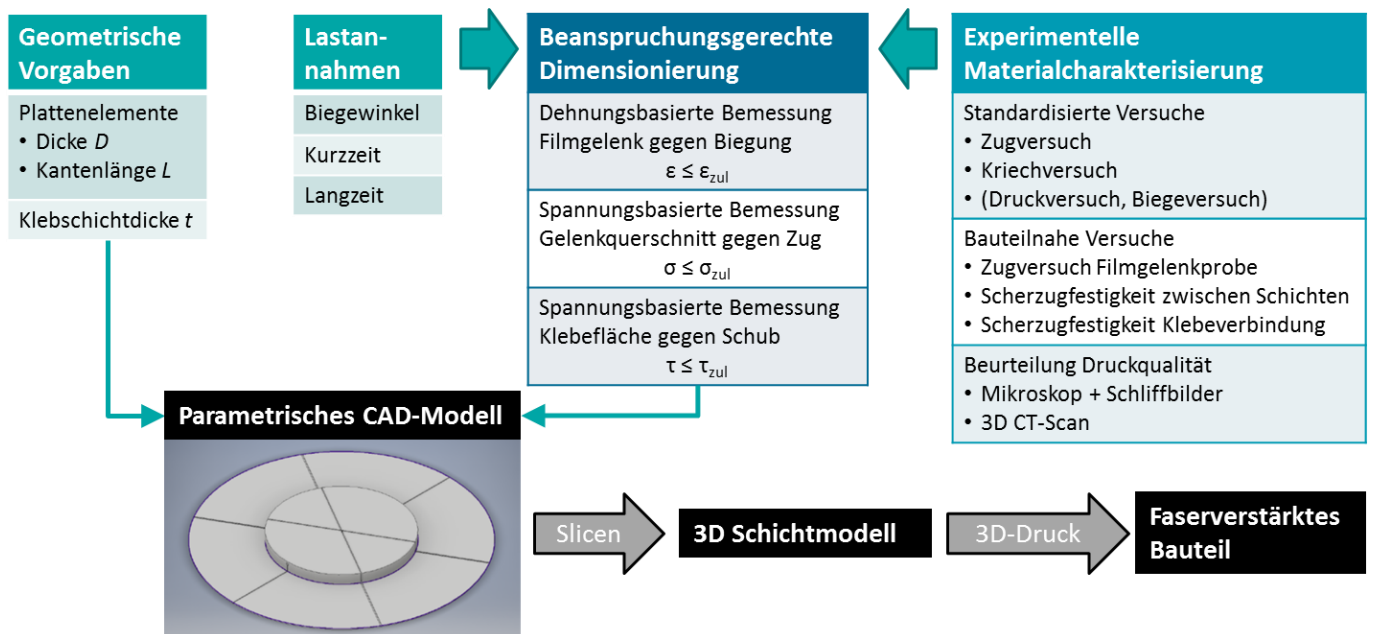


Bild 6: Parametrisches Dimensionierungskonzept für die beanspruchungsgerechte Auslegung von additiv gefertigten faltbaren Gelenkpunkten



Bild 7: Demonstrator für ein adaptives Faltnetzwerk aus Plexiglasplatten mit drei in Reihe angeordneten sechsteiligen Faltelementen, die unabhängig voneinander einzeln gefaltet werden können. Im maximal gefalteten Zustand beträgt die verschattete Fläche nur 25% der Fläche im aufgeklappten Zustand.