Institut für Konstruktionstechnik
und Technisches Design
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. H. Binz

Hansgeorg Binz (Hrsg.)

Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) – Abschlusskolloquium der DFG-Forschergruppe 981

Stuttgart, 10.11.2015

Bericht Nr. 643

Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) – Abschlusskolloquium der DFG- Forschergruppe 981

Stuttgart, 10.11.2015

Dieser Bericht umfasst 168 Seiten.

Stuttgart, den 08.04.2016

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz.

Bericht des
Instituts für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Universität Stuttgart

Bericht Nr. 643

IKTD Bericht Nr. 643

ISBN-13: 978-3-922823-92-6

ISBN-10: 3-922823-92-0

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design

Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9
D-70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 685-66055
Telefax: +49 (0)711 685-66219
E-Mail: mail@iktd.uni-stuttgart.de

Inhaltsverzeichnis

1 Geleitwort des Herausgebers 5

2 Zusammenfassungen der Teilprojekte.....9

2.1 Formalisierte Wissensrepräsentation zur Unterstützung des methodischen .. Konstruierens von und mit hybriden intelligenten Konstruktionselementen .... (HIKE) und Systemen (Teilprojekt A1).....9

2.2 Multifunktionale, hybride Sandwichstrukturen für flächige und rohrförmige .... Konstruktionselemente (Teilprojekt A3) 13

2.3 Entwicklung erweiterter sensorischer, anzeigender und aktorischer ..... Funktionalitäten für textile HIKE (Teilprojekt A4) 18

2.4 Entwicklung von steifen und biegeschlaffen Zugelementen und..... Krafteinleitungselementen für Flächenelemente. (Teilprojekt B1).....22

2.5 Manipulation von Spannungs- und Verformungsfeldern für statische und..... dynamische Beanspruchungen (Teilprojekt B2) 27

2.6 Herstellung intelligenter Konstruktionselemente durch Formgebung im ..... teilflüssigen Materialzustand (Teilprojekt B3).....31

2.7 Regelungs- und Steuerungsmethodik für Systeme mit HIKE..... (Teilprojekt B4) 35

3 Vorträge 38

3.1 Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) – Einleitung 38

3.2 Formalisierte Wissensrepräsentation zur Unterstützung des methodischen .. Konstruierens von und mit hybriden intelligenten Konstruktionselementen .... (HIKE) und Systemen (Teilprojekt A1).....52

3.3 Multifunktionale, hybride Sandwichstrukturen für flächige und rohrförmige .... Konstruktionselemente (Teilprojekt A3) 66

3.4 Entwicklung erweiterter sensorischer, anzeigender und aktorischer ..... Funktionalitäten für textile HIKE (Teilprojekt A4) 88

3.5 Entwicklung von steifen und biegeschlaffen Zugelementen und..... Krafteinleitungselementen für Flächenelemente (Teilprojekt B1).....99

3.6 Manipulation von Spannungs- und Verformungsfeldern für statische und ..... dynamische Beanspruchungen (Teilprojekt B2) 115

3.7 Herstellung intelligenter Konstruktionselemente durch Formgebung im ..... teilflüssigen Materialzustand (Teilprojekt B3).....133

3.8 Regelungs- und Steuerungsmethodik für Systeme mit HIKE..... (Teilprojekt B4) 144

3.9 Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) - Zusammenfassung 159

Danksagung 164

1 Geleitwort des Herausgebers

Konstruktionselemente wie Schrauben, Lager, Federn oder Seile sind schon seit Jahrhunderten wesentliche Bestandteile von technischen Systemen in den verschiedensten Technikbereichen. Sie werden vielfältig eingesetzt und bestimmen maßgeblich die Funktion und Lebensdauer dieser Systeme. Auch wenn mannigfaltige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten – oft im Zusammenspiel mit neuartigen oder verbesserten Werkstoffen – in den unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen dazu beigetragen haben, die Leistungsfähigkeit dieser Elemente permanent zu steigern, so sind die grundlegenden mechanischen Funktionen doch immer gleich geblieben.

Seit mehreren Jahrzehnten werden mechanische Systeme zunehmend mit elektrischen/elektronischen Komponenten und Software zu mechatronischen Systemen kombiniert, die Sensorik, Aktorik und Regelungstechnik in sich vereinen und somit vielfältige Aufgaben in Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen übernehmen. Zukünftig werden aufgrund immer schnellerer Entwicklungszyklen Konstruktionselemente mit neuen, verdichteten und höherwertigen Funktionalitäten und Eigenschaften benötigt, um den gesteigerten Anforderungen aus den Bereichen Energie- und Materialeffizienz, Ökologie sowie Ökonomie begegnen zu können.

Daher hat sich die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschergruppe (FOR 981) „Hybride Intelligente Konstruktionselemente“ (HIKE) die Aufgabe gestellt, die grundlegenden Funktionalitäten der Konstruktionselemente zu erweitern. Diese neuen Hybriden Intelligenten Konstruktionselemente zeichnen sich durch die Fertigungs- und funktionale Integration von Sensoren, Aktoren, anzeigenden Elementen und/oder Regelungen/Steuerungen auf der Ebene des Konstruktionselements aus. Mit solchen Elementen sollen

- effizientes, interdisziplinäres Konstruieren unterstützt,
- anpassungsfähige, vernetzte Systeme realisiert,
- sensorische, aktorische, regelungsrelevante und tragstrukturelle sowie anzeigende Funktionen auf Elementebene integriert und
- wiederverwendbare Lösungselemente bereitgestellt werden.

In der Forschergruppe haben die folgenden sieben Institute aus vier Fakultäten der Universität Stuttgart zusammengearbeitet:

Teilprojekt A1	Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)	Prof. H. Binz (Sprecher 2. Förderphase)
Teilprojekt A3	Institut für Flugzeugbau (IFB)	Prof. P. Middendorf
Teilprojekt A4	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV) der Deutschen Institut für Textil und Faserforschung Denkendorf (DITF), Lehrstuhl für Textiltechnik	Prof. H. Planck
Teilprojekt B1	Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)	Prof. K.-H. Wehking (Sprecher 1. Förderphase)
Teilprojekt B2	Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)	Prof. W. Sobek
Teilprojekt B3	Institut für Umformtechnik (IFU)	Prof. M. Liewald
Teilprojekt B4	Institut für Systemdynamik (ISYS)	Prof. O. Sawodny

Die Forschergruppe wurde von 2009 bis 2015 in zwei Förderphasen im Umfang von jeweils drei Jahren von der DFG gefördert.

In der ersten Förderphase wurden neuartige HIKE entwickelt und Grundlagen für eine neuartige Konstruktionsmethodik sowie die Einbindung der Steuerungs- und Regelungstechnik in diese Konstruktionselemente erarbeitet. Die Verknüpfungen zwischen allen Teilprojekten und die Evaluierung der in den Teilprojekten gewonnenen Grundlagen erfolgten anhand eines Demonstrators in Form eines Leichtbauschalentragwerks mit integrierter Sensorik, Aktorik und Regelung (Bild 1.1). Durch die Einbringung dieser Komponenten und der damit realisierten Adaptivität können unterschiedliche statische oder auch dynamische Lastfälle (z. B. durch Windlasten) identifiziert, geeignete Maßnahmen für eine Homogenisierung und Reduzierung der Spannungen ermittelt und mittels der Aktoren umgesetzt werden. Hierdurch wird eine neue Form des Leichtbaus ermöglicht. Dieser Demonstrator wurde im Rahmen der ersten Förderphase unter Mitwirkung aller an der Forschergruppe beteiligten Institute aufgebaut und in der zweiten Förderphase weiterentwickelt. Während die in der ersten Förderphase entwickelten HIKE nur über intrinsische Sensoriken verfügten, die

zusammen mit einer konventionellen Aktorik in den Demonstrator eingebracht wurden, war es ein wesentliches Ziel der zweiten Förderphase, die konventionelle Aktorik des Demonstrators durch aktorische HIKE zu ersetzen. Durch die Integration der sensorischen und aktorischen HIKE in den gemeinsamen Demonstrator können mögliche Einsatzfelder der HIKE aufgezeigt, die HIKE hinsichtlich ihrer Effizienz verglichen sowie ihr Zusammenwirken im Verbund untersucht und präsentiert werden. Bild 1.1 fasst die Beiträge der einzelnen Teilprojekte innerhalb der Forschergruppe zusammen.

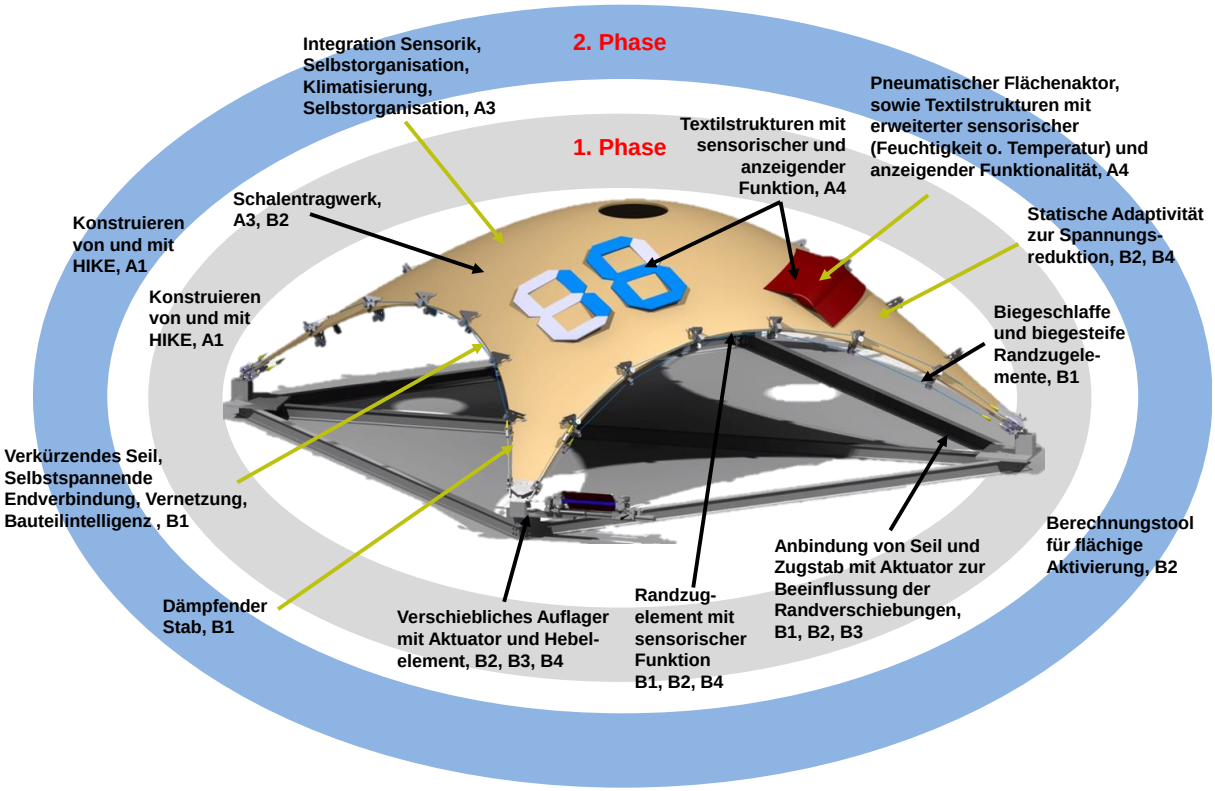


Bild 1.1: Demonstrator „Schalentragwerk“ der Forschergruppe mit den Beiträgen der 1. und 2. Förderphase

Die Forschergruppe hat die Ergebnisse der zweiten Förderperiode anlässlich eines Abschlusskolloquiums am 10.11.2015 in der Universität Stuttgart vor ca. 50 Gästen aus Industrie und Wissenschaft präsentiert. Dabei wurden die Ergebnisse der Teilprojekte in Vorträgen präsentiert, Prototypen in Form von kleineren Funktionsmustern vorgestellt sowie das Zusammenwirken der HIKE im Gesamtdemonstrator „Schalentragwerk“ vorgeführt.

Der vorliegende Sammelband enthält jeweils kurze Zusammenfassungen der Teilprojekte, in denen die Ziele, das Vorgehen und die wesentlichen Ergebnisse vorgestellt werden, sowie die Präsentationsfolien der einzelnen Teilprojektvorträge samt einer Einleitung und Zusammenfassung des Sprechers der Forschergruppe.

Die gesamte Forschergruppe bedankt sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige Förderung dieses Verbundprojekts, die die Entwicklung dieser neuartigen Konstruktionselemente möglich gemacht hat.

Darüber hinaus danke ich allen Kollegen sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Forschergruppe für das große Engagement und die sehr gute Zusammenarbeit, die schlussendlich zu zwei Initiativen zur Beantragung von Sonderforschungsbereichen geführt hat. Ich würde mich freuen, wenn die Forschungsarbeiten auf Basis der Ergebnisse der Forschergruppe HIKE auf diese Art und Weise erfolgreich fortgesetzt werden könnten.

Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz

Sprecher der Forschergruppe (2. Förderphase)

2 Zusammenfassungen der Teilprojekte

2.1 Formalisierte Wissensrepräsentation zur Unterstützung des methodischen Konstruierens von und mit hybriden intelligenten Konstruktionselementen (HIKE) und Systemen (Teilprojekt A1)

Crostack, A.; Binz, H.
Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)

Motivation

Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) stellen eine neue Art der Konstruktions-elemente dar, die die Funktionen klassischer mechatronischer Systeme (Aktor, Sensor, Regler und Struktur) auf der Ebene einfacher Konstruktionselemente vereinen. Dabei werden sowohl hybride Fertigungs- als auch Werkstofftechnologien eingesetzt. Da HIKE zu den Konstruktionselementen zu zählen sind, soll eine Integration der HIKE in ein technisches System ohne Änderungen erfolgen oder nur leichte nachträgliche Anpassung erforderlich machen.

Die Definition dieser neuen Klasse von Konstruktionselementen erfordert aus methodischer Sicht die Untersuchung einiger Fragestellungen, sodass eine Überführung des Konzepts der HIKE in die Industrie erfolgen kann. Hierfür müssen wesentliche Fragestellungen hinsichtlich der Entwicklung bearbeitet (Definition eines generischen Entwicklungsprozesses) sowie die bereits vorliegenden Erkenntnisse über die HIKE erfasst und aufbereitet werden (Definition von Gestaltungsrichtlinien). Durch die Interdisziplinarität der HIKE-Entwicklung ergeben sich hohe Anforderungen an die Synchronisierung der Daten und Informationen während der Entwicklung der HIKE, die zwischen den verschiedenen beteiligten Fachdisziplinen ausgetauscht werden. Dies erforderte die Entwicklung einer Informations-/ Wissensbasis für die HIKE-Entwickler.

Vorgehensweise

Für die Entwicklung des generischen Entwicklungsprozesses für die HIKE wurden die Erfahrungen und „gelebten“ Entwicklungsprozesse der HIKE-Entwickler mittels Interviews erfasst, modelliert und darauf aufbauend der generische Entwicklungsprozess abgeleitet (Bild 2.1). Ein vergleichbarer Ansatz wurde für die Definition der Gestaltungsrichtlinien für die HIKE, ihre Anwendung oder dabei eingesetzte Fertigungsverfahren genutzt. Für die Entwicklung der Informations-/ Wissensbasis wurden Anforderungen der TP erfasst, bestehende Produktmodellierungsansätze und mögliche Umsetzungen untersucht und darauf aufbauend ein Prototyp entwickelt. Abschließend wurden die Arbeitsergebnisse (generischer Entwicklungsprozess, Gestaltungsrichtlinien und Informations-/ Wissensbasis) evaluiert und abschließend korrigiert.

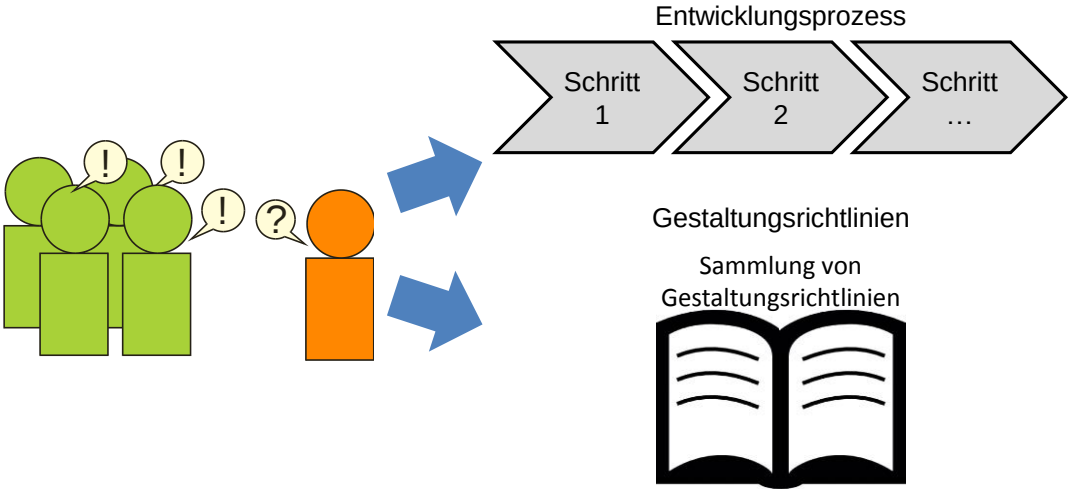


Bild 2.1: Vorgehen zur Erarbeitung der Gestaltungsrichtlinien und der Entwicklungsprozesse

Ergebnisse

Unter Beachtung des Stands der Technik hinsichtlich des Prozessmanagements, konnte in einem mehrschrittigen Ansatz ein generischer Entwicklungsprozess erarbeitet werden. Aufgrund des hohen Detaillierungs-grads der einzeln erhobenen Entwicklungs-prozesse besteht der generische Entwicklungsprozess aus mehr als 150 Entscheidungen und Aktivitäten (Prozessschritten). Zusätzlich werden für die Aktivitäten der notwendige Input (z. B. Informationen) und Output erfasst. Der Prozess beinhaltet drei wesentliche parallele Entwicklungsstränge, die Entwicklung der Struktur,

der Sensorik/ Aktorik und der Regelungstechnik. Bild 2.2 zeigt eine stark abstrahierte Version dieses HIKE-Entwicklungsprozesses.

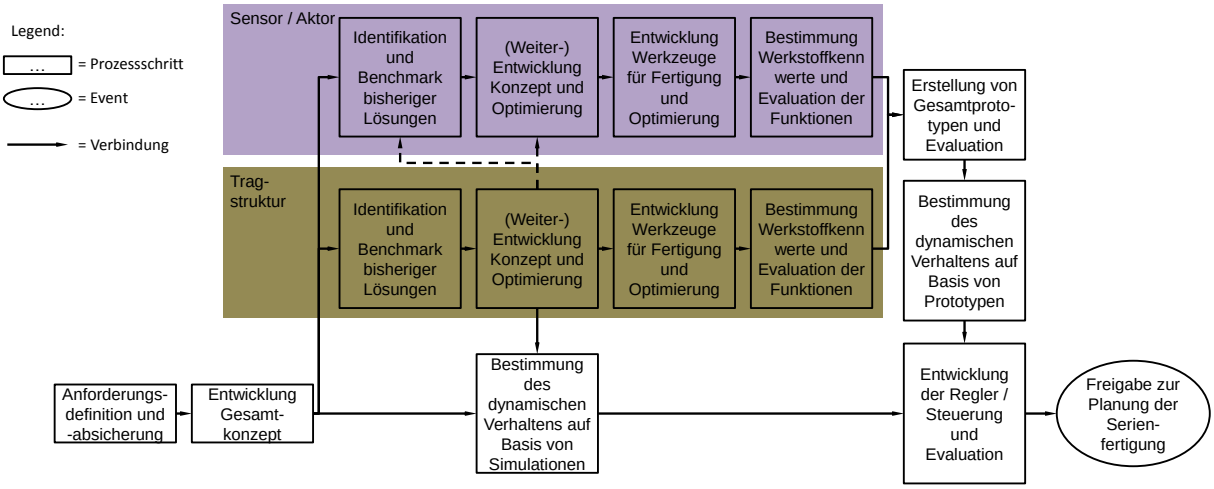
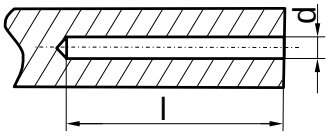


Bild 2.2: Erhobener und vervollständigter generischer Entwicklungsprozess für das Konstruieren „von“ HIKE

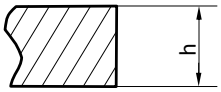
Während der Forschungsarbeiten wurden ca. 100 Gestaltungsrichtlinien gesammelt. Diese beschreiben die wesentlichen Erkenntnisse hinsichtlich der Entwicklung von Sandwichstrukturen durch das TP A3 (IFB), die Entwicklung und Integration der entwickelten Sensorgarne des TP A4 (ITV) sowie der Fertigung von Bauteilen mittels der Formgebung im teilflüssigen Zustand durch das TP B3 (IFU). Bild 2.3 zeigt exemplarisch Gestaltungsrichtlinien für die Formgebung im teilflüssigen Zustand.

- Um eine unzulässige Verformung der Schieber zu vermeiden, sollten lange dünne Bohrungen vermieden werden. Hierbei darf das Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser nicht größer sein als 5 : 1. [Bauteil]



$$\frac{l}{d} \leq 5$$

- Bauteildicken t < 1 mm sollten vermieden werden. [Bauteil]



h ≥ 1 mm

- Bohrungen kleiner als 2,5 mm Durchmesser sind im Fall von Aluminium zu vermeiden. [Bauteil]

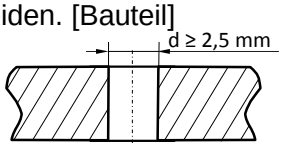


Bild 2.3: Exemplarische Gestaltungsrichtlinien für HIKE

Der Prototyp der Informations-/ Wissensbasis besteht aus einer relationalen Datenbank, auf die mittels eines Web-Interface zugegriffen werden kann. Hierdurch kann die Benutzung mittels eines Webbrowsers (z. B. MS IExplorer, Google Chrome, Mozilla Firefox etc.) erfolgen. Als Produktmodellierungsansatz wurde das Characteristics-Properties-Modelling (CPM) verwendet. Anhand der Informations-/Wissensbasis können unter Verwendung der eingespeicherten Informationen dynamisch Konstruktionskataloge erstellt und Blockschaltbilder abgeleitet werden. Zur Unterstützung der Entwickler bei der Ermittlung der Auswirkungen von Produktänderungen werden diese grafisch dargestellt (s. Bild 2.4). Durch den umgesetzten Ansatz der „direkten Wissensakquise“ können die Entwickler direkt Informationen hinzufügen oder bearbeiten.

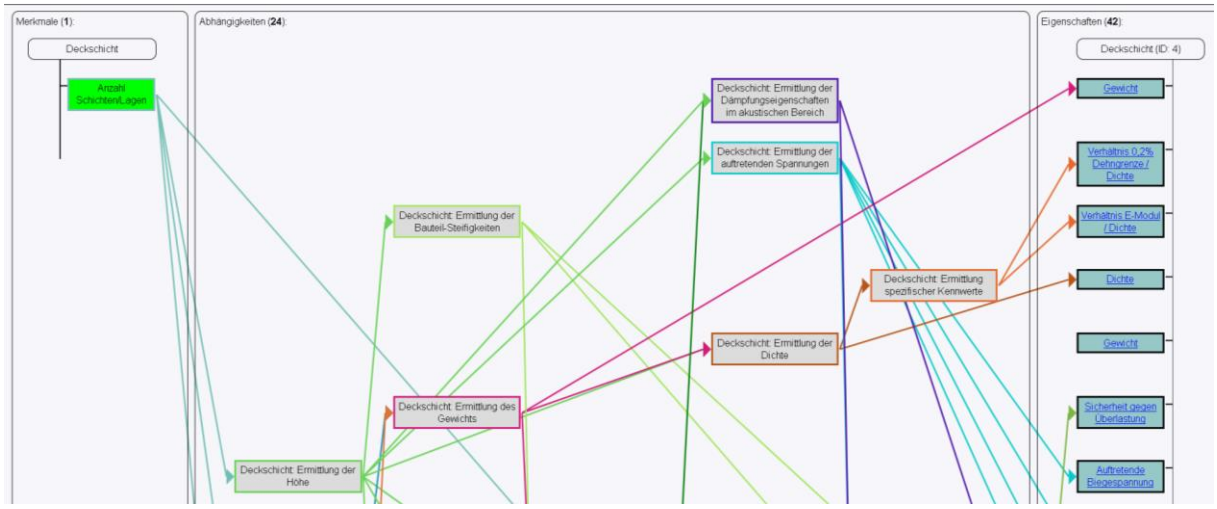


Bild 2.4: Screenshot der entwickelten Informations-/Wissensbasis für die Unterstützung der Abschätzung von Produktänderungen

2.2 Multifunktionale, hybride Sandwichstrukturen für flächige und rohrförmige Konstruktionselemente (Teilprojekt A3)

Klett, Y.; Middendorf, P.
Institut für Flugzeugbau (IFB)

Motivation

Sandwichbauteile bieten hervorragende Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion. Neuartige Faltkernstrukturen können neben den rein passiven, strukturellen Funktionen zusätzliche Aufgaben erfüllen. Dazu gehören unter anderem Sekundärfunktionalitäten wie thermische und akustische Dämmung und Drainage, aber auch die Integration komplexerer Systeme (Bild 2.5).

Über die rein statische Funktion klassischer Sandwichverbunde hinaus bietet sich zudem die Möglichkeit der Realisierung neuer, kinematisch wirksamer Strukturen. Insbesondere Faltkernstrukturen bieten hier vielfältige Möglichkeiten der Erweiterung von der Struktur hin zum Mechanismus.

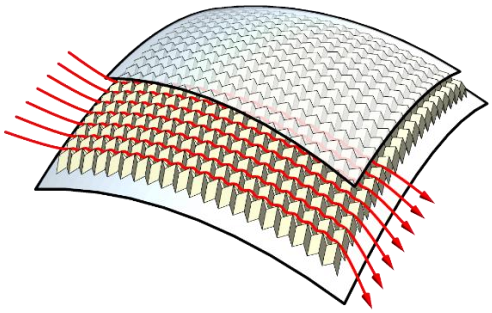


Bild 2.5: Schematische Darstellung eines Sandwichbauteils mit inhärenter Belüftbarkeit

Vorgehensweise

Die vorhandenen Methoden und Werkzeuge zur Auslegung von Faltstrukturen wurden weiterentwickelt, um die Besonderheiten der neuen Forderungen nach erweiterter Funktionalität und Kinematik erweitert (Bild 2.6).

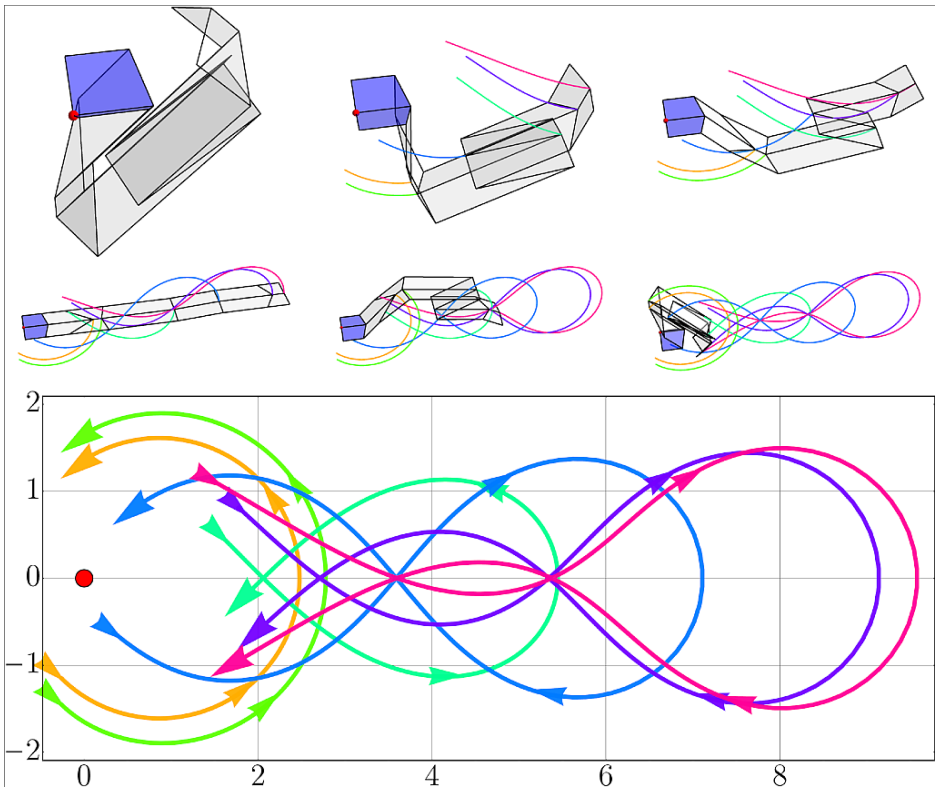


Bild 2.6: Kinematiksimulation eines Faltkerns

Dabei kommen sowohl selbstentwickelte analytische Werkzeuge, wie auch FE-basierte kommerzielle Tools zur Vorhersage der mechanischen Eigenschaft zum Einsatz (Bild 2.7).

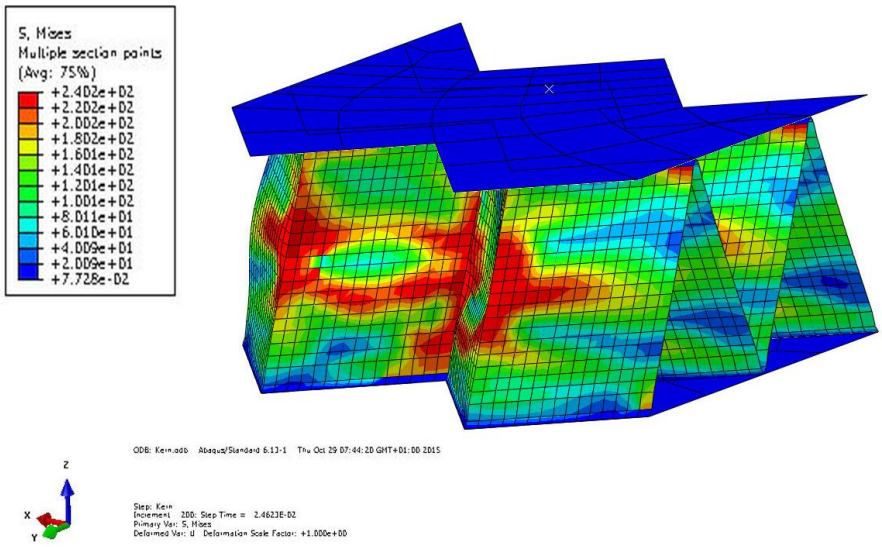


Bild 2.7: FE-Simulation einer auf Druck belasteten Faltkernstruktur zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften (Farbskala: von Mises-Vergleichsspannung)

Das multifunktionale Potential von Faltkernstrukturen wurde in den Bereichen der thermischen und akustischen Dämmung und der Belüftbarkeit bzw. Durchströmung erstmals qualitativ und quantitativ untersucht.

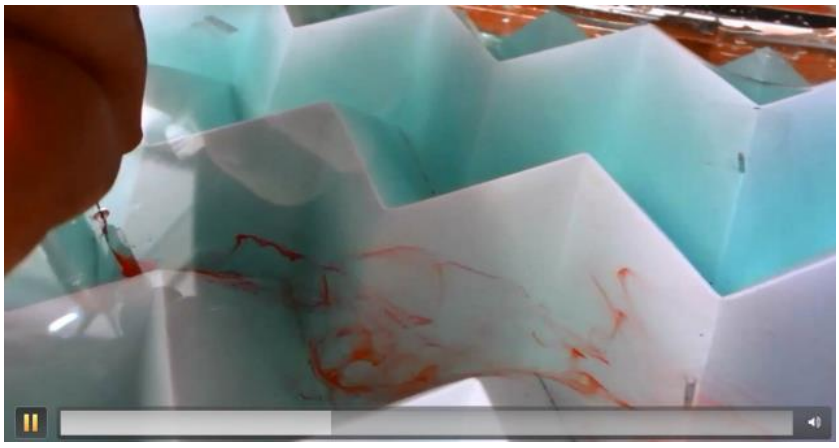


Bild 2.8: Experimentelle Bestimmung der Durchströmungseigenschaften einer Faltkernstruktur

Zur Realisierung von Probekörpern und Funktionsmodellen wurden parallel neue Herstellungsmethoden konzipiert und getestet, unter durch die berührungslose Bearbeitung mittels Laser.

Verschiedene Möglichkeiten zur Kombination von HIKE bzw. Erkenntnissen aus anderen TPs wurden bewertet und untersucht. Besonders vielversprechend scheinen dabei die pneumatischen Textilaktoren, die eine flächige Krafteinleitung in Sandwich-Deckschichten ermöglicht.

Zahlreiche neue Halbzeuge wurden für den Einsatz in Faltkernstrukturen untersucht, darunter Hochleistungsthermoplaste, Carbonfaserhalbzeuge sowie biegesteife Hybridmaterialien.

Ergebnisse

Die verfügbaren Grundlagen zu Eigenschaften und Funktionalitäten von Sandwichstrukturen auf Faltkernbasis wurden entscheidend erweitert. Zahlreiche Messreihen zu mechanischen, thermischen, akustischen und hydro- bzw. aerodynamischen Eigenschaften wurden durchgeführt.

Durch die Weiterentwicklung der Fertigungsmethoden konnten neue Werkstoffe und komplexe Strukturierungen realisiert werden.

Im Bereich der kinematisch funktionalen Strukturen wurde durch die Verwendung neuer, biegesteifer Halbzeuge die Herstellung neuer Mechanismen ermöglicht (Bild 2.9). Parallel wurde die Kombination mehrere Lagen von Faltkernstrukturen untersucht. Diese neuartigen Metamaterialien weisen teilweise überraschende Eigenschaften auf, und können gleichzeitig durch die Anwendung der weiterentwickelten Prototyping-Methoden sehr schnell und effizient hergestellt werden.

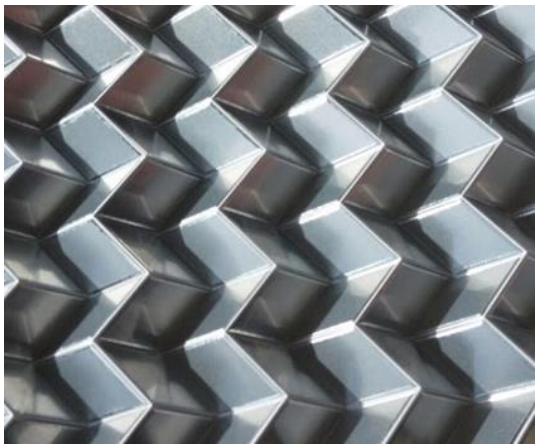


Bild 2.9: Hergestellte Faltkernstruktur aus biegesteifem Halbzeug

In Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten konnte die Integration neuer Aktorkomponenten und kommunikativer Funktionalitäten in den Demonstrator bzw. in neue Funktionsmodelle realisiert werden (Bild 2.10, Bild 2.11).

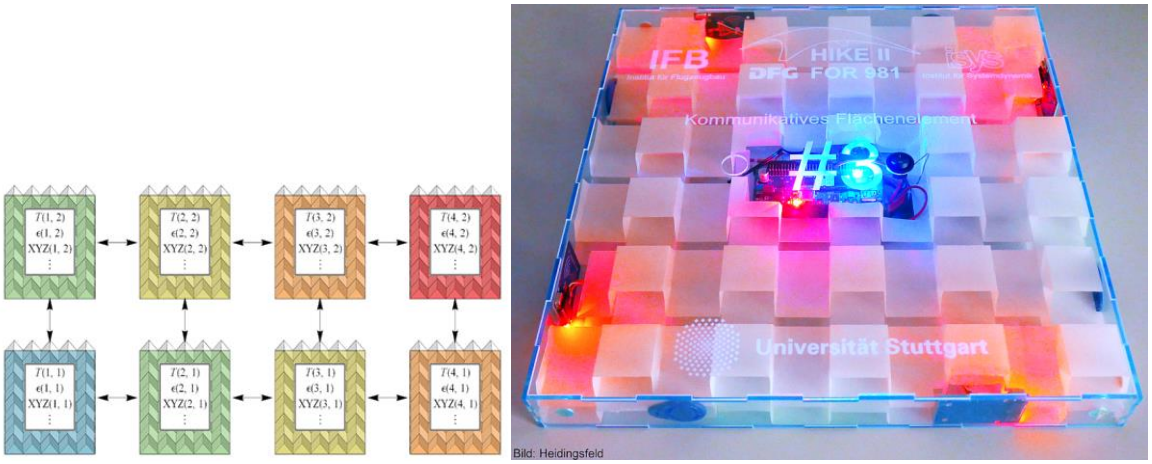


Bild 2.10: Schematische Darstellung der kommunikativen Flächenelemente (links) sowie eines entwickelten kommunikativen Flächenelements (rechts)

Bild 2.11: Auf den Demonstrator der Forschergruppe applizierter pneumatischer textiler Aktor

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine hervorragende Grundlage für die weitere Erforschung multifunktionaler und kinematisch aktiver Leichtbaustrukturen.

2.3 Entwicklung erweiterter sensorischer, anzeigender und aktorischer Funktionalitäten für textile HIKE (Teilprojekt A4)

Baesch, B.; Riethmüller, C.; Planck, H.; Gresser, G. T.
Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV Denkendorf)

Motivation

Bisher werden Sensoren, Anzeigeelemente und Aktoren als Fremdkörper an Textilien angebracht oder in Textilien eingebracht. Auch bei der Einbringung von sensorischen Elementen, bspw. polymeroptischen Fasern mit eingebrannten Bragg-Gittern, mit denen bspw. Dehnungen gemessen werden können, müssen die Textilien aufgrund unterschiedlicher Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften der einzelnen Garne um den Sensor herum konstruiert werden, dass dieser eingebettet werden kann. Dadurch verlieren Textilien ihre wesentlichen Vorteile bzgl. der Produktivität bei deren Herstellung und der Eigenschaften im Einsatz. Dies ist ein wesentlicher Grund, warum sich bisher nur wenige Anwendungen mit sensorischen, anzeigenden oder aktorischen Textilien etablieren konnten.

Aus diesem Grund werden im TP A4 sensorische, anzeigende und aktorische Funktionalitäten für textile HIKE entwickelt, die sich in die textile Struktur integrieren lassen und die wesentlichen Vorteile von Textilien erhalten (Bild 2.12).

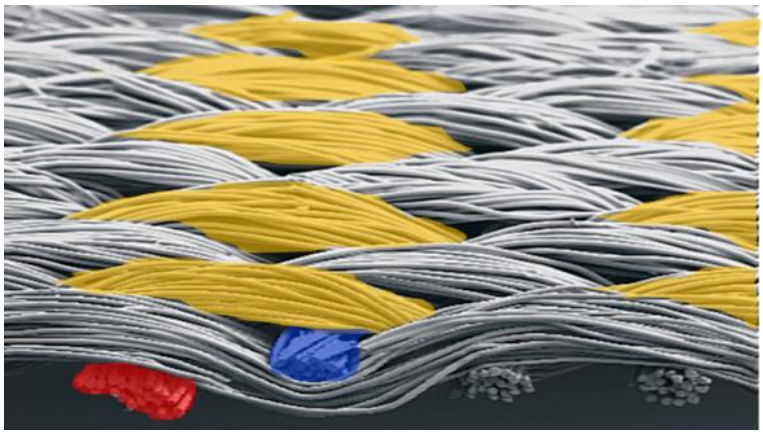


Bild 2.12: Mikroskopische Aufnahme von eingewebten Garnen

Vorgehensweise

Basierend auf den sich aus der Motivation ergebenden Anforderungen wurden unter Nutzung textiler Herstellprozesse sensorische Strukturen entwickelt, mit denen konventionelle Garne ergänzt werden können. Konkret werden hierfür leitende metallische Strukturen um Garne umwunden, deren textile Struktureigenschaften dadurch im Wesentlichen erhalten bleiben (Bild 2.13). Mit diesen Garnen wurden unterschiedliche Messgrößen adressiert. Die wesentlichen textilen Eigenschaften wurden getestet. Zur Realisierung der aktorischen Eigenschaften wurden verschiedene Prinzipien zusammengetragen und verschiedene Aktoren entwickelt. Zur Prüfung der aktorischen Eigenschaften wurde zusammen mit dem ISYS ein Prüfstand entwickelt. Verschiedene Aktoren wurden damit geprüft. Für die Aktuierung des Demonstrators wurde ein Einsatzszenario erarbeitet und voruntersucht. Die Ergebnisse einer FMEA der Forschergruppe flossen ebenfalls in die Auslegung ein. Es wurden verschiedene textile pneumatische Aktoren auf dem Demonstrator appliziert. Anderen TPs wurden textile Aktoren für weitere Elemente zur Verfügung gestellt.

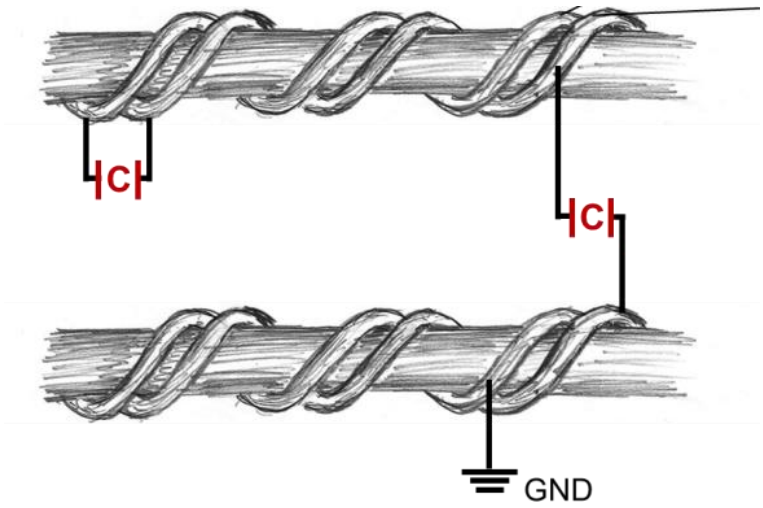


Bild 2.13: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips der sensorischen Garne

Ergebnisse

Basierend auf den Projektergebnissen der ersten Förderphase wurden Textilien mit neuen sensorischen, anzeigenden und aktorischen Funktionalitäten entwickelt. Es konnten Textilien mit feuchtigkeits- und lichtsensorischen Eigenschaften mit hoher

Empfindlichkeit hergestellt werden. Außerdem wurden anzeigende Textilien für hohe Beleuchtungsstärken entwickelt (Bild 2.14).

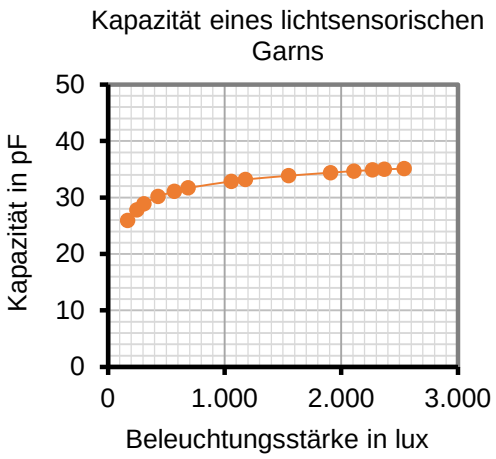


Bild 2.14: Untersuchung der Kapazitätsänderungen der Sensorgarne bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken

Nach einem Screening der Anforderungen erfolgte die Fokussierung auf pneumatische textile Aktoren. Solche Aktoren werden an einem Stück gewebt. Durch geschickte Bindungstechnik werden dabei Kammerstrukturen direkt auf der Webmaschine hergestellt, die sich beim Aufblasen geometrisch verformen. Nur durch Einsatz dieser Technologie können hohe Kräfte übertragen werden, da alle in der Fläche eingebundenen Garne die auftretenden Kräfte gleichmäßig abtragen. Durch den Einsatz der Jacquard-Webtechnologie, bei der jede Weblitze einzeln angesteuert wird, können Kammergeometrien weitestgehend frei eingestellt werden. Solche Aktoren sind extrem leicht. Die dadurch erreichbaren gewichtsnormierten Kräfte können im Bereich über dem 30-fachen von konventionellen Aktoren betragen. Ein wesentlicher Vorteil dieser neuartigen Aktoren ist auch die Verwendung niedriger Arbeitsdrücke im Bereich bis zu 1 bar. Hierdurch kann eine hohe Energieeffizienz erreicht werden. Im Projektverlauf konnte der integrale Ansatz zur Entwicklung sensorischer Textilien auch auf einen pneumatischen Aktor übertragen werden. Die Kapazität wird dabei zwischen leitfähigen Garnen in beiden Kammerflächen gemessen. Beim Befüllen des Aktors entfernen sich diese beiden Flächen voneinander. Die Kapazität des Kondensators sinkt. Die Auswertung der Kapazität konnte in den Anschluss des Aktors integriert werden (Bild 2.15).

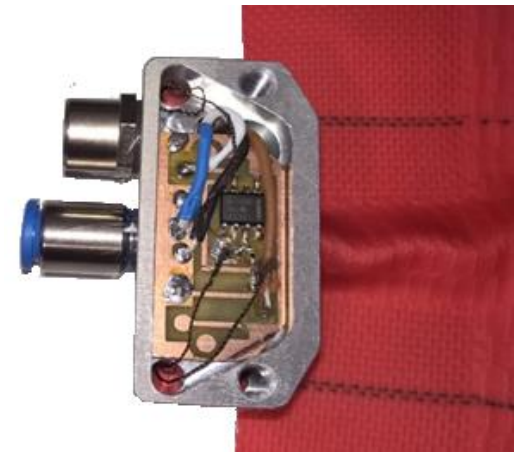


Bild 2.15: Anschlussstück des pneumatischen textilen Aktors mit integrierter Elektronik zur Auswertung der Kapazität

Zusammen mit dem IFB und dem ILEK wurde für den Demonstrator „Flächentragwerk“ ein neues Aktorkonzept erarbeitet. Dafür wurde ein austauschbarer Aktor mit einer neuen Verbindungstechnik entwickelt. Es sind jeweils flächige pneumatische textile Aktoren auf Ober- und Unterseide des Flächentragwerks appliziert (Bild 2.16). Mit einer Aktormasse von unter einem kg können maximale Dehnungen je nach Lastfall um bis zu 50% reduziert werden.

Bild 2.16: Untersuchung der Kapazitätsänderungen der Sensorgarne bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken

2.4 Entwicklung von steifen und biegeschlaffen Zugelementen und Krafteinleitungselementen für Flächenelemente. (Teilprojekt B1)

Witte, T.; Finckh-Jung, A.; Winter, S.; Wehking, K.-H.
Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)

Motivation

In der ersten Förderphase von Juni 2009 bis Mai 2012 wurden biegesteife und biegeschlaffe Zugelemente (Glasfaserverbundstäbe, hochfeste Faserseile) erforscht. Als Schwerpunkte wurden Endverbindungen generiert als auch sensorische Eigenschaften ausgestattet. Als Zielsetzung in der zweiten Förderphase haben sich die Forscher die Aufgabe gestellt, zum einen aktorische Eigenschaften in den biegesteifen und biegeschlaffen Zugelementen zu integrieren und zum anderen im Bereich der Endverbindungen eine aktive Endverbindung für Glasfaserverbundstäbe sowie den Größeneinfluss und eine Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung für die biegeschlaffen Zugelemente zu erforschen.

Vorgehensweise

Mit methodischen theoretischen Vorarbeiten wurden zu den oben beschriebenen Arbeitspunkten Lösungsmöglichkeiten erarbeitet. Basierend auf diesen wurden mit zusätzlichen experimentellen Untersuchungen systematisch unterschiedliche Eigenschaften geprüft. Beispielhaft ist die Versuchsmatrix der Untersuchung des Größeneinflusses der hochfesten Seilzugglieder angeführt (Bild 2.17).

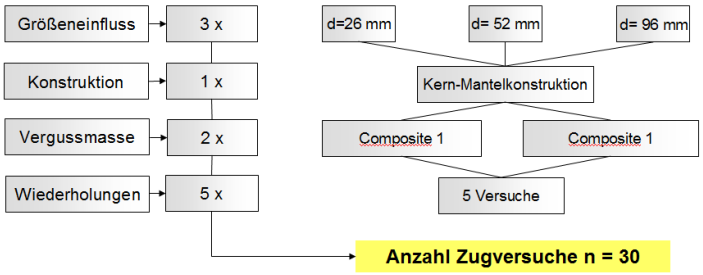


Bild 2.17: Versuchsmatrix der Zugversuche mit hochfesten Faserseilen

Ergebnisse

Die geplante nicht reversierbare Glasfaserzugstabendaktivierung des Antrages wurde durch eine hydrostatische reversierbare Glasfaserzugstabendverbindung erweitert (Bild 2.18). Hierüber wurde bereits ein Patent angemeldet und die Grundlagenforschungsergebnisse der Zug- und Zugschwelluntersuchungen weisen ein sehr großes Potential für die Zukunft auf.

Bild 2.18: Entwickelte Glasfaserzugstabendaktivierung

Während der 2. Förderphase wurden beim Glasfaserzugstab im Bereich der Aktorik im Stab eine integrale Illumination sowie die Schwingungseigenschaftenvariation des Zugstabes erforscht (Bild 2.19). Hierbei wurde ein Sensorgarn vom Forschungspartner ITV speziell für diesen Einsatzfall entwickelt und dem IFT für die Untersuchung im Zugstab bereitgestellt. Weitere Untersuchungen am IFT zeigten, dass eine Aktivierung der Illumination des Glasfaserzugstabes möglich ist.

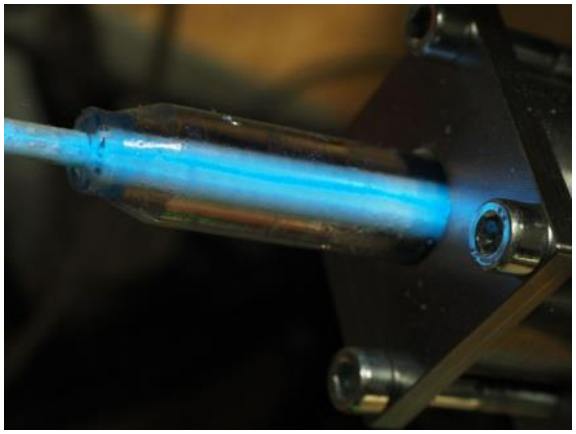


Bild 2.19: Integrale Illumination eines Glasfaserzugstabs am Demonstrator

Zur aktiven Untersuchung von Schwingungseigenschaften wurde ein Prüfstand gebaut, bei dem sowohl rheologische Flüssigkeiten als auch festkörperbasierte Zustandsänderungen des Glasfaserzugstabes mit Erfolg erforscht wurden (Bild 2.20).

Somit ist es möglich zum Beispiel bei Erreichen von Eigenfrequenzen die Dämpfungseigenschaften aktiv im späteren Betrieb zu verstimmen.

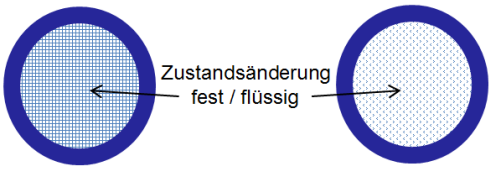


Bild 2.20: Untersuchung der Schwingungseigenschaften von Glasfaserzugstäben

Während der 2. Förderphase wurde bei der biegeschlaffen Zugelementendverbindung die neuartige monolithische Seilendverbindung auf zunehmenden Größeneinfluss und ihre Gebrauchstauglichkeit untersucht (Bild 2.21).

Bild 2.21: Untersuchte Seilendverbindung zur Ermittlung des Größeneinflusses sowie zur Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit

Während in der 1. Förderphase die Endverbindungen im Durchmesserbereich 4 bis 12 mm untersucht wurden liegt der Durchmesserbereich in der zweiten Phase zwischen 16 mm und 96 mm. Es wurden bei der Größeneinflusserforschung der hybriden monolithischen Seilendverbindung im Wesentlichen die Parameter Gießharze, Vakuumtechnik, Einlegetechnik, Vorspannung des Seiles, Rückspannung der Einzellitzen und die Parametrisierung des Vergussmodells untersucht.

Ferner wurde die Gebrauchstauglichkeit durch einen Langzeitversuch im Außenbereich und einen Versuch in einer Klimakammer im Temperaturbereich von -40 °C bis +80 °C mit Erfolg untersucht (Bild 2.22).

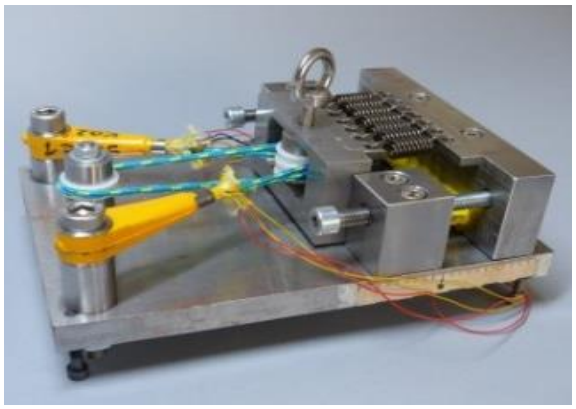


Bild 2.22: Versuchsaufbau für die Gebrauchstauglichkeitsuntersuchung in einer Klimakammer

Das Seil auf der freien Strecke und in der Endverbindung wurde in der ersten Phase mit sensorischen Eigenschaften ausgestattet. In der zweiten Förderphase wurde das Seil als Aktor (Längenänderung und/ oder Zugkraftänderung) mit im Seil endlos integriertem Inlay erforscht. Es wurden dabei die Aktoranschlüsse sowohl in der monolithischen Endverbindung als auch auf der freien Seilstrecke integriert (Bild 2.23).

Bild 2.23: Versuchsaufbau zur Veranschaulichung der Verkürzung des aktorischen Seils

Um methodisches Konstruieren anzuwenden, wurde auch das Konstruieren mit den entwickelten HIKE praktiziert und ein Federaktor für die Demonstratorauflagerverschiebung realisiert. Hierbei wurde eine aktive Verstellung im Wechsellastbereich durch Druck und Zugkräfte durch Kombination des pneumatischen textilen Aktors

des ITV mit Glasfaserverbundstäben des IFT realisiert und somit als Ergebnis ein funktionierender Federaktor gebaut und im Demonstrator integriert (Bild 2.24).

Bild 2.24: Federaktor im eingebauten Zustand am Demonstrator

2.5 Manipulation von Spannungs- und Verformungsfeldern für statische und dynamische Beanspruchungen (Teilprojekt B2)

Flaig, C.; Haase, W.; Sobek, W.
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)

Motivation

Adaptive Tragwerke erhalten im Vergleich zu passiven Tragwerken drei zusätzliche Komponenten: Die Sensorik zur Zustandserfassung des Systems, die Regelung zur Auswertung des Systemzustandes und zur Bestimmung der Stellwege für die Aktorik, die diese ausführt. Durch die aktiven Elemente kann sich das Tragwerk optimal an den Lastabtrag anpassen. Diese Systeme stellen eine neue Bauweise im Bauwesen dar. Sie ersetzen Material, das nicht in allen Beanspruchungssituationen erforderlich ist, durch temporär in das System induzierte Energie. Sie ermöglichen hierdurch eine bisher nicht erreichbare Masseneinsparung im Bereich der Konstruktionen. Adaptive Systeme sind in der Lage, auf verschiedene Belastungssituationen aktiv zu reagieren. Somit können Inhomogenitäten in den Spannungsfeldern wirksam reduziert werden. Sie ermöglichen es darüber hinaus, auf Verformungs- und Schwingungsprobleme einzugehen, die für die Dimensionierung von Tragwerkselementen im Leichtbau eine große Rolle spielen können

Vorgehensweise

Die Arbeitsgebiete des Teilprojektes B2 leiten sich aus dem Ausblick des Antrags der ersten Phase und den Ergebnissen der ersten Förderphase ab. In einem ersten Schritt erfolgten Untersuchungen zu Sicherheitskonzepten für adaptive Tragwerke. Hierbei wurde die Übertragbarkeit von Ansätzen aus dem Maschinen- und Flugzeugbau in das Bauwesen untersucht und daraus ein Sicherheitskonzept abgeleitet.

In einem weiteren Schritt sollte systematisch der Fragestellung nachgegangen werden, wie effizient und konkurrenzfähig die adaptive Bauweise im Vergleich zu passiven Bauweisen wäre. Von besonderer Relevanz war dabei eine ökobilanzielle Betrachtung, diese wurde am Beispiel der Stuttgart SmartShell im Vergleich mit einer passiven Betonschale durchgeführt.

Die in der ersten Förderphase gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere im Bereich der Berücksichtigung der nicht-linearen Effekte des Strukturverhaltens bei der Optimierung der adaptiven Eingriffe, sollten auf andere Tragwerksformen übertragen, sowie das Optimierungsziel „Nullverformung“ bei Stab- und Seiltragwerken integriert werden. Des Weiteren wurde die Aktivierbarkeit von Öffnungen bei Flächentragwerken numerisch untersucht.

Eine zusätzliche Erweiterung des Konzepts der Adaptivität ist die Formadaption zur Minimierung einwirkender Lasten. Der Schwerpunkt der entsprechenden Untersuchungen lag auf dem Gebäudeeckbereich und den induzierten Windbeanspruchungen. Der Einfluss verschiedener Geometrien auf die Windströmung wurde mittels numerischer Strömungssimulation untersucht.

Ergebnisse

Es konnten Sicherheitskonzepte aus dem Maschinen- und Flugzeugbau in das Bauwesen übertragen werden. Im Rahmen eines Methodentransfers aus dem Maschinenbau wurde eine Fehlerbaumanalyse am Demonstrator und eine Fehler-Möglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) am Beispiel des pneumatischen textilen Aktors durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wurden für den Aktor Sicherheitsrichtlinien für die Herstellung als auch den Betrieb erarbeitet. Zusätzlich wurden aufgrund der Ergebnisse der Fehlerbaumanalyse die HIKEs am Demonstrator als redundante Elemente angeordnet.

Die ökobilanziellen Betrachtung ergab, dass der Energieaufwand in der Nutzungsphase (Regelungsenergie) der Stuttgart SmartShell sowie der Transport und der Materialeinsatz für die Aktorik und Sensorik eine untergeordnete Rolle spielen. Das Ergebnis zeigt, dass das die Stuttgart SmartShell bei einer ökobilanziellen Betrachtung positiver abschneiden als die passive Betonschale.

Die Konzepte aus HIKE 1 wurden auf Stab- und Seiltragwerke übertragen. Bei den aktiven Stab- und Seiltragwerken konnten sowohl die Spannungen in der Tragstruktur reduziert und homogenisiert sowie das Ziel der Nullverformung realisiert werden. Zur Validierung der theoretischen Ergebnisse wurde ein adaptives Fassadenmodul gebaut (Bild 2.25). Dieses besteht aus vertikal vorgespannten Seilen, die durch senkrecht zu den Seilen angeordnete Scherenaktoren aktiviert werden. Durch die Aktoren

können Nullverformungen in der Ebene der Glasscheiben realisiert werden sowie Schwingungen reduziert werden. Bei den geplanten Versuchen werden sowohl statische als auch dynamische Belastungen untersucht.

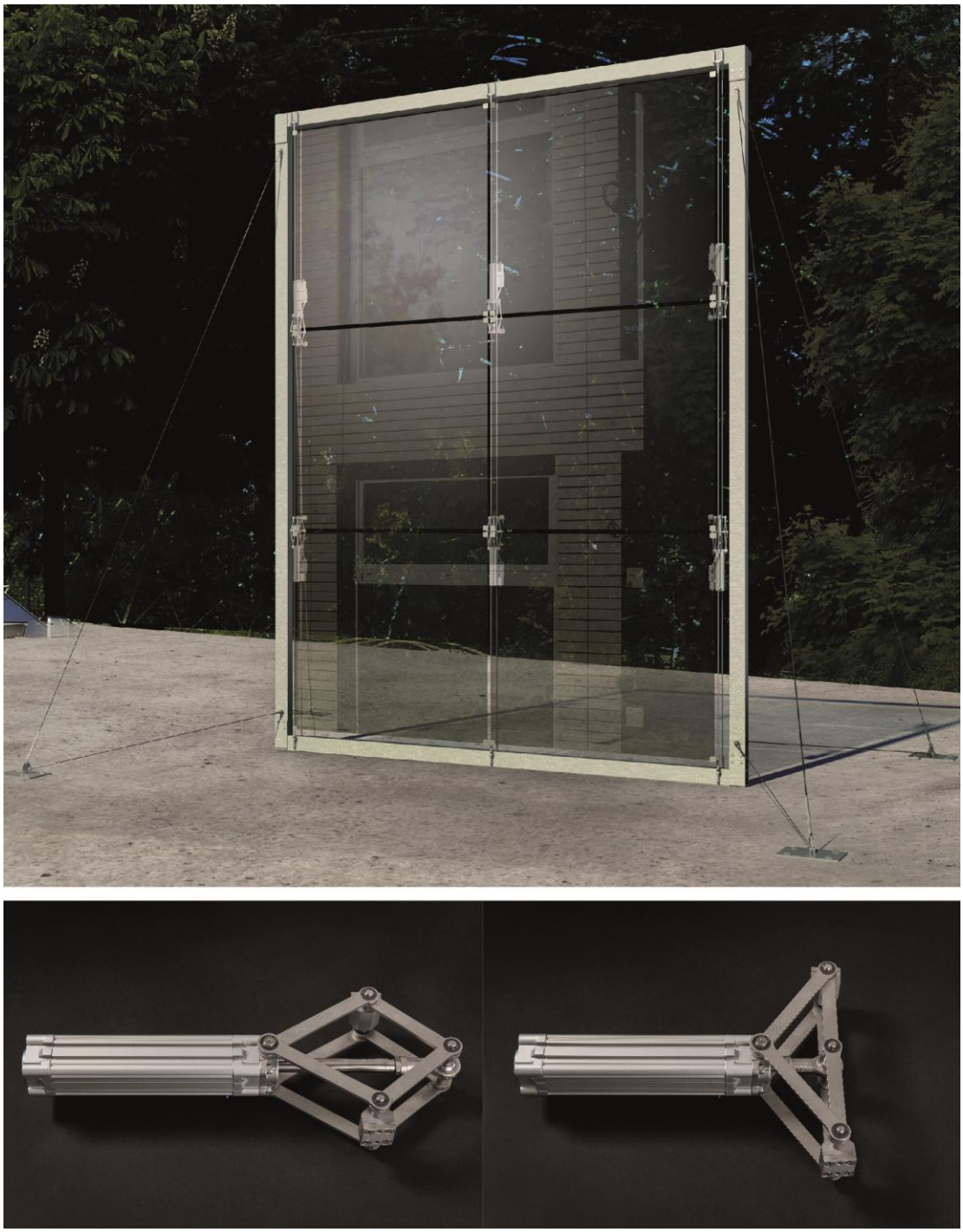


Bild 2.25: Adaptives Fassadenmodul (oben) mit Scherenaktor (unten)

Die Aktivierbarkeit von Öffnungen in Flächentragwerken zeigte, dass die Spannungen in den Öffnungen bei Scheiben, die auf Zug beansprucht werden, bis zu ca. 50%

reduziert werden konnten (Bild 2.26). Hierbei wurde die Öffnung radial bzw. uni-axial durch Zugkräfte aktiviert.

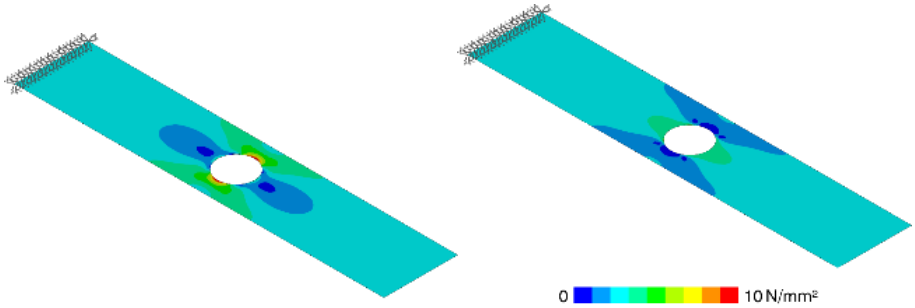


Bild 2.26: Aktivierung von Öffnungen

Die Vorarbeiten zu den Strömungssimulationen ergaben, dass abgerundete Ecken die Ablösung von Strömungen beeinflussen können. Diese Abrundungen sind jedoch abhängig von der Windgeschwindigkeit. Anhand einer Parameterstudie werden aktuell die optimalen Radien in Anhängigkeit der Windgeschwindigkeit bestimmt, sowie weitere Formen untersucht (Bild 2.27).

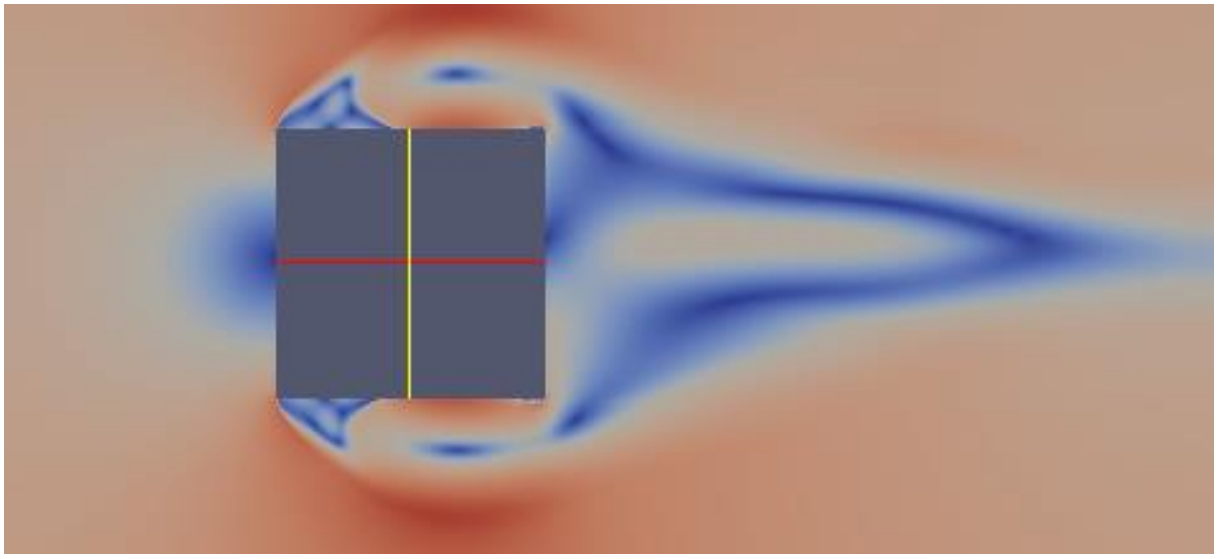


Bild 2.27: Umströmung eines stumpfen Körpers

2.6 Herstellung intelligenter Konstruktionselemente durch Formgebung im teilflüssigen Materialzustand (Teilprojekt B3)

Riedmüller, K. R.; Liewald, M.
Institut für Umformtechnik (IFU)

Motivation

Die Zielsetzung des Teilprojekts TP3 bildete die Generierung von Konstruktionselementen mit sensorischen und aktorischen Eigenschaften, welche aus der definierten Kombination unterschiedlicher Werkstoffe bzw. Werkstoffklassen im Sinne verstärkter Leichtmetallmatrizes bestehen. Zur Herstellung derartiger hybrider intelligenter Elemente wurde das Semi-Solid-Formgebungsverfahren mit dem Potenzial der Verbundwerkstofftechnik kombiniert. Durch die stoffliche und konstruktive Kombination unterschiedlicher Metall- und Faser(verbund)werkstoffe sollte dabei zum einen ein höherer Leichtbaugrad für solche Konstruktionselemente erzielt und zum anderen intrinsische, stoffliche Bauteileigenschaften erzeugt werden, die von denen monolithischer metallischer Werkstoffe sichtbar abweichen.

Vorgehensweise

Während das in der ersten Förderphase hergestellte hybride Kraftumlenkelement ausschließlich mit einer sensorischen Funktion ausgestattet wurde, war es Ziel der zweiten Förderperiode, durch die zusätzliche Integration aktorischer Elemente zielgerichtet auf am Gesamtdemonstrator der Forschergruppe detektierte Lastveränderungen reagieren zu können. Damit einhergehend wurden aufbauend auf den Untersuchungen der ersten Projektphase weitere hochfeste Verstärkungskomponenten bezüglich deren Eignung zur Einbringung in eine Leichtmetallmatrix untersucht.

Zudem bestand ein weiterer Forschungsschwerpunkt in der Entwicklung von Werkzeugkonzepten sowie von konstruktions- und prozesstechnischen Richtlinien für die Herstellung von HIKE mittels der Formgebung im teilflüssigen Zustand (Bild 2.28). Neben der Weiterentwicklung des in der ersten Förderperiode entstandenen Kraftumlenkelements wurde in diesem Zusammenhang eine neue Bauteilgeometrie

in Form einer Endverbindung für CFK-Zugstäbe und damit einhergehend allgemeingültige Lösungsansätze hinsichtlich der Generierung von HIKE entwickelt.

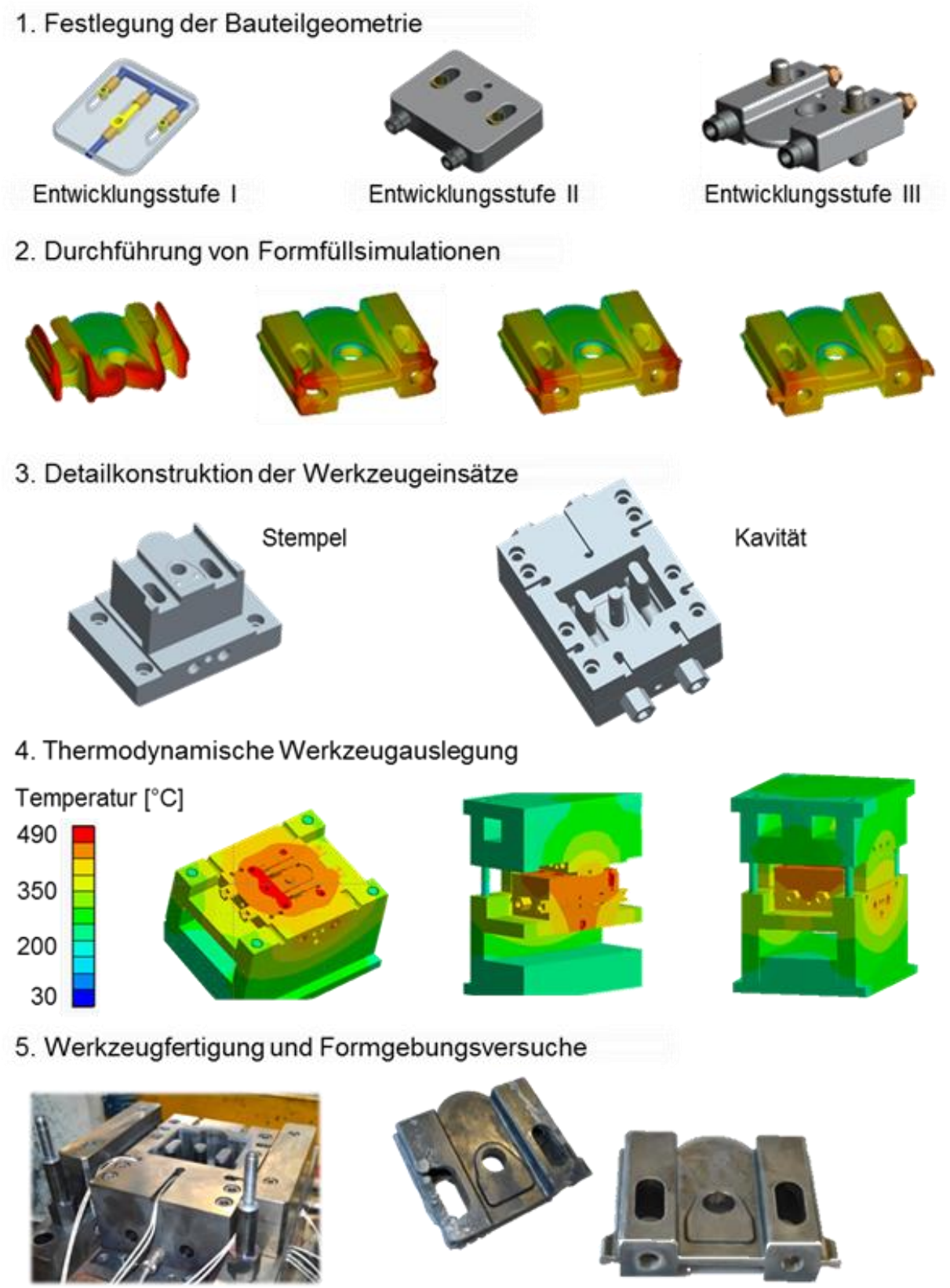


Bild 2.28: Vorgehensweise bei der Bauteilentwicklung

Ergebnisse

Im Rahmen des TP B3 wurden Faserrovings (Basalt, Glas, Kohlenstoff, Keramik) mittels Formgebung im teilflüssigen Materialzustand in plattenförmige Bauteile eingebettet und anschließend Zugproben herausgearbeitet (Bild 2.29). Mithilfe der durchgeführten Zugversuche konnte festgestellt werden, dass für geringe Dehnungen die MMCs mit Carbon-, Glas- und Basaltfaserverstärkung hinsichtlich der erzielten Zugfestigkeiten und E-Moduln gut mit den theoretisch nach der „Rule of Mixture“ berechneten Kennwerten korrelieren. Es wurde somit nachgewiesen, dass es möglich ist, eine Eigenschaftsmodifikation von Aluminiumwerkstoffen durch die Einbringung unterschiedlicher Faserwerkstoffe zu realisieren.

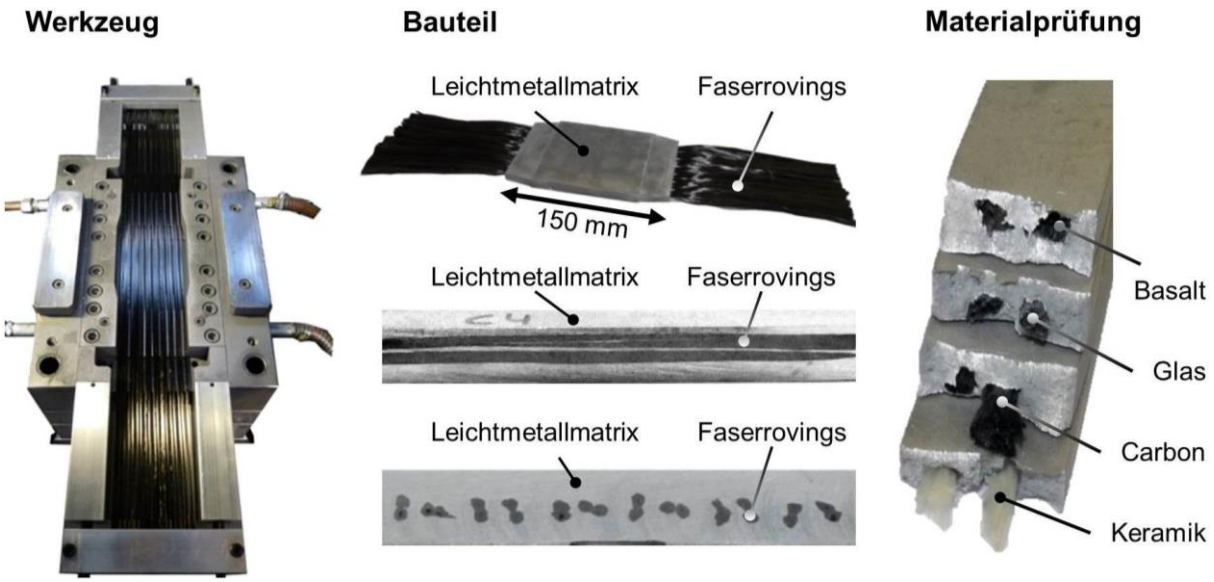


Bild 2.29: Formgebungswerkzeug mit eingespannten Carbonfaserrovings (links); Faserverbundbauteil im Längs- und Querschnitt (Mitte); Zugproben mit unterschiedlichen Faserwerkstoffen (rechts)

Ein weiterer Arbeitspunkt befasste sich mit der Herstellung metallischer Endverbindungen für GFK-Stäbe. Dabei konnte die grundsätzliche Machbarkeit solcher Bauteile nachgewiesen werden. Bei den Formgebungsversuchen wurden die eingeschmiedeten Zugstablängen zwischen 30mm und 65mm variiert. Für unterschiedliche Einschmiedelängen wurden jedoch vergleichbare Zugkräfte erreicht und somit keine Abhängigkeit von der eingeschmiedeten Stablänge festgestellt. REM-Untersuchungen zeigten, dass die außenliegenden Fasern am Mantelbereich der Zugstäbe zumindest teilweise von der Metallmatrix infiltriert und die Polymer- durch die Aluminiummatrix ersetzt werden (Bild 2.30).

Schließlich wurde das in der 1. FÖP entwickelte Kraftumlenkelement zu einem „nachspannenden Hebelelement“ weiterentwickelt. Untersuchungen an den hergestellten Bauteilen zeigten, das intermetallische Verbindungen zwischen eingeschmiedeten höherfesten Inlays (Gewindebuchsen) und der Aluminiummatrix während der Formgebung entstehen und darüber hinaus ein sehr guter Formschluss besteht (Bild 2.31).

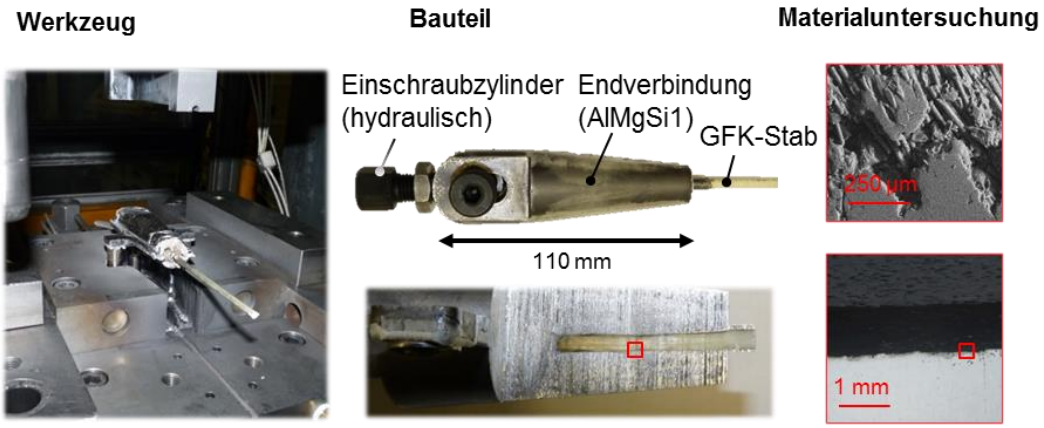


Bild 2.30: Werkzeug „Endverbindung” nach einem der ersten Formgebungsversuche (links), hergestellte Endverbindung mit eingeschmiedetem GFK-Stab (Mitte); mikroskopische Aufnahmen der Interface-Schicht zwischen Al-Matrix/GFK-Stab (rechts)

Des Weiteren konnte eine sehr homogene, nahezu fehlerfreie Gefügestruktur der Matrixlegierung nachgewiesen werden. Die Bauteile wiesen eine sehr hohe reproduzierbare Maßhaltigkeit auf, welche der Toleranzklasse IT8 entspricht.

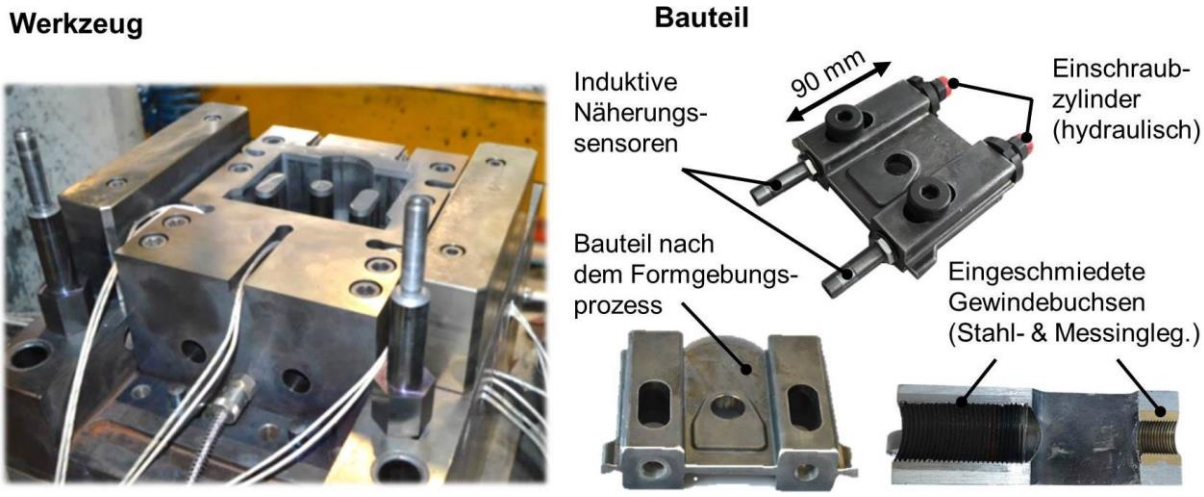


Bild 2.31: Untere Kavität des Werkzeugs „nachspannendes Hebelelement“ (links), hergestellte Hebelelemente mit eingeschmiedeten Gewindebuchsen sowie mit sensorischen und aktorischen Elementen (rechts)

2.7 Regelungs- und Steuerungsmethodik für Systeme mit HIKE (Teilprojekt B4)

Heidingsfeld, M.; Sawodny, O.
Institut für Systemdynamik (ISYS)

Motivation

Systeme mit hybriden, intelligenten Konstruktionselemente (HIKE) enthalten gegenüber klassischen Konstruktionen eine wesentlich höhere Dichte an Sensoren und Aktoren, was ein großes Potential in Hinblick auf die Erfassung und Beeinflussung des Systemzustandes bietet. Hieraus ergeben sich völlig neuartige Ansatzpunkte zur aktiven Steuerung und Regelung von Systemen, die HIKE enthalten oder aus HIKE aufgebaut sind. Im Rahmen des Forschungsprojekts untersucht das Institut für Systemdynamik Methoden zur Steuerung und Regelung von Systemen mit HIKE. Die in der Theorie gewonnen Erkenntnisse werden dabei anhand unterschiedlicher Funktionsmuster, sowie eines teilprojektübergreifenden Demonstrators in der Praxis erprobt werden.

Vorgehensweise

Grundlage der Regelung ist ein hierarchisches, in Ebenen organisiertes, Konzept, bei dem auf Ebene der HIKE lokale Regelkreise vorgesehen werden, die dort vorhandene sensorische und aktorische Elemente zur lokalen Beeinflussung nutzen. Die HIKE bilden Baugruppen, für die dynamische Modelle erstellt und Regelungskonzepte entwickelt werden (Bild 2.32). Dies ermöglicht eine deutlich erweiterte Funktionalität des Gesamtsystems, die über die Funktionalität der einzelnen HIKE hinausgeht.

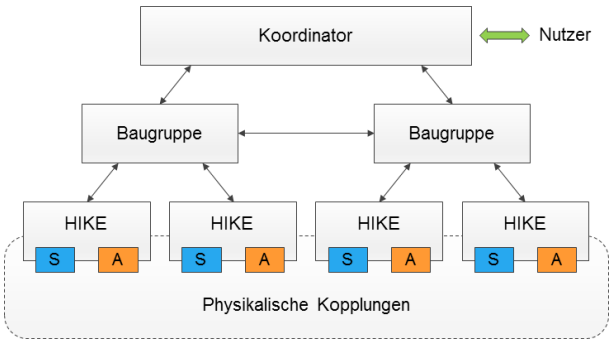


Bild 2.32: Ebenenkonzept der Regelung des Demonstrators

In der ersten Förderperiode wurde die grundsätzliche Leistungsfähigkeit von Systemen mit HIKE anhand unterschiedlicher Funktionsmuster und Demonstratoren nachgewiesen (Bild 2.33). Dabei kam jedoch noch konventionelle Aktorik zum Einsatz. Ein wesentliches Ziel der zweiten Förderperiode ist daher die Verwendung aktorischer HIKE und deren Integration in das Regelungskonzept. Basierend auf mathematischen Modellen der HIKE werden daher lokale Regelungen entworfen, welche das gewünschte Ein-/Ausgangsverhalten realisieren.

Bild 2.33: Funktionsmuster Stuttgart SmartShell mit konventioneller Aktorik

Ein weiteres Ziel der zweiten Förderperiode ist die Erhöhung der Ausfallsicherheit von HIKE. Das Teilprojekt B4 leistet dazu einen wichtigen Beitrag in Form einer fehlertoleranten Regelung. Diese ermöglicht die Diagnose von Sensor- und Aktorfehlern, sowie die Rekonfiguration der Regelung im Fehlerfall. Da das dynamische Verhalten der betrachteten Systeme einen erheblichen Einfluss auf die Fehlerdiagnose hat, wurden die Untersuchungen an der Stuttgart SmartShell durchgeführt (Bild 2.33).

Ein drittes Ziel besteht in der Selbstorganisation von Systemen mit HIKE, wobei Konzepte zur automatischen Generierung von Baugruppen und Baugruppenmodellen, sowie dem Entwurf einer koordinierenden Steuerung untersucht werden sollen.

Ergebnisse

Die Modellierung und Regelung von aktorischen HIKE wurde insbesondere an den vom ITV entwickelten pneumatischen Textilien durchgeführt, da diese ein interessantes nichtlineares dynamisches Verhalten bieten. Bei der Modellierung wurde eine Grey-Box Ansatz bestehend aus physikalisch motivierter und experimenteller Mo-

dellbildung gewählt. Die darauf aufbauende flachheitsbasierte Regelung in Zwei-Freiheitsgrade-Struktur realisiert ein gutes Trajektorienfolgeverhalten.

Am Beispiel der Stuttgart SmartShell (Bild 2.33) konnte gezeigt werden, das Aktor- und Sensorfehler mit Hilfe eines sogenannten Dedicated Observer Scheme innerhalb kurzer Zeit nach ihrem Auftreten diagnostiziert werden können. Zur Rekonfiguration konnten die Aktorfehler als nichtlineare Eingangsbeschränkungen interpretiert werden. Die Lösung des daraus resultierenden beschränkten Optimalsteuerungsproblems mit Hilfe eines effizienten Riccati-Iterationsverfahrens ermöglicht zudem die echtzeitfähige Implementierung in modellprädiktiver Form.

Zur Untersuchung der selbstorganisierenden Regelungsmethoden wird derzeit in Zusammenarbeit mit dem ILEK ein adaptives Fassadenmodul (Bild 2.34) entwickelt. Hier soll untersucht werden, wie basierend auf parametrischen Port-Hamilton Modellen der einzelnen Elemente durch automatisierte Verschaltung Gesamtsystemmodelle abgeleitet werden können. Die system- und graphentheoretische Analyse der erhaltenen Modelle stellt wiederum eine entscheidende Grundlage für den selbstorganisierenden Regelungsentwurf dar.

Bild 2.34: Adaptives Fassadenmodul

3 Vorträge

3.1 Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) – Einleitung

Binz, H.

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ausgangslage bei Konstruktionselementen

- Bisherige Fortentwicklung dieser Elemente konzentrierte sich auf Verbesserung der Leistungsfähigkeit / Eigenschaften sowie erweiterten Einsatzbereich (klassische Vorgehensweise)
- Innovationen klassischer Konstruktionselemente hinsichtlich der Nutzung von hybriden Bau- und Konstruktionselementen mit intelligenten Eigenschaften haben in den letzten Jahrzehnten wenig stattgefunden

H. Binz (IKTD) 2

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Vision und Ziele der FOR 981 HIKE

Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE) für

- das effiziente, interdisziplinäre Konstruieren
- anpassungsfähige, vernetzte Systeme
- sensorische, aktorische, regelungsrelevante und tragstrukturelle sowie anzeigende Funktionen
- das Bereitstellen wiederverwendbarer Lösungselemente

H. Binz (IKTD) 3

Definition von HIKE

Hybride Intelligente KonstruktionsElemente

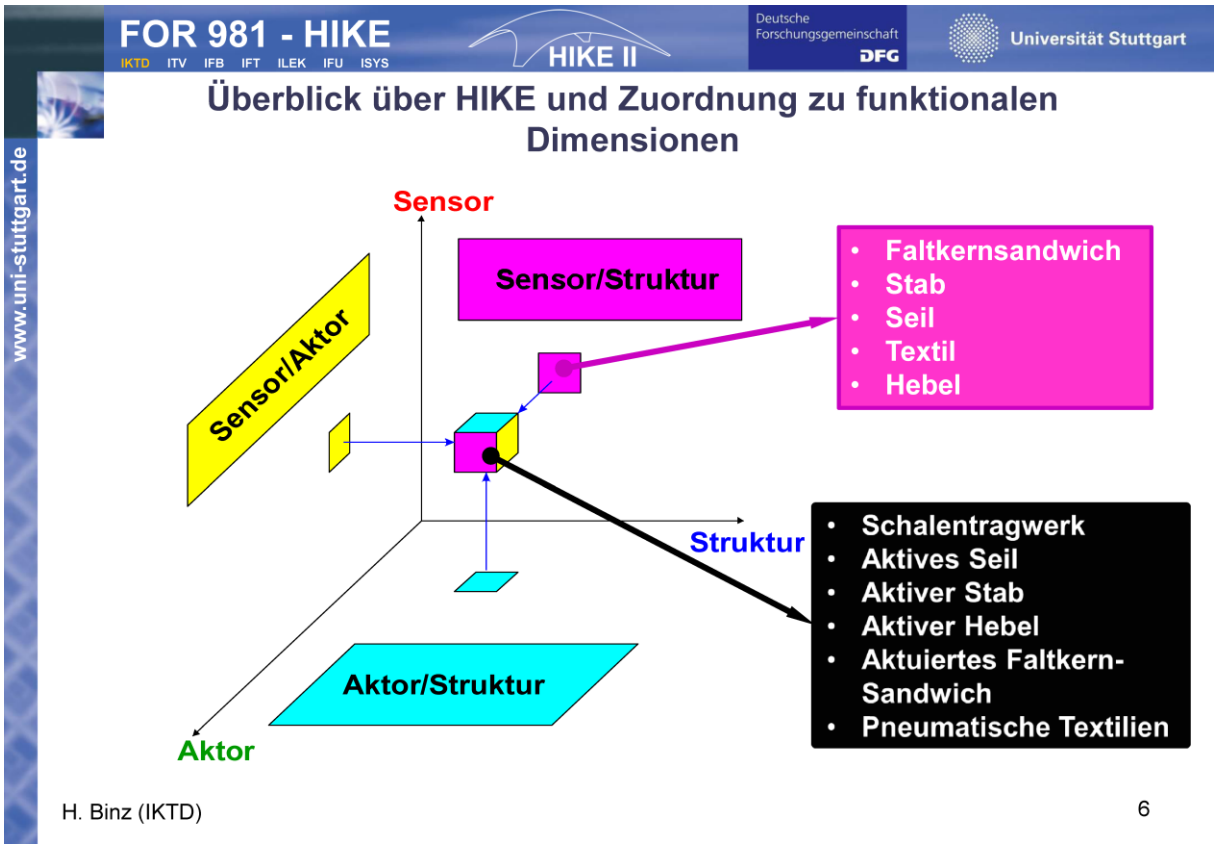
- (H) integrieren Fertigungs- und/oder Werkstofftechnologie,
- (H) integrieren Funktionen als Sensor, Aktor, Regler, Anzeige und/oder Struktur,
- (I) sind intrinsisch oder extrinsisch regel-/steuerbar oder tragen zur Regel-/Steuerbarkeit des übergeordneten Systems bei,
- (KE) werden beim Konstruieren mit HIKE nicht wesentlich verändert,
- (KE) weisen unterschiedliche Komplexitätsstufen auf und
- (KE) sind einem konstruktionsrelevanten Verhalten (im Regelkreis) zugeordnet.

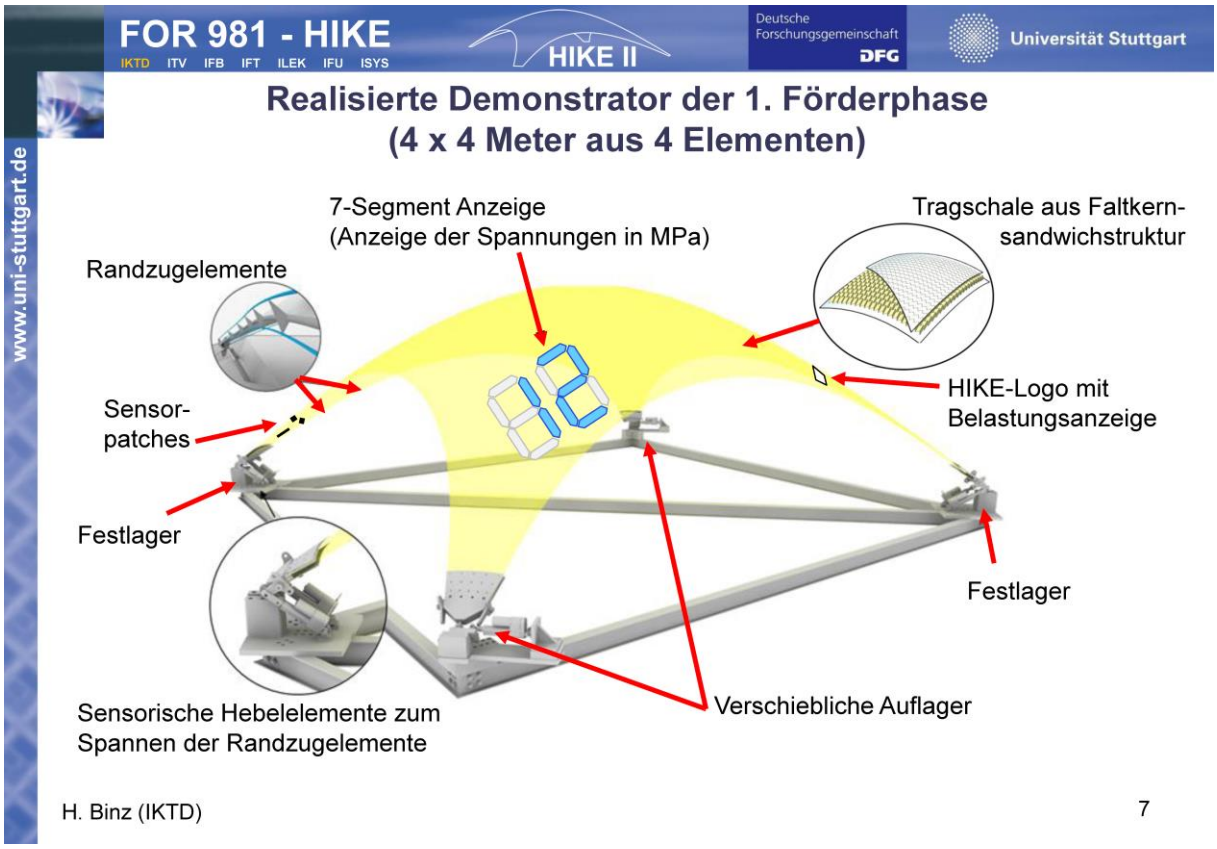
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Definition Intelligenz

Teildefinitionen für Intelligenz

- Räumliche Integration mit weiteren Funktionseinheiten (gemäß VDI 2206)
- Fähigkeit, Informationen zu speichern (storing information)
- Fähigkeit, Informationen zu kombinieren (combining information)
- Fähigkeit, sich selbst an die Umwelt anzupassen (adapt (oneself) to new situations)
- Sensorische Kapazität (sensory capacity)
- Fähigkeit, zielgerichtet zu agieren (acting purposeful)
- Fähigkeit eines Systems, angemessen in einer unsicheren Umgebung zu reagieren (ability of a system to act appropriately in an uncertain environment)
- Definierte Kombination von Werkstoffen/ Werkstoffklassen zur stofflichen intrinsischen Eigenschaftsmodifikation


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Überblick über HIKE und Zuordnung zu funktionalen Dimensionen
Sensor
Sensor/Struktur
Sensor/Aktor
Struktur
Aktor/Struktur
Aktor
• Faltkernsandwich
• Stab
• Seil
• Textil
• Hebel
• Schalentragwerk
• Aktives Seil
• Aktiver Stab
• Aktiver Hebel
• Aktuiertes Faltkern-Sandwich
• Pneumatische Textilien
H. Binz (IKTD)
6


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Realisierte Demonstrator der 1. Förderphase
(4 x 4 Meter aus 4 Elementen)
7-Segment Anzeige
(Anzeige der Spannungen in MPa)
Tragschale aus Faltkern-sandwichstruktur
Randzugelemente
HIKE-Logo mit Belastungsanzeige
Sensor-patches
Festlager
Festlager
Sensorische Hebelelemente zum Spannen der Randzugelemente
Verschiebliche Auflager
H. Binz (IKTD)
7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Zielerreichung der Forschergruppe für 2012 – 2015

	A1 IKTD	A3 IFB	A4 ITV	B1 IFT	B2 ILEK	B3 IFU	B4 ISYS
Funktionserweiterung (Aktorik, Sensorik)	+/(✓)	+/✓	+/✓	+/✓		+/✓	+/✓
Dezentrale Intelligenz (Kommunikation, Selbstorganisation)	+/(✓)	o	o	o	+/(✓)		+/(-)
Sicherheitskonzepte	+/✓		o	+/(✓)	+/✓	o	+/✓
Kombination von HIKE zu intelligenten Baugruppen/Systemen	o	o	+/✓	+/✓	+/✓	o/+ (✓)	+/(✓)
Erweiterung Statik → Dynamik	o	+/✓	o	o	+/✓	o	+/✓
Serientauglichkeit/ Produktionstechnologie	+/✓	+/✓	o	+/✓	o	o	
Neue HIKE	o	+/✓	+/✓	+/✓	o	+/✓	o
Exemplarische Maschinenbauliche Anwendungen		o	+/✓	o		+/✓	o
Übertragbarkeit in andere Disziplinen (Luft-&Raumfahrt, Bauwesen)	+/✓	o	o	o	+/✓		+/✓

Legende: +: wesentliches TP-Ziel; o: Nebenziel des TP ; leere Zelle: kein Zielbeitrag
✓: Ziel erreicht; (✓): Ziel teilw. erreicht; (-) Ziel nur bedingt erreicht; -: Ziel nicht erreicht

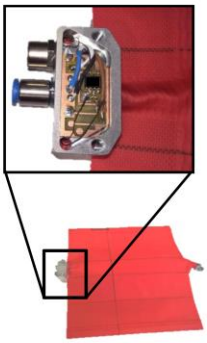
H. Binz (IKTD) 8

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (I)

- Funktionserweiterung (Aktorik, Sensorik) & Neue HIKE (Beispiele)

Sensorischer pneumatischer textiler Aktor (ITV)



Federaktor (IFT)

Formadaptive Fassaden (ILEK)

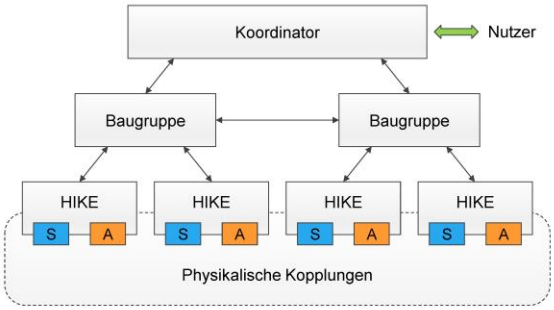
H. Binz (IKTD) 9

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (II)

- Modellierung und Regelung aktorischer HIKE
- Fehlertolerante Regelung
- Selbstorganisation



H. Binz (IKTD) 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (III)

- Sicherheitskonzepte
  - Grundlage für Serientauglichkeit
  - Spezifikation der notwendigen Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen
  - Betrachtung des Ausfallverhaltens auf Bauteil- und Systemebene
  - Ableiten und Umsetzen von Maßnahmen (Sensorik, Aktorik, Struktur, Regelung, Anzeige)
  - Ableiten von Gestaltungsempfehlungen

H. Binz (IKTD) 11

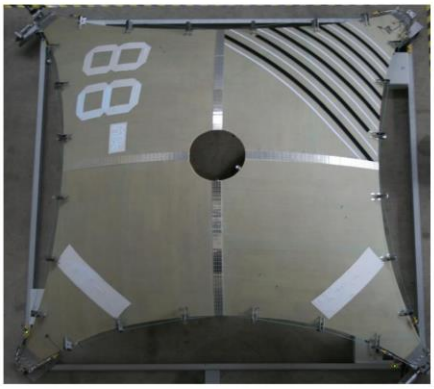
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (IV)

- Kombination von HIKE zu intelligenten Baugruppen/Systemen
- Erweiterung Statik zu Dynamik

Statik ⟶ Dynamik



H. Binz (IKTD) 12

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

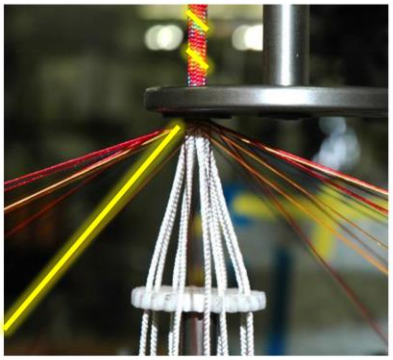
Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (V)

- Serientauglichkeit/ Produktionstechnologie

Prototypische Faltkernfertigung (A3) mit Laserbearbeitung

Vorstudie im Labormaßstab

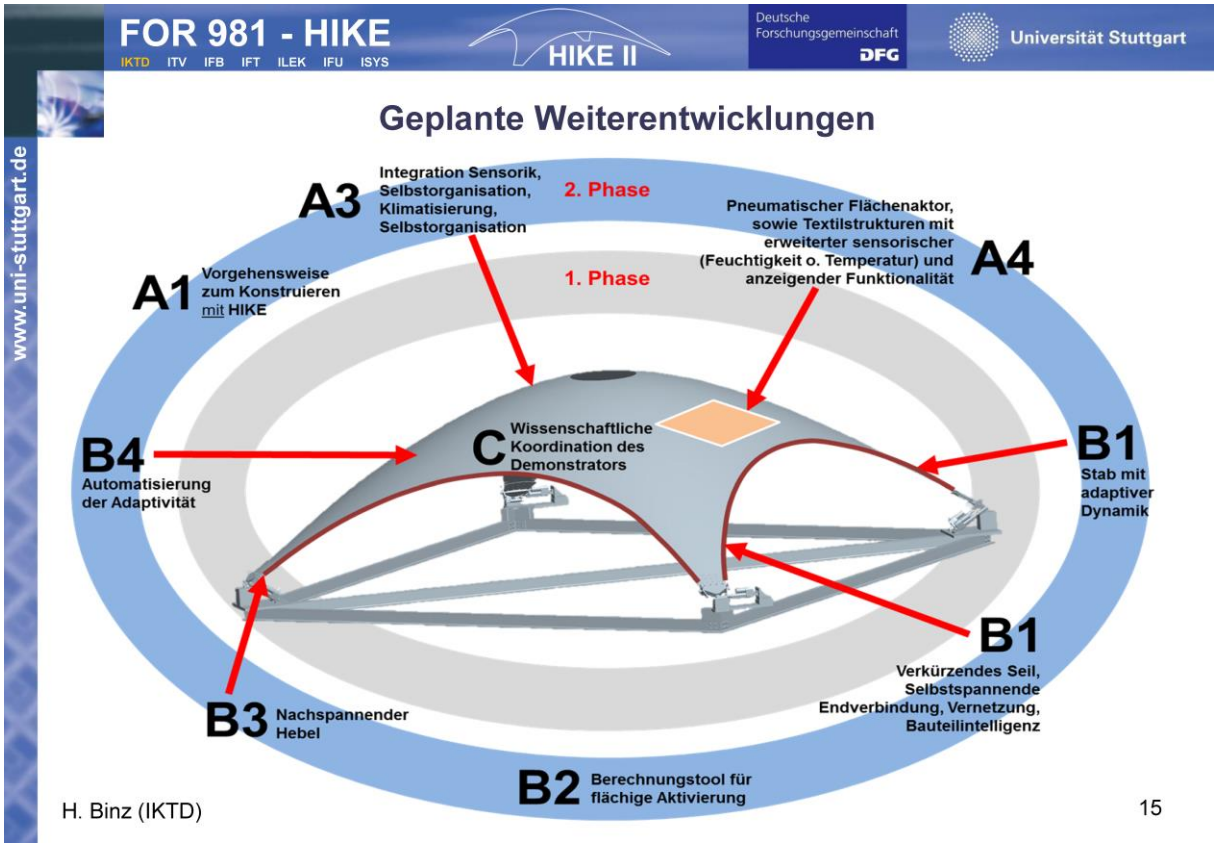
Integration textiler Sensoren in Faserseile in der Fertigung (B1)

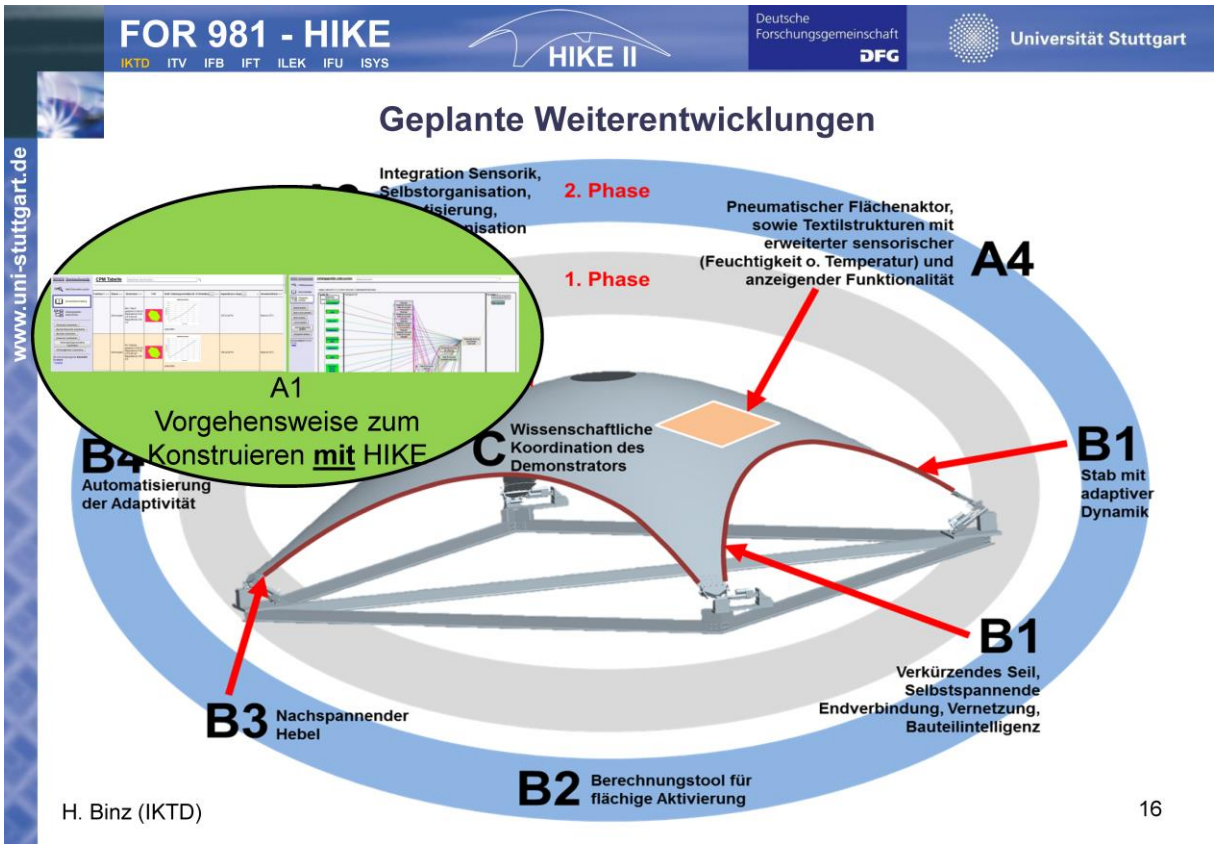


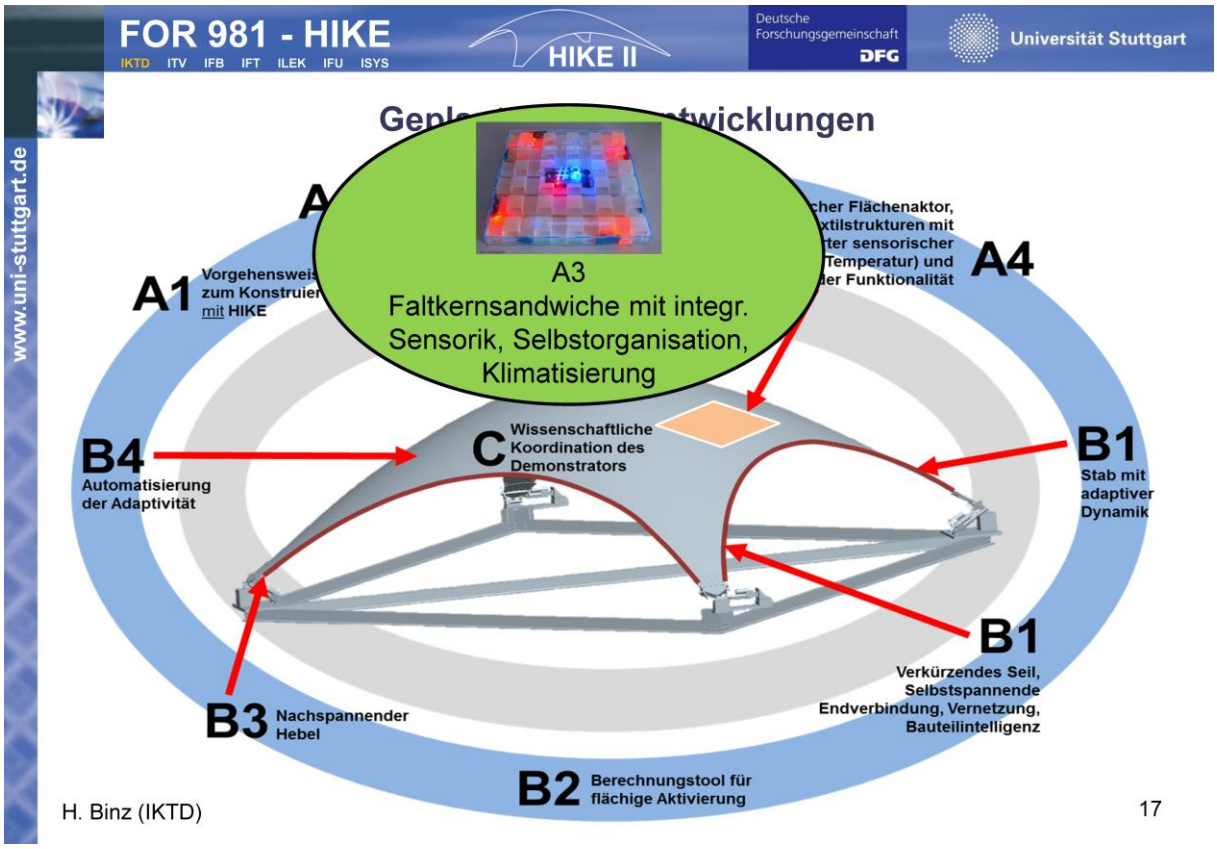
Illustration

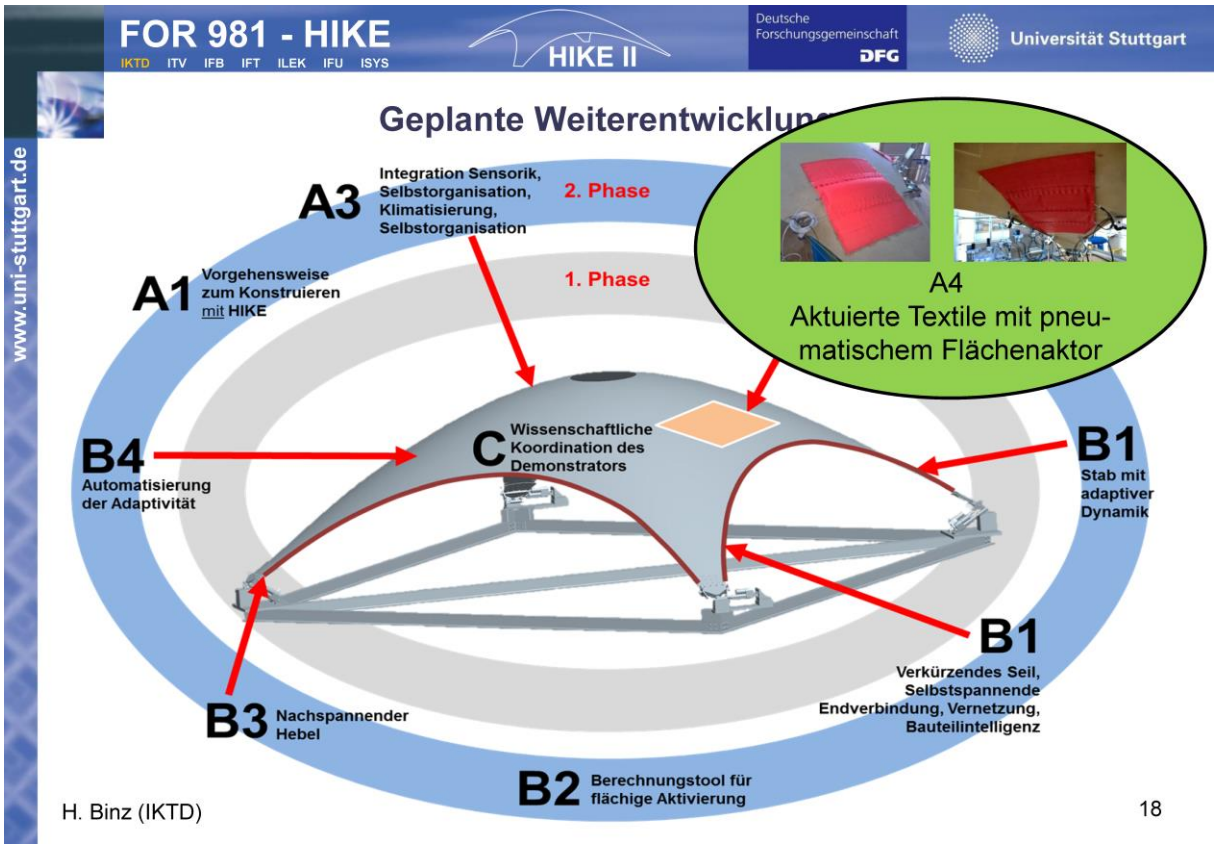
H. Binz (IKTD) 13

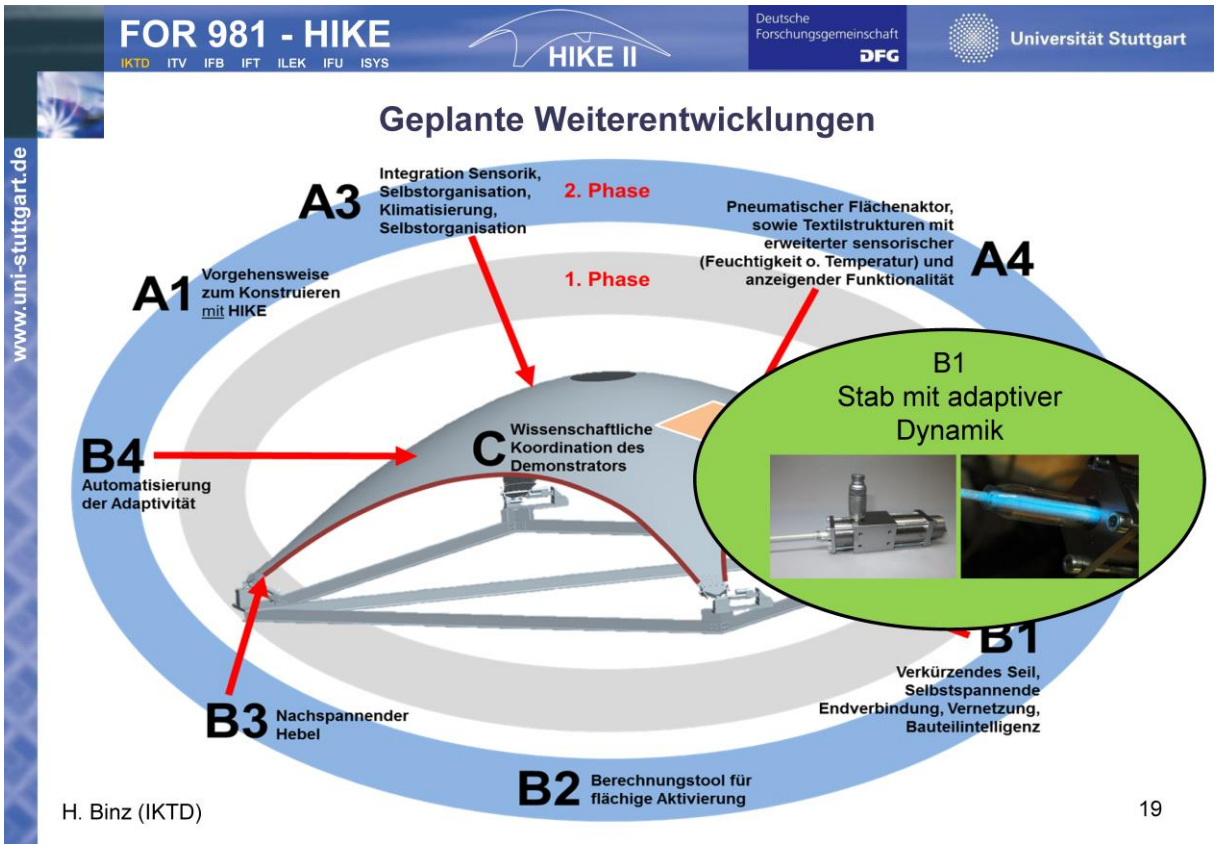
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Ziele der Forschergruppe für 2012 – 2015 (VI)
Exemplarische Maschinen-bauanwendungen
Übertragbarkeit in andere Disziplinen (LRT, Bau)
H. Binz (IKTD)
14

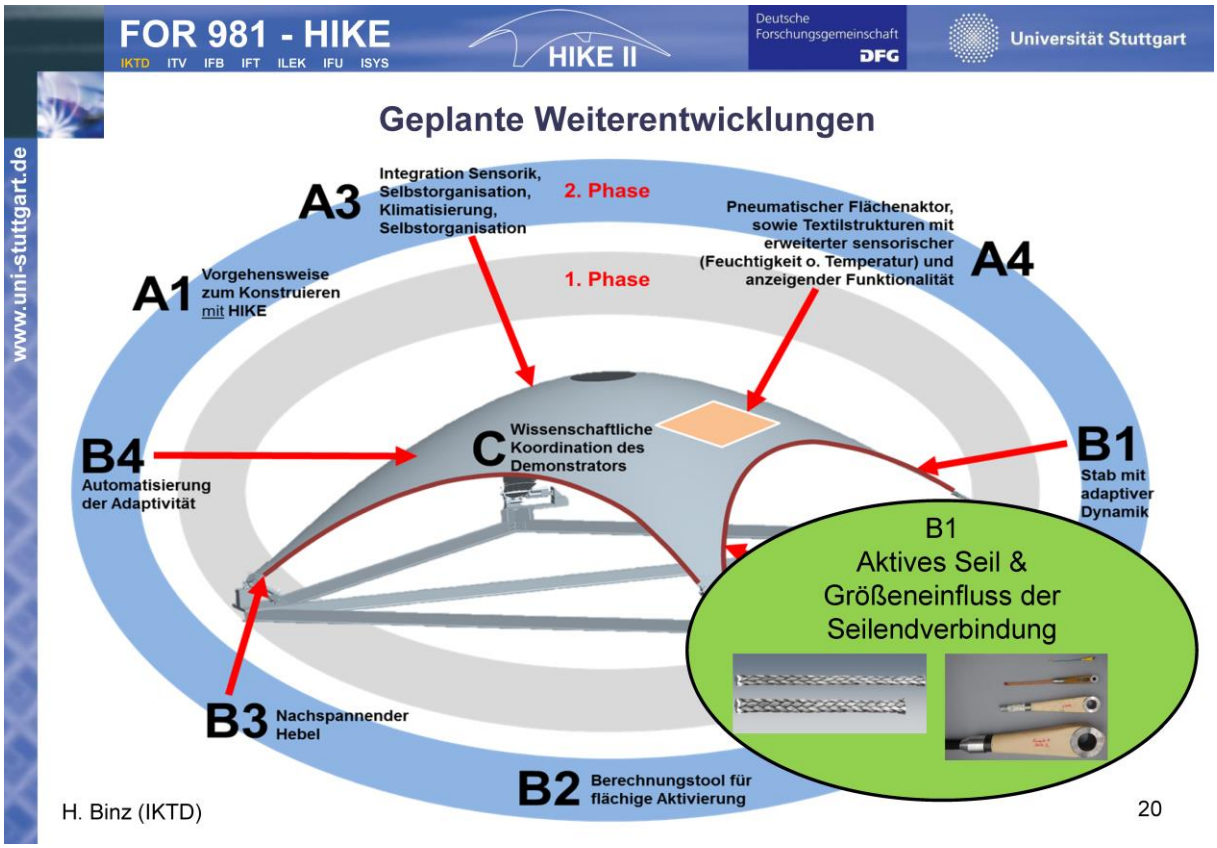

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
15

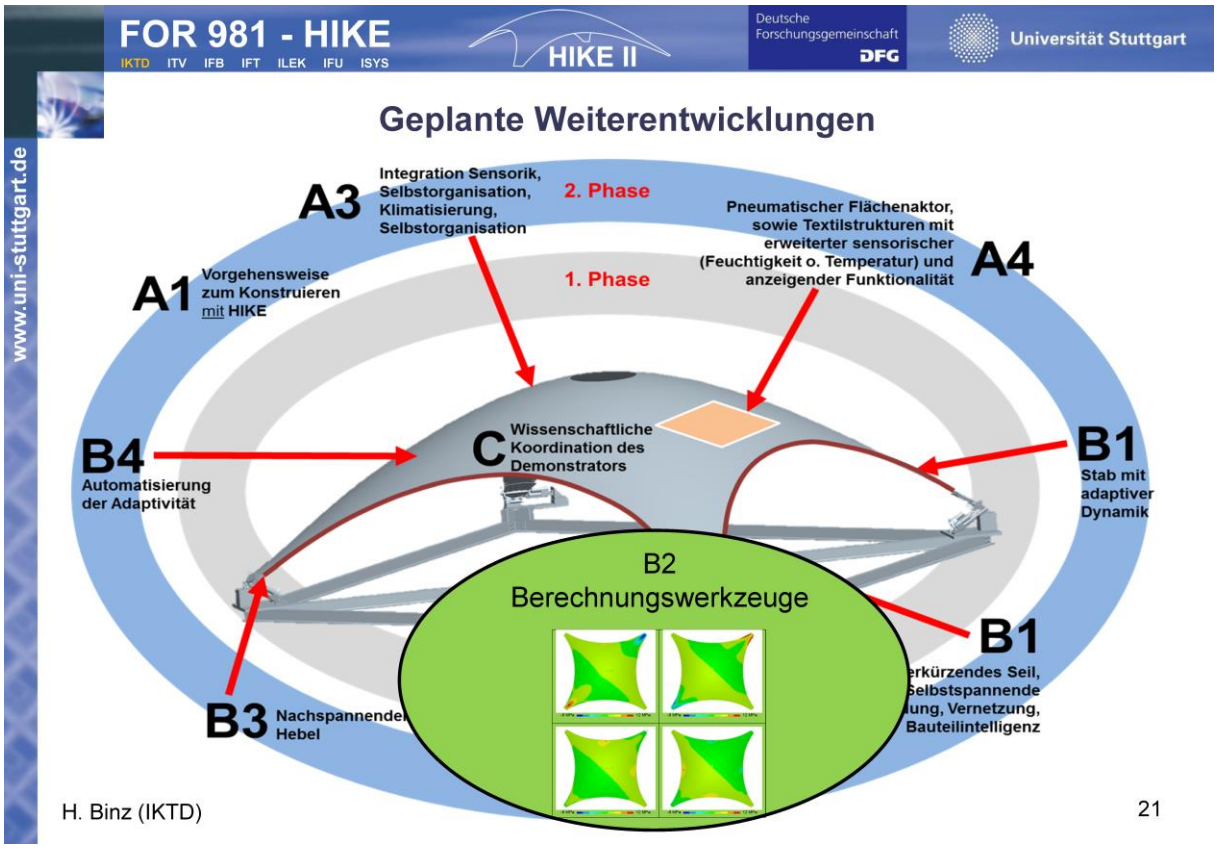

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
Integration Sensorik, Selbstorganisation,
2. Phase
1. Phase
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
16

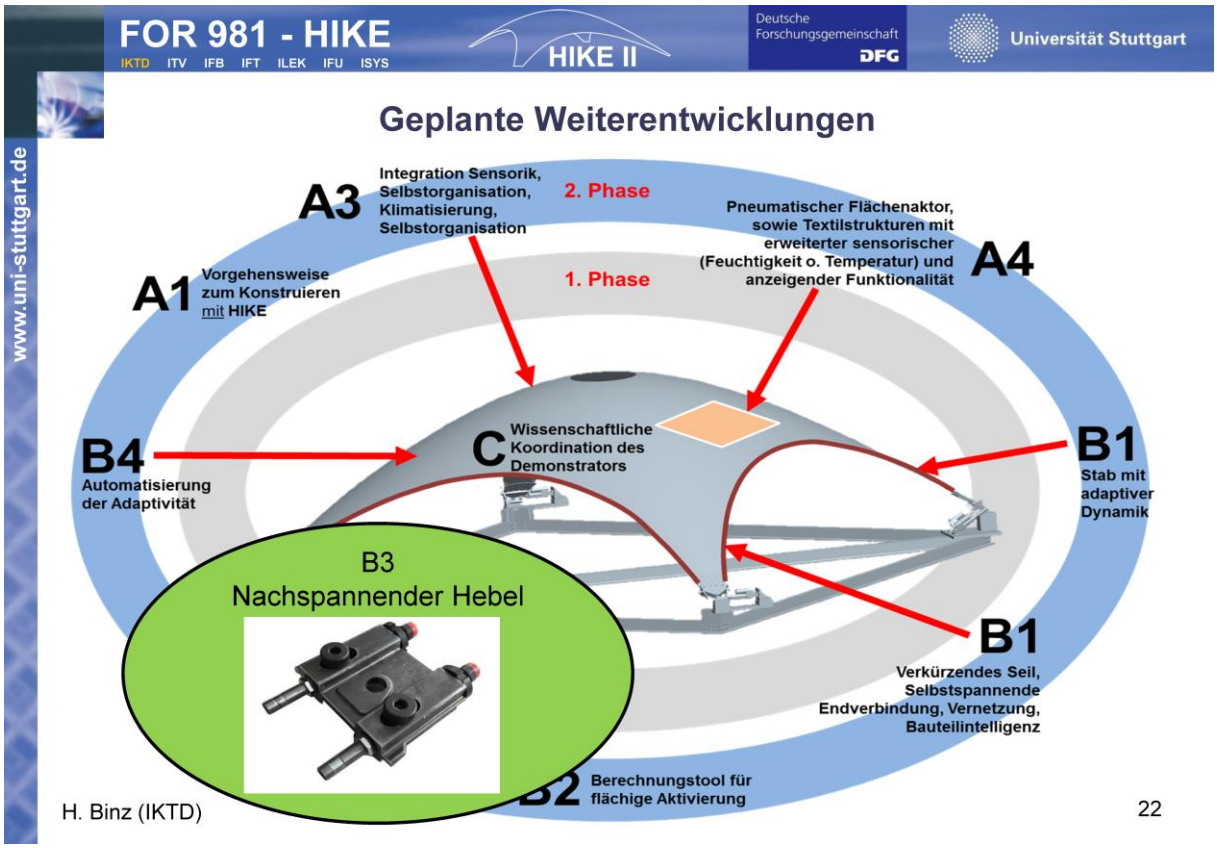

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
A3
Faltkernsandwiche mit integr. Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung
A4
A1
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
17

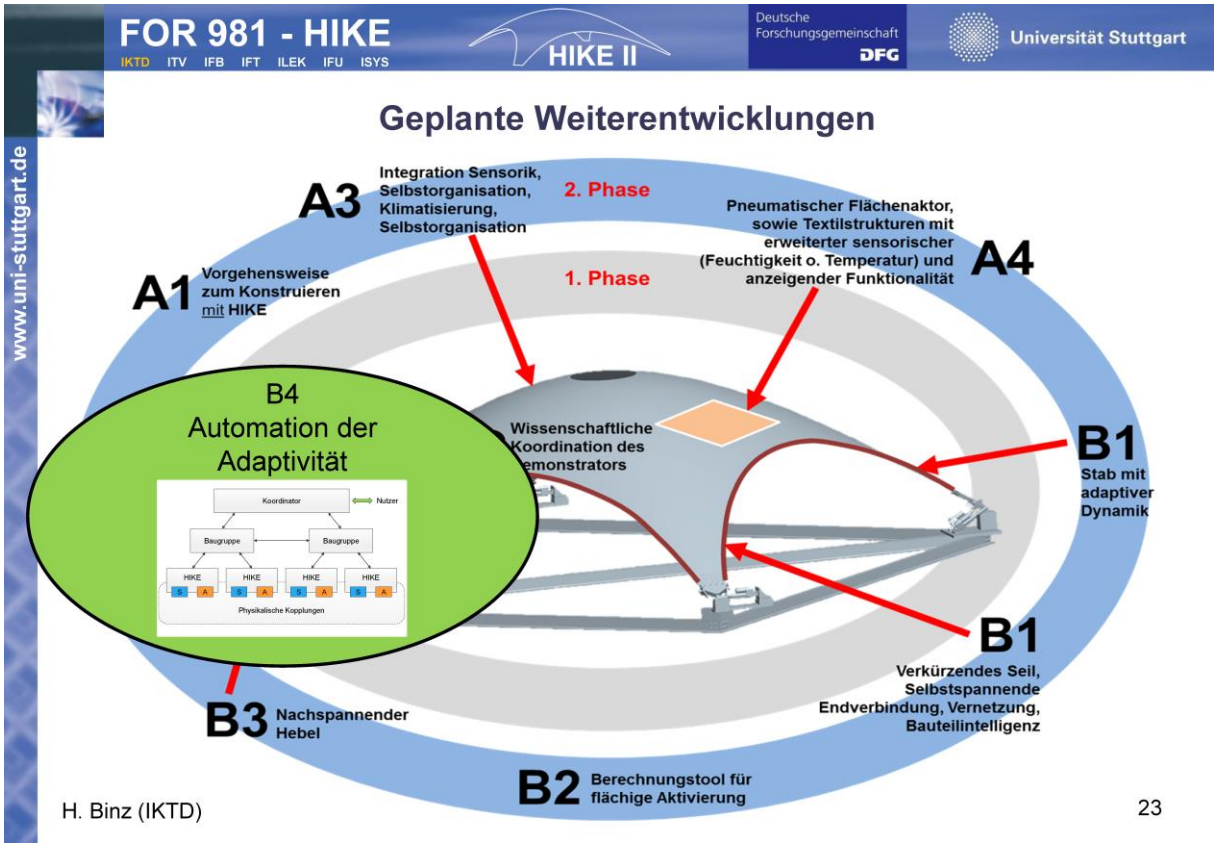

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklung
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
A4
Aktuierte Textile mit pneumatischem Flächenaktor
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
18


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
19

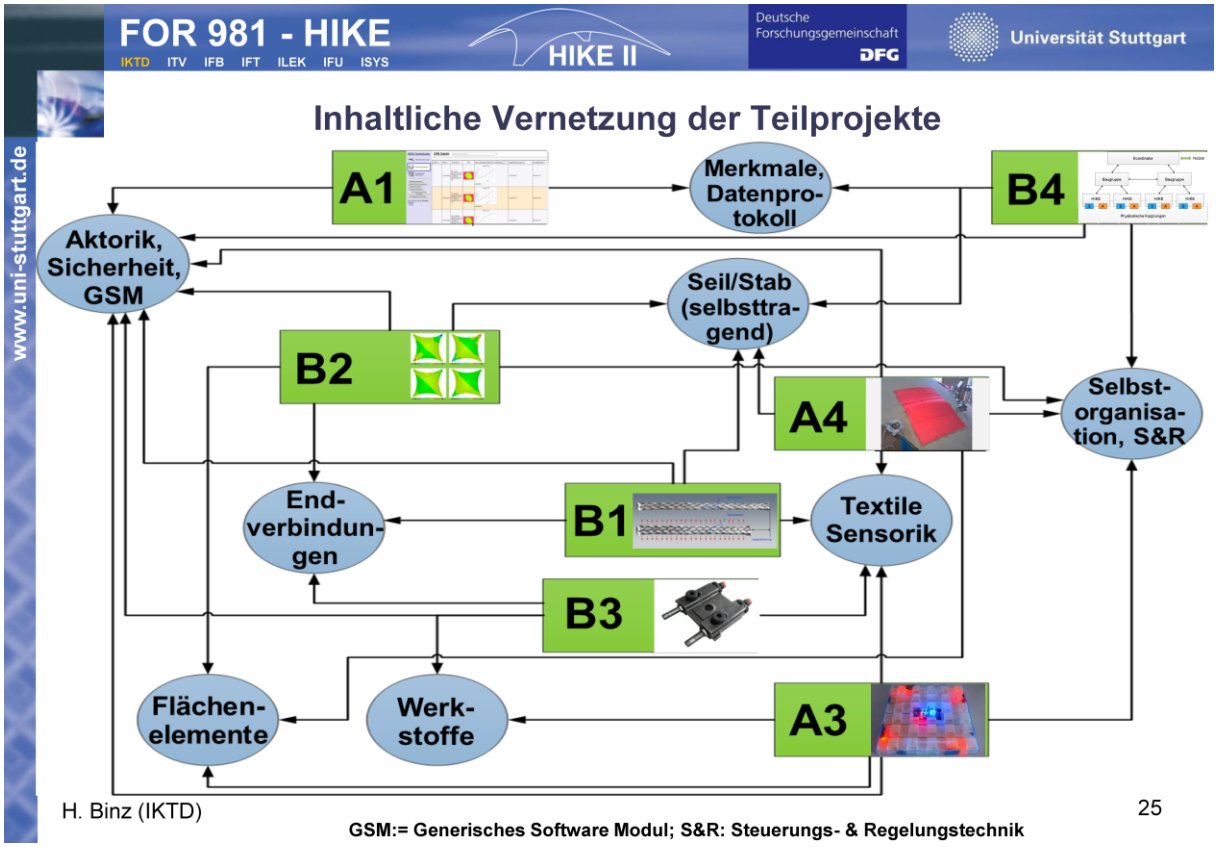

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Aktives Seil & Größeneinfluss der Seilendverbindung
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
20

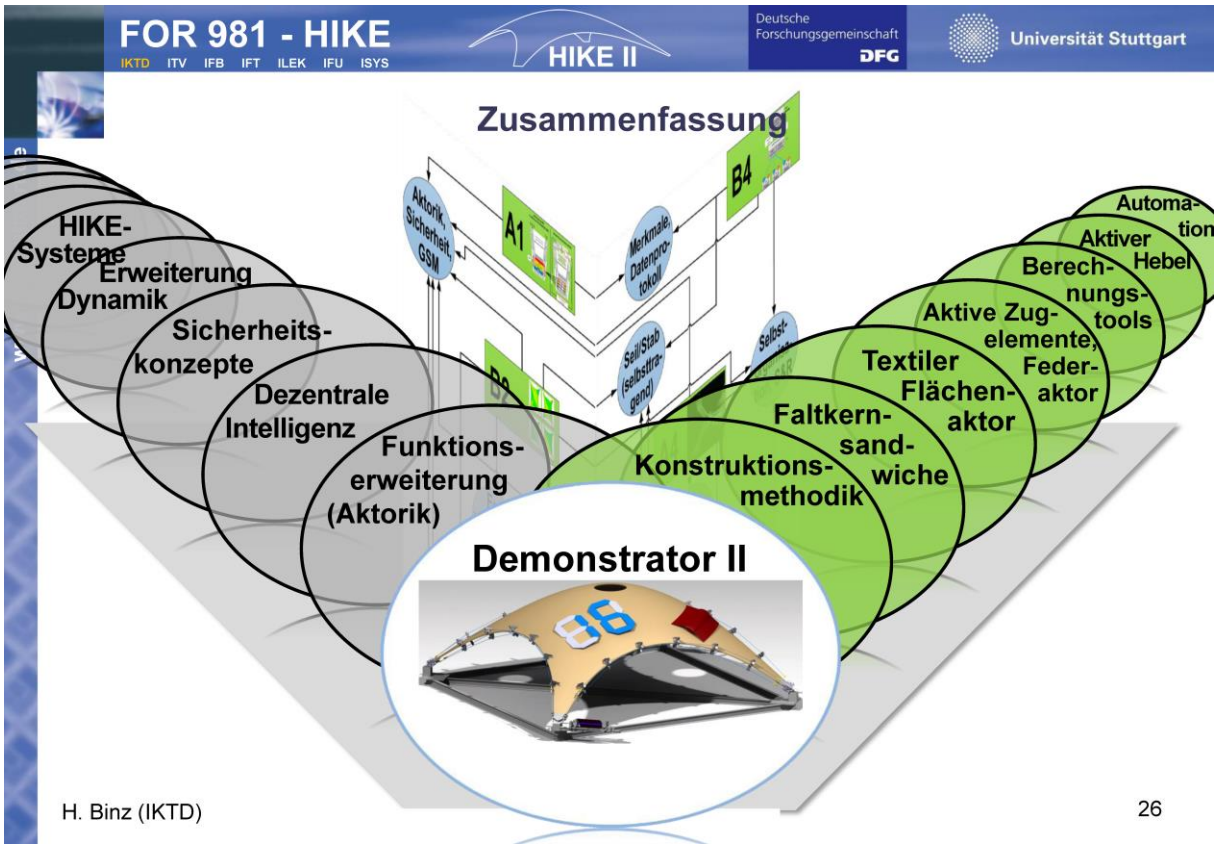

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B2
Berechnungswerkzeuge
B1
B3
Nachspannender Hebel
H. Binz (IKTD)
21


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
B4
Automatisierung der Adaptivität
C
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B3
Nachspannender Hebel
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
22


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
1. Phase
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
B4
Automation der Adaptivität
Koordinator
Nutzer
Baugruppe
Baugruppe
HIKE
Physikalische Kopplungen
Wissenschaftliche Koordination des Demonstrators
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Geplante Weiterentwicklungen
A3
Integration Sensorik, Selbstorganisation, Klimatisierung, Selbstorganisation
2. Phase
Pneumatischer Flächenaktor, sowie Textilstrukturen mit erweiterter sensorischer (Feuchtigkeit o. Temperatur) und anzeigender Funktionalität
A4
A1
Vorgehensweise zum Konstruieren mit HIKE
1. Phase
C
Koordination des Demonstrators
B4
Automatisierung der Adaptivität
B1
Stab mit adaptiver Dynamik
B1
Verkürzendes Seil, Selbstspannende Endverbindung, Vernetzung, Bauteilintelligenz
B3
Nachspannender Hebel
B2
Berechnungstool für flächige Aktivierung
H. Binz (IKTD)
24

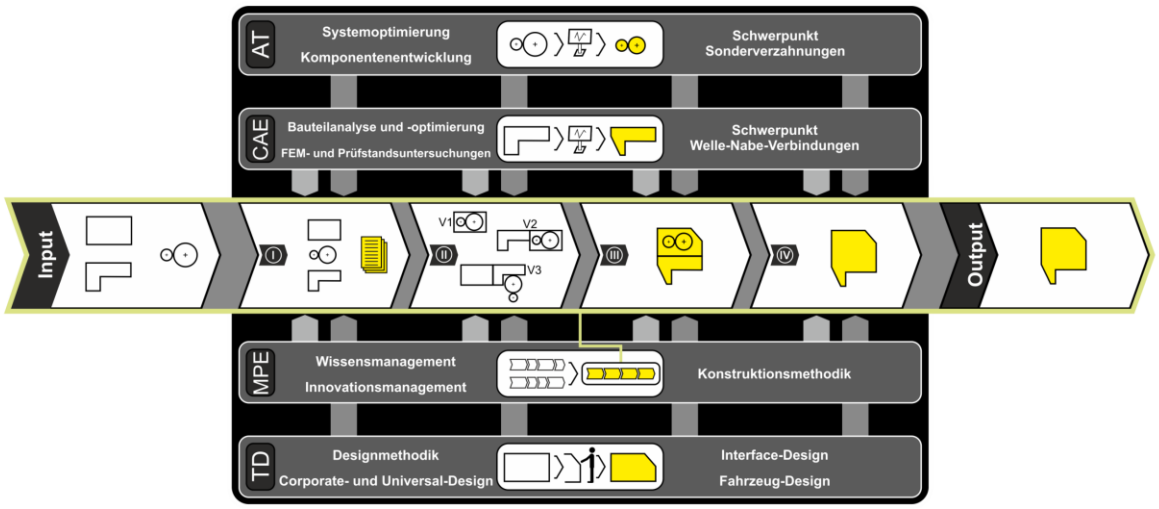

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Inhaltliche Vernetzung der Teilprojekte
A1
Merkmale, Datenpro-tokoll
B4
Aktorik, Sicherheit, GSM
Seil/Stab (selbsttra-gend)
B2
A4
Selbst-organisa-tion, S&R
End-verbindun-gen
B1
Textile Sensorik
B3
Flächen-elemente
Werk-stoffe
A3
H. Binz (IKTD)
25
GSM:= Generisches Software Modul; S&R: Steuerungs- & Regelungstechnik


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFG
Universität Stuttgart
Zusammenfassung
HIKE-Systeme
Erweiterung Dynamik
Sicherheits-konzepte
Dezentrale Intelligenz
Funktions-erweiterung (Aktorik)
Konstruktions-methodik
Faltkern-sand-wiche
Textiler Flächen-aktor
Aktive Zug-elemente, Feder-aktor
Berech-nungs-tools
Aktiver Hebel
Automa-tion
Demonstrator II
A1
B4
Aktorik, Sicherheit, GSM
Merkmale, Datenpro-tokoll
Seil/Stab (selbstträ-gend)
H. Binz (IKTD)
26

3.2 Formalisierte Wissensrepräsentation zur Unterstützung des methodischen Konstruierens von und mit hybriden intelligenten Konstruktionselementen (HIKE) und Systemen (Teilprojekt A1)

Crostack, A.; Binz, H.

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)



FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Einleitung

Motivation:

- Steigende Tendenz zur Funktionsintegration
- Viele neue Produkte als mechatronische Produkte ausgeführt
- Entwicklung von Hybriden, Intelligenten Konstruktionselementen (HIKE)
  ➔ Nutzbarkeit als Konstruktionselement erreichen

Problemstellung:

- Verschiedene zum Teil neuartige Entwicklungsprozesse
- Verständigung der Teilprojekte
  (Luftfahrt-, Bauingenieure, klass. Maschinenbauer, Regelungstechniker …)
- Wissens- / Datenaustausch setzt Kenntnisse in jeweiligen Bereichen voraus
- Verbreitung der Erkenntnisse über neuartige Konstruktionselemente

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Einleitung

Ziele 1. Förderphase:

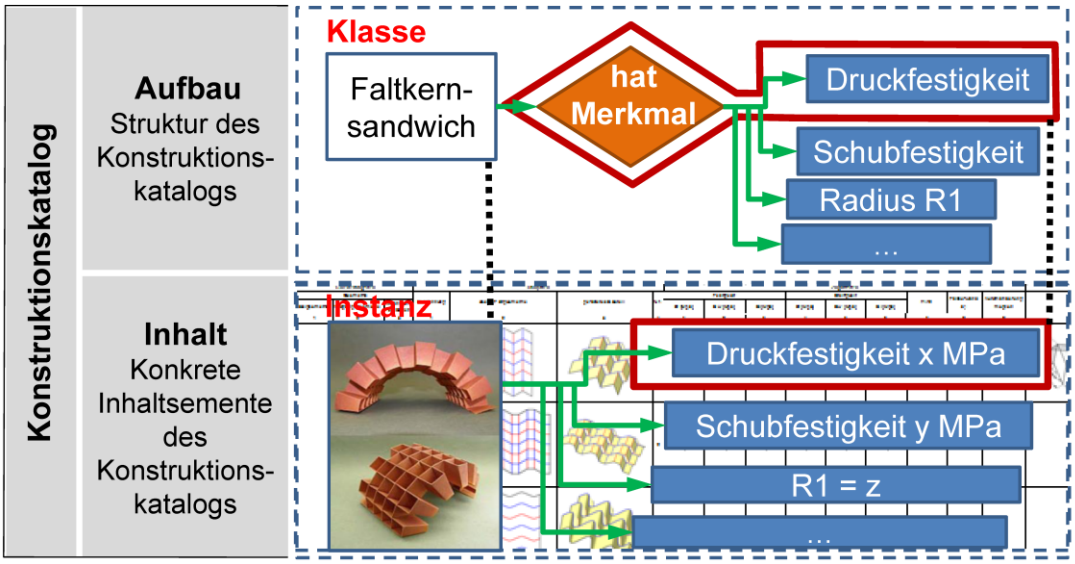
- Unterstützen der künftigen systematischen Entwicklung von HIKE
- Erschließen der Merkmale und Eigenschaften von HIKE
- Aufzeigen neuer Anwendungsfelder für HIKE
- Unterstützen des Konstruierens von HIKE

- **Konstruktionstheoretisch begründetes Erfassen und Bereitstellen des Wissens über HIKE**

A. Crostack (IKTD) 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Einleitung – Ergebnisse 1. Förderphase



A. Crostack (IKTD) 5

© Y Klett (IFB), M. Melicher (IKTD)/Uni Stuttgart 2011

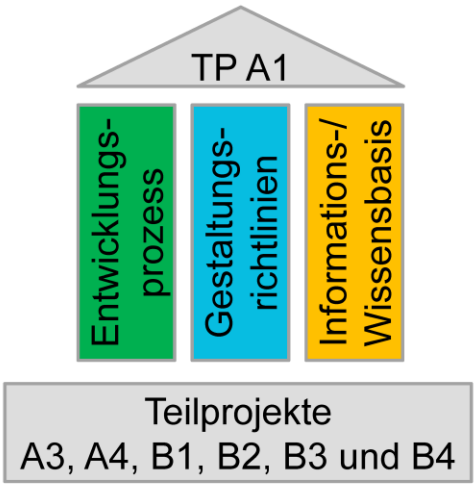
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Einleitung – Ziele 2. Förderphase

Teilprojekt A1:

- Methodische Unterstützung der Teilprojekte
- Wissenserhebung zur Unterstützung der Entwicklung „von“ und „mit“ Hybriden Intelligenten Konstruktionselementen (HIKE)
  - Definition eines Modells des Entwicklungsprozesses
  - Definition von Gestaltungsrichtlinien
  - Entwicklung einer Informations- / Wissensbasis zur Unterstützung der HIKE-Entwicklung

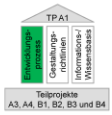


A. Crostack (IKTD) 6

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

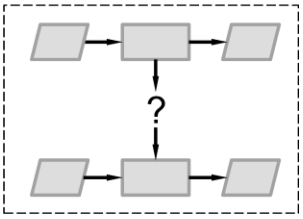
www.uni-stuttgart.de

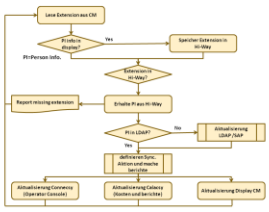
Entwicklungsprozess – Stand der Technik

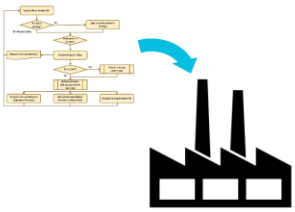


Vorgehen zur Definition eines Soll-Prozesses [Wagner 2013] mit Erweiterung durch [Qasim 2013, Schwegmann et. al. 2013, Koch 2011]:

1. Identifikation und Abgrenzung des zu untersuchenden Prozesses
2. Erhebung, Modellierung und Analyse Ist-Prozess (Interviews ...)
3. Konzeption / Definition eines Soll-Prozesses
4. Einführung Soll-Prozess / Realisierung Verbesserungspotenzial







A. Crostack (IKTD) 7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklungsprozess – Vorgehen

Vorgehen:

- Schritt 1 (Identifikation und Abgrenzung des zu untersuchenden Prozesses)
  - Untersuchung der HIKE-Entwicklungsprozesse
    - Start: Anforderungen von ILEK auf Basis Demonstrator
    - Ende: Freigabe zur Planung der Serienfertigung
- Schritt 2 (Erhebung, Modellierung und Analyse Ist-Prozess)
  - Analyse bisheriger Dokumente sowie Interviews mit Entwicklern
  - Modellierung als Flow-Charts
  - Korrektur durch Entwickler (bspw. Projektbearbeiter des IFU)
- Schritt 3 (Zusammenführung der Entwicklungsprozesse)
  - Vergleich der erhobenen Entwicklungsprozesse (Identifikation der Gemeinsamkeiten und Unterschiede)
  - Ableitung eines generischen Entwicklungsprozesses für HIKE

A. Crostack (IKTD) 8

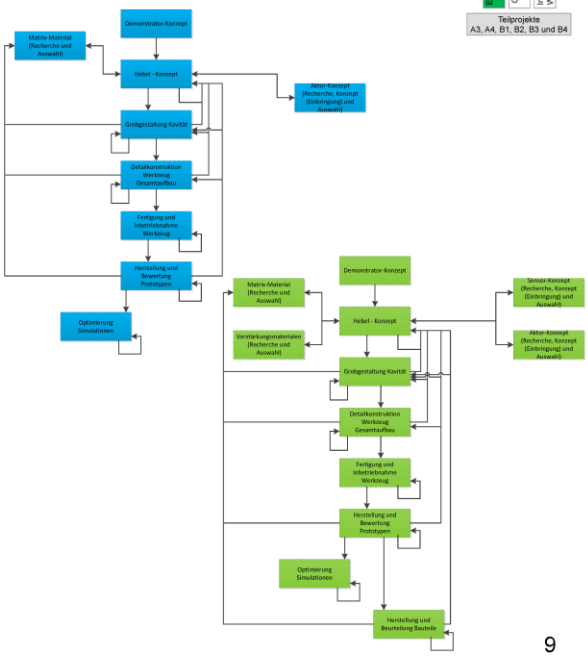
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklungsprozess – Vorgehen

Vorgehen (Schritt 3):

- Identifikation gemeinsamer Tätigkeiten
  - Definition von Prozessen
  - Basiselemente der Prozesse
- Vervollständigung des verallgemeinerten Prozesses
- Evaluation des Prozesses
  - Verständlichkeit und logische Abfolge (Außenstehende)
  - Allgemeingültigkeit des Prozesses für HIKE (Außenstehende)
  - Diskussion mit HIKE-Entwicklern

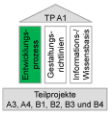


A. Crostack (IKTD) 9

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

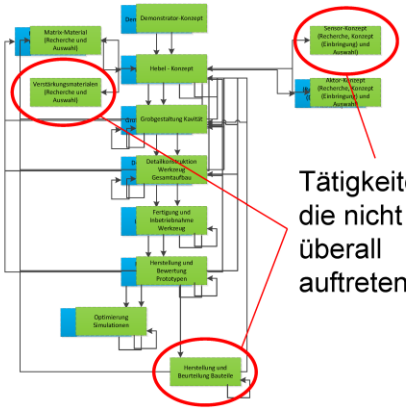
www.uni-stuttgart.de

Entwicklungsprozess – Vorgehen



Vorgehen (Schritt 3):

- Identifikation gemeinsamer Tätigkeiten
  - Definition von Prozessen
  - Basiselemente der Prozesse
- Vervollständigung des verallgemeinerten Prozesses
- Evaluation des Prozesses
  - Verständlichkeit und logische Abfolge (Außenstehende)
  - Allgemeingültigkeit des Prozesses für HIKE (Außenstehende)
  - Diskussion mit HIKE-Entwicklern

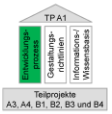


A. Crostack (IKTD) 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

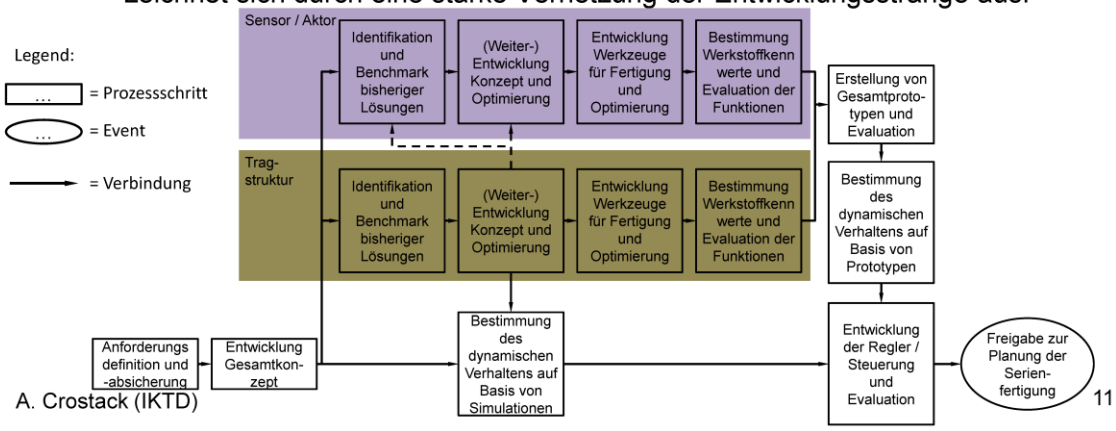
www.uni-stuttgart.de

Entwicklungsprozess – Generischer Prozess



Generischer Entwicklungsprozess

- enthält mehr als 150 Entscheidungen und Prozessschritte,
- besitzt 3 wesentliche parallele Entwicklungsstränge (Sensorik / Aktorik, Grundsystem, Regelungstechnik),
- zeichnet sich durch eine starke Vernetzung der Entwicklungsstränge aus.



A. Crostack (IKTD) 11

www.uni-stuttgart.de

Gestaltungsrichtlinien – Vorgehen

Vorgehen:

- Interviews zur Erhebung von Gestaltungsrichtlinien
  - mit HIKE-Entwicklern
    (z. B. hinsichtlich des Formgebung im teilflüssigen Zustand)
  - Checklisten / Kontrollfragen
- Formalisierung und Korrektur der Gestaltungsrichtlinien
  - Definition von Gut- / Schlecht-Beispielen, Grenzwerten etc.
  - Korrektur durch die HIKE-Entwickler
- Evaluation der Gestaltungsrichtlinien
  - Mit Experten desjeweiligen Bereichs (nicht HIKE-Entwickler)

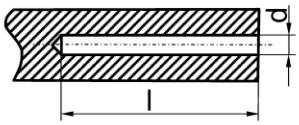
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Gestaltungsrichtlinien – Beispiele

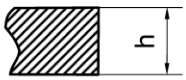
Beispiele für Gestaltungsrichtlinien für die Formgebung im teilflüssigen Bereich:

- Um eine unzulässige Verformung der Schieber zu vermeiden, sollten lange dünne Bohrungen vermieden werden. Hierbei darf das Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser nicht größer sein als 5 : 1. [Bauteil]



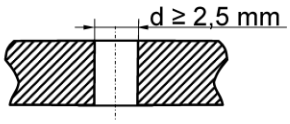
$$\frac{l}{d} \leq 5$$

- Bauteildicken t < 1 mm sollten vermieden werden. [Bauteil]



h ≥ 1 mm

- Bohrungen kleiner als 2,5 mm Durchmesser sind zu vermeiden. [Bauteil]



FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Vorgehen

Vorgehen:

- Definition / Sammlung von Anforderungen
- Voruntersuchungen
  - Konzepte für die Umsetzung (Datenbanken, Excel-Lösung …)
  - Strukturierungsansätze (Characteristics-Properties-Modelling …)
- Auswahl eines Konzepts
- Erarbeitung / Erweiterung des Konzepts für Struktur der Informationsbasis sowie Implementierung von Informationen
- Bewertung der Struktur
  - Funktionalitäten
  - Probleme
  - Anforderungen
- Evaluation der Informationsbasis

A. Crostack (IKTD) 14

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

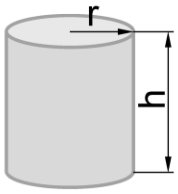
Informations- / Wissensbasis – Strukturierungsansatz

Characteristics-Properties-Modeling (CPM):

- Unterteilung der produktbeschreibenden Elemente in:
  - Characteristics (Merkmale, C_j), die direkt vom Konstrukteur variiert werden, um bestimmte Eigenschaften (Anforderungen) festzulegen.
  - Properties (Eigenschaften, P_j, RP_j), die vom Konstrukteur nur durch Variation der Merkmale beeinflusst werden.
  - Relations (Relationen, R_j), die die Merkmale und Eigenschaften verbinden.

Beispiel: Volumen eines Zylinders

Eigenschaft:	Volumen V
Relation:	$V = \pi r^2 h$
Merkmale:	Radius r, Höhe h



[Weber 2012]

A. Crostack (IKTD) 15

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

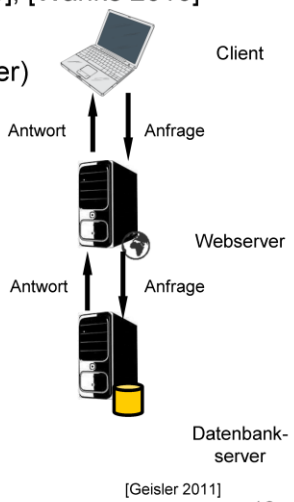
www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Umsetzung

Aufbau:

- Aufbauend auf [Deubel 2007], [Köhler2009], [Conrad 2010], [Wanke 2010]
- Anforderungen an Wissensbasis:
  - Multiuserzugriff (paralleler Zugriff durch mehrere Nutzer)
  - Keine spezielle Software notwendig (Web-Browser)
  - …

➔ Internet-Datenbankanwendung (Geisler 2011)



[Geisler 2011]

Web – Interface der Datenbank:

- Zugriff auf das Web-Interface mittels Webbrowser
- Funktionalitäten
  - Lesen, Ändern und Löschen (CPM-Elemente)
  - Dynamische Konstruktionskataloge / Blockdiagramme

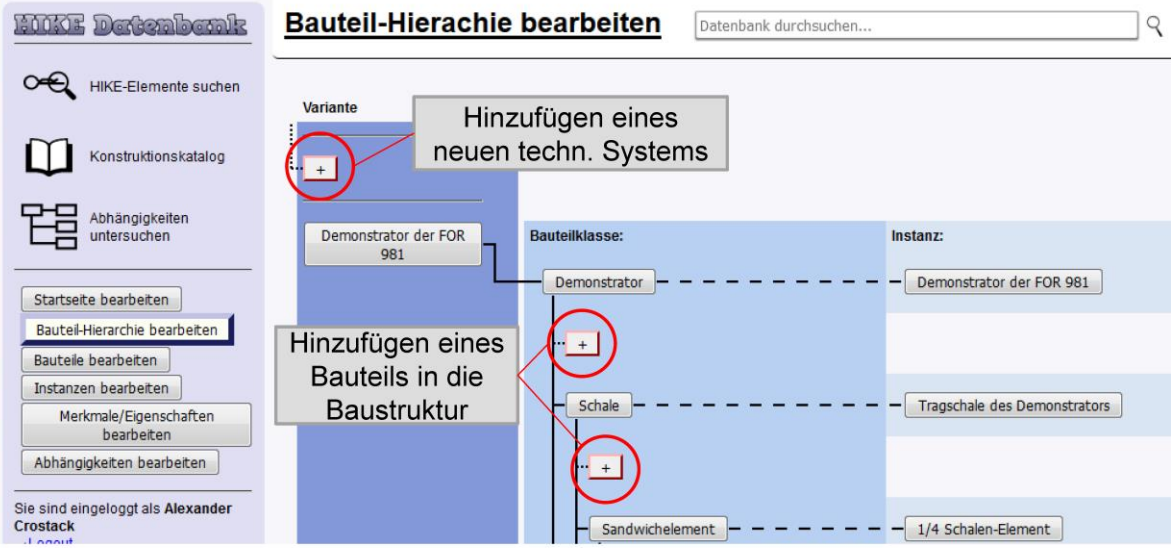
A. Crostack (IKTD) 16

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

Anpassen der Baustruktur:



A. Crostack (IKTD) 17

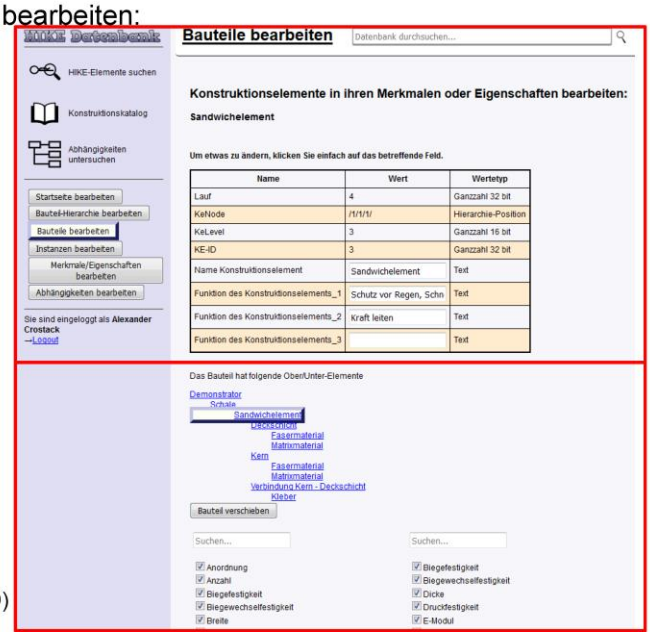
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

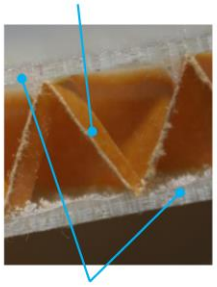
Informations- / Wissensbasis – Funktionen

TP A1
Gestaltungs-richtlinien | Entwicklungs-prozess | Informations-/Wissensbasis
Teilprojekte A3, A4, B1, B2, B3 und B4

Bauteile bearbeiten:



Faltkern



Deckschichten

A. Crostack (IKTD) 18

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

TP A1
Gestaltungs-richtlinien | Entwicklungs-prozess | Informations-/Wissensbasis
Teilprojekte A3, A4, B1, B2, B3 und B4

Bauteile bearbeiten:

HIKE Datenbank

Bauteile bearbeiten Datenbank durchsuchen...

HIKE-Elemente suchen
Konstruktionskatalog
Abhängigkeiten untersuchen

Startseite bearbeiten
Bauteil-Hierarchie bearbeiten
Bauteile bearbeiten
Instanzen bearbeiten
Merkmale/Eigenschaften bearbeiten
Abhängigkeiten bearbeiten

Sie sind eingeloggt als **Alexander Crostack**
→Logout

Konstruktionselemente in ihren Merkmalen oder Eigenschaften bearbeiten:

Sandwichelement

Um etwas zu ändern, klicken Sie einfach auf das betreffende Feld.

Name	Wert	Wertetyp
Lauf	4	Ganzzahl 32 bit
KeNode	/1/1/1/	Hierarchie-Position
KeLevel	3	Ganzzahl 16 bit
KE-ID	3	Ganzzahl 32 bit
Name Konstruktionselement	Sandwichelement	Text
Funktion des Konstruktionselements_1	Schutz vor Regen, Schn	Text
Funktion des Konstruktionselements_2	Kraft leiten	Text
Funktion des Konstruktionselements_3		Text

Identifikation und allgemeine Aspekte

A. Crostack (IKTD) 19

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

TP A1
Gestaltungs-richtlinien | Entwicklungs-prozess | Informations-/Wissensbasis
Teilprojekte A3, A4, B1, B2, B3 und B4

Bauteile bearbeiten:

Das Bauteil hat folgende Ober/Unter-Elemente

- Demonstrator
  - Schale
    - Sandwichelement
      - Deckschicht
        - Fasermaterial
        - Matrixmaterial
      - Kern
        - Fasermaterial
        - Matrixmaterial
      - Verbindung Kern - Deckschicht
        - Kleber

Baustruktur

Bauteil verschieben

Suchen...

- Anordnung
- Anzahl
- Biegefestigkeit
- Biegewechselfestigkeit
- Breite

Suchen...

- Biegefestigkeit
- Biegewechselfestigkeit
- Dicke
- Druckfestigkeit
- E-Modul

Zuordnung der Merkmale / Eigenschaften

A. Crostack (IKTD) 20

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

TP A1
Gestaltungs-richtlinien | Entwicklungs-prozess | Informations-/Wissensbasis
Teilprojekte A3, A4, B1, B2, B3 und B4

Dynamischer Konstruktionskatalog:

CPM Tabelle Datenbank durchsuchen...

#	Funktion 1	Funktion 2	Funktion 3	Klasse	Bezeichner	Foto	Kraft-/ Dehnungsverhalten (K-/ D-Verhalten)	Kapazität pro Länge	Verantwortlicher
1	Signal erzeugen	Signal leiten		Sensorgarn	BW 118a/5 gefacht-2-0,08 G2 Magnetemp S 90 2,5-0,08 G2 Magnetemp Z 90 2,5		Mittelwertprobe siehe Bild	155,23 pF/m	Baesch (ITV)
2	Signal erzeugen	Signal leiten		Sensorgarn	PA 110f34/5 gefacht-2-0,08 G2 Magnetemp S 90 2,5-0,08 G2 Magnetemp Z 90 2,5		Mittelwertprobe siehe Bild	149,42 pF/m	Baesch (ITV)

A. Crostack (IKTD) 21

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

Dynamischer Konstruktionskatalog:

CPM Tabelle Datenbank durchsuchen...

#	Funktion 1	Funktion 2	Funktion 3	Klasse	Bezeichner	Foto
1	Signal erzeugen	Signal leiten		Sensorgarn	BW 118s/5 gefacht-2-0,08 G2 Magnetemp S 90 2,5-0,08 G2 Magnetemp Z 90 2,5	
2	Signal erzeugen	Signal leiten		Sensorgarn	PA 110f34/5 gefacht-2-0,08 G2 Magnetemp S 90 2,5-0,08 G2 Magnetemp Z 90 2,5	

A. Crostack (IKTD) 22

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

Dynamischer Konstruktionskatalog:

Entfernen Sortieren Hinzufügen

Kraft-/ Dehnungsverhalten (K-/ D-Verhalten)	Kapazität pro Länge	Verantwortlicher
Mittelwertprobe siehe Bild	155,23 pF/m	Baesch (ITV)
Mittelwertprobe siehe Bild	149,42 pF/m	Baesch (ITV)

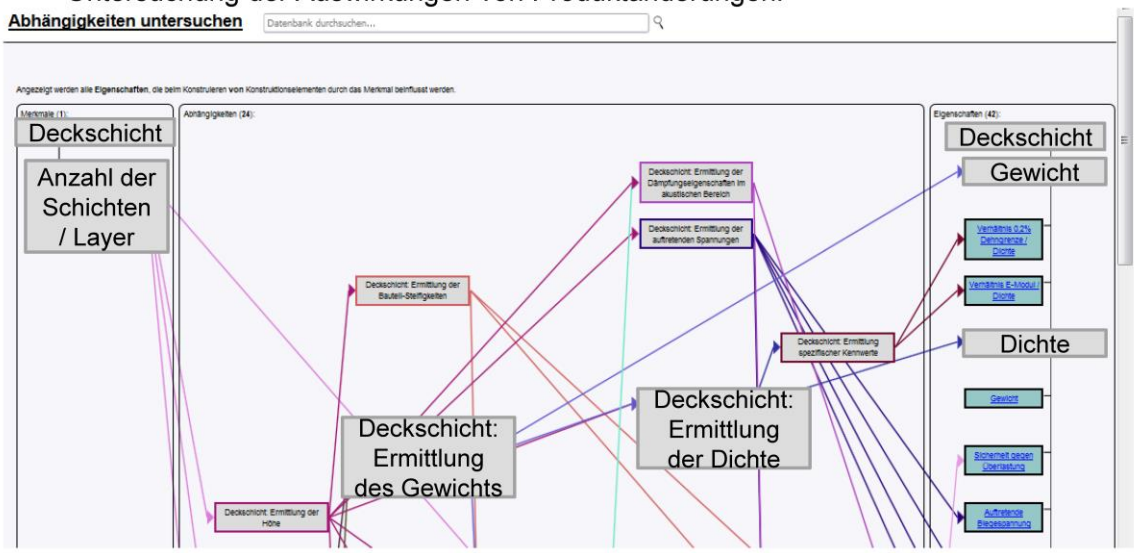
A. Crostack (IKTD) 23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Informations- / Wissensbasis – Funktionen

Untersuchung der Auswirkungen von Produktänderungen:



A. Crostack (IKTD) 24

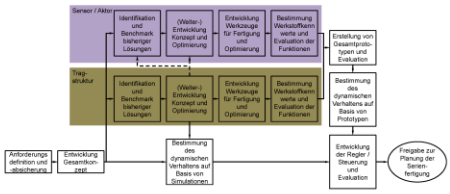
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

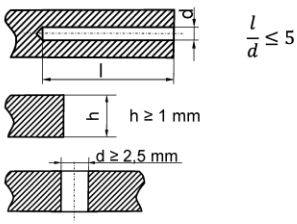
www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Zusammenfassung:

- Definition und Evaluation des generischen Entwicklungsprozesses für das Konstruieren „von“ HIKE.
- Unterstützung des Konstruierens „mit“ HIKE durch die Entwicklung und Evaluation einer Informations-/ Wissensbasis auf Basis des CPM als Internet-Datenbankanwendung.
- Erhebung und Implementierung des Wissens des Demonstrators
- Definition von Gestaltungsrichtlinien (ca. 100 Stück) für Sandwichelement, nachspannendes Hebelelement und pneumatischen textilen Aktor.



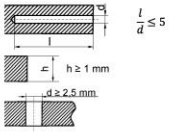


A. Crostack (IKTD) 25

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



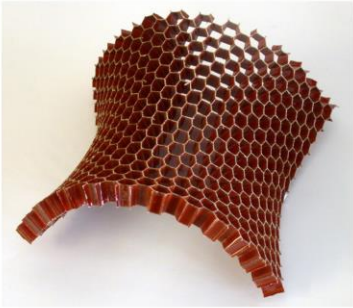
DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)" gefördert hat.

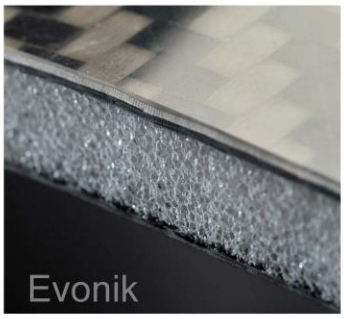
3.3 Multifunktionale, hybride Sandwichstrukturen für flächige und rohrförmige Konstruktionselemente (Teilprojekt A3)

Klett, Y.; Middendorf, P.
Institut für Flugzeugbau (IFB)

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Sandwich-Kerne: Stand der Technik



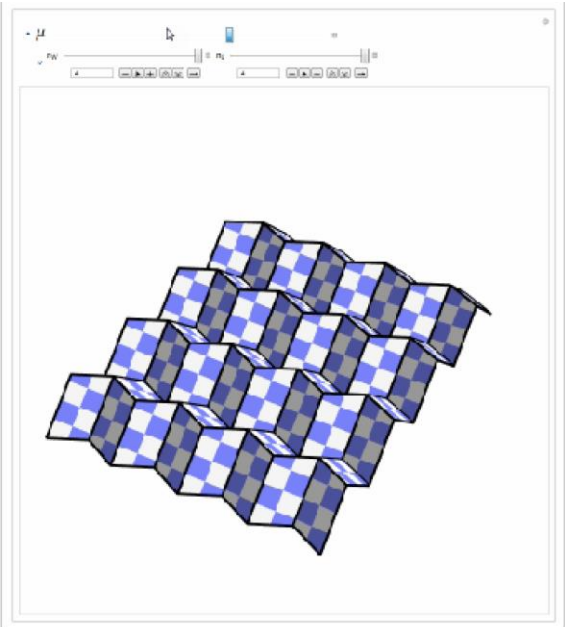


Sehr gute Mechanik Erprobt & zugelassen Gute FST-Eigenschaften	Sehr gutes Handling Infiltrierbarkeit Einfache Formgebung	Gute Mechanik Sehr gutes Handling Umweltfreundlich
Hochleistung: Teuer Nicht belüftbar Nur begrenzt verformbar	Hochleistung: Teuer Nicht belüftbar Empfindlich bei Impact	Schwankende Qualität Feuchteempfindlich Brandverhalten

Yves Klett 3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

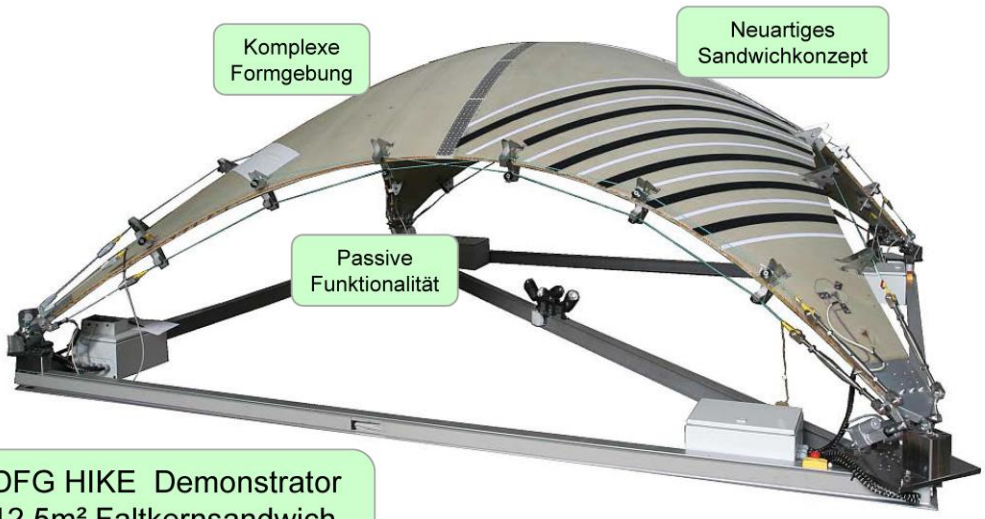
Isometrische Faltkernstrukturen: Das Prinzip



Yves Klett 4

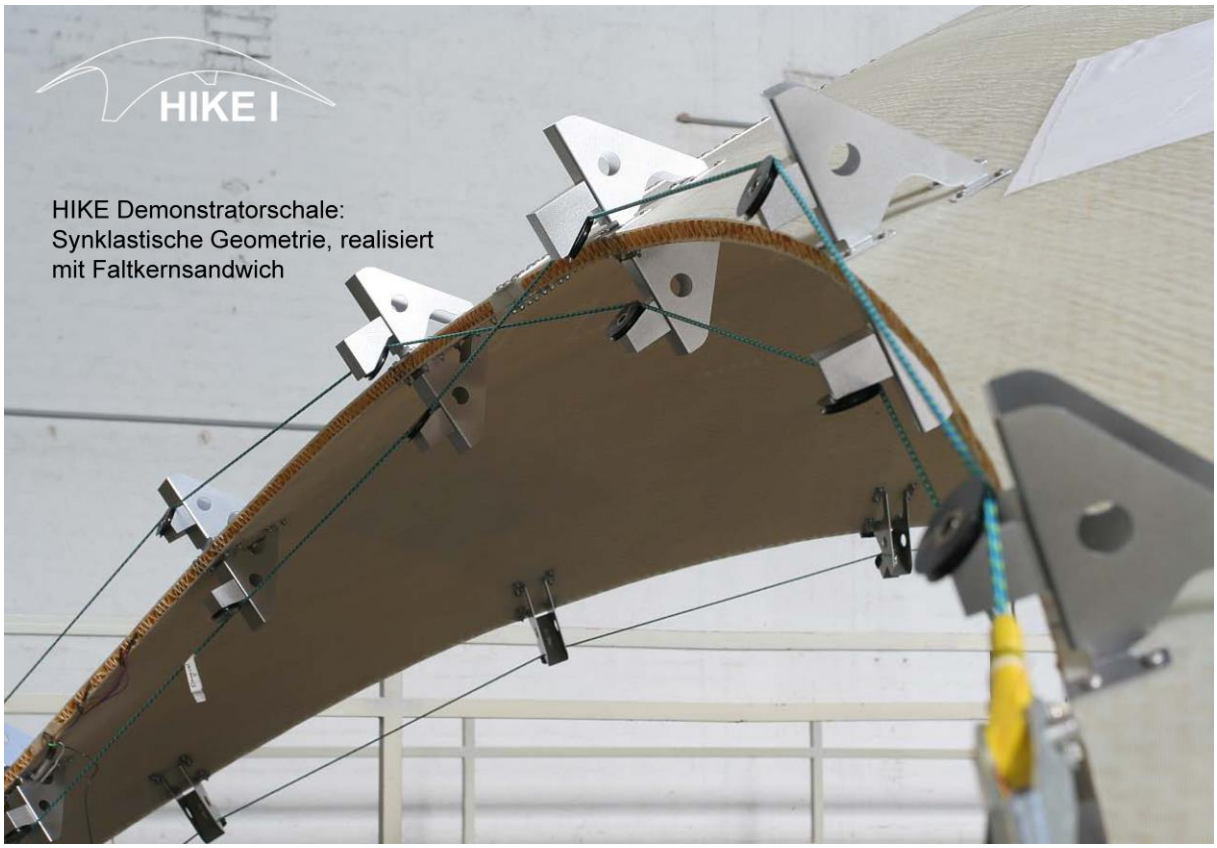
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

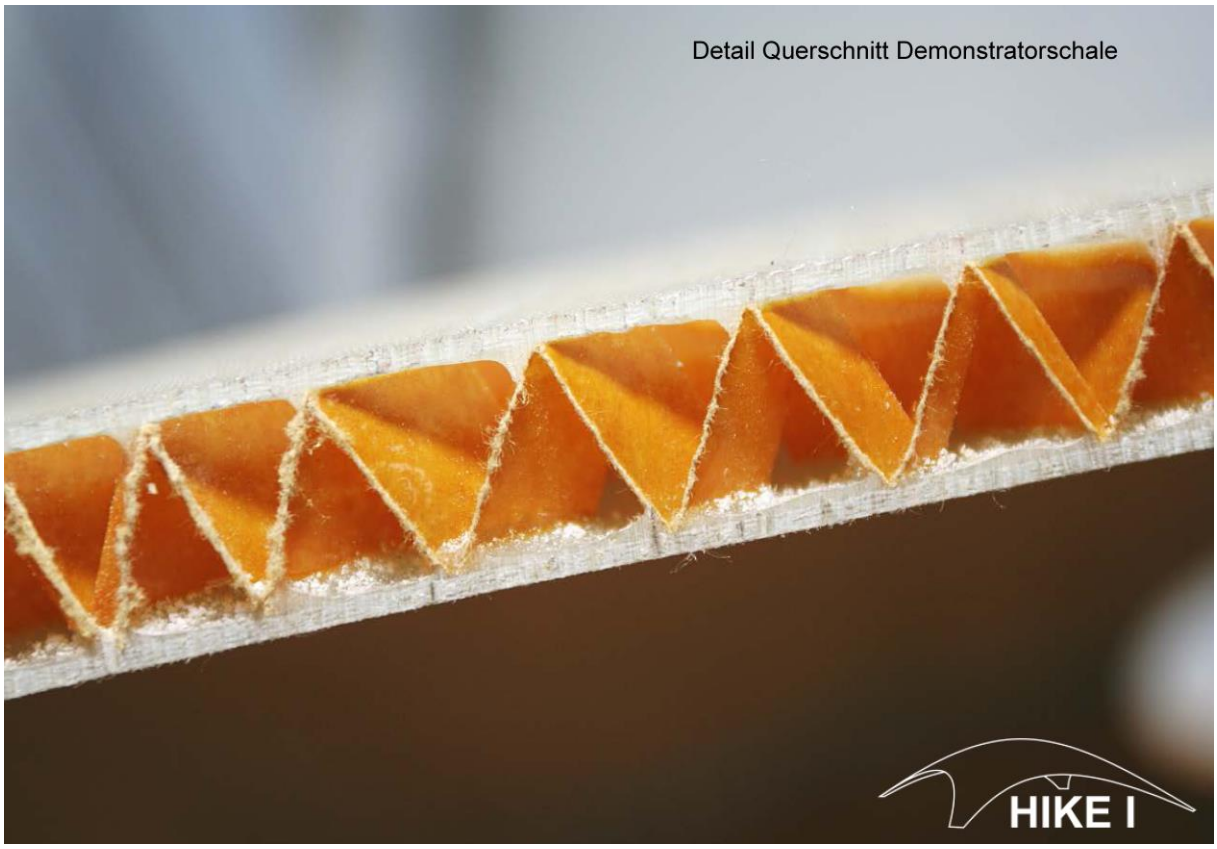
HIKE I: Ergebnisse



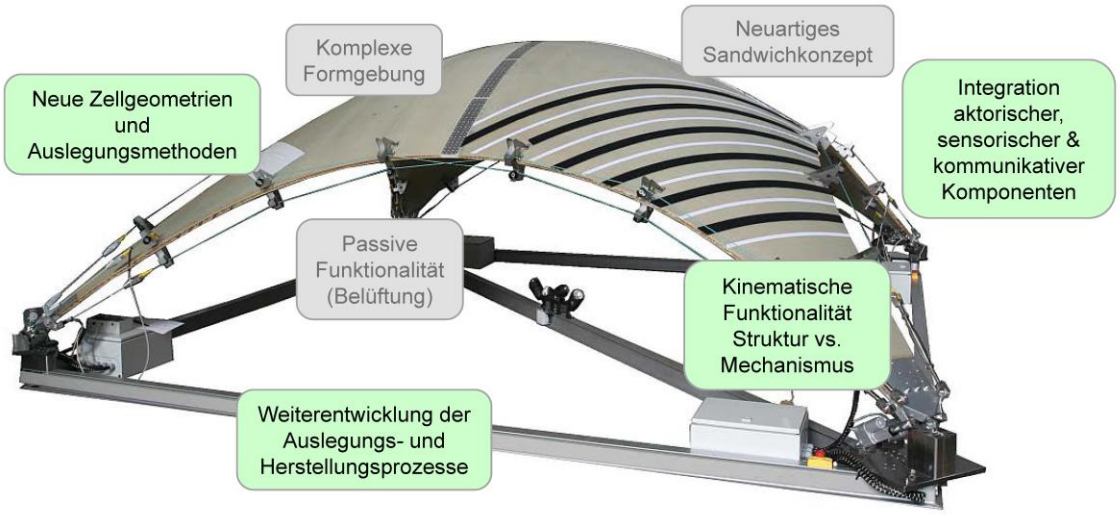
DFG HIKE Demonstrator
12,5m² Faltkernsandwich
~ 310.000 Falten

Yves Klett 5

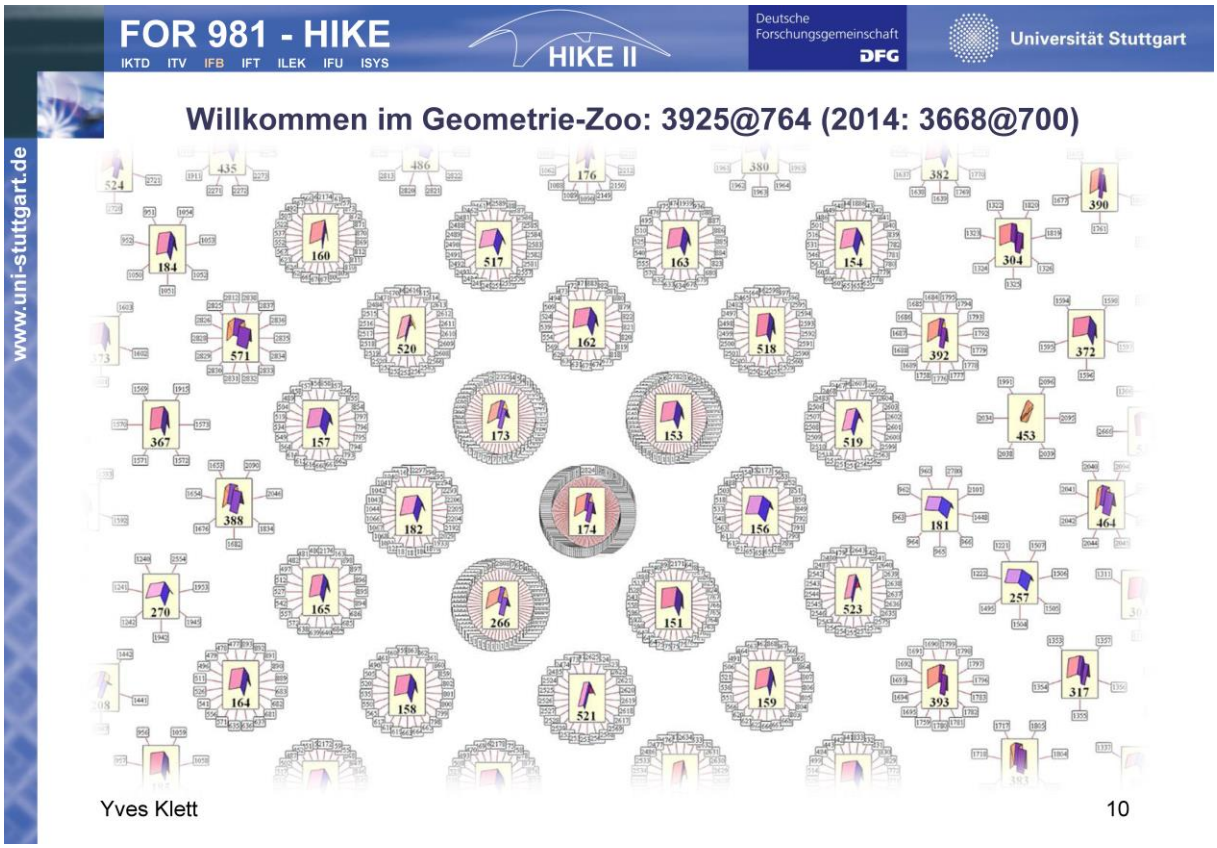

HIKE I
HIKE Demonstratorschale:
Synklastische Geometrie, realisiert
mit Faltkernsandwich

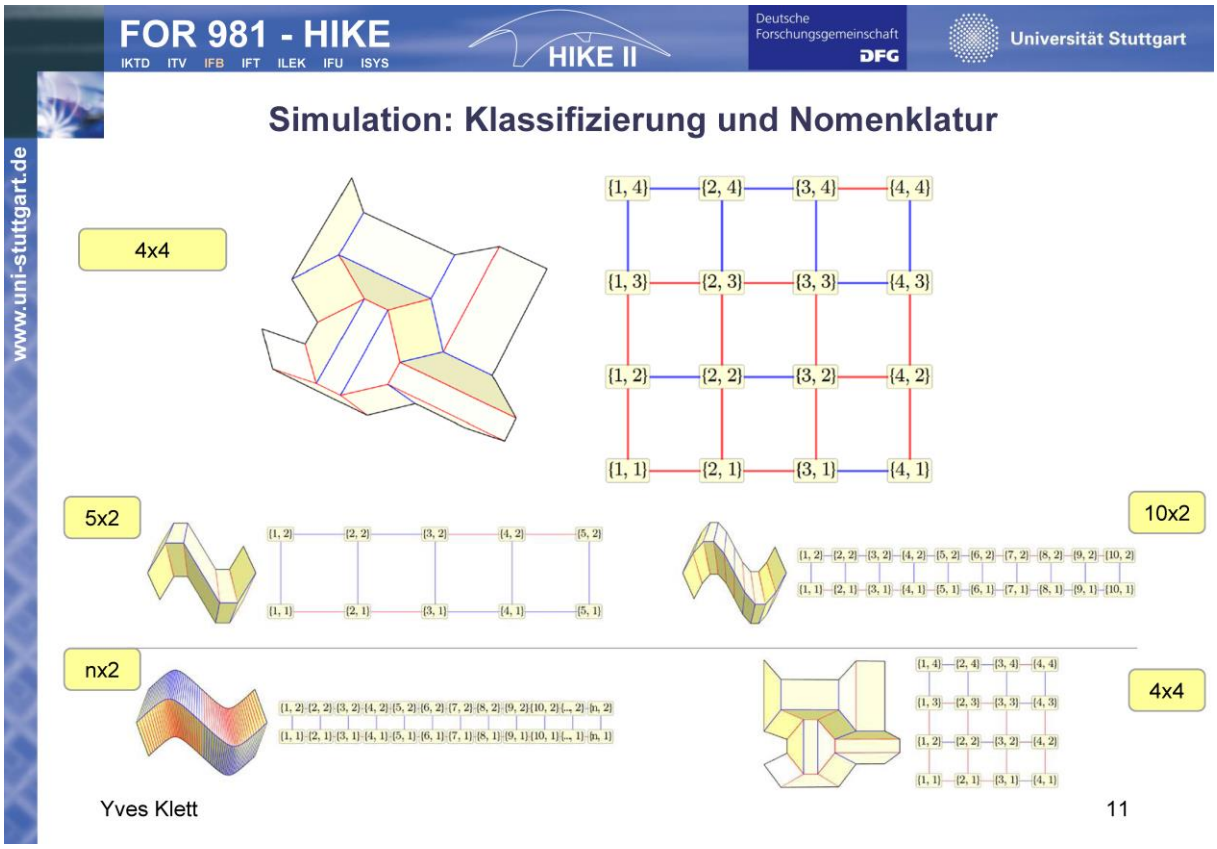

Detail Querschnitt Demonstratorschale
HIKE I

HIKE II A3: Ziele



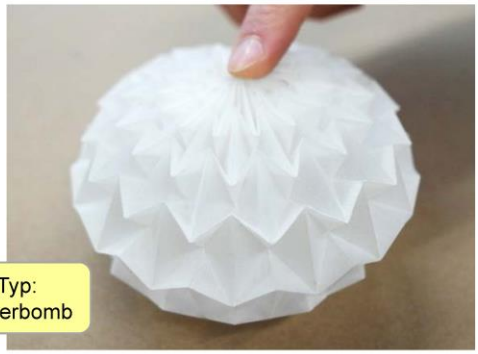
Auslegung und Simulation


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Willkommen im Geometrie-Zoo: 3925@764 (2014: 3668@700)
Yves Klett
10

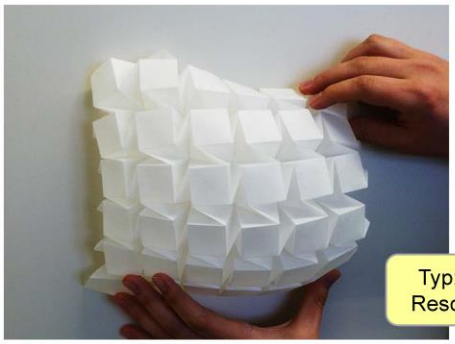

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Simulation: Klassifizierung und Nomenklatur
4x4
5x2
10x2
nx2
4x4
Yves Klett
11

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

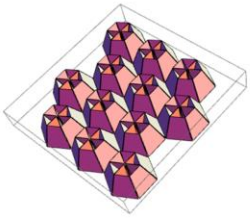
Erweiterung des Geometrie-Baukastens

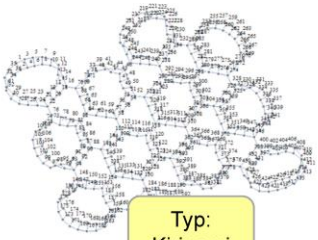


Typ: Waterbomb

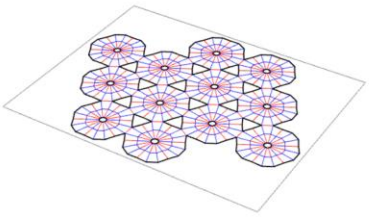


Typ: Resch





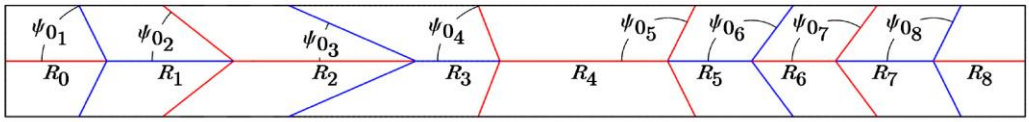
Typ: Kirigami



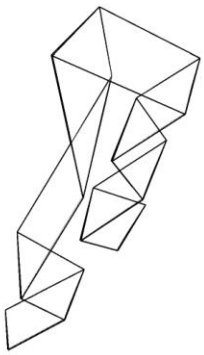
Yves Klett 12

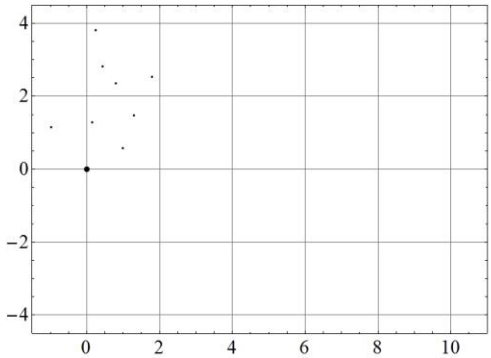
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Faltungssimulation: Analytisch



$$\begin{pmatrix} x(n,\mu_s) \\ y(n,\mu_s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} \cos\left(\sum_{j=1}^{i}\left(\pi - 2\,\mathrm{sgn}_j\,\gamma_j\right)\right) R_i \\ \sum_{i=1}^{n} \sin\left(\sum_{j=1}^{i}\left(\pi - 2\,\mathrm{sgn}_j\,\gamma_j\right)\right) R_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} \cos\left(\sum_{j=1}^{i}\left(\pi - 2\tan^{-1}\left(\frac{\cot(\psi_{0_j})\,\mathrm{sgn}(\cos(\psi_{0_j}))}{\sqrt{(2-\mu_S)\mu_S}}\right)\right)\mathrm{sgn}_j\right) R_i \\ \sum_{i=1}^{n} \sin\left(\sum_{j=1}^{i}\left(\pi - 2\tan^{-1}\left(\frac{\cot(\psi_{0_j})\,\mathrm{sgn}(\cos(\psi_{0_j}))}{\sqrt{(2-\mu_S)\mu_S}}\right)\right)\mathrm{sgn}_j\right) R_i \end{pmatrix}$$





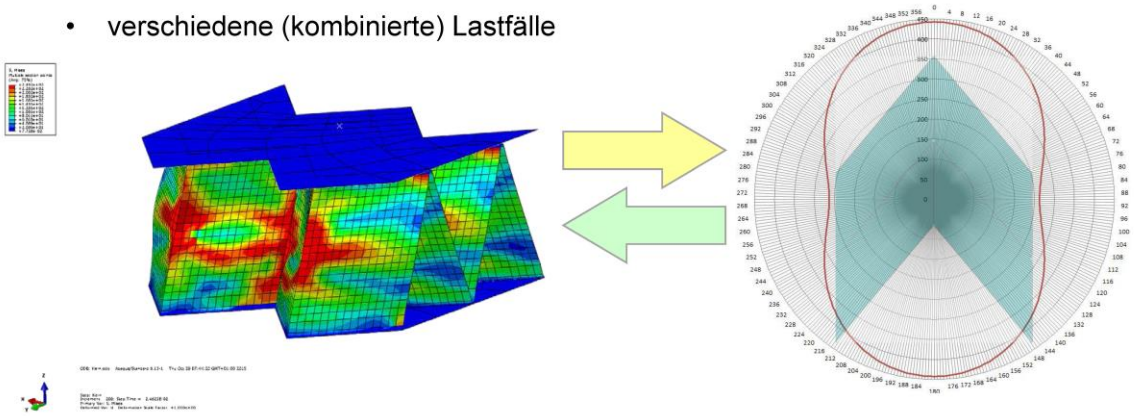
Yves Klett 13

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Schnittstelle: Geometrische Auslegung / FEM

Automatisierung zur Durchführung von Parameterstudien:

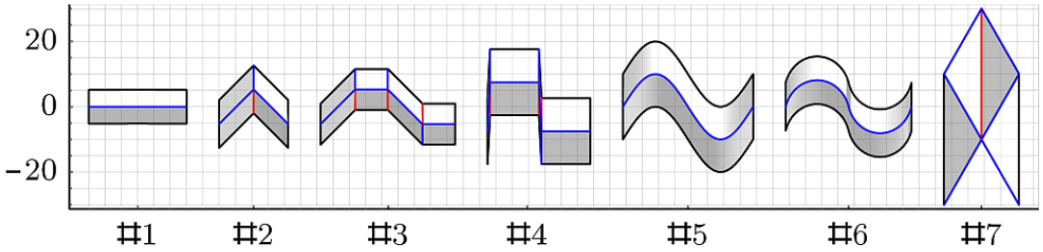
- unterschiedliche Zellgeometrien
- unterschiedliche Modellgrößen
- verschiedene (kombinierte) Lastfälle



Yves Klett 14

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Zellgeometrien – Screening 2.0: Druck

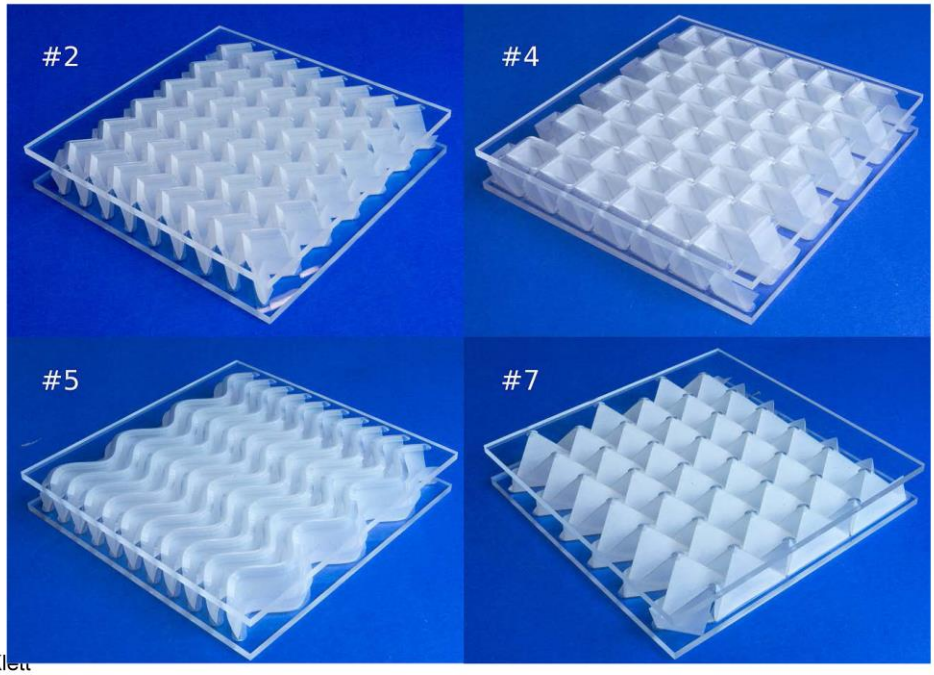


- Gleiche Dichte: 26 kg/m³
- Gleiches Material
- Vergleichbare Probengrößen
- Neues, hybrides Testverfahren

Yves Klett 15

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

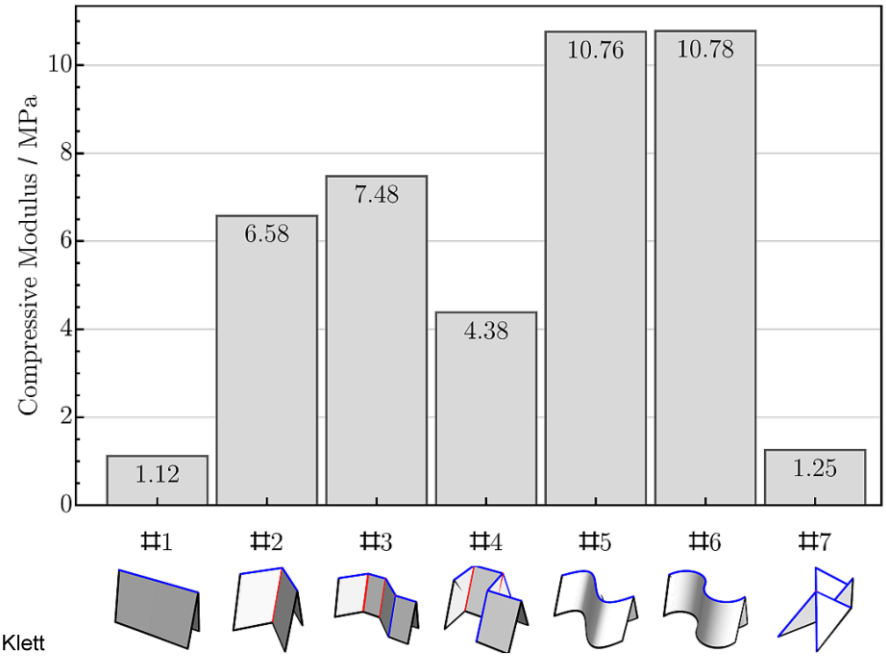
Neue Testmethodik: Prüfvorrichtung und Prüfkörper



Yves Klett 16

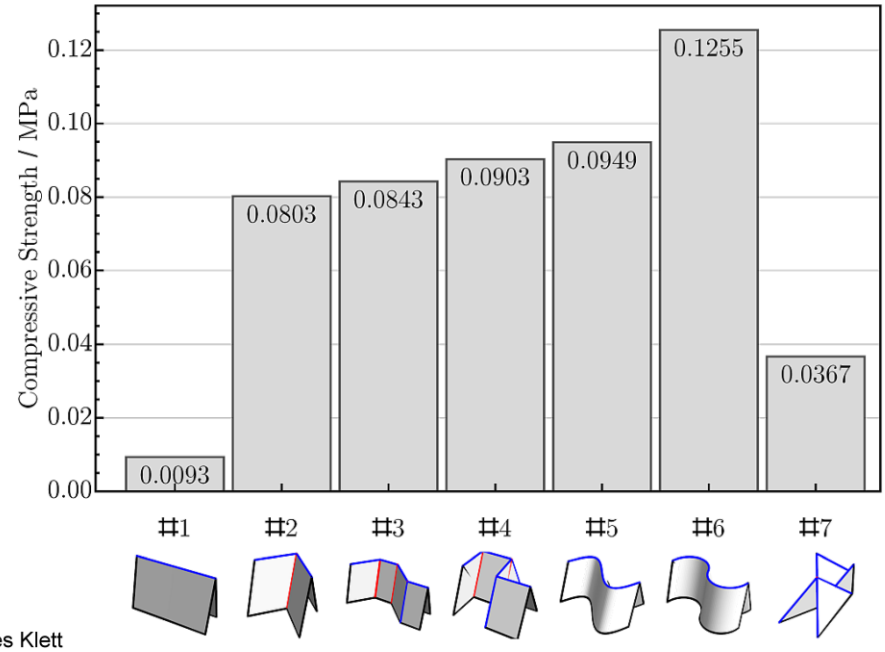
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse des Einheitszellen-Screenings: Steifigkeit



Yves Klett 17

Ergebnisse des Einheitszellen-Screenings: Festigkeit

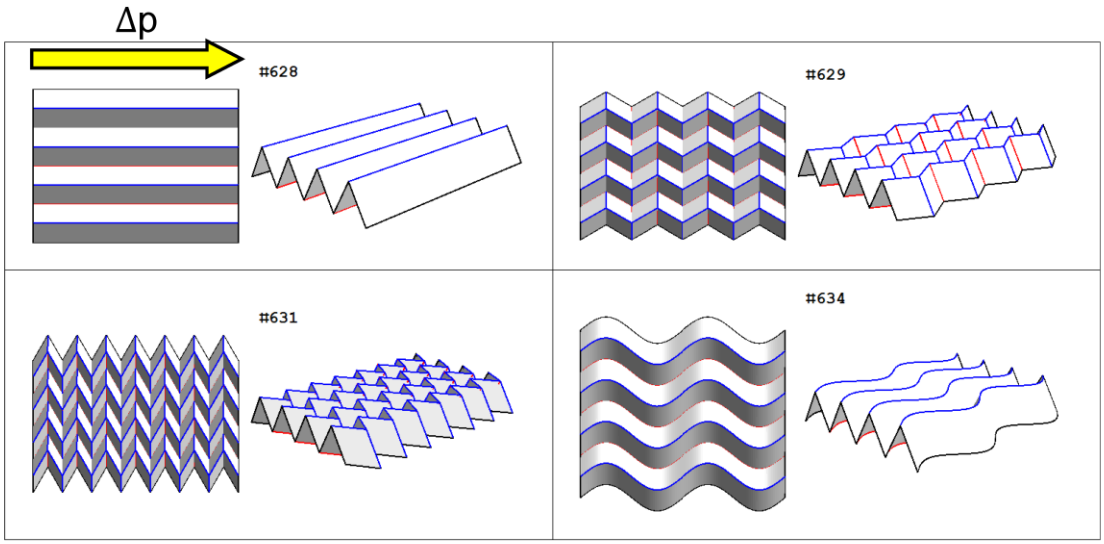


Multifunktionale Konzepte

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Multifunktionale Konzepte: Messreihe Druckverlust durchströmter Faltkernstrukturen

Knickwinkel: 30° / 45° / 60° / sinusförmig



Yves Klett 20

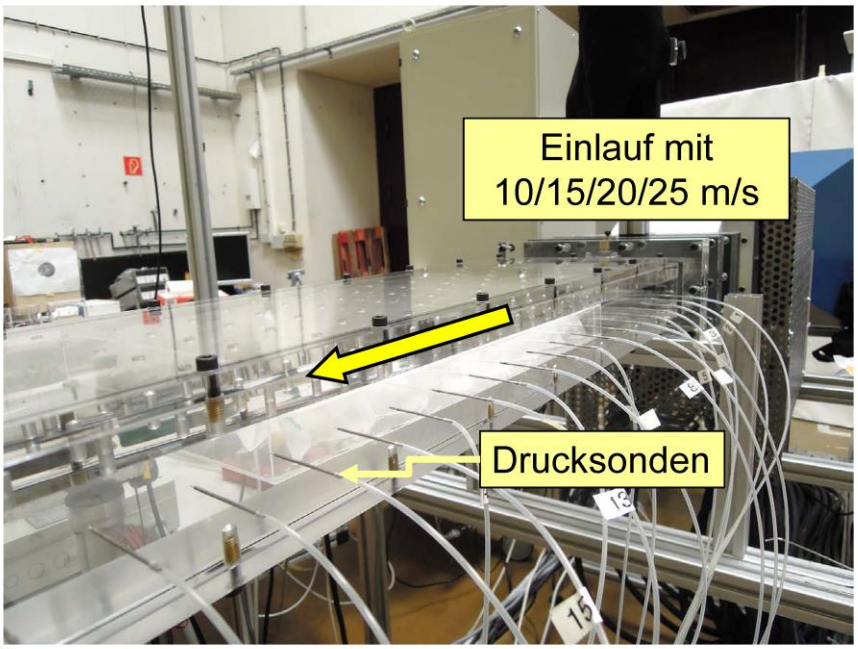
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Fertiger Prüfkörper für Durchströmungsmessung

Yves Klett 21

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

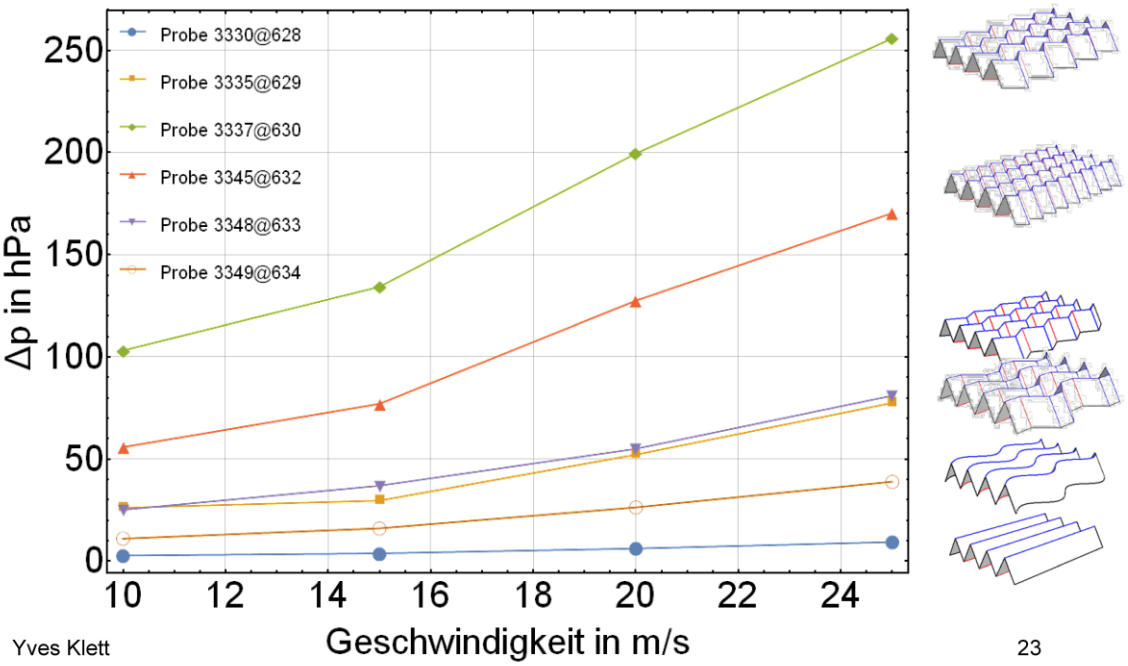
Versuch im Strömungskanal des ITLR



Yves Klett 22

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

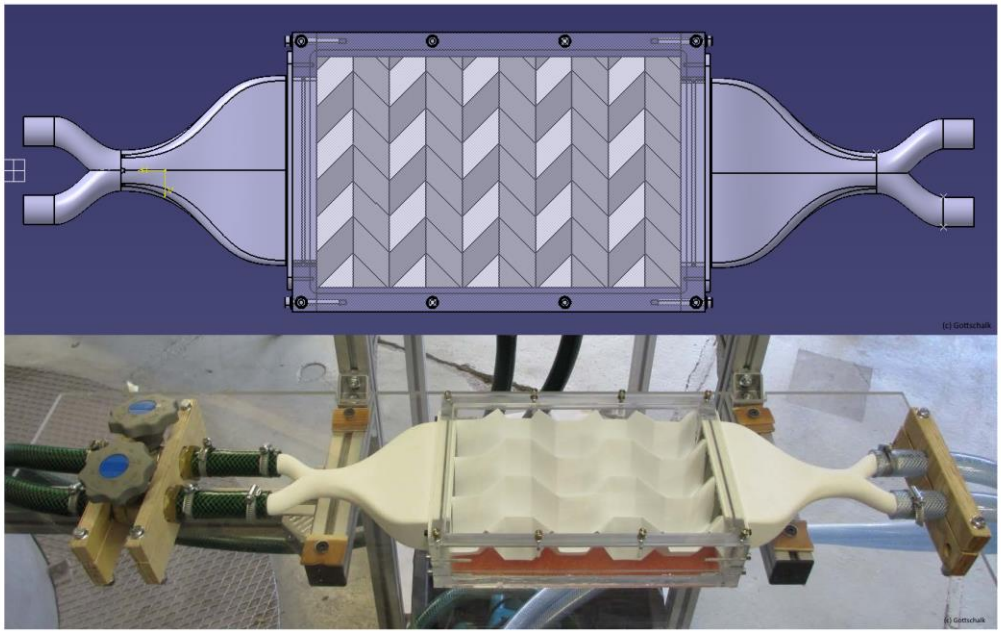
Versuchsergebnisse



Yves Klett 23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Wasserkanal zur 3D-Strömungsvisualisierung



Yves Klett 24

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

3D-Durchströmung von Faltkernstrukturen

Video: N. Gottschalk

Yves Klett 25

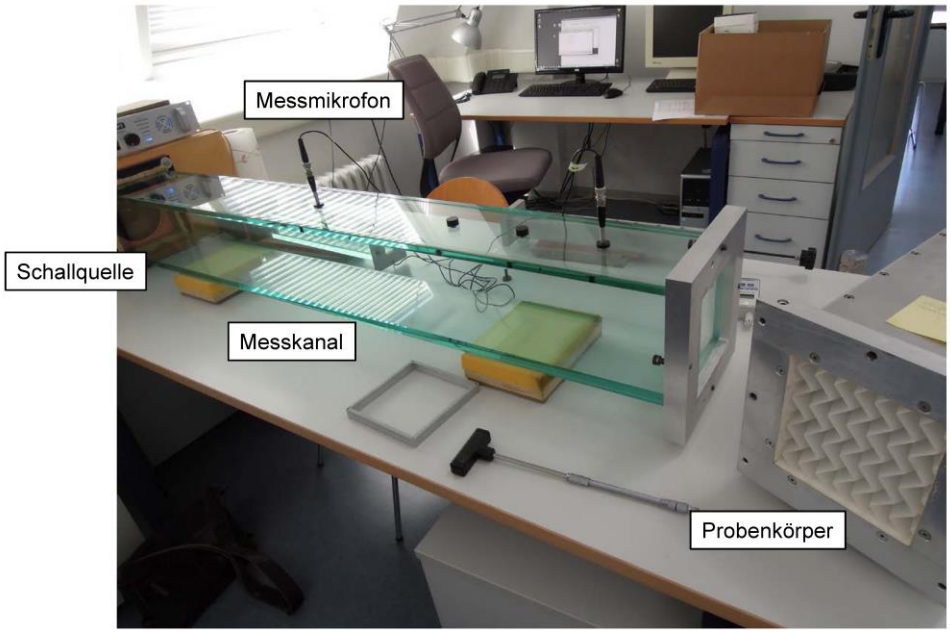
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Vermessung der akustischen Eigenschaften

Yves Klett 26

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

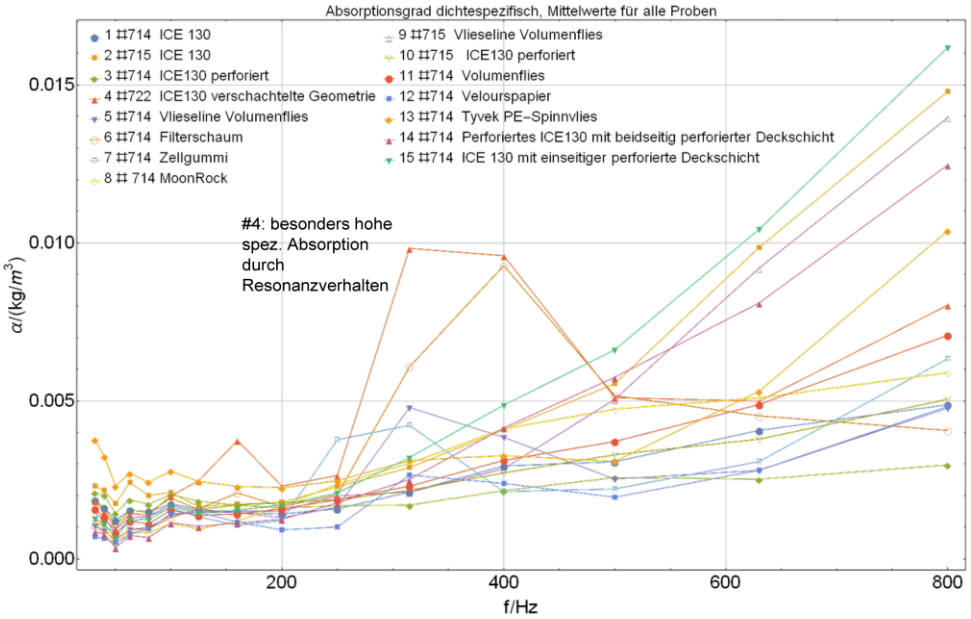
Vermessung Absorptionsgrad im Kundtschen Rohr



Yves Klett 27

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Akustische Eigenschaften



Leistungssteigerung durch perforierte Deckschichten (#14 & #15) und größerere Faltentiefe (#2)

#6 Schwerstes albzeug: Deutlicher Abfall bei höheren Frequenzen

#3 & #10 Perforiertes Einlagensystem: deutlich verringerte Absorption

Yves Klett 28

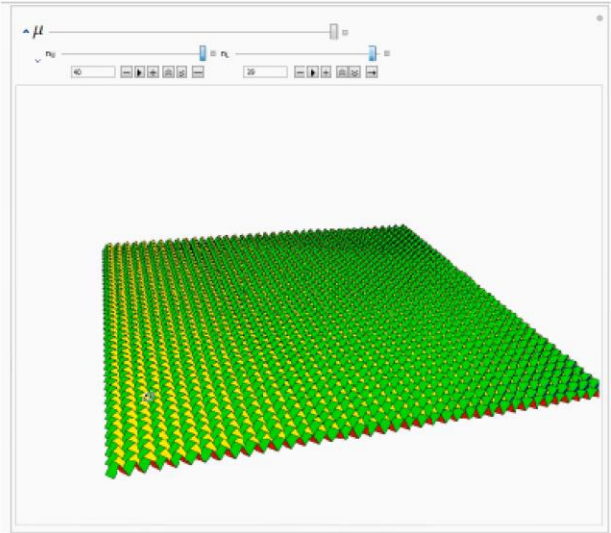
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Anamorphes Origami – Anam-Ori

Starke Abhängigkeit des optischen Eindrucks von Beobachterposition und Perspektive

Mittels kombinierter Print&Falt-Technologie effizient herstellbar

Potential für Anwendungen in Architektur und Design



Yves Klett 29

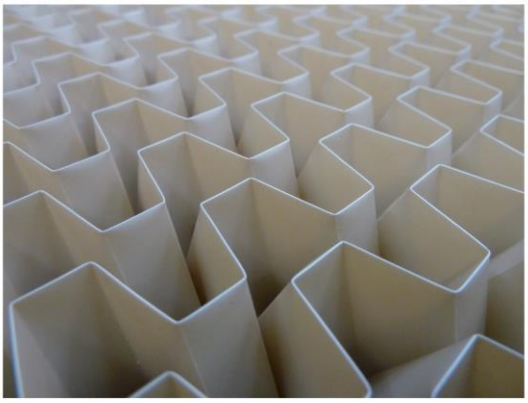
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Fertigungstechnologie & Demonstration

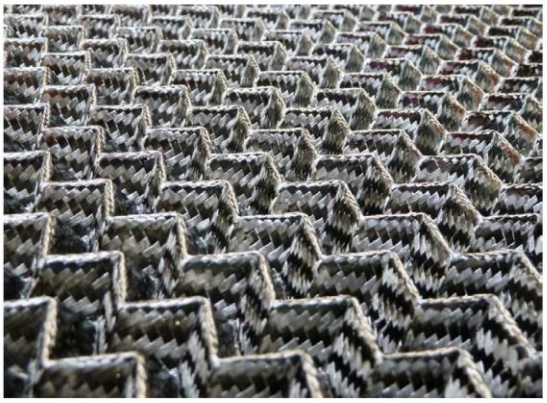
Yves Klett 30

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Erweiterung Materialportfolio



Hochleistungsthermoplaste: PEEK

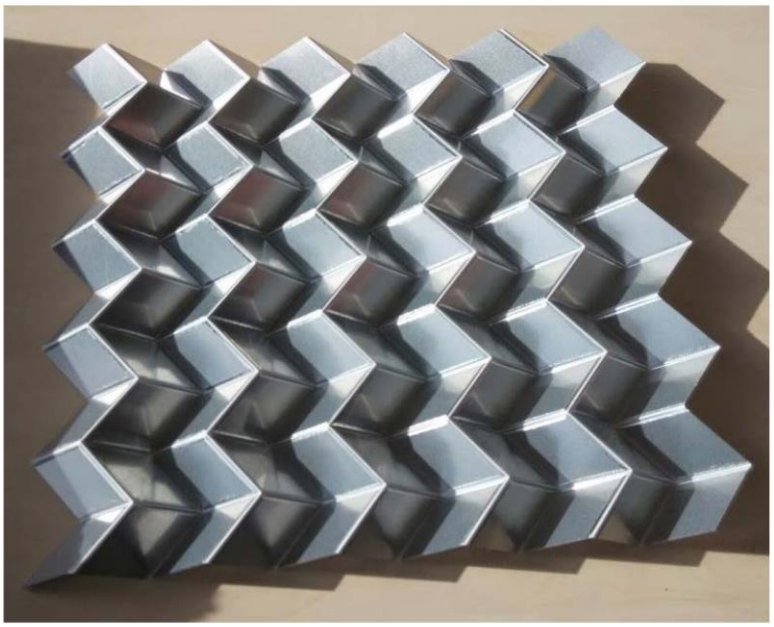


Carbon

Yves Klett 31

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Verwendung biegesteifer Halbzeuge

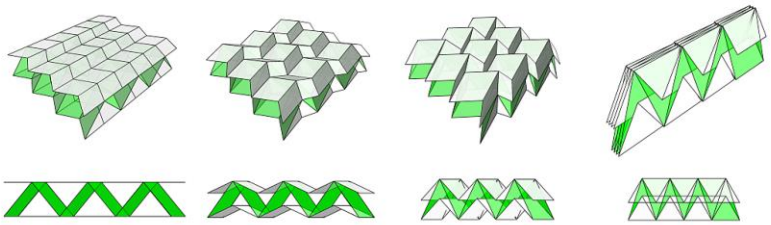


Yves Klett 32

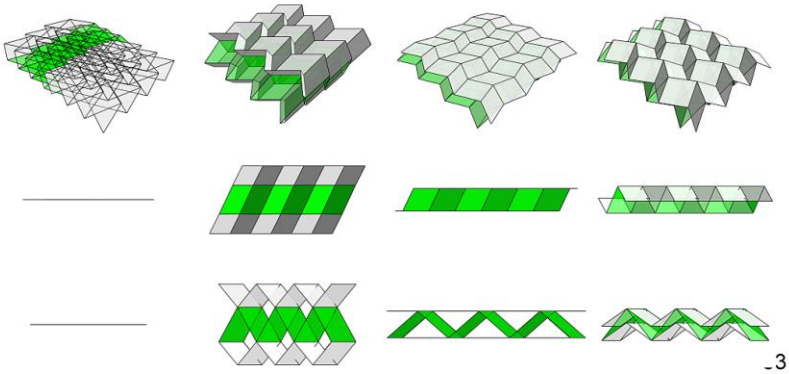
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Kongruente Mechanismen - Metamaterialien

Miura-Ori-Stapel



Baretto-Ori-Stapel

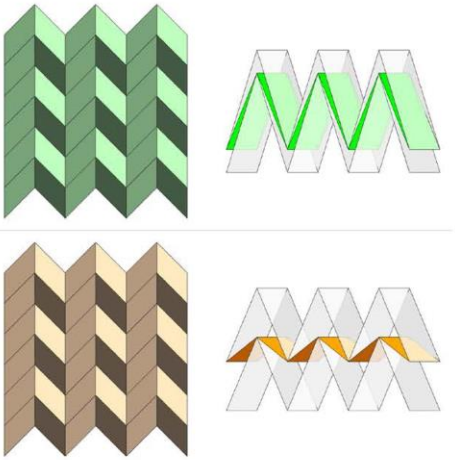


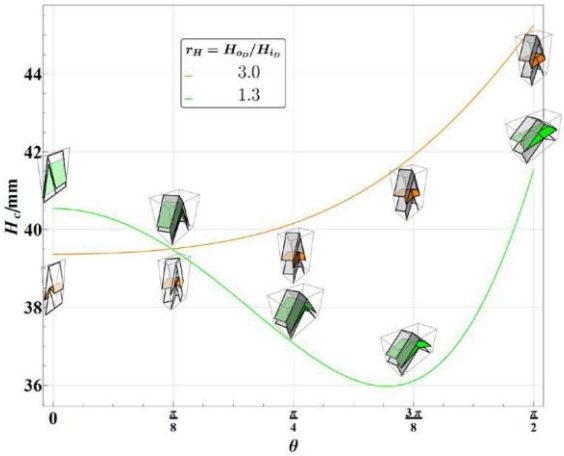
Yves Klett 33

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Kongruente Mechanismen - Metamaterialien





$$H_c(S) = 2H_o(S) - H_i(S)$$
$$= 2\sqrt{H_{o_D}^2 - \frac{L_D^2\,(S - S_D)\,(S_D + S)}{S_D^2 + V_D^2 - S^2}}$$
$$- \sqrt{H_{i_D}^2 - \frac{L_D^2\,(S - S_D)\,(S_D + S)}{S_D^2 + V_D^2 - S^2}}$$

Yves Klett 34

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

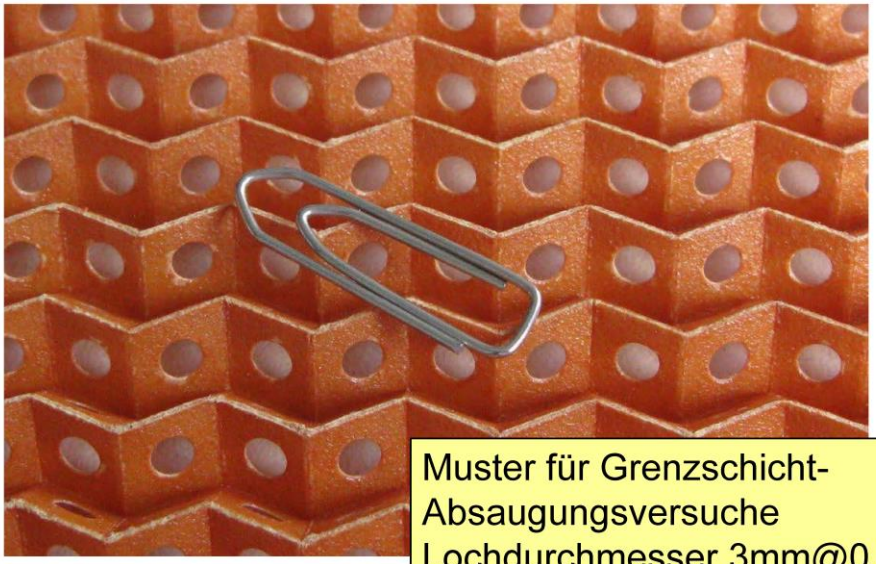
Laser-Bearbeitung: Prototyping-Turbo

Yves Klett 35

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Grenzen der mechanischen Bearbeitung (HIKE I)



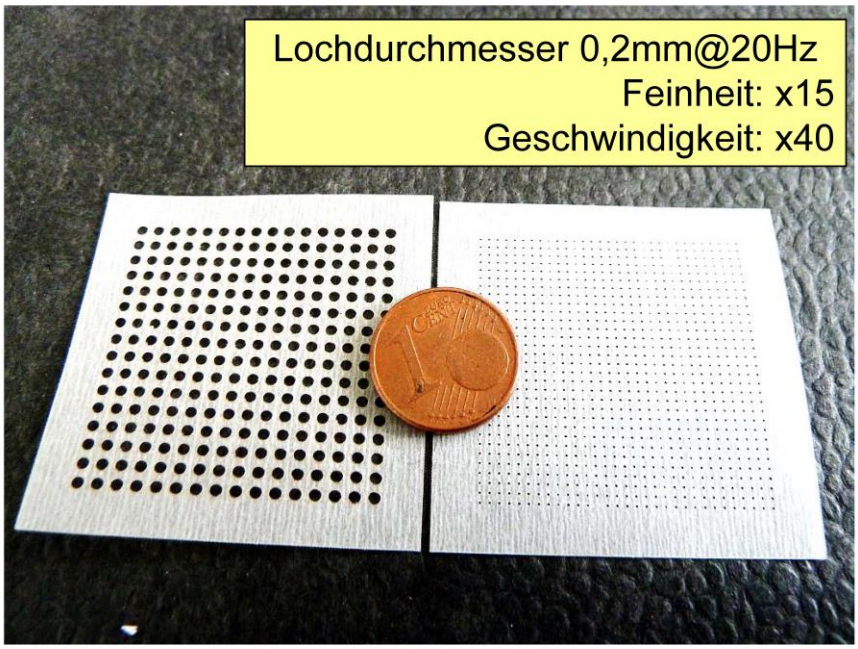
Muster für Grenzschicht-Absaugungsversuche
Lochdurchmesser 3mm@0.5Hz

Yves Klett 37

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

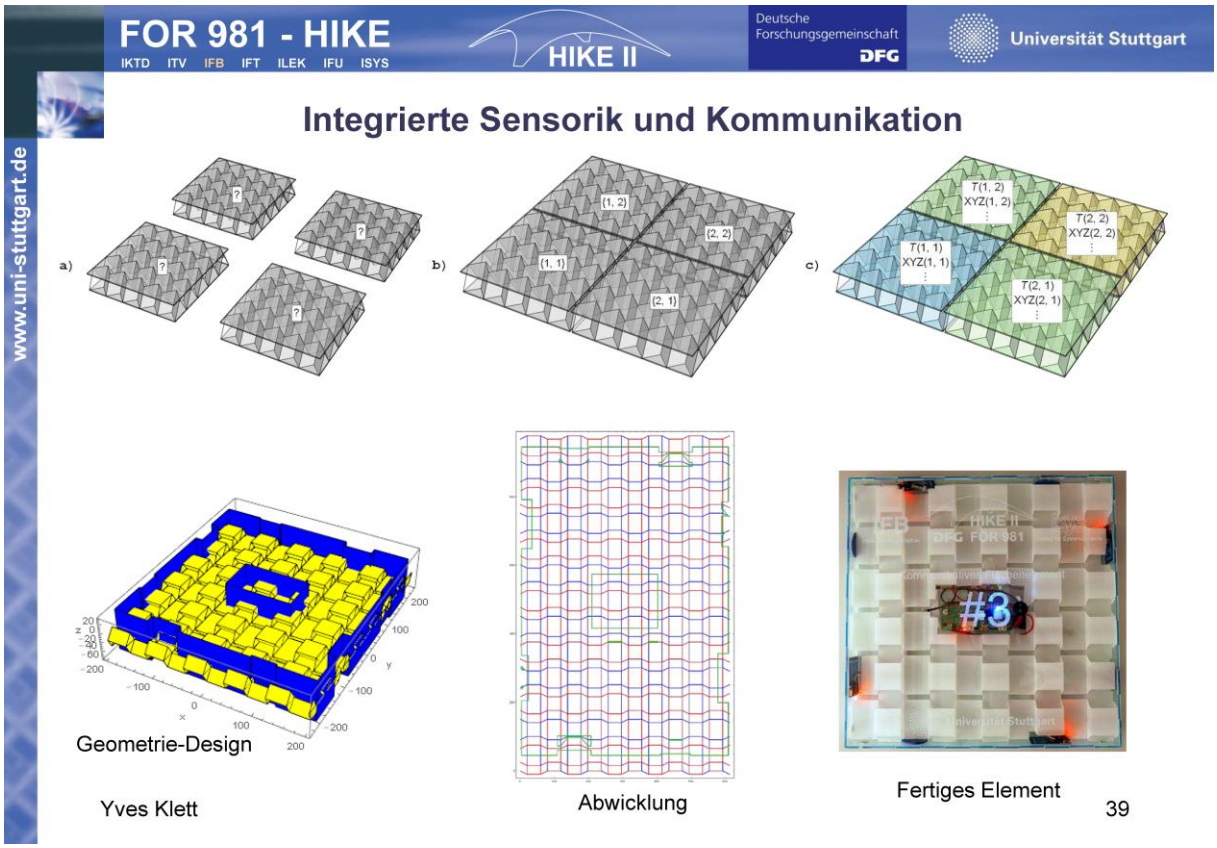
www.uni-stuttgart.de

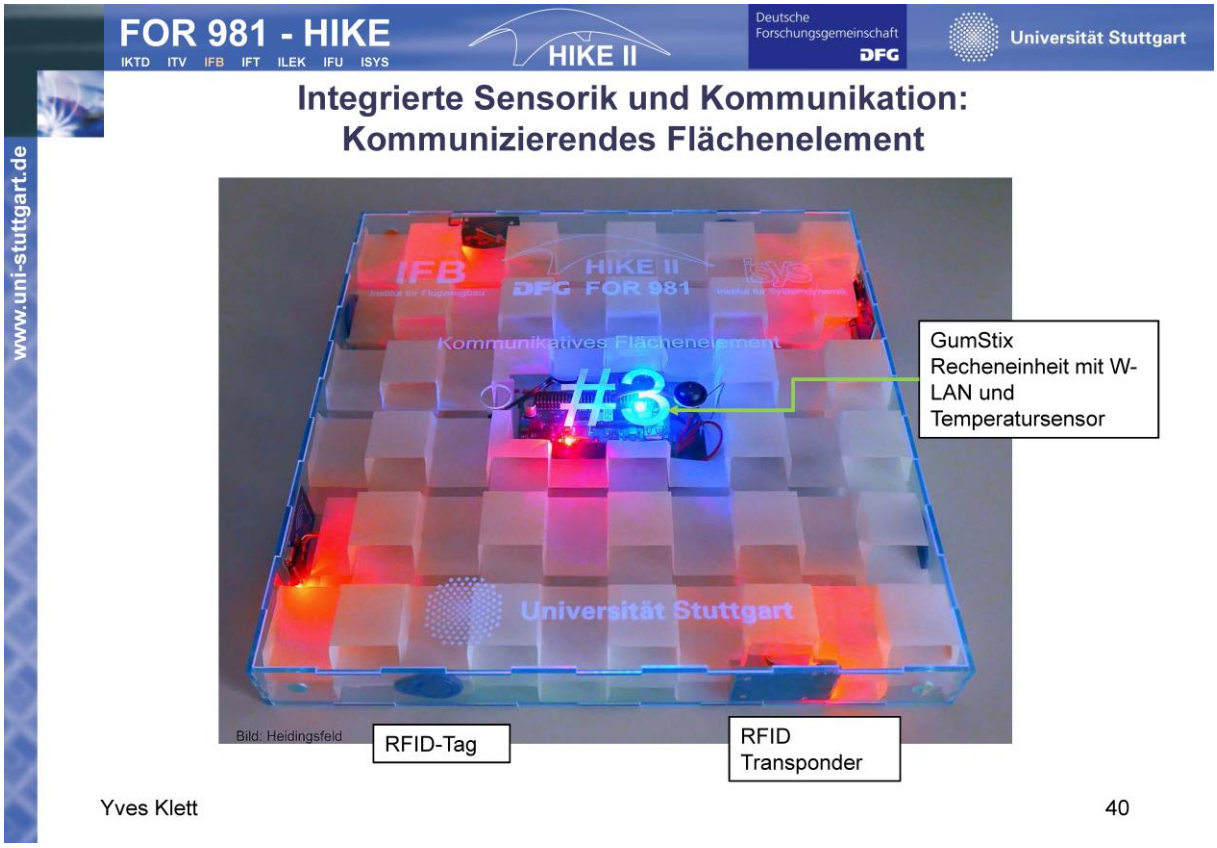
Berührungsfreie Halbzeug-Strukturierung mittels Laser



Lochdurchmesser 0,2mm@20Hz
Feinheit: x15
Geschwindigkeit: x40

Yves Klett 38


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Integrierte Sensorik und Kommunikation
a)
b)
c)
Geometrie-Design
Abwicklung
Fertiges Element
Yves Klett
39


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Integrierte Sensorik und Kommunikation:
Kommunizierendes Flächenelement
GumStix Recheneinheit mit W-LAN und Temperatursensor
Bild: Heidingsfeld
RFID-Tag
RFID Transponder
Yves Klett
40

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Integration Pneumatischer Textilaktor: Flächige Spannungsbeeinflussung am Demonstrator

Yves Klett 41

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Integration Pneumatischer Textilaktor: Flächige Spannungsbeeinflussung am Demonstrator

Oberseite

Unterseite

Yves Klett 42

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung und Ausblick

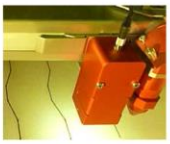
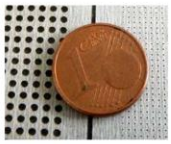
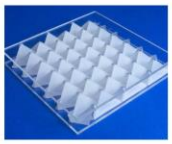
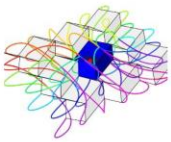
- Fülle neuer Erkenntnisse
- Substantielle Erweiterung der Grundlagen für Auslegung und Simulation
- Qualitative und quantitative Aussagen über funktionale Eigenschaften neuartiger Sandwichstrukturen
- Vereinigung von Struktur- und Mechanismuskonzepten
- Bereitstellung neuer Fertigungskonzepte
- Demonstration anhand zahlreicher Beispiele
- Ausgezeichnete Ausgangsposition für weitere Untersuchungen

Yves Klett 43

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

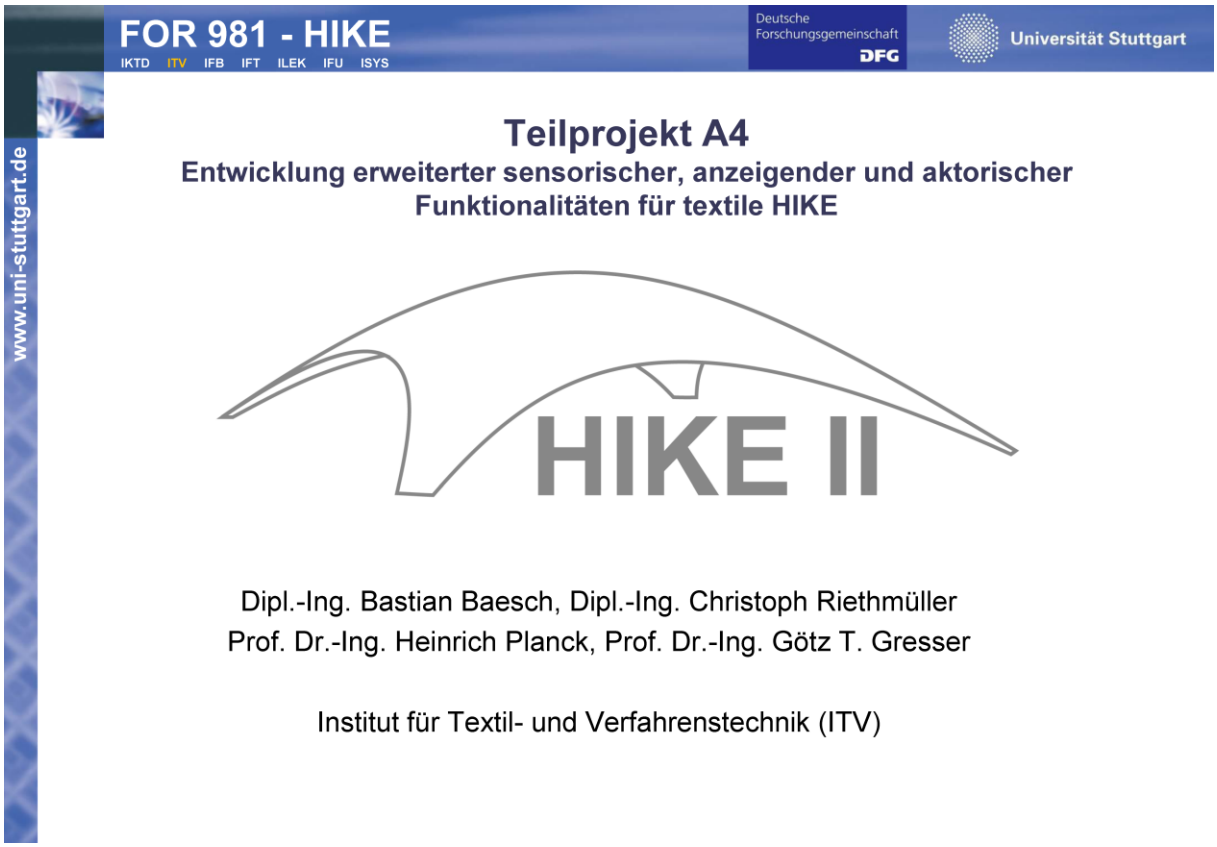





DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)" gefördert hat.

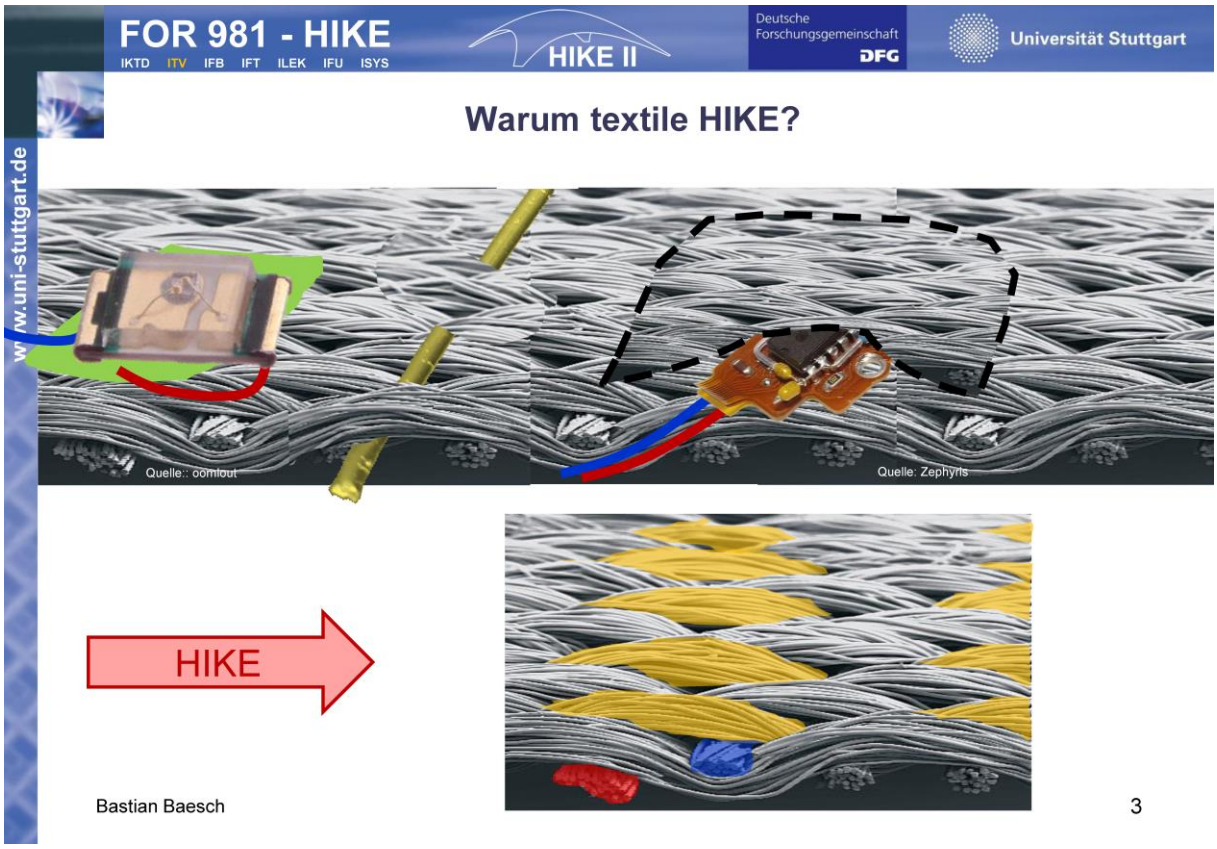
44

3.4 Entwicklung erweiterter sensorischer, anzeigender und aktorischer Funktionalitäten für textile HIKE (Teilprojekt A4)

Baesch, B.; Riethmüller, C.; Planck, H.; Gresser, G. T.
Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV Denkendorf)

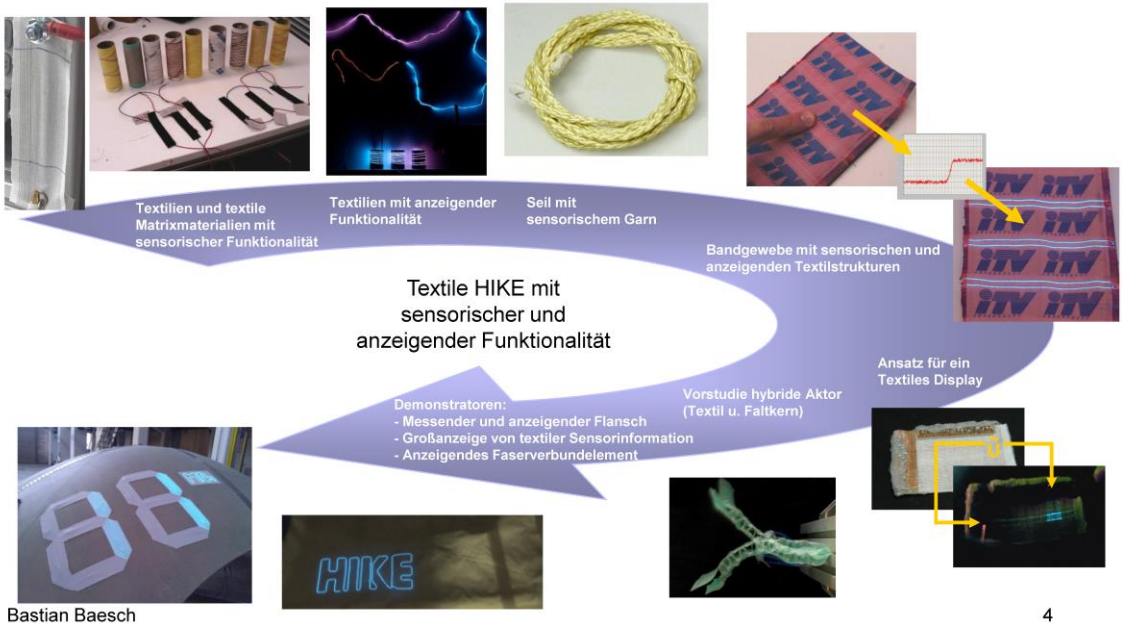


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
ITV Denkendorf
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser
Polymer
Faser und Garn
Fläche
Funktionalisierung
Produkt
Bastian Baesch
2


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Warum textile HIKE?
Quelle:: oomloot
Quelle: Zephyris
HIKE
Bastian Baesch
3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse aus der ersten Förderphase



Bastian Baesch 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ziele der zweiten Förderphase

- Textile Sensorik mit erweiterter sensorischer Funktionalität:
  - Licht, relative Feuchtigkeit, Temperatur
- Textilien mit erweiterter anzeigender Funktionalität
  - Textilien mit Anzeigefunktion für hohe Beleuchtungsstärken
- Textilien mit aktorischer Funktionalität
  - Pneumatisch aktuierte Textilien
- Grundlagenuntersuchungen zu veränderlichen Dämpfungs- und Oberflächeneigenschaften und Selbstheilungseffekten

unter

- Berücksichtigung sicherheitstechnischer Anforderungen

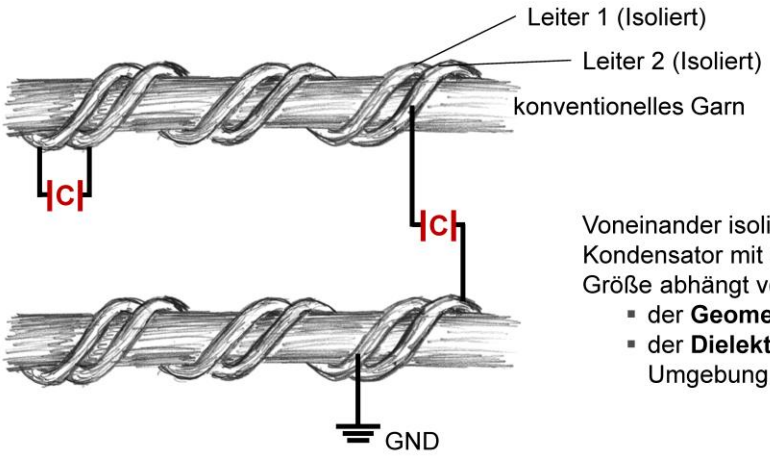
und

- Konzeption von Schnittstellen

Bastian Baesch 5

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Funktionsprinzip sensorischer Textilien in HIKE



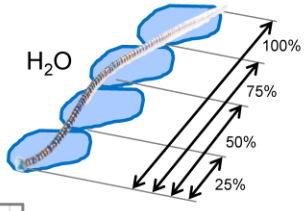
Voneinander isolierte Leiter bilden einen Kondensator mit einer Kapazität C, deren Größe abhängt von:

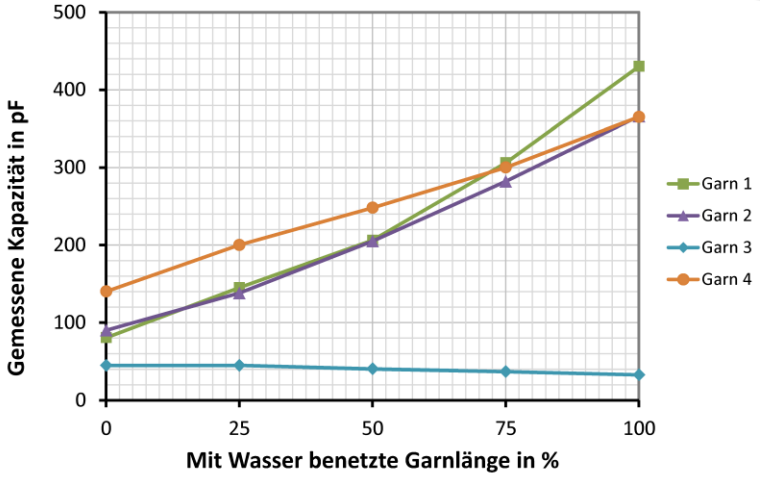
- der **Geometrie**/Lage der beiden Leiter,
- der **Dielektrizität** der direkten Umgebung.

Bastian Baesch 6

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Textilien mit feuchtigkeitssensorischer Funktionalität



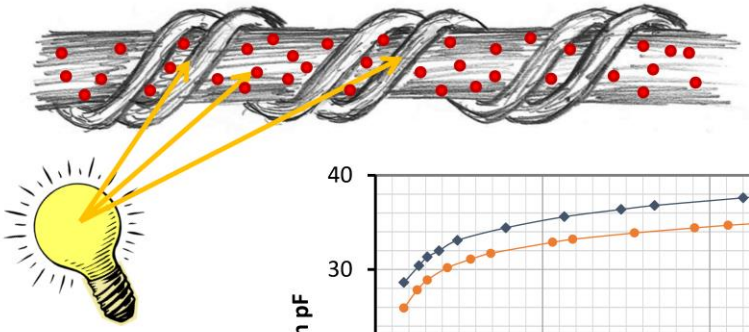


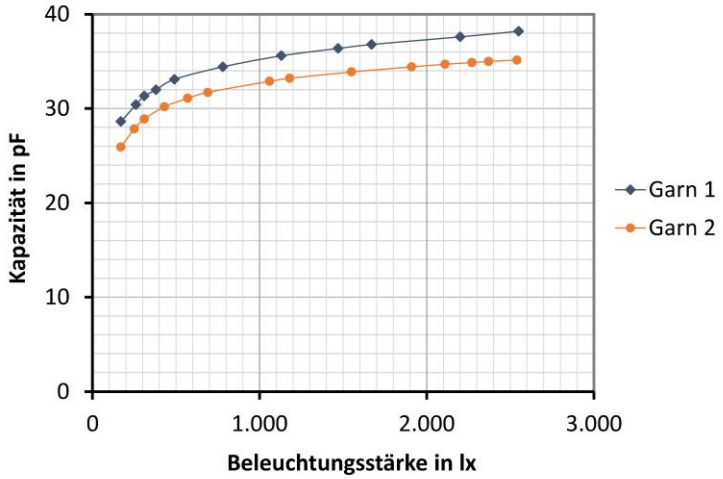
Bastian Baesch 7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Textilien mit lichtsensorischer Funktionalität



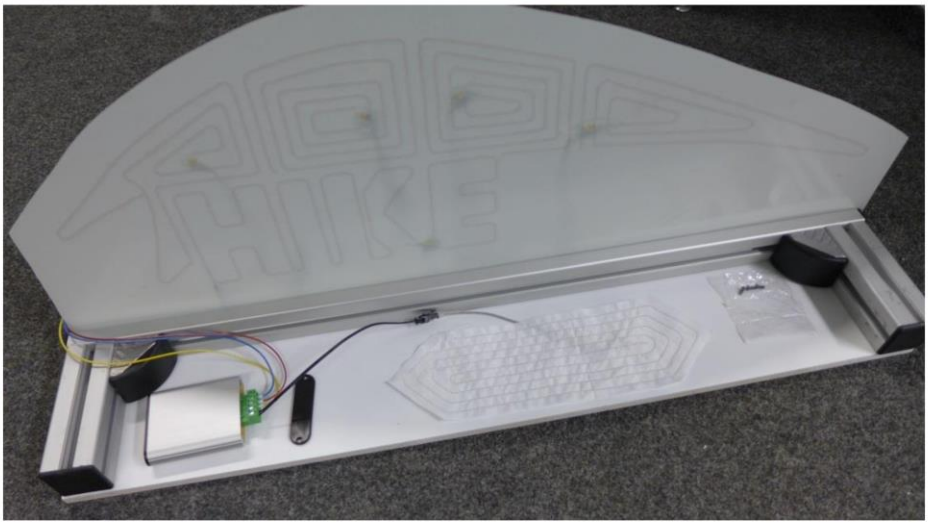


Bastian Baesch 8

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

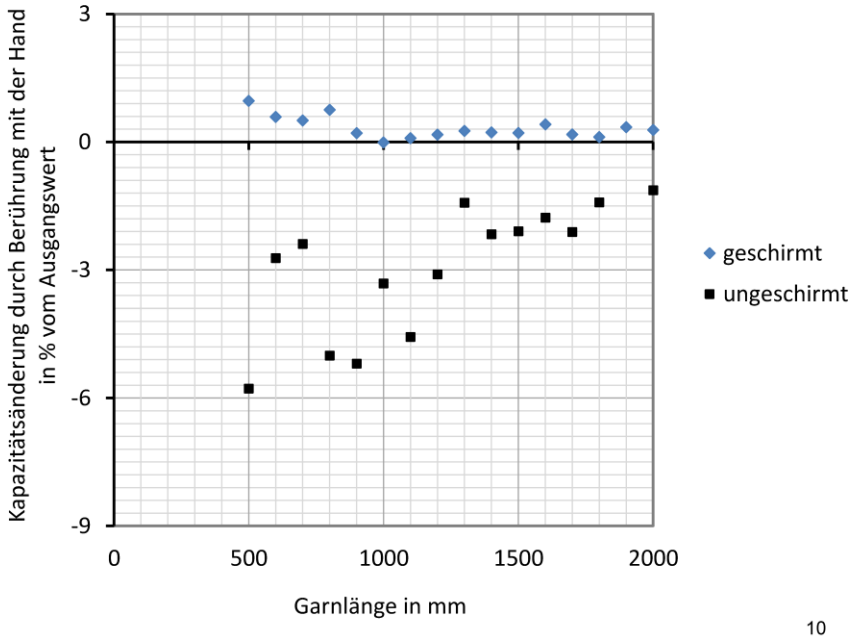
Textilien mit lichtsensorischer Funktionalität



Bastian Baesch 9

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

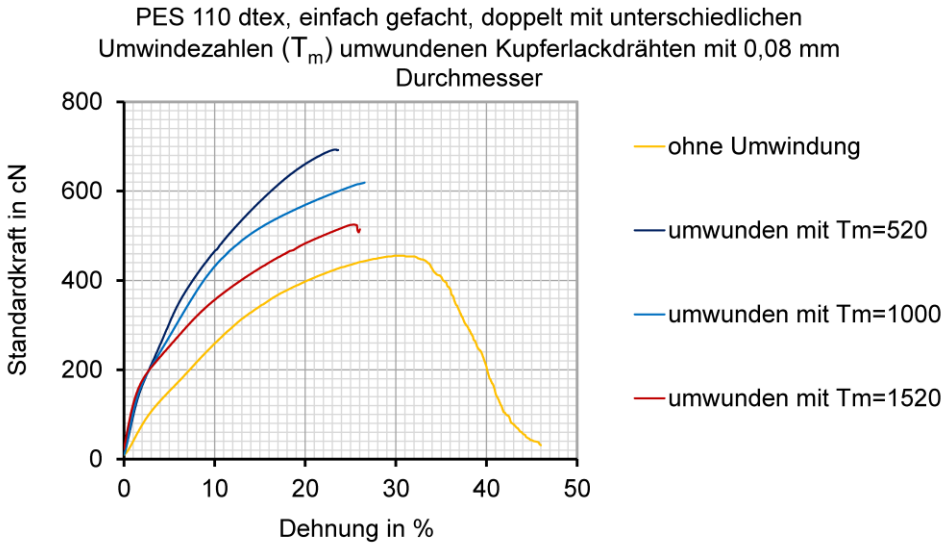
Schirmung sensorischer Garne



Bastian Baesch 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Messdatenerfassung für Konstruktionskatalog



Bastian Baesch 11

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Textilien mit aktorischer Funktionalität

Pneumatisch aktuierte Textilien:

- Ökonomisches, hochflexibles Herstellungsverfahren

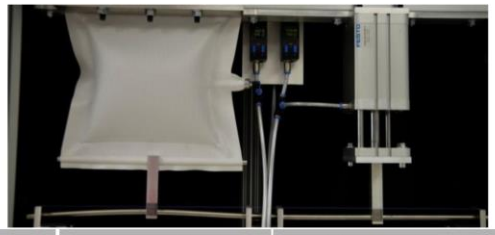
- Freie Geometrie

- Niedrige Arbeitsdrücke
- Sehr leicht

Bastian Baesch 12

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Textilien mit aktorischer Funktionalität



Quelle: Festo

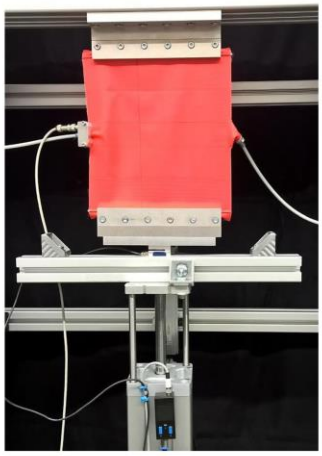
	Pneumatischer textiler Aktor, 200x200 mm	Konventioneller Pneumatikzylinder ADN-80-70 (Festo)	Fluidic Muscle DMSP-40-280N (Festo)
max. Zugkraft bei 1 bar	ca. 3500 N	ca. 500 N (ca. 5000 N bei 10 bar)	ca. 1000 N (6000 N bei 6 bar)
max. Zugkraft bei 0,1 bar	ca. 500 N	--- (Selbsthemmung)	ca. 100 N
Stellweg	ca. 70 mm	70 mm	ca. 70 mm
Masse	65 g	1853 g	748 g
Bewegte Masse	< 54 g	575 g	< 748g
normierte Maximalkraft	**53,8 kN/kg**	1,6 kN/kg	8,0 kN/kg

Bastian Baesch 13

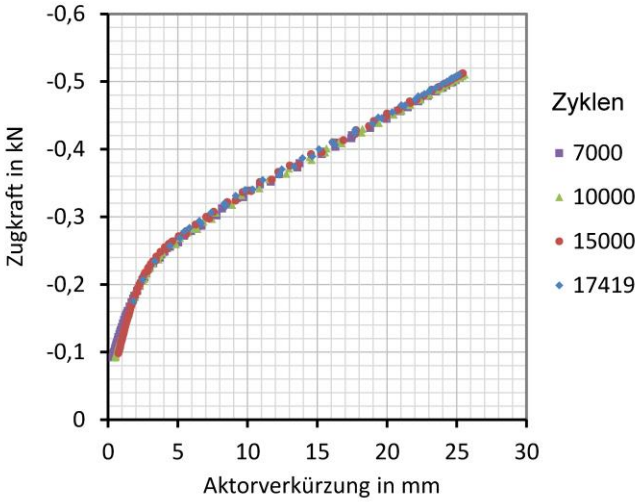
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Textilien mit aktorischer Funktionalität

Prüfstand für pneumatische textile Aktoren



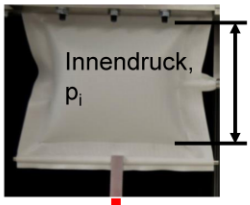
Pneumatischer textiler Aktor gespannt mit Zugfedern; D=2x7,6 N/mm=15,2 N/mm



Bastian Baesch 14

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Aktorverhalten

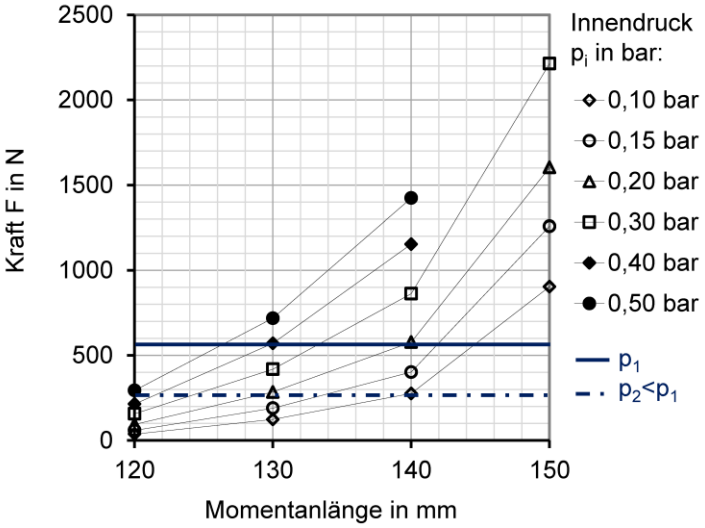


Zugkraft, F

$$F = f(l, p_i)$$

$$F = f(p_i)$$

Zustandsdiagramm eines pneumatischen textilen Aktors mit einer 200x150 mm großen Luftkammer

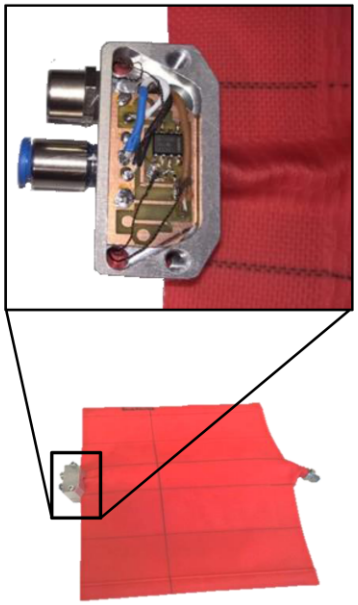


© ITV Denkendorf 15

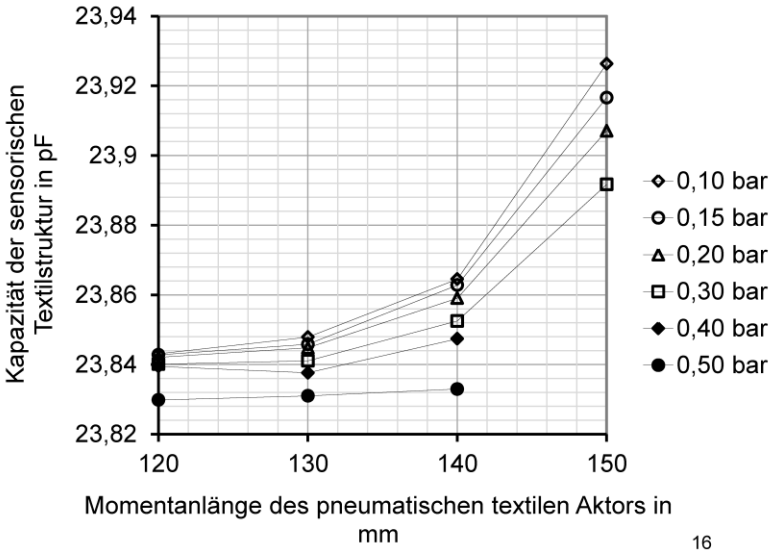
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Sensorischer pneumatischer textiler Aktor



Kapazität der Sensorstruktur eines sensorischen pneumatischen textilen Aktors mit einer 200x150 mm großen Kavität



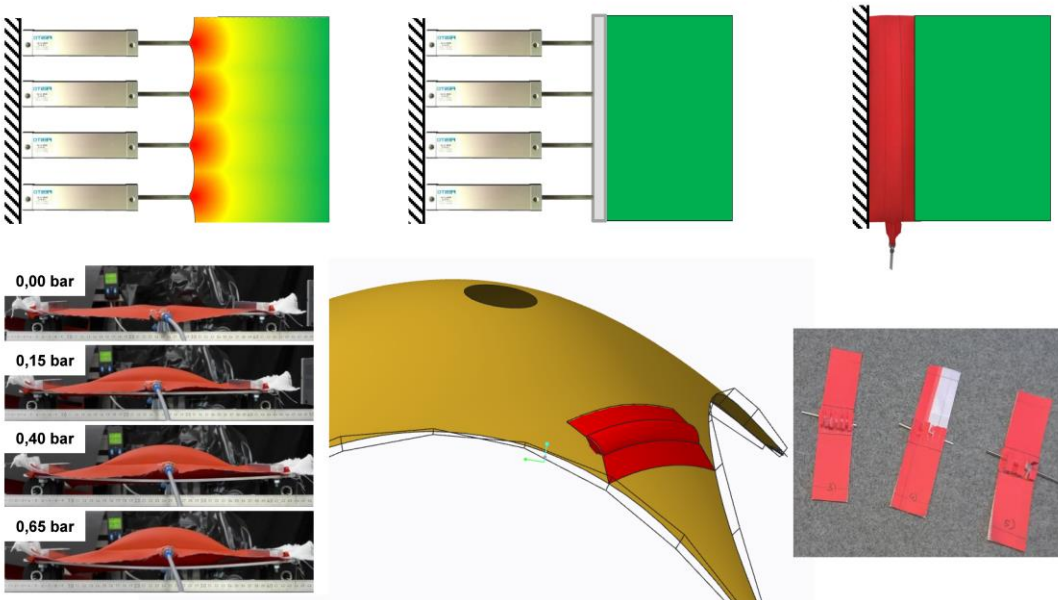
© ITV Denkendorf

16

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Pneumatischer textiler Aktor zum Einbau in den Demonstrator



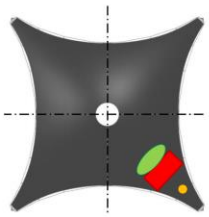
Bastian Baesch

17

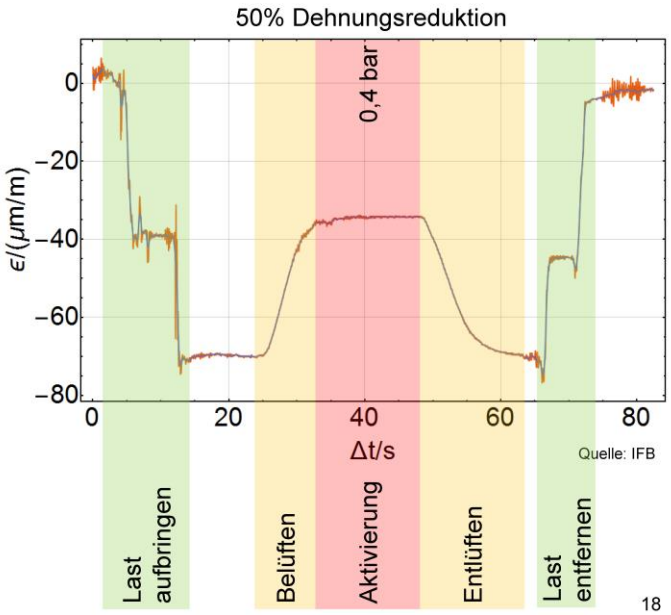
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Pneumatischer textiler Aktor zum Einbau in den Demonstrator



Aktor
Last 20 kg
DMS



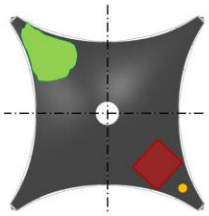
Bastian Baesch

18

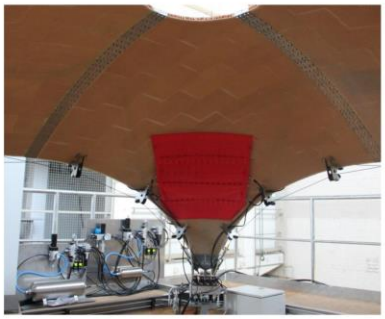
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

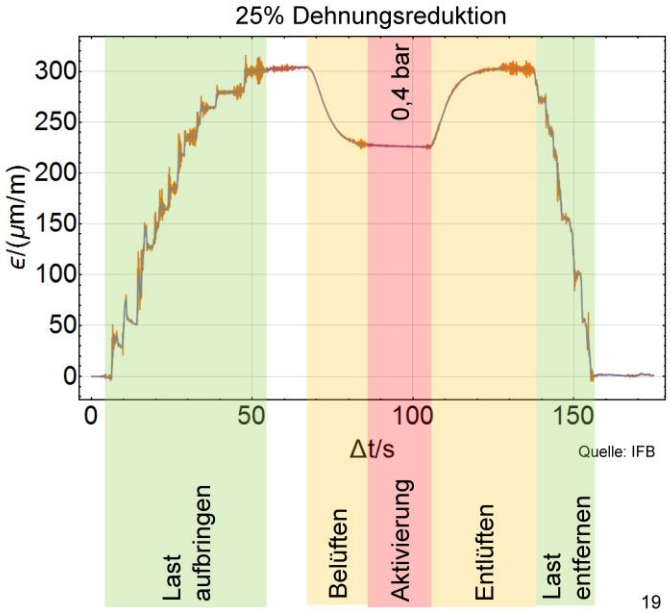
www.uni-stuttgart.de

Pneumatischer textiler Aktor zum Einbau in den Demonstrator



Aktor
Last 150 kg
DMS





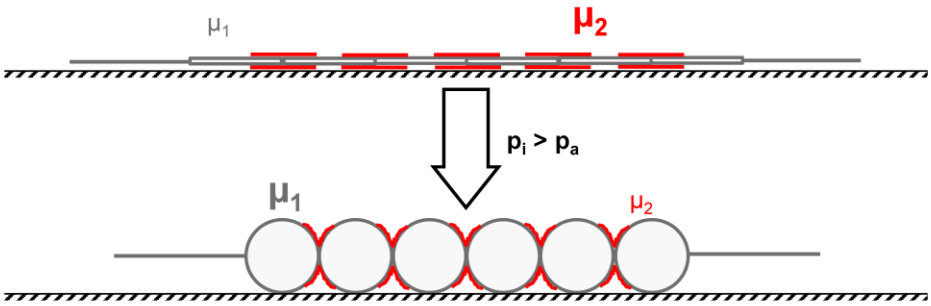
Bastian Baesch

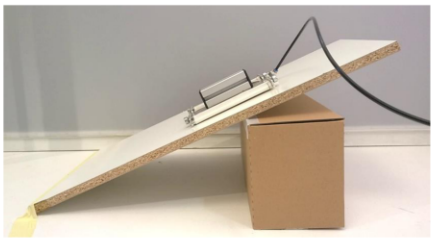
19

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Grundlagenuntersuchungen zu veränderlichen Dämpfungs- und Oberflächeneigenschaften



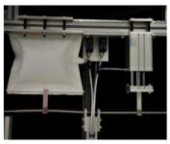


Bastian Baesch 20

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)" gefördert hat.

Bastian Baesch 21

3.5 Entwicklung von steifen und biegeschlaffen Zugelementen und Krafteinleitungselementen für Flächenelemente (Teilprojekt B1)

Witte, T.; Finckh-Jung, A.; Winter, S.; Wehking, K.-H.
Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

IFT Institut für Fördertechnik und Logistik

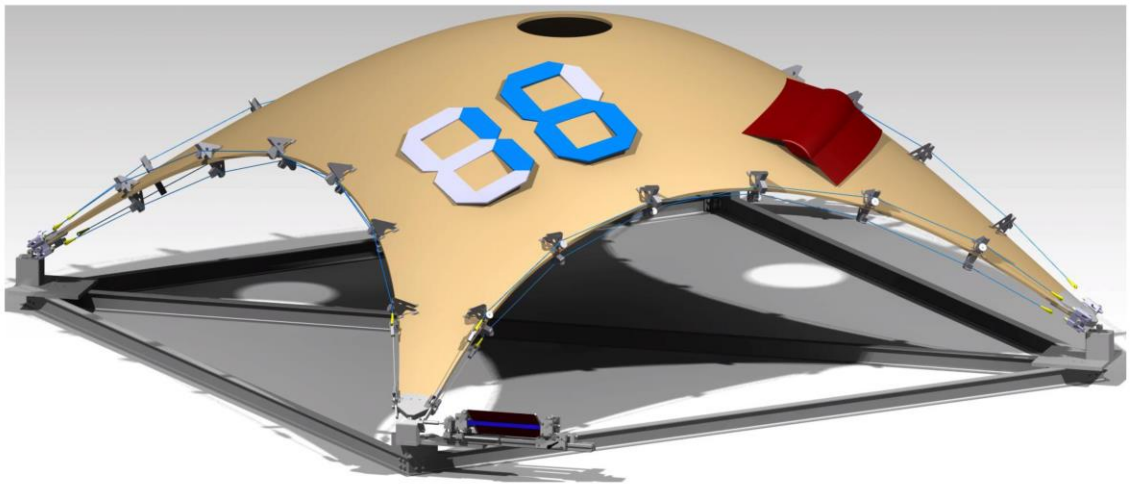
Dipl.-Ing. Tobias Witte (biegesteife Zugelemente)
Dipl.-Ing. Anita Finckh-Jung (biegeschlaffe Zugelemente)
Dipl.-Ing. Sven Winter

2

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

IFT Institut für Fördertechnik und Logistik



Dipl.-Ing. Tobias Witte (biegesteife Zugelemente)
Dipl.-Ing. Anita Finckh-Jung (biegeschlaffe Zugelemente)
Dipl.-Ing. Sven Winter

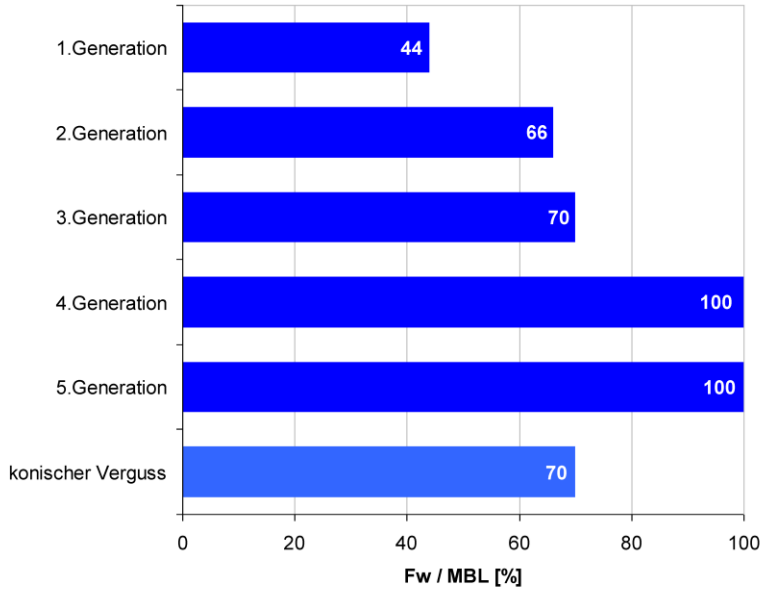
3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse der 1. Förderphase

Zugversuche Verhältnis aus wirklicher Bruchkraft (F_w) zur Mindestbruchlast (MBL) des Seiles



Seildurchmesser von 4 bis 12 mm

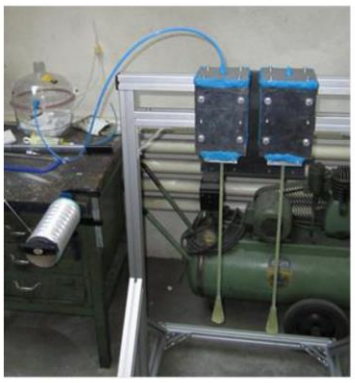
T. Witte 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse der 1. Förderphase

- Fertigung angepasster Vergussformen für Zugstäbe d= 8…16 mm
- Durchführung von Zug- und Zugschwellversuchen



Relative Zugfestigkeit der konischen Vergüsse bezogen auf rechnerische Bruchkraft der Stäbe	
Zugstab d = 8 mm	76 %...100 %
Zugstab d = 10 mm	39 %...98 %
Zugstab d = 16 mm	37 %...71 %

T. Witte 5

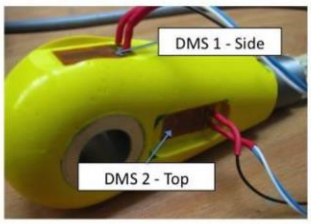
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

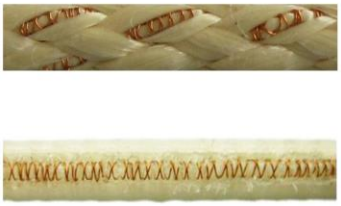
www.uni-stuttgart.de

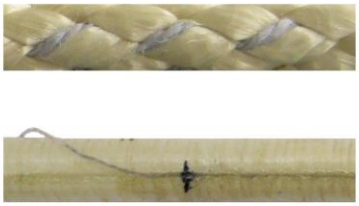
Ergebnisse der 1. Förderphase

Sensorik

Auswahl der untersuchten Systeme:







Applikation oder Integration von DMS auf und in Endverbindung

kapazitives Sensorelement entlang freier Seil-/Stabstrecke

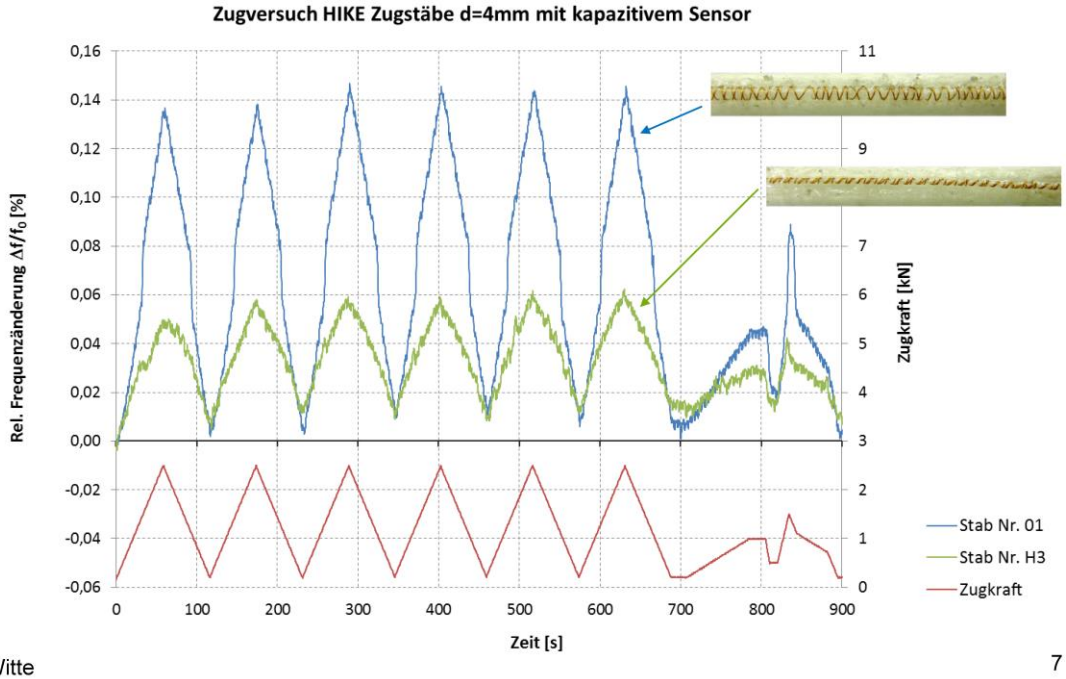
resistives Sensorelement entlang freier Seil-/Stabstrecke

T. Witte 6

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse der 1. Förderphase



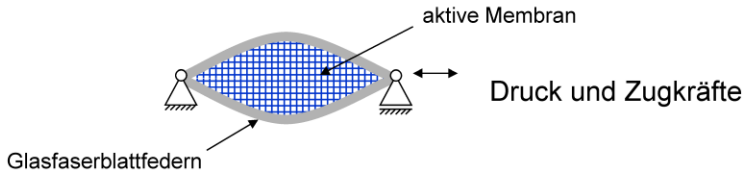
T. Witte 7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der 2. Förderphase

- Erweiterung der biegesteifen Zugelemente (Zugstab) um aktorische Endverbindung
- Beeinflussung der Schwingungseigenschaften und Integrale Leuchtanzeige des Zugstabes
- Entwicklung eines neuen HIKE „Federaktor“



- Erweiterung der biegeschlaffen Zugelemente um aktorische Eigenschaften
- Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit (Langzeitversuch, Temperaturversuch)
- Ermittlung der Skalierbarkeit der hybriden Zugelemente (Größeneinfluss)

T. Witte 8

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Aktive Zugstabendverbindung

HIKE I: statische Keilendverbindung

Dimensionierung und Erforschung der Zugstabendverbindung (Geometrie, Anschluss Glasfaser Konus, Harz, Topfzeit, Viskosität)

HIKE II: dynamische Keilendverbindung

Patentanmeldung aktive Zugstabendverbindung

Dimensionierung mit FEM Auslegung, Hydrostatische Lagerung des Vergusskonus, Längenverstellung des Stabes möglich (30 mm), Zugkraft proportional zum Innendruck

T. Witte 9

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

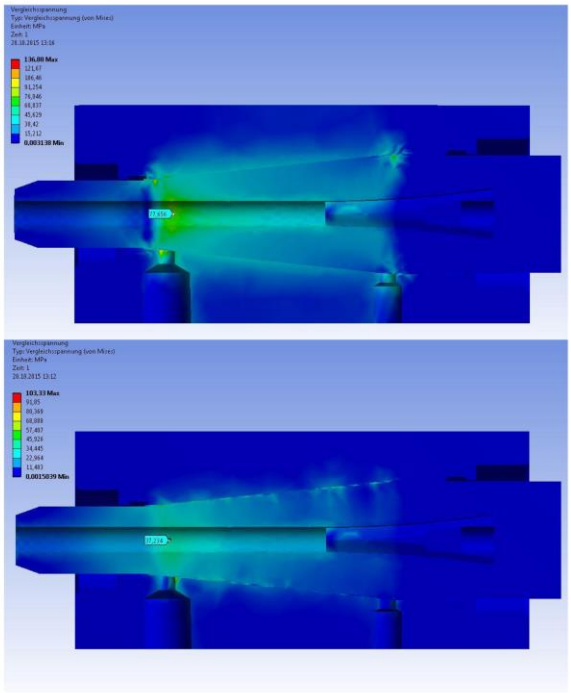
Aktive Zugstabendverbindung

HIKE I: statische Keilendverbindung

- Kegeliger Zugstabeinguss in monolithischer Ausführung
- Vergleichsspannungskonzentration im Kegeleintrittsbereich

HIKE II: dynamische Keilendverbindung

- Verstellbare Endverbindung
- Durch hydrostatische Flüssigkeit zwischen Kegel und Hülse sehr homogene Spannungsverteilung im Kegel und in der Hülse



T. Witte 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Aktive Zugstabendverbindung

- Verguss von Stäben in Durchmesser 4 mm und 8 mm
- Herstellung und Vormontage der dynamischen Keilendverbindung für Demonstrator in d = 4 mm

Vergussvorrichtungen

dynamische Keilendverbindung

T. Witte 11

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Aktive Zugstabendverbindung

- Durchführung von Zugschwellversuchen mit Stäben mit Durchmesser d = 8 mm
- Belastung der Stäbe mit 5…15 % der rechnerischen Bruchkraft
- Test verschiedener Vergussharze und Aushärtedauern

Bruchfläche einer Zugstabendverbindung nach 220.000 Lastwechseln

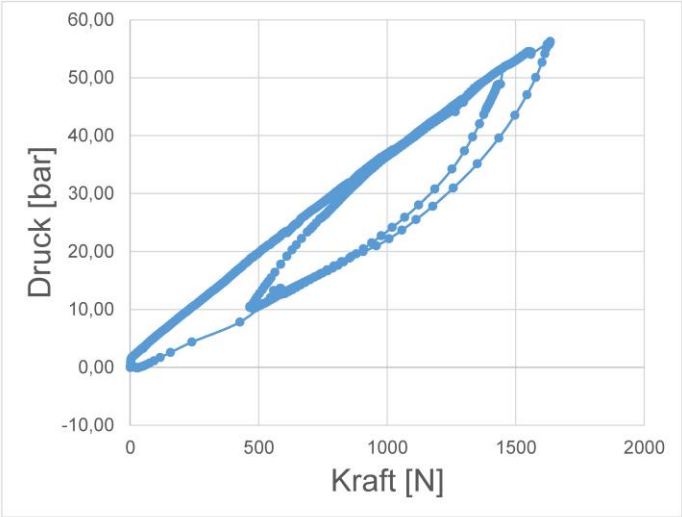
Materialabtrag durch Dichtung bis Kegel vollständig in Konus eingezogen war.
700.000 Lastwechsel

T. Witte 12

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Aktive Zugstabendverbindung

- Kennlinie der aktiven Keilendverbindung abhängig von Kraft und Druck



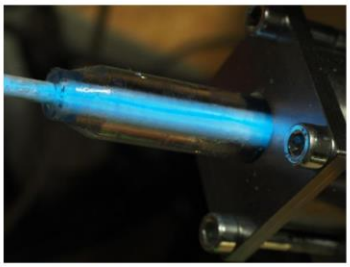
- Prüfaufbau in 75 kN Zugprüfmaschine

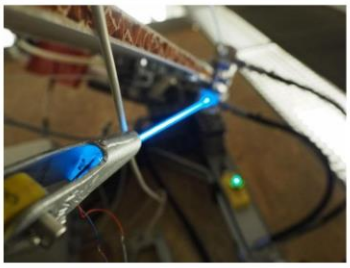
T. Witte 13

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Illumination des Zugstabes

- Eingebaute dynamische Keilendverbindung
- Integrierte Leuchtanzeige im Zugstab z.B. zur Kraftanzeige

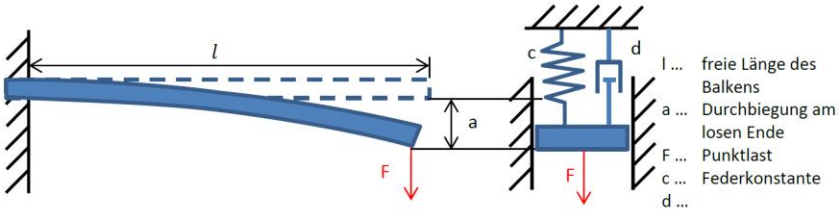




T. Witte 14

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Schwingungseigenschaftenvariation des Zugstabes

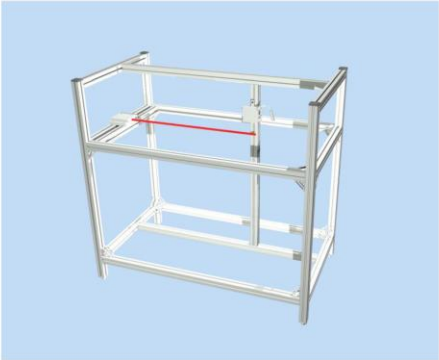


Physikalischer Zusammenhang:

- Die Eigenkreisfrequenz des Federstabs hängt ab von der Masse und der Federkonstante des Stabs
- Die Federkonstante hängt ab von der Länge, dem E-Modul und dem Flächenträgheitsmoment des Stabs

Ansatz:

- Veränderung der Eigenkreisfrequenz und Federkonstante durch Veränderung des Flächenträgheitsmoments
- Veränderung der Geometrie der Stäbe oder Kopplung paralleler Strukturen



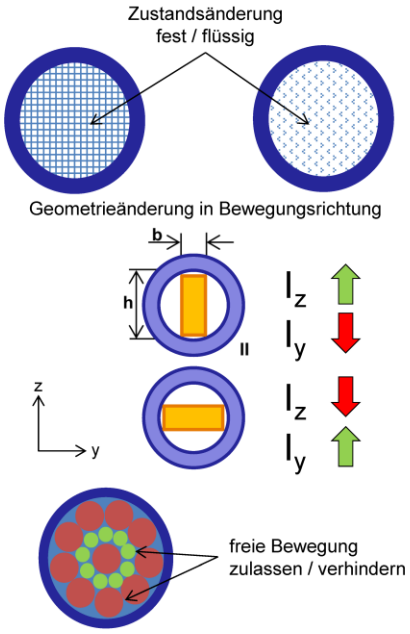
Schwingungsprüfstand am IFT

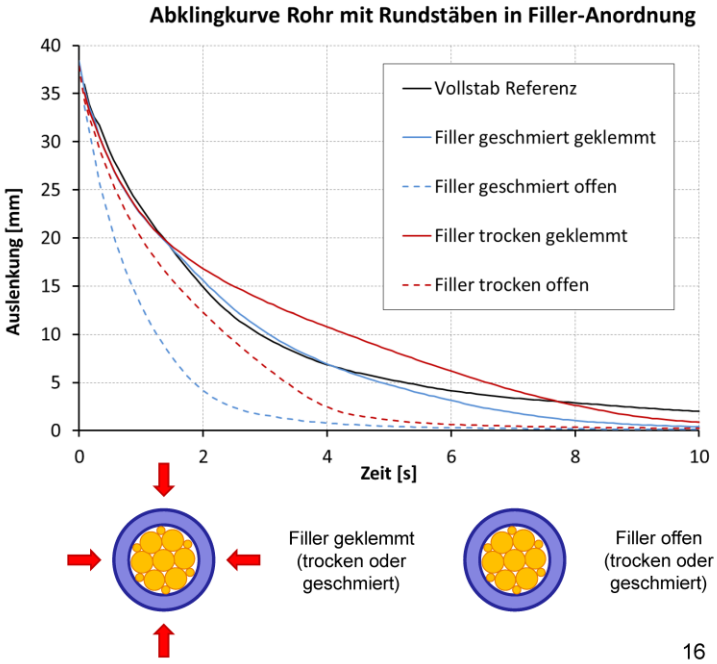
T. Witte 15

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Schwingungseigenschaftenvariation des Zugstabes





T. Witte 16

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Schwingungseigenschaftenvariation des Zugstabes
Abklingzeiten bis Unterschreiten einer Amplitude von 1mm

Versuch	t_{1mm} [s]	Abweichung bezogen auf Vollstab
Vollstab Referenz	14,4	0,0%
Styrodur senkrecht	13,1	-9,3%
Styrodur waagerecht	11,4	-20,6%
Filler trocken geklemmt	9,7	-32,5%
Filler geschmiert geklemmt	8,1	-43,5%
Filler trocken offen	5,1	-64,4%
Filler geschmiert offen	3,7	-74,5%

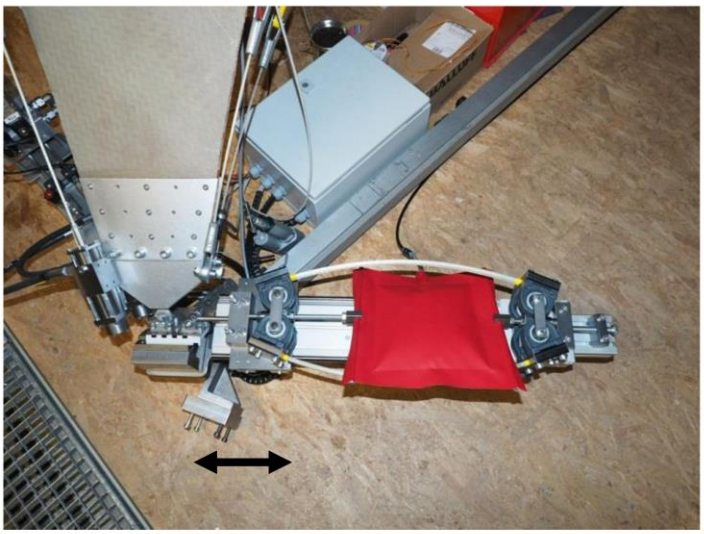
T. Witte 17

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Federaktor / Konstruieren mit HIKE

- Rückstellkraft von Blattfedern wird zur Erzeugung von Druckkräften genutzt
- Vorspannung der Blattfedern durch Kombination mit HIKE aktive Membran
- Weitere erforschte HIKE können nur Zugkräfte erzeugen



T. Witte 18

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Konstruieren mit HIKE am Demonstrator veranschaulicht

- Konstruieren mit HIKE's
- Entwicklung eines neuen Funktionsträgers „Federaktor" und Einsatz im Demonstrator
- Einsatz von Zugstäben und Seilen mit sensorischen und/oder aktorischen Funktionen im Demonstrator
- Vernetzung mit anderen Teilprojekten zur Weiterentwicklung der HIKE
  - Aktorik (IKTD, ITV)
  - Sensoroptimierung (ITV)
  - Zustandsanzeige (ITV)
  - Steuerung und Regelung (ISYS)

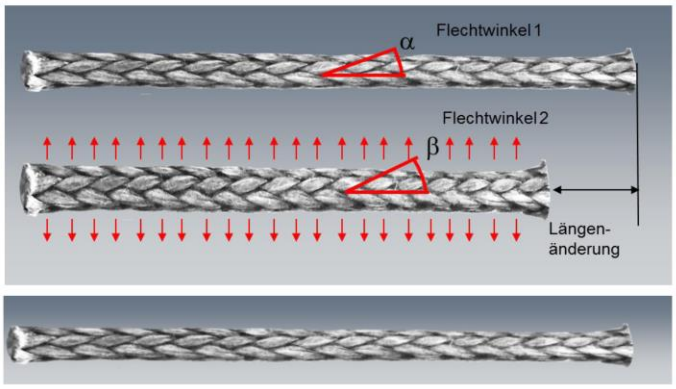
T. Witte 19

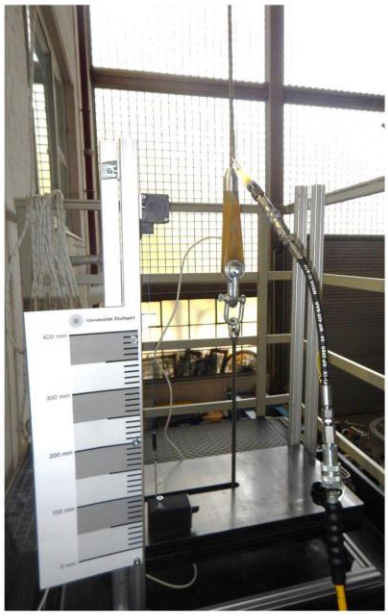
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Aktorisches Seil

- Längenänderung des Seils durch Veränderung des Flechtwinkels und der Schlaglänge durch integrierten Neoprenschlauch mit in der Endverbindung integrierten oder den Aktoranschluss auf der freien Seilstrecke





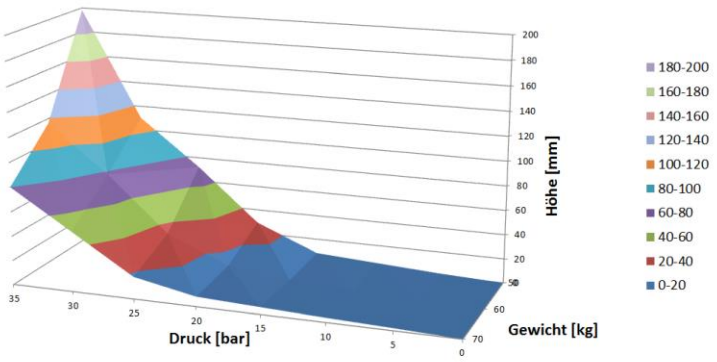
S. Winter 20

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Aktorisches Seil

- Druck und belastungsabhängige Dehnung des aktorischen Seiles



S. Winter 21

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Gebrauchstauglichkeit: Langzeitauslagerung von Prüfmustern

Parameter:	4 mm DynaOne Maxtec, Sensorik in Endverbindung, kalibriert; Monolithvergussmasse Firma Rampf; Zuglast ca. 10 % der MBL
Auslagerungsbeginn:	01.10.2014
Auslagerungsort:	Dach IFT-Bürogebäude
Versuchszeitraum:	bis 29.10.2015

Kein Kriechen und Dehnen des Zugelements feststellbar
Versuch ohne erkennbare Schäden an der Endverbindung abgeschlossen
(Korrosion der ungeschützten Metallteile)

S. Winter 22

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Gebrauchstauglichkeit: Temperaturverhaltens der integrierten Sensoren

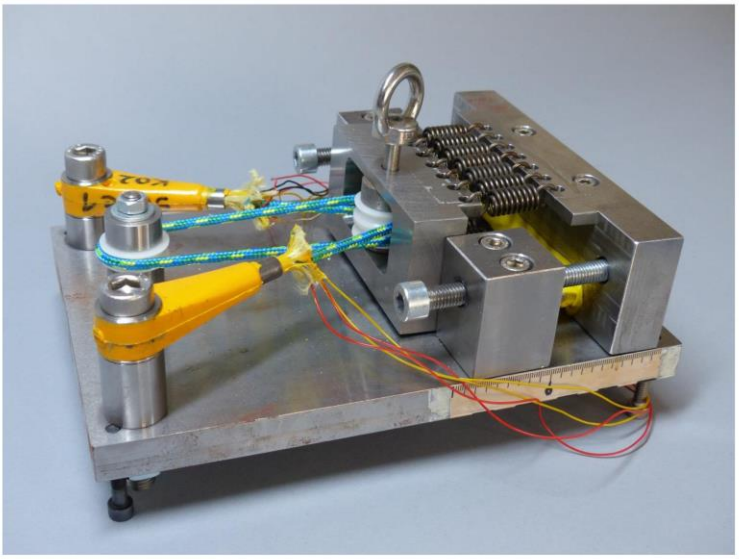
Prüfverfahren:

Zyklischer Temperaturwechsel in Klimakammer (12 h, 12 h; +80, -40 °C) unter Demonstrator betriebslast (500 N)

Versuchsdauer: 1 Woche

Messverfahren:
Spannungsmessung und Kalibrierung des Sensors in der Endverbindung vor und nach der Prüfung mittels Brückenschaltung.

→ Messwertäquivalenz (Parallelität)
→ Ermittlung struktureller Veränderungen (Dehnverhalten)

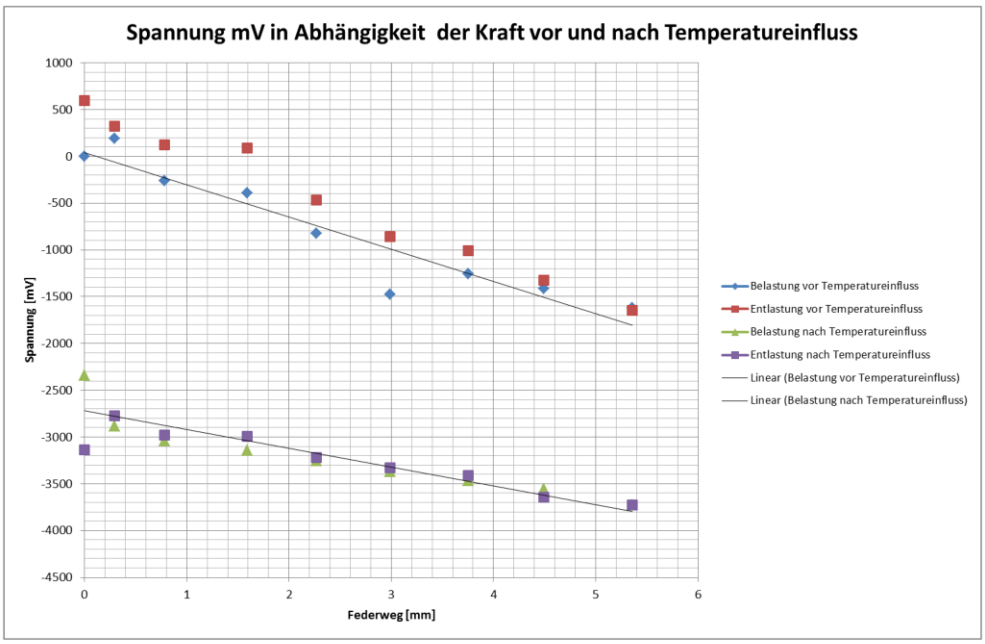


S. Winter 23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ermittlung des Temperaturverhaltens integrierter Sensoren



S. Winter 24

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Größeneinfluss Zug- und Zugschwellversuch

- 4 mm bis 12 mm Seildurchmesser in der Förderphase HIKE I

4 mm 16 mm 26 mm 50 mm

77 mm

750 mm

96 mm

Untersuchungsschwerpunkte:

Fasermaterial, Vorbehandlung Fasermaterial, Vergussharze, Vakuumtechnik, Einlegetechnik, Seil- und Litzenvorspannung

S. Winter 25

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Größeneinfluss Vergussturm

- Vergussturm

Seildurchmesser 26 bis 50 mm

- Faserseilklemmtechnik mit Modularklemmen
- Turmabmessungen:
  12,5 m x 1,7 m
- Polyurethanmischanlage
- Maximale Seilvorspannkraft:
  20 Tonnen

S. Winter 26

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Größeneinfluss Zug- und Zugschwellversuch

Videofilm
Höchstzugkraftversuch 96 mm

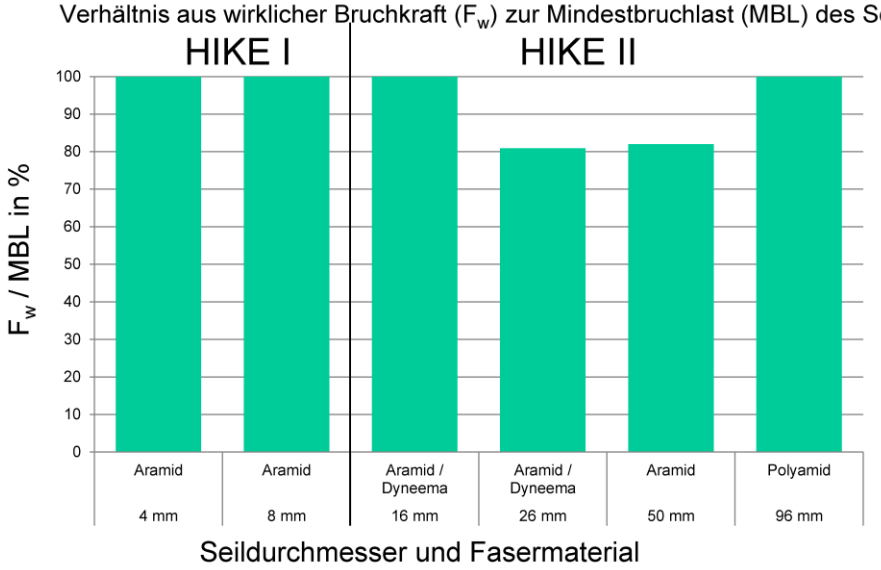
S. Winter 27

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Skalierbarkeit Zug- und Zugschwellversuch

- Ergebnisübersicht Zugkraftprüfungen monolithische Seilendverbindung

Verhältnis aus wirklicher Bruchkraft (F_w) zur Mindestbruchlast (MBL) des Seiles



- Zugschwelluntersuchungen 4 mm bis 50 mm

S. Winter 28

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Vorserienanwendung im Prototypenstadium

- Hochfestes Faserseil mit neuartiger monolithischer Endverbindung inkl. Kraftmessung in einem Regalbediengerät im Einsatz
- In der Endverbindung integrierte permanente Kraftmesstechnik (Regelung der Belastungsabhängigen Beschleunigung des Hebers und Lastkontrolle)

S. Winter 29

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

- Erweiterung der biegesteifen Zugelemente um aktorische Endverbindung
- Beeinflussung der Schwingungseigenschaften und Integrale Leuchtanzeige des Zugstabes
- Entwicklung eines neuen HIKE „Federaktor“ durch konstruieren mit HIKE‘s
- Erweiterung der biegeschlaffen Zugelemente um aktorische Eigenschaften
- Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit (Langzeitversuch, Temperaturversuch)
- Ermittlung der Skalierbarkeit der hybriden Zugelemente (Größeneinfluss bei steigendem Seildurchmesser bis 96 mm)

S. Winter 30

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)” gefördert hat.

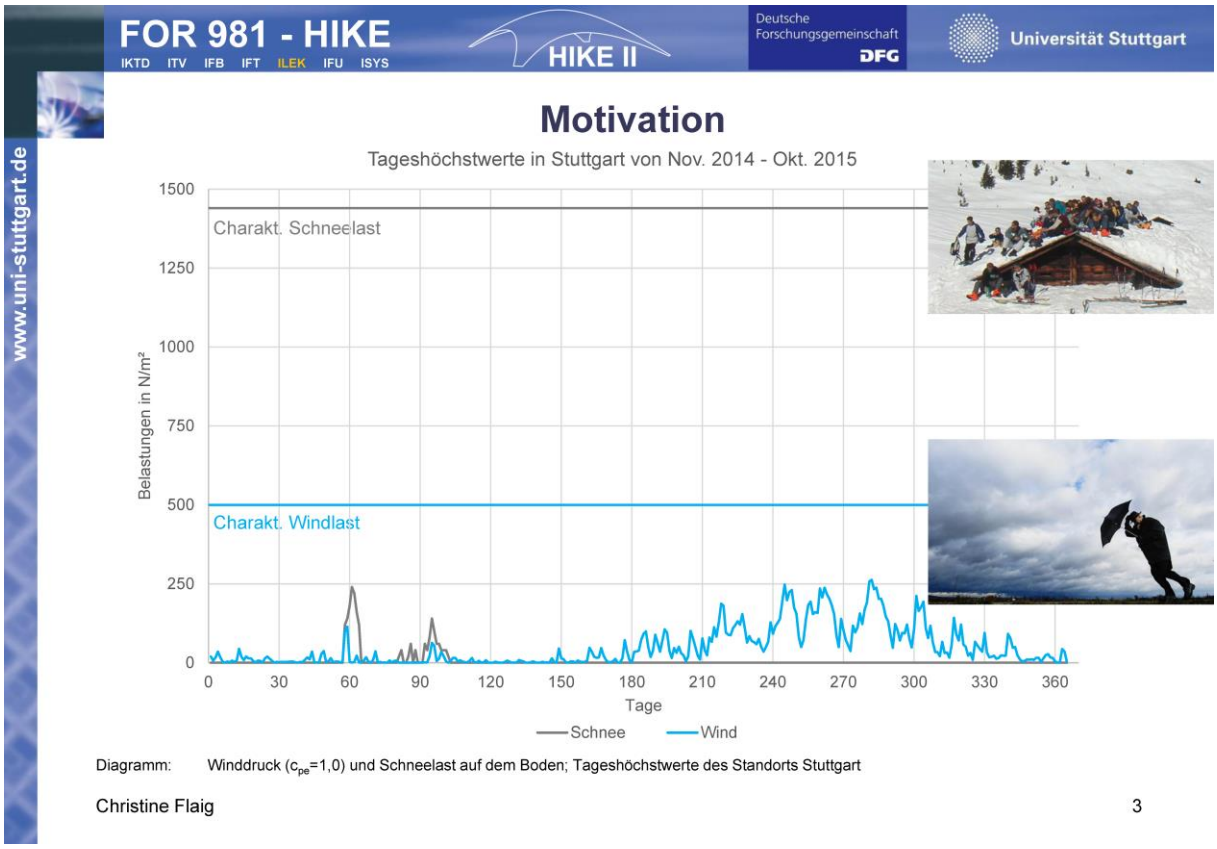
Tobias Witte / Sven Winter 31

3.6 Manipulation von Spannungs- und Verformungsfeldern für statische und dynamische Beanspruchungen (Teilprojekt B2)

Flaig, C.; Haase, W.; Sobek, W.

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)

© Bosch Rexroth
ILEK
Institut für Leichtbau Entwerfen
und Konstruieren


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Motivation
Tageshöchstwerte in Stuttgart von Nov. 2014 - Okt. 2015
Charakt. Schneelast
Charakt. Windlast
Belastungen in N/m²
1500
1250
1000
750
500
250
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
Tage
Schnee
Wind
Diagramm: Winddruck (c_{pe}=1,0) und Schneelast auf dem Boden; Tageshöchstwerte des Standorts Stuttgart
Christine Flaig
3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Adaptive Tragwerke

Stuttgart SmartShell

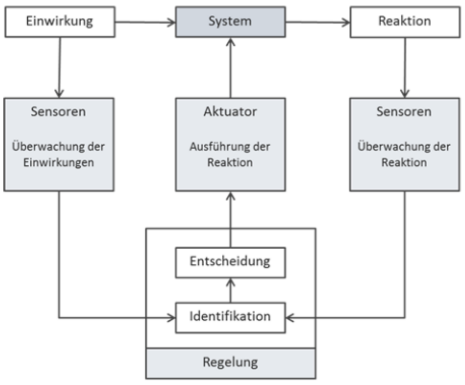
Christine Flaig 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Adaptive Tragwerke

Hinzufügen aktiver Elemente
- Optimierung des Lastabtrags
- Einsparung von Material und Ressourcen
- Kontrolle der Verformungen

Zusätzliche Komponenten:
- Sensoren zur Zustandserfassung
- Regelung zur Bestimmung der Aktivierungsgrade
- Aktuatoren zur Ausführung der Adaption



Christine Flaig 5

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der 1. Förderphase

- Berechnungs- und Optimierungsmethoden unter Berücksichtigung nicht-linearer Effekte
- Bestimmung und Bewertung verschiedener adaptiver Eingriffe
- Experimentelle Verifizierung an Funktionsmustern

Stuttgart SmartShell

Gemeinsamer Demonstrator

Christine Flaig 6

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele der 2. Förderphase

- Entwicklung von Sicherheitskonzeptes für aktive Bauwerke
- Beurteilung der Effizienz und Konkurrenzfähigkeit der aktiven Bauweise
- Untersuchung der Übertragbarkeit der Konzepte aus HIKE I auf andere Tragstrukturen (Stab- und Seiltragwerke)
- Erweiterung des Konzepts auf flächige Aktivierung in Flächentragwerken

Christine Flaig 7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Semi-Probabilistisches Sicherheitskonzept auf passive Tragwerke im Bauwesen

Statistische Beschreibung der Eingangsvariablen mit Teilsicherheitsbeiwerten

Differenzierte Erfassung von Unsicherheiten

Nachweis der Tragfähigkeit (deterministische Gleichung)

mit

Bemessungswert auf der Einwirkungsseite: $E_d = \gamma_E \cdot E_k$

E_k: charakteristischer Wert der Einwirkung

γ_E: Teilsicherheitswert für die Einwirkung

Bemessungswert auf der Widerstandseite: $R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$

R_k: charakteristischer Wert des Widerstandes

γ_R: Teilsicherheitswert für den Widerstand

Christine Flaig 8

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung von neuen Ansätzen eines Sicherheitskonzeptes für adaptive Tragwerke im Bauwesen

- Untersuchung von Sicherheitskonzepten im Maschinenbau und Flugzeugbau in Kooperation mit den Projektpartnern
- Erörterung der Übertragbarkeit ins Bauwesen
- Erarbeitung von Ansätzen zur Berücksichtigung der speziellen Aspekte adaptiver Komponenten für die Gegebenheiten im Bauwesen (z. B. lange Lebensdauer)

Christine Flaig 9

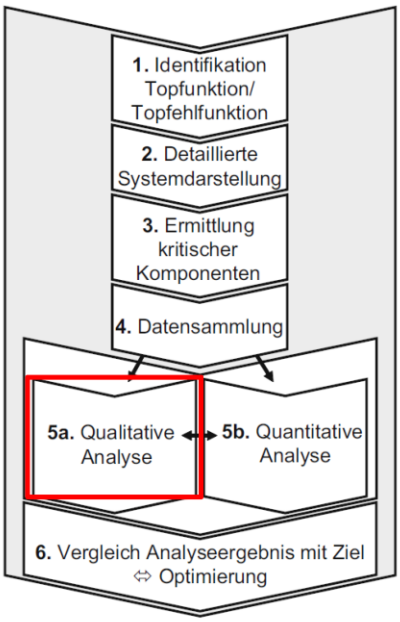
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung von neuen Ansätzen eines Sicherheitskonzeptes für adaptive Tragwerke im Bauwesen

Allgemeine Methodik:

Mehrstufiger Prozess zur Zuverlässigkeitsbewertung



Quelle: [Bertsche 2009]

Christine Flaig 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung von neuen Ansätzen eines Sicherheitskonzeptes für adaptive Tragwerke im Bauwesen

- Strukturierung der Sicherheitskonzepte der einzelnen Fachgebiete

Christine Flaig 11

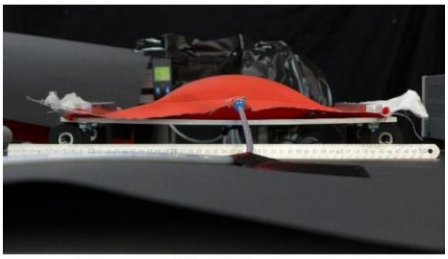
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung von neuen Ansätzen eines Sicherheitskonzeptes für adaptive Tragwerke im Bauwesen

- Strukturierung der Sicherheitskonzepte der einzelnen Fachgebiete
- Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (Zusammenarbeit mit IKTD, ITV)

Gemeinsamer Demonstrator



Pneumatischer textiler Aktor (ITV)

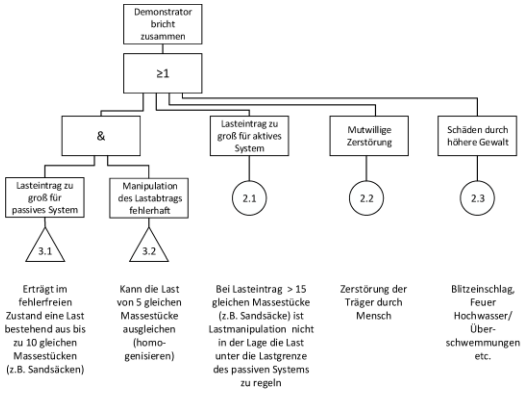
Christine Flaig 12

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung von neuen Ansätzen eines Sicherheitskonzeptes für adaptive Tragwerke im Bauwesen

- Strukturierung der Sicherheitskonzepte der einzelnen Fachgebiete (Koop. alle)
- Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (Zusammenarbeit mit IKTD, ITV)
- Fehlerbaumanalyse (Zusammenarbeit mit IKTD, ITV)



Ausschnitt aus der Fehlerbaumanalyse des Demonstrators, Quelle: Herrmann (2014)

Christine Flaig 13

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Beurteilung der Effektivität und Konkurrenzfähigkeit der neuen Bauweise

Energie- und Effizienzbetrachtungen

- Ökobilanzielle Betrachtung
  - Werkstoff- und Energieverbrauch bei der Herstellung („Graue Energie“)
  - Energieverbrauch während des Betriebs (Regelungsenergie)
  - Rückbau, Entsorgung und Gutschrift
- Nutzung des bestehenden Funktionsmusters der Stuttgart SmartShell
- Vergleich mit einer passiven Betonschale

Aktives Auflager der Stuttgart SmartShell

Hydraulikaggregat der Stuttgart SmartShell

Christine Flaig 14

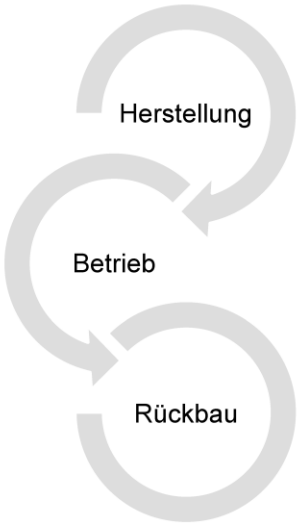
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Energie- und Effizienzbetrachtung

Vorgehen:

- Betrachtungsdauer 20 Jahre
- Betrachtung der nichterneuerbaren Energie und des Treibhauspotentials
- Für den Energieaufwand in der Betriebsphase wurde die Regelungsenergie angesetzt



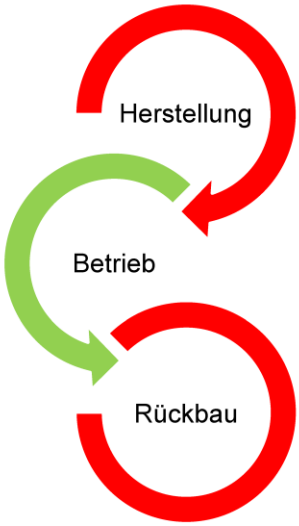
Christine Flaig 15

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Energie- und Effizienzbetrachtung

Fazit:

- Die Nutzungsphase spielt bei der SmartShell eine untergeordnete Rolle
- Die Herstellung und das zugehörige Lebensende der Materialien sind von entscheidender Bedeutung
- Die ökobilanzielle Betrachtung zeigte, dass die Stuttgart SmartShell positiver abschneidet als eine passive Betonschale



Christine Flaig 16

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Erweiterung und Untersuchung der Übertragbarkeit der Konzepte aus HIKE I auf andere Tragstrukturen

- Übertragung des Konzepts der Adaptivität auf Stabtragwerke mit dem Ziel der Homogenisierung der Spannungsverteilung in Fachwerkstrukturen (Koop. ISYS)
- Experimentelle Validierung an einem Funktionsmuster (Koop. ISYS)
- Formadaption der Geometrie zur Reduzierung der windinduzierten Belastungen auf Tragwerke durch den Einsatz adaptiver Flächenelemente
- Aktivierungsmöglichkeiten im Bereich von Diskontinuitäten insbesondere von Öffnungen in flächigen Tragwerken
- Integration aktiver Elemente im Demonstrator (Koop. ITV, IFB)

Christine Flaig 17

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Manipulation des Lastabtrags

Verglaste Vertikalseilfassade des zentrale Eingangsbereich der Universität Bremen

Christine Flaig 18

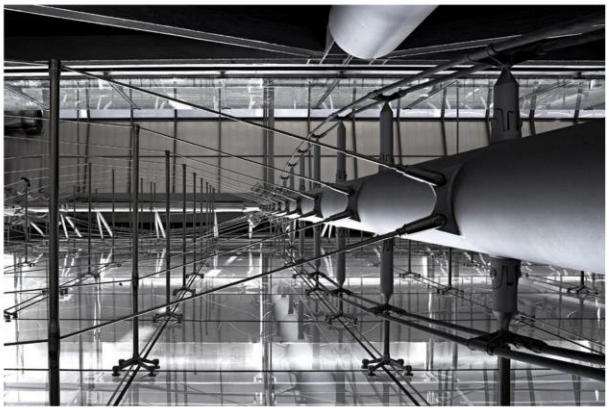
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Manipulation des Lastabtrags

Untersuchung verschiedener Tragstrukturen

- Seilnetzfassade
- Hinterspannte Fassade
- Seilfassade mit vertikal vorgespannten Seilen



Flughafens in Bangkok - Seilverspannte Fassade des Terminalgebäudes
© Werner Sobek Group

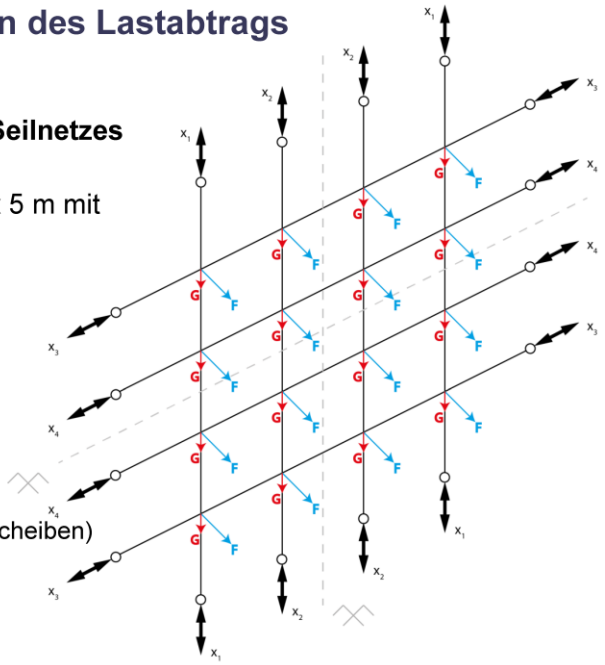
Christine Flaig 19

Manipulation des Lastabtrags

Manipulation der Seilkräfte eines Seilnetzes durch Auflagerverschiebungen

Doppelsymmetrisches Seilnetz 5 m x 5 m mit gleichmäßig verteilter Belastung

- Vertikalseile: 4
- Horizontalseile: 4
- Seildurchmesser: 22 mm
- E-Modul: 160.000 N/mm²
- Vorspannkraft: 10 kN
- Knotenlasten:
  - G = 0,25 kN (Eigengewicht Glasscheiben)
  - F = 1,00 kN (Windlast)



FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Manipulation des Lastabtrags

Auflagerverschiebung

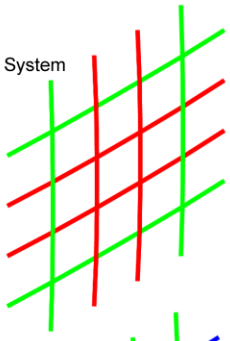
x_1	x_2	x_3	x_4
0,8 mm	2,2 mm	1,2 mm	2,6 mm

Auswertung

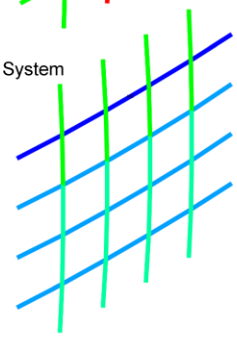
	Passives System	Aktives System
Max. Seilkraft	28.286 N	20.011 N
Max. Verformung	0,064 m	0,099 m

Reduktion der max. Seilkraft um: 30 %
Erhöhung der max. horiz. Verformung um: 55 %

Seilkräfte im passiven System



Seilkräfte im aktiven System

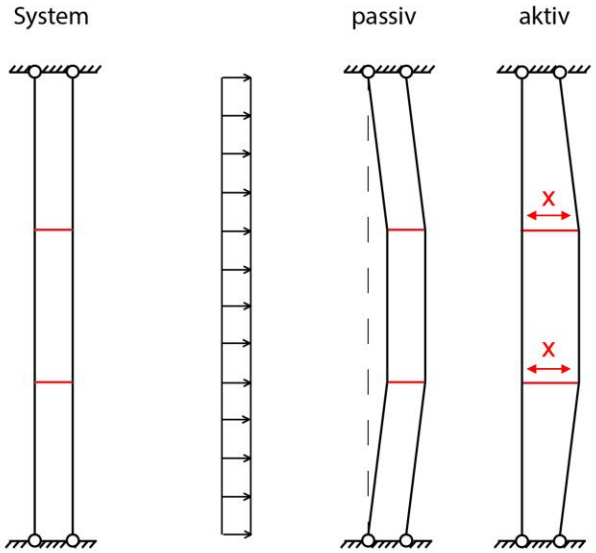


12000 N 29000 N

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Manipulation der Verformungen – Nullverformung

Doppelseil verbunden mit aktiven Streben



Christine Flaig 22

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Manipulation der Verformungen – Nullverformung

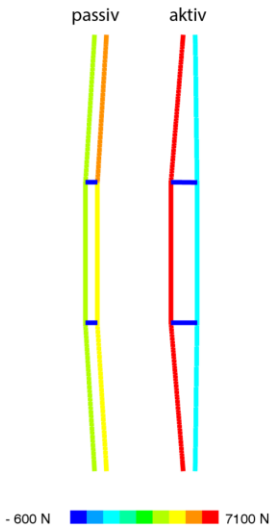
Druckstreben - Aktivierung

x
0,154 m

Auswertung

	Passives System	Aktives System
Max. Seilkraft	5437 N	7005 N
Max. Verformung	0,152 m	0 m

Reduktion der max. horiz. Verformung im vorderen Seil: 100 %
Erhöhung der max. Seilkraft um: 29 %

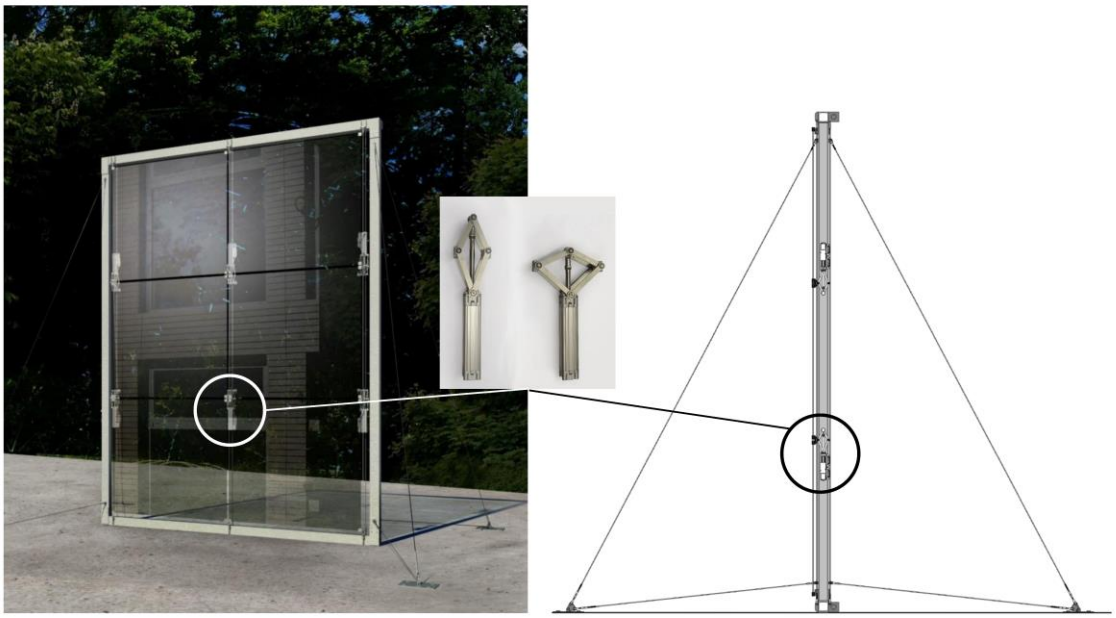


Christine Flaig 23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Adaptives Fassadenmodul



Christine Flaig 24

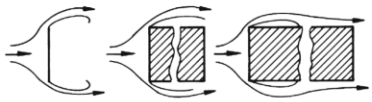
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

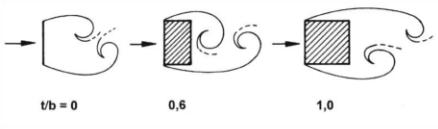
www.uni-stuttgart.de

Manipulation der Einwirkungen durch „Formadaption“

Typische Merkmale eines umströmten Körpers

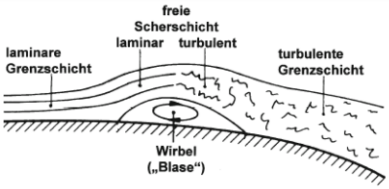
- Ablösen der Strömung an den scharfen Kanten
- Wiederanlegen der Strömung an den Flanken
- Schwingungsanregung durch zweiseitige Ablösung der Strömung





Manipulation der Windbelastungen durch Formadaption der Fassade

→ Reduktion der Einwirkung auf das Tragwerk



Quelle: Hucho (2002)

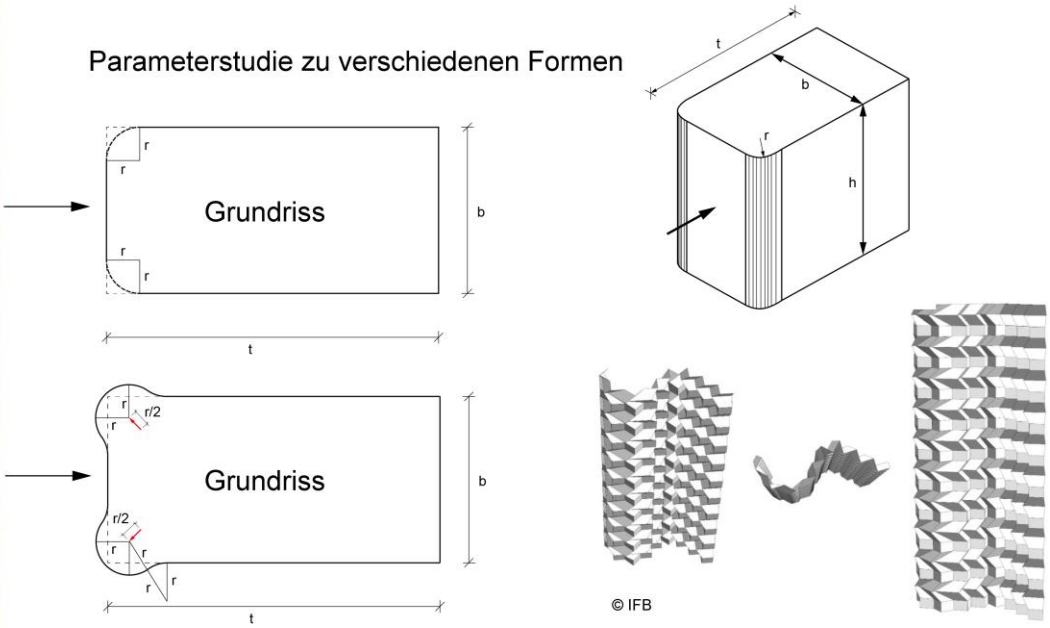
Christine Flaig 25

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Manipulation der Einwirkungen durch „Formadaption“

Parameterstudie zu verschiedenen Formen



© IFB

Christine Flaig 26

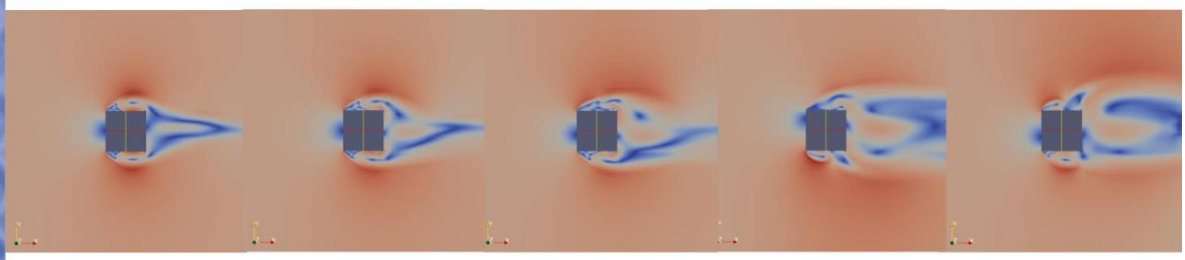
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Manipulation der Einwirkungen durch „Formadaption“

2D - Strömungssimulationen

Untersuchung der Formadaption zur Manipulation der Windeinwirkungen an Gebäuden

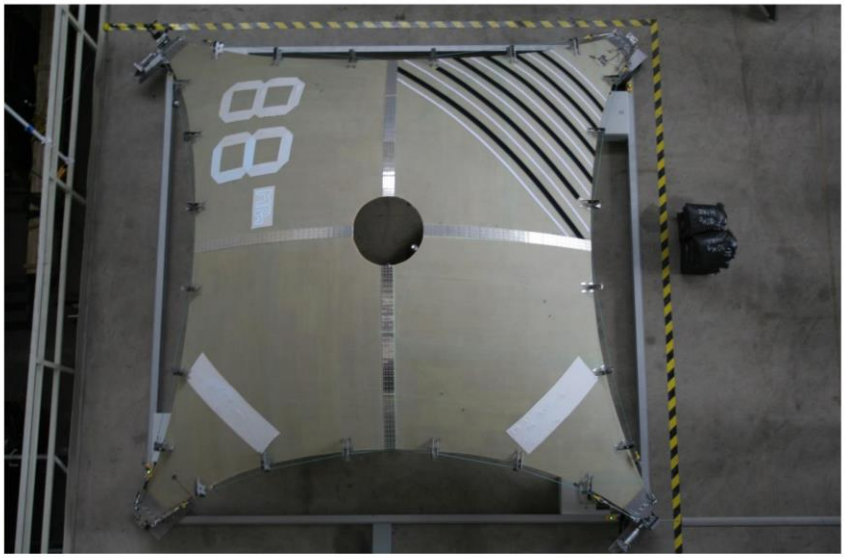


Christine Flaig 27

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Aktivierungsmöglichkeiten im Bereich von Diskontinuitäten



Draufsicht des Demonstrators

Christine Flaig 28

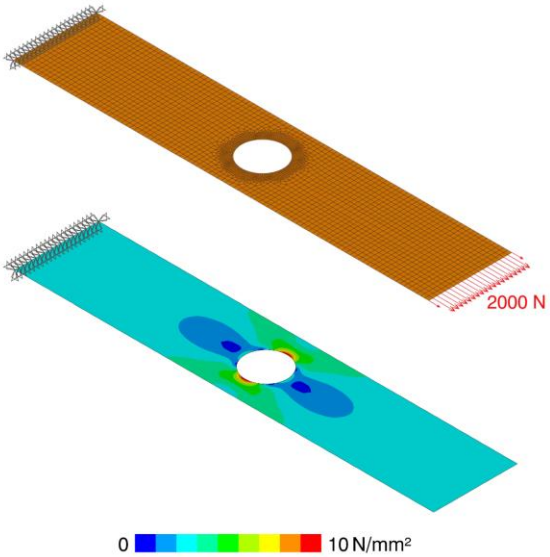
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Untersuchung von Spannungen im Bereich von Öffnung bei Flächentragwerken

Untersuchung von Scheibe mit Öffnung

- Abmessung 1000 mm x 200 mm
- 100 mm Öffnung
- Sandwichaufbau wie Demonstrator
  - 15 mm Faltkern
  - 2 mm Deckschichten aus GFK
- Belastung 2000 N
- Ungestörter Bereich
  - $\sigma_{von\text{-}Mises}$ = 2,5 N/mm²
- Bereich der Öffnung
  - $\sigma_{von\text{-}Mises}$ = 9,9 N/mm²



Christine Flaig 29

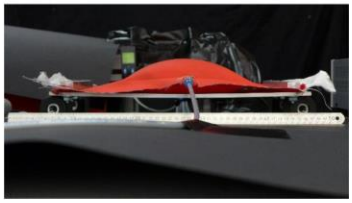
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

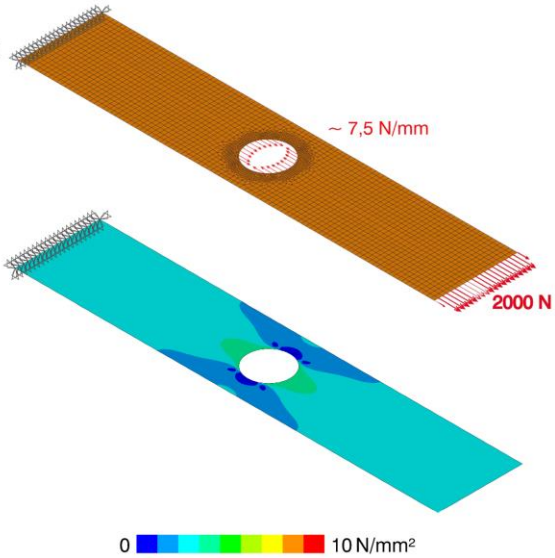
Untersuchung von Spannungen im Bereich von Öffnung bei Flächentragwerken

Untersuchung von Scheibe mit Öffnung

- Zusätzliche uniaxiale Belastung in Öffnung
  - Bspw. aktives Pneu
- Ansatz von 7,5 N/mm je Deckschicht
- Bereich der Öffnung
  - $\sigma_{\text{von-Mises}} = 4{,}9\ \text{N/mm}^2$



Pneumatischer textiler Aktor (ITV)



Christine Flaig 30

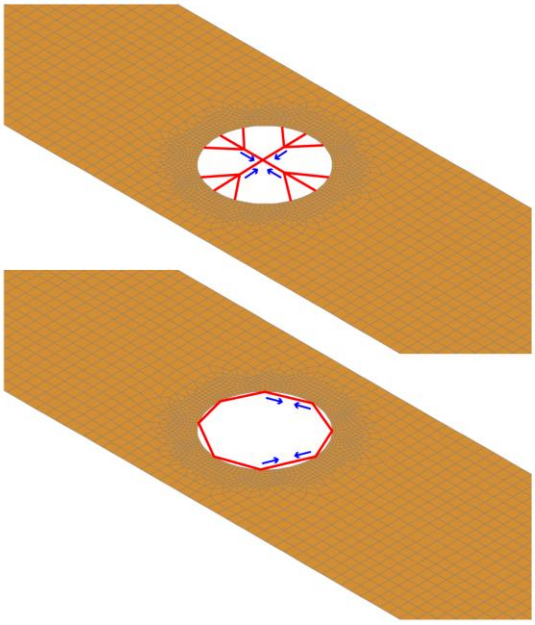
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Untersuchung von Spannungen im Bereich von Öffnung bei Flächentragwerken

Weitere Aktivierungsmöglichkeiten

- Aktivierung uniaxial/biaxial/radial
  - Flächige oder lineare Aktoren
- Aktivierung entlang des Randes
  - Aktive Seile
  - Flächige Aktoren entlang des Randbereichs

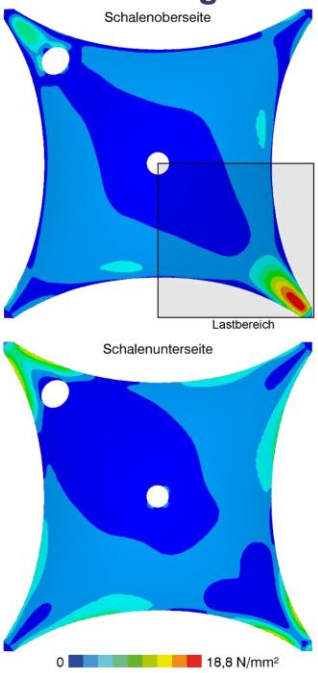


Christine Flaig 31

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Untersuchung von Spannungen im Bereich von Öffnung bei Schalentragwerken

- Öffnung am Auflager: 400 mm
- Öffnung in der Mitte: 300 mm
- Belastung: 960 N/m²
- Bereich der Öffnung
  - $\sigma_{von\text{-}Mises}$ = 7,1 N/mm²
- Max. Spannung
  - $\sigma_{von\text{-}Mises}$ = 18,8 N/mm²



Christine Flaig 32

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

- Es konnte ein Sicherheitskonzept für adaptive Tragwerke erarbeitet werden
- Die ökobilanzielle Betrachtung zeigte, dass die Stuttgart SmartShell positiver abschneidet als eine passive Betonschale
- Reduzierung und Homogenisierung der Spannungen in Stab- und Seiltragwerken und Ermöglichen der Nullverformung bei Seiltragwerken
- Erarbeitung verschiedener Formen zur Manipulation von Einwirkungen
- Reduzierung der Spannungen im Bereich von Öffnungen an Scheiben durch uniaxiale Aktivierung

Christine Flaig 33

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)" gefördert hat.

3.7 Herstellung intelligenter Konstruktionselemente durch Formgebung im teilflüssigen Materialzustand (Teilprojekt B3)

Riedmüller, K. R.; Liewald, M.
Institut für Umformtechnik (IFU)

AIDA
Europe
SCHULER
EITEL
IFU
Institut für Umformtechnik
Direktor: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Ziele des Teilprojekts B3
„Herstellung hybrider intelligenter Konstruktionselemente durch Formgebung im teilflüssigen Materialzustand“
• Umsetzung einer stofflichen und/oder konstruktiven „Intelligenz“ im Sinne kontrollierter Modifikationen von Werkstoff- bzw. Bauteileigenschaften
• Herstellung von hybriden Konstruktionselementen durch Kombination verschiedener Verstärkungskomponenten mit einer Leichtmetallmatrix
• Integration von Sensoren und Aktoren zur Realisierung adaptiver Konstruktionselemente
Gesamtdemonstrator: Intelligentes Schalentragwerk
Kim Riedmüller
3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vorgehensweise in der zweiten Förderphase

AP1:
Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

AP2:
Einschmieden hochfester metallischer Bauteilkomponenten

AP3:
Festlegen von Belastungscharakterisitiken

AP4:
Auswahl und Integration senso-rischer und aktorischer Elemente

AP5:
Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

AP6:
Entwicklung eines „nach-spannenden Hebelelements“

AP7:
Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung

Kim Riedmüller 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vorgehensweise in der zweiten Förderphase

AP1:
Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

AP2:
Einschmieden hochfester metallischer Bauteilkomponenten

AP4:
Auswahl und Integration senso-rischer und aktorischer Elemente

AP5:
Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

AP6:
Entwicklung eines „nach-spannenden Hebelelements“

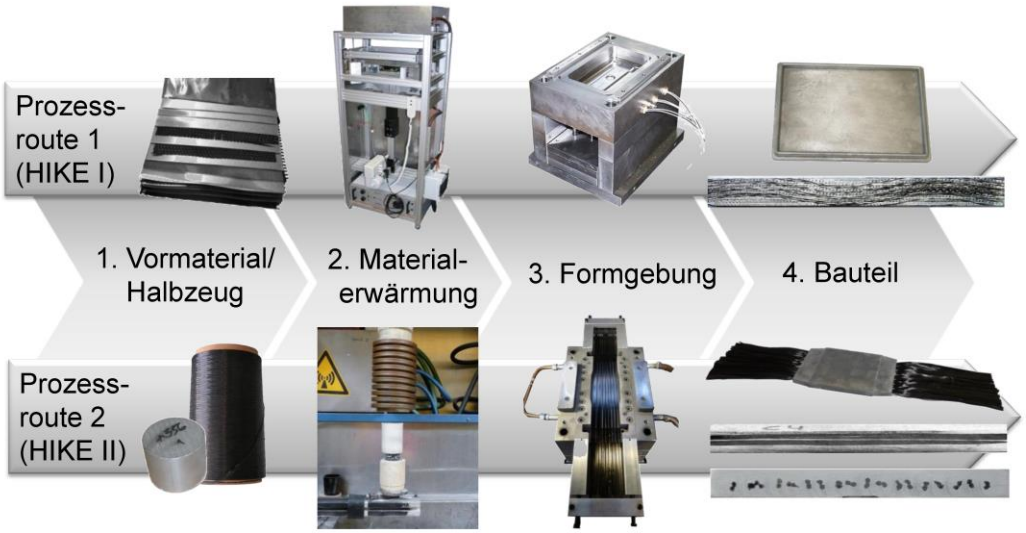
Kim Riedmüller 5

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

Prozessrouten zur Herstellung von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen



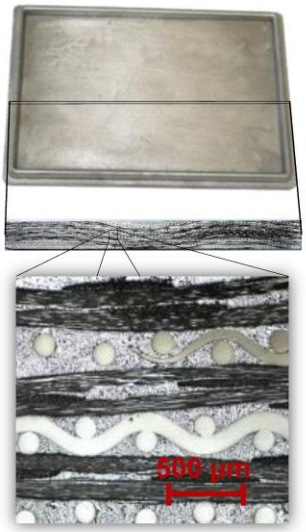
Kim Riedmüller 6

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

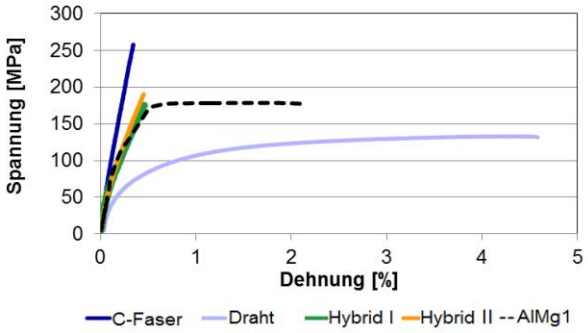
www.uni-stuttgart.de

Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

Ergebnisse der ersten Förderperiode



Probenvariante	V_F [%]	V_E [%]
AlMg1	-	-
Kohlenstofffasergewebe	19	-
Edelstahldrahtgitter	-	17
Hybrid I	10	8
Hybrid II	13	5



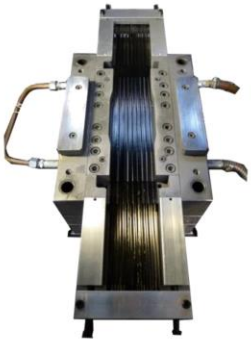
Kim Riedmüller 7

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Bauteilherstellung



	Carbon	Glas	Basalt	Keramik
Zugfestigkeit [N/mm²]	4.000	5.110	4.000	2.930
E-Modul [N/mm²]	230.000	88.000	92.000	373.000
Durchmesser Einzelfilament [mm]	0,007	0,017	0,017	0,011
Fläche Einzelfilament [mm²]	0,000038	0,00023	0,00023	0,000095
Anzahl Einzelfilament pro Strang	50000,00	4315,76	7920,31	2997,60
Fläche Strang [mm²]	1,92	0,98	1,80	0,28
Anzahl Stränge	8	16	8	54
Fläche Fasern in Bauteil	15,39	15,67	14,38	15,38
Faservolumenanteil in der Zugprobe	12,83%	13,06%	11,99%	12,82%

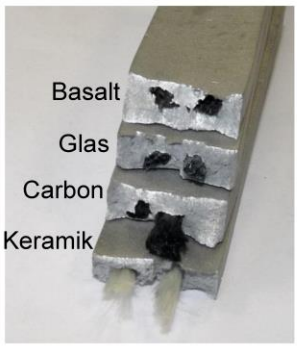
Kim Riedmüller 8

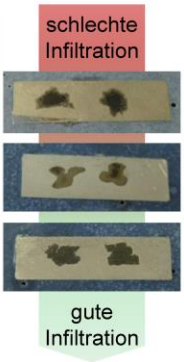
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Bauteilanalyse





Beeinflussende Prozessparameter:

- Eingesetzte Werkstoffe
- Materialerwärmung
- Materialeinbringung
- Werkzeugtemperierung
- Geschwindigkeitsprofils des Pressenstößels
- Faserspannung
- Faservolumenanteil

Theoretische Berechnung nach der Rule of Mixture (RoM)

$$R_m = R_{m(Faser)} \cdot Anteil_{(Faser)} + R_{m(Matrix)} \cdot Anteil_{(Matrix)}$$

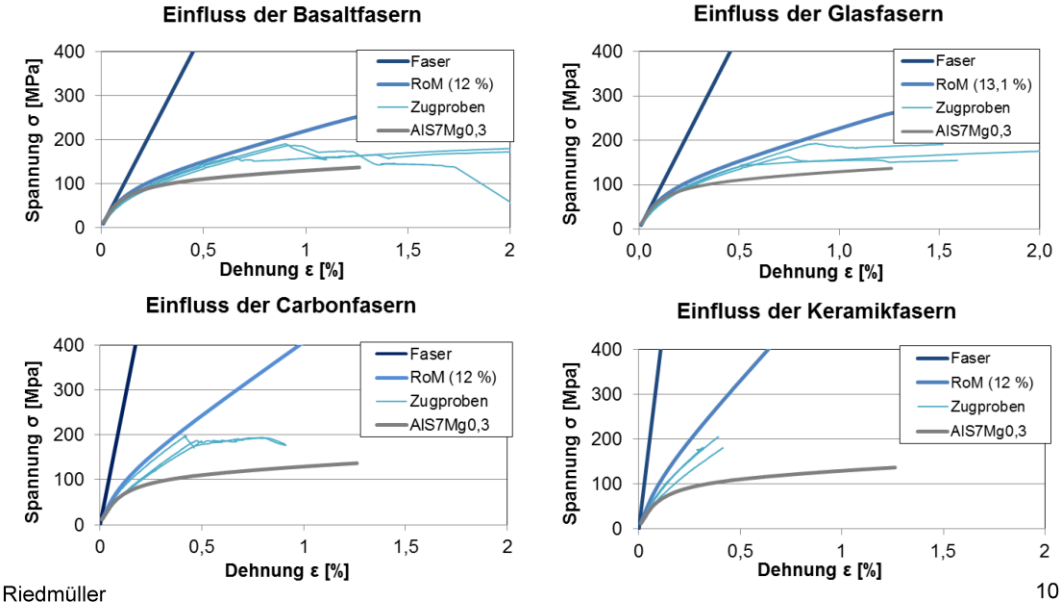
$$E = E_{(Faser)} \cdot Anteil_{(Faser)} + E_{(Matrix)} \cdot Anteil_{(Matrix)}$$

Kim Riedmüller 9

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Einbringung faserartiger Verstärkungskomponenten

Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Kennwertermittlung



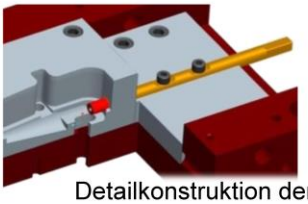
Kim Riedmüller 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

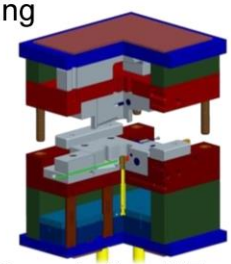
Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

Konzeptentwicklung und Werkzeugauslegung

Festlegung der Bauteilgeometrie

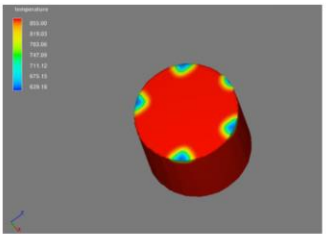


Detailkonstruktion der Werkzeugeinsätze

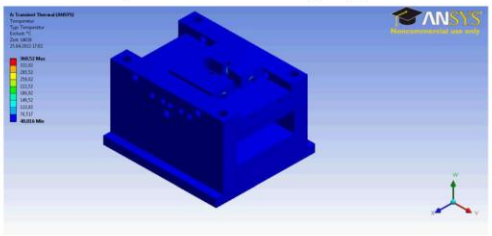


Gesamtaufbau WZ

Formfüllsimulation



Thermodynamische Auslegung WZ



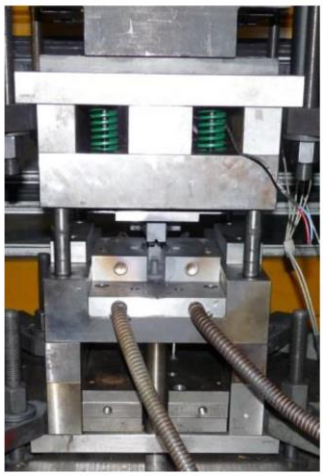
Kim Riedmüller 11

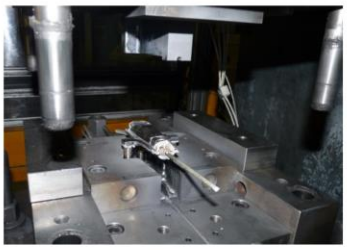
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

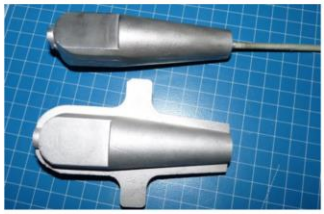
Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

Herstellung von Musterbauteilen





Prozessparameter:
- Rohteilerwärmung
- Werkzeugtemperierung
- Geschwindigkeitsprofil des Pressenstößels
- Einbringung/Ausführung Zugstab
- …



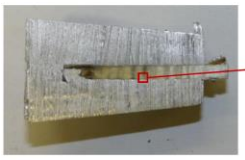
Kim Riedmüller 12

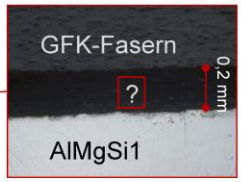
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

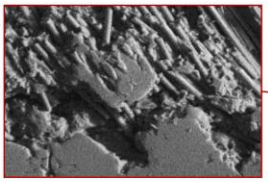
www.uni-stuttgart.de

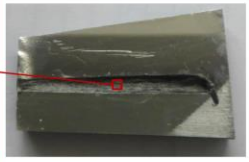
Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

Bauteilcharakterisierung









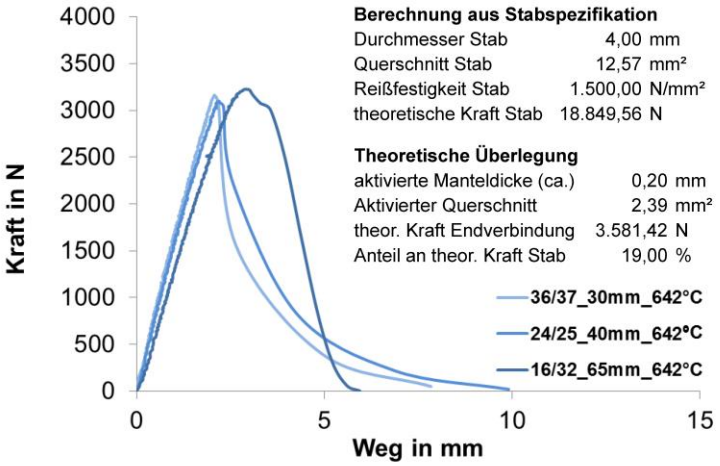
- Außenliegende Fasern im Mantelbereich der Zugstäbe wurden von der Metallmatrix infiltriert und die Polymer- durch die Aluminiummatrix ersetzt wurde.

Kim Riedmüller 13

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

Bauteilcharakterisierung



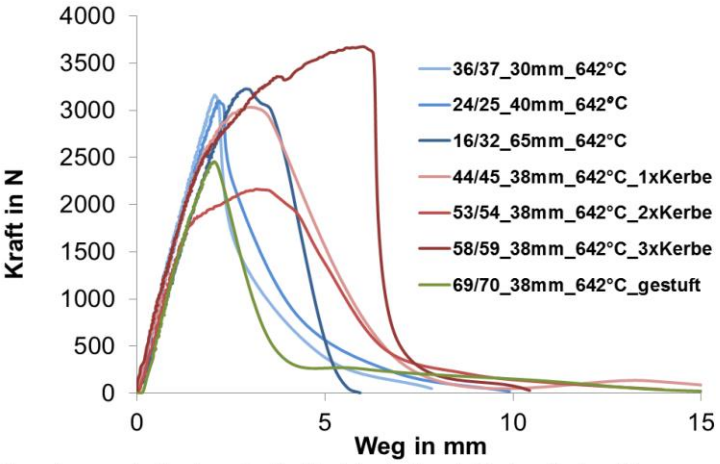
- Die erreichbaren Zugkräfte sind unabhängig von der gewählten Einschmiedelänge der Zugstäbe
- Es besteht eine Korrelation zur infiltrierten Querschnittsfläche des Zugstabes

Kim Riedmüller 14

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Entwicklung einer adaptiven Endverbindung für Zugstäbe

Bauteilcharakterisierung



- Mithilfe der durchgeführten Forschungsarbeiten konnte die Machbarkeit metallischer Endverbindungen für CFK-Zugstäbe mittels der Formgebung im teilflüssigen Zustand nachgewiesen werden
- Übertragbarkeit auf andere Kombinationen aus Leichtmetallmatrix und CFK-Komponenten möglich

Kim Riedmüller 15

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Entwicklung eines „nachspannenden Hebelelements“
Ergebnisse der ersten Förderperiode
Hebelwerkzeug I
Hebelwerkzeug II
Sensorsignal in V
Zeit in s
Kim Riedmüller
16

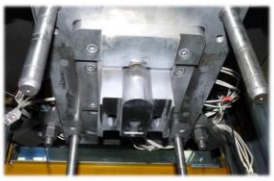
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Entwicklung eines „nachspannenden Hebelelements“
Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Werkzeugauslegung
Festlegung der Bauteilgeometrie
Detailkonstruktion der Werkzeugeinsätze
Gesamtaufbau WZ
Formfüllsimulation
Thermodynamische Auslegung WZ
Kim Riedmüller
17

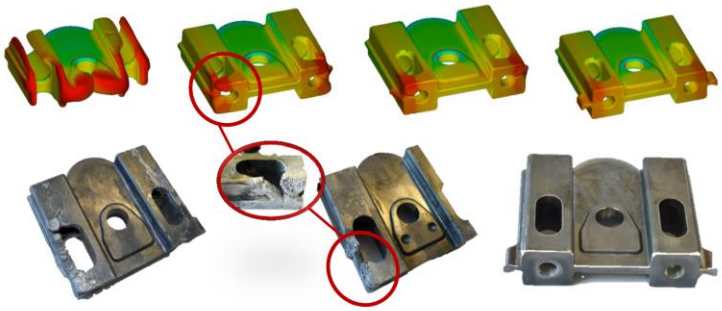
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Entwicklung eines „nachspannenden Hebelelements“

Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Bauteilherstellung





Prozessparameter:
- Rohteilerwärmung / Fest-/Flüssigphasenanteil
- Werkzeugtemperierung
- Geschwindigkeitsprofil des Pressenstößels
- Einbringung Hülsen
- ….

Kim Riedmüller 18

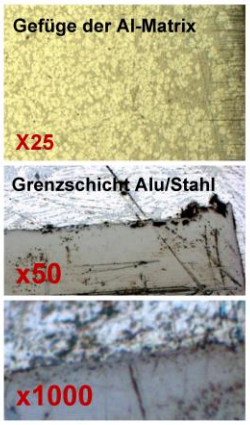
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

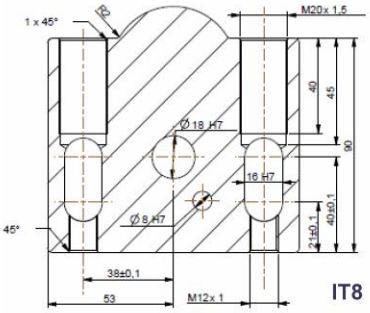
Entwicklung eines „nachspannenden Hebelelements“

Ergebnisse der zweiten Förderperiode - Bauteilcharakterisierung

Gefügeuntersuchung



Maßhaltigkeit der Bauteile



Bauteil	Messwerte Bohrung [mm]	Linke Passung [mm]	Rechte Passung [mm]
V6	17,97	15,95	15,96
V7	17,97	15,98	15,99
V8	17,98	15,97	15,96
V9	17,99	15,98	15,99

- Schliffe zeigen stoffschlüssige intermetallische Verbindungen
- Im Bauteil integrierte Bohrungen besitzen Toleranzklasse IT8

Kim Riedmüller 19

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Durchführung von Formgebungsversuchen zur Einbringung von höherfesten Metall- und Faserwerkstoffen in eine Leichtmetallmatrix
- Entwicklung einer metallischen Endverbindungen für GFK-Zugstäbe (Ø = 4 mm)
- Entwicklung eines Near-Net-Shape-Prozesses zur Herstellung eine hybriden, „nachspannenden Hebelelements“

Ausblick:

- Tiefergehende Erforschung der Integration faserartiger Verstärkungs-komponenten in Leichtmetallmatrizes
- Tiefergehende Erforschung zur Kombination von Leichtmetallmatrizes und GFK- bzw. CFK Komponenten mittels der Formgebung im teilflüssigen Zustand
- Weiterentwicklung des Herstellungsprozesses von hybriden Bauteilen mit integrierten Funktionen

Kim Riedmüller 20

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstrutktionsElemente (HIKE)” gefördert hat.

Kim Riedmüller 21

3.8 Regelungs- und Steuerungsmethodik für Systeme mit HIKE (Teilprojekt B4)

Heidingsfeld, M.; Sawodny, O.
Institut für Systemdynamik (ISYS)

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ergebnisse 1. Förderphase

Konzepte zur Steuerung- und Regelung von Systemen mit HIKE

- Verwendung konventioneller Aktoren
- Demonstration der grundsätzlichen Leistungsfähigkeit
  - Statische Adaption
  - Aktive Schwingungsdämpfung
- Optimierung des Systemdesigns
- Verifizierung am Demonstrator und Funktionsmuster

Michael Heidingsfeld 2

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Ziele 2. Förderphase

- Verwendung aktorischer HIKE
  - Mathematischer Modellierung neuartiger HIKE
  - Entwurf lokaler Regelungen
  - Integration in Demonstrator
- Erhöhung der Ausfallsicherheit
  - Diagnose von Sensor- und Aktorfehlern
  - Fehlerakkomodation durch Rekonfiguration
- Selbstorganisation von Systemen mit HIKE

Michael Heidingsfeld 3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ziele 2. Förderphase

- **Verwendung aktorischer HIKE**
  - Mathematischer Modellierung neuartiger HIKE
  - Entwurf lokaler Regelungen
  - Integration in Demonstrator
- Erhöhung der Ausfallsicherheit
  - Diagnose von Sensor- und Aktorfehlern
  - Fehlerakkomodation durch Rekonfiguration
- Selbstorganisation von Systemen mit HIKE

Michael Heidingsfeld 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Steuerung und Regelung des Demonstrators

Faltkernsandwich
IFB

Pneumatisches Textil
ITV

Nachspannender Hebel
IFU

Federaktor
IFT, ITV

Aktive Endverbindung
IFT

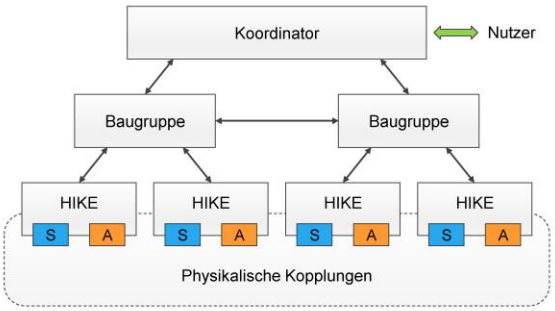
Leuchtgarne
ITV

Leuchtstab
IFT, ITV

Michael Heidingsfeld 5

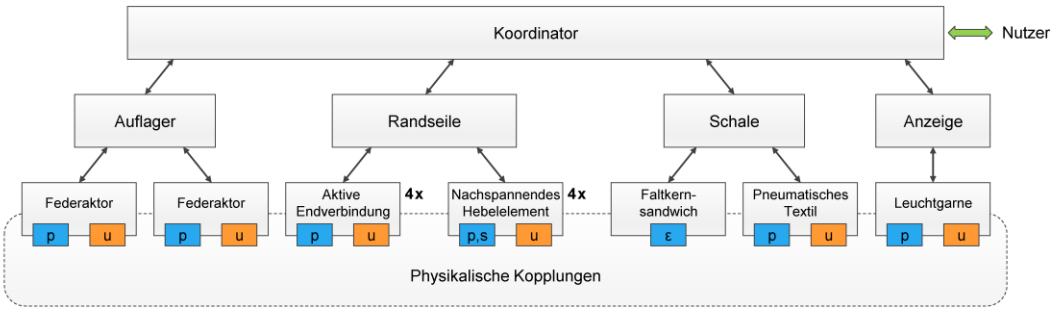
Ebenenkonzept

- Strukturierung der Steuerung und Regelung zur Verringerung der Komplexität
- Angelehnt an hierarchische Regelungsstruktur aus Prozessleittechnik

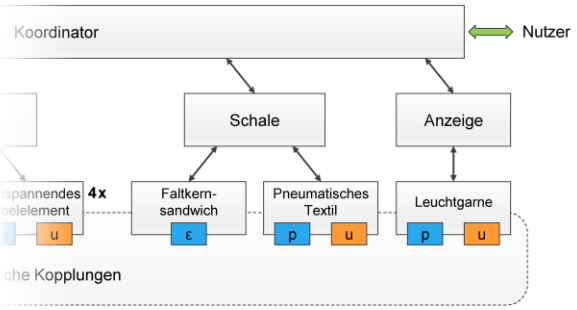


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Steuerung und Regelung des Demonstrators



Steuerung und Regelung des Demonstrators



Koordinaterebene:

- Bestimmung des vorliegenden Lastfalls
- Berechnung der geeigneten Aktivierung
- Verteilung der berechneten Aktivierung auf die Baugruppen

Baugruppenebene:

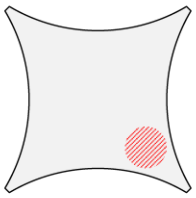
- Berechnung der benötigten Stellkräfte für die HIKE aus der Aktivierung
- Bereitstellung einer vereinfachten Schnittstelle für den Koordinator

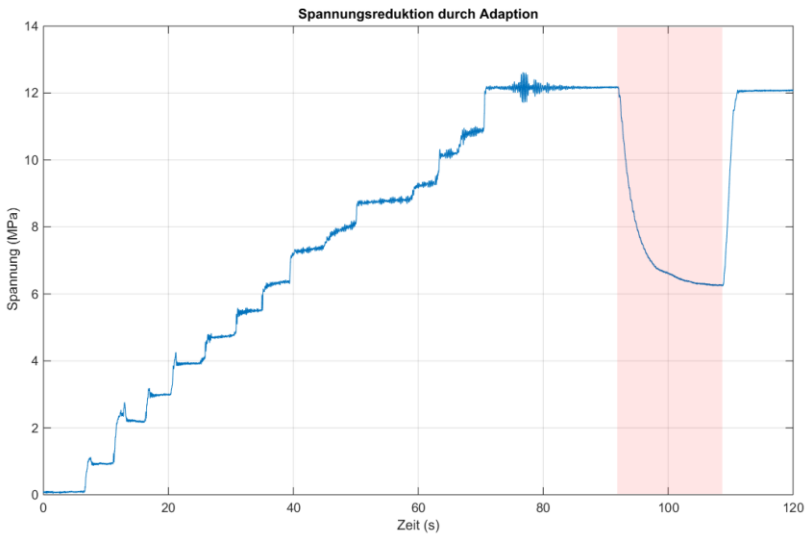
HIKE-Ebene:

- Umsetzung der geforderten Stellkräfte
- Bereitstellung einer vereinfachten Schnittstelle für die Baugruppe

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Steuerung und Regelung des Demonstrators



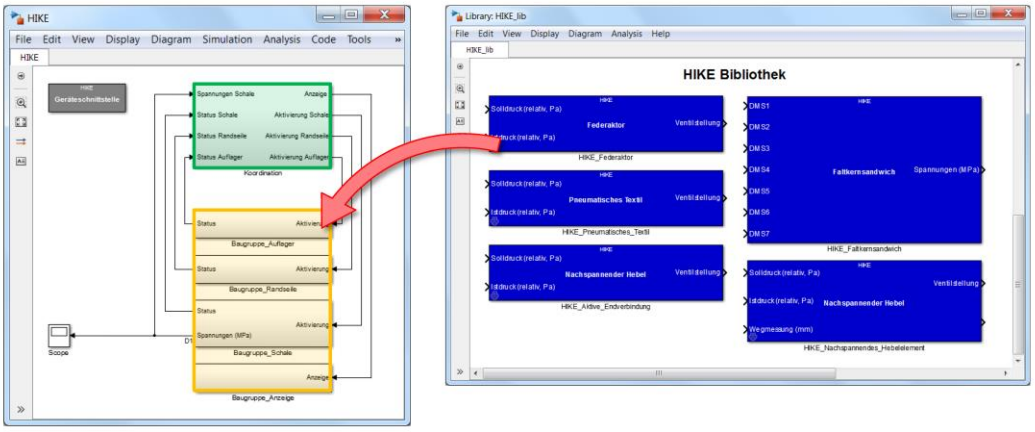


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Steuerung und Regelung des Demonstrators

- Softwarestruktur spiegelt das Ebenenkonzept wieder
- Simulink-Bibliothek für HIKE



Michael Heidingsfeld 10

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

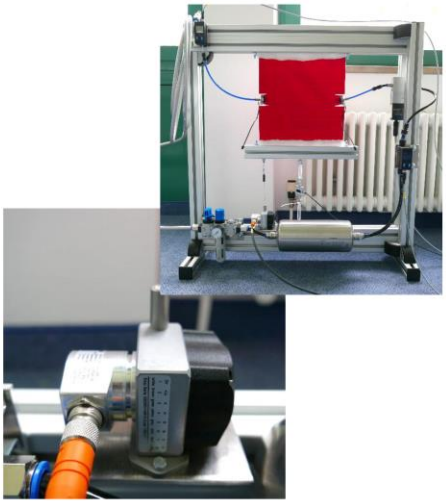
www.uni-stuttgart.de

Regelung pneumatischer Textilien

Separater Versuchsaufbau für Modellbildung und Regelungsentwurf

Stellgrößen
- Ventilstellung
- Versorgungsdruck

Messgrößen
- Druck
- Volumenstrom
- Weg (Verkürzung des Kissens)
- Kraft



Michael Heidingsfeld 11

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Regelung pneumatischer Textilien

Experimentelle und physikalisch motivierte Modellbildung („Grey-Box-Modell“)

Mechanisches Teilsystem

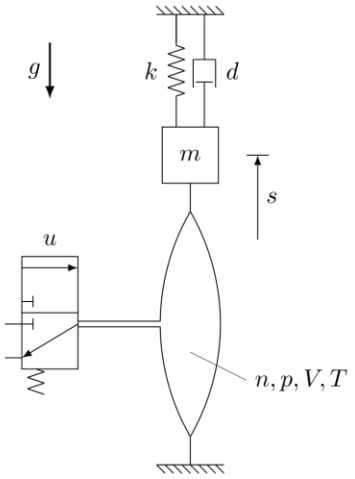
$$m(\ddot{s} + g) + d\dot{s} + ks + F = 0$$

Pneumatisches Teilsystem

$$pV = nRT$$

Kraft- und Volumencharakteristik des Textils

$$F = F(s, p), \qquad V = V(s, p)$$

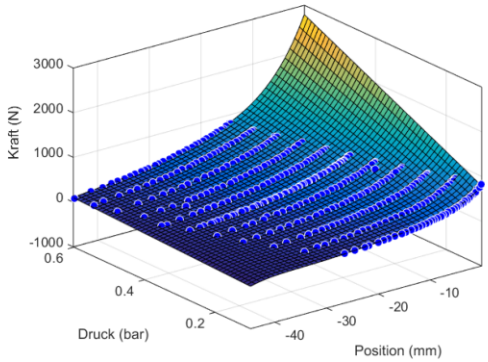


Michael Heidingsfeld 12

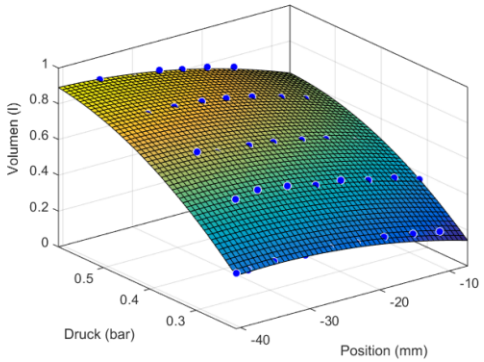
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Regelung pneumatischer Textilien

Experimentelle Ermittlung der Kraft- bzw. Volumencharakteristik



Weg-Druck-Kraft (poly51)

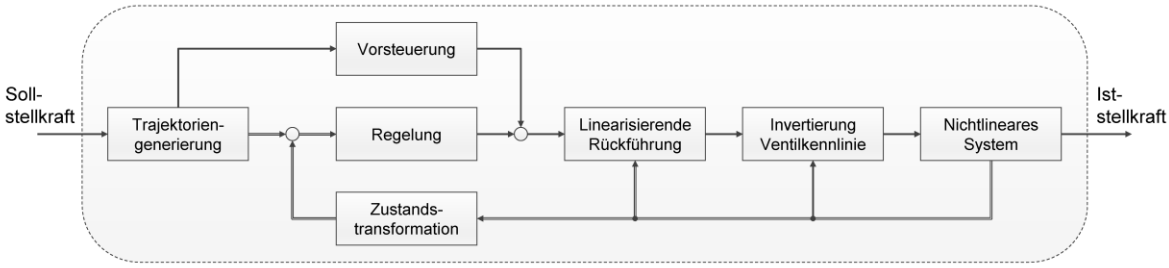


Weg-Druck-Volumen (poly22)

Michael Heidingsfeld 13

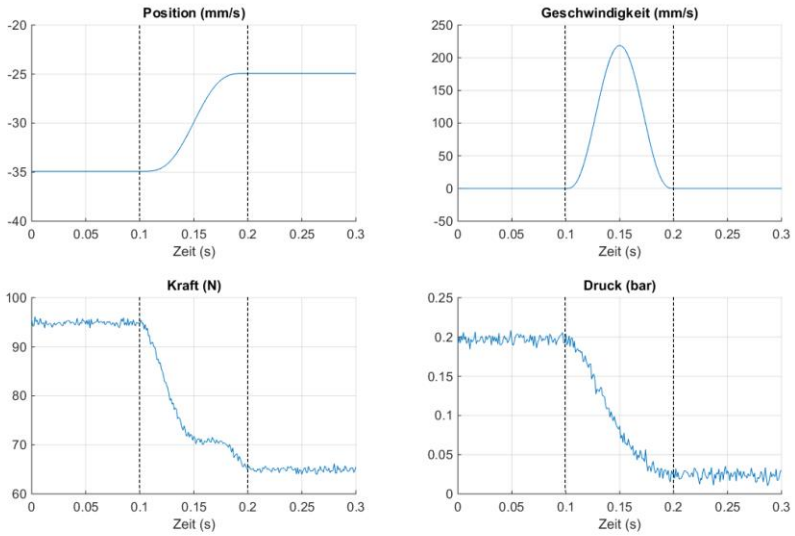
Regelung pneumatischer Textilien

- Flachheitsbasierte Folgeregelung in Zwei-Freiheitsgrade-Struktur
- Einfaches Ein/Ausgangsverhalten aus Sicht der übergeordneten Regelung



FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Regelung pneumatischer Textilien



FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Ziele 2. Förderphase

- Verwendung aktorischer HIKE
  - Mathematischer Modellierung neuartiger HIKE
  - Entwurf lokaler Regelungen
  - Integration in Demonstrator
- **Erhöhung der Ausfallsicherheit**
  - Diagnose von Sensor- und Aktorfehlern
  - Fehlerakkomodation durch Rekonfiguration
- Selbstorganisation von Systemen mit HIKE

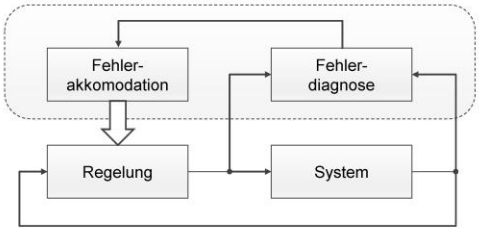
Michael Heidingsfeld 16

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Fehlertolerante Regelung

Fehlertolerante Regelung als Beitrag zur Erhöhung der Ausfallsicherheit

Voraussetzung: Redundante Aktorik und Sensorik
- 9 Hydraulikzylinder
- 14 Dehnmessstreifen



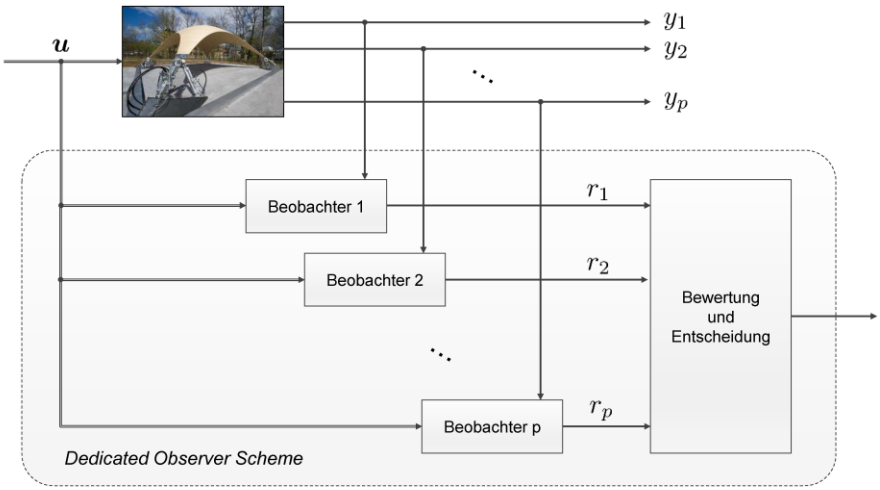
Michael Heidingsfeld 17

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Sensorfehlerdiagnose

Grundidee: Fortlaufender Vergleich des realen Verhaltens mit Modellverhalten

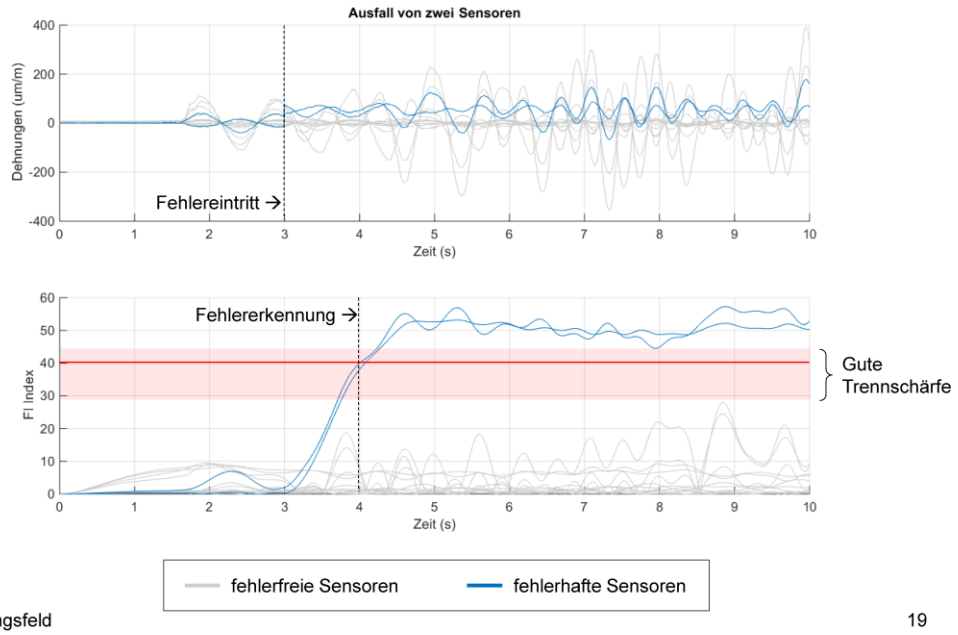


Michael Heidingsfeld 18

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Sensorfehlerdiagnose



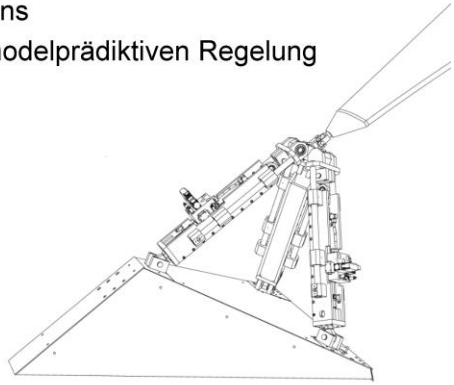
Michael Heidingsfeld 19

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Fehlerakkomodation

Rekonfiguration der Regelung bei Ausfall einzelner Aktoren

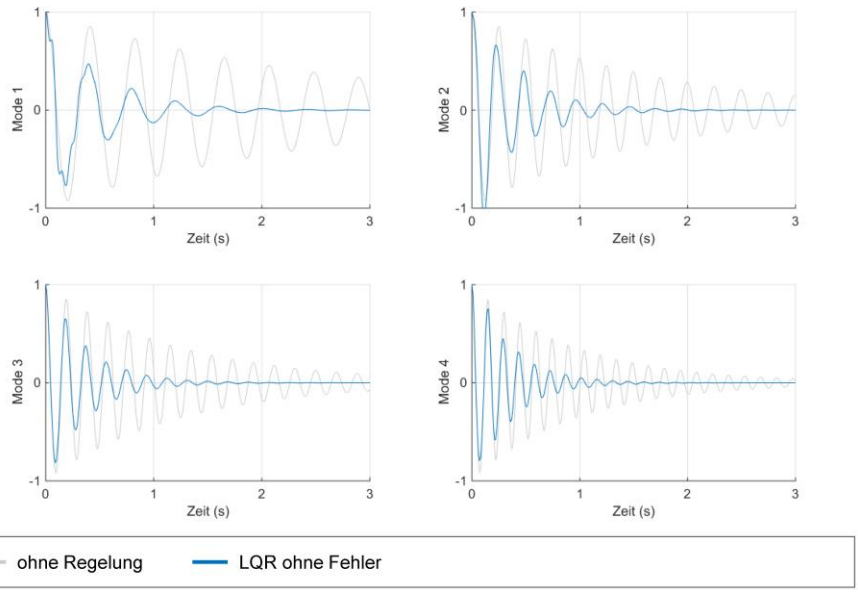
- Interpretation der Fehler als nichtlineare Eingangsbeschränkungen
- Formulierung als zeitvariantes Optimalsteuerungsproblem
- Lösung mit Hilfe eines Riccati-Iterationsverfahrens
- Echtzeitfähige Implementierung in Form einer modelprädiktiven Regelung



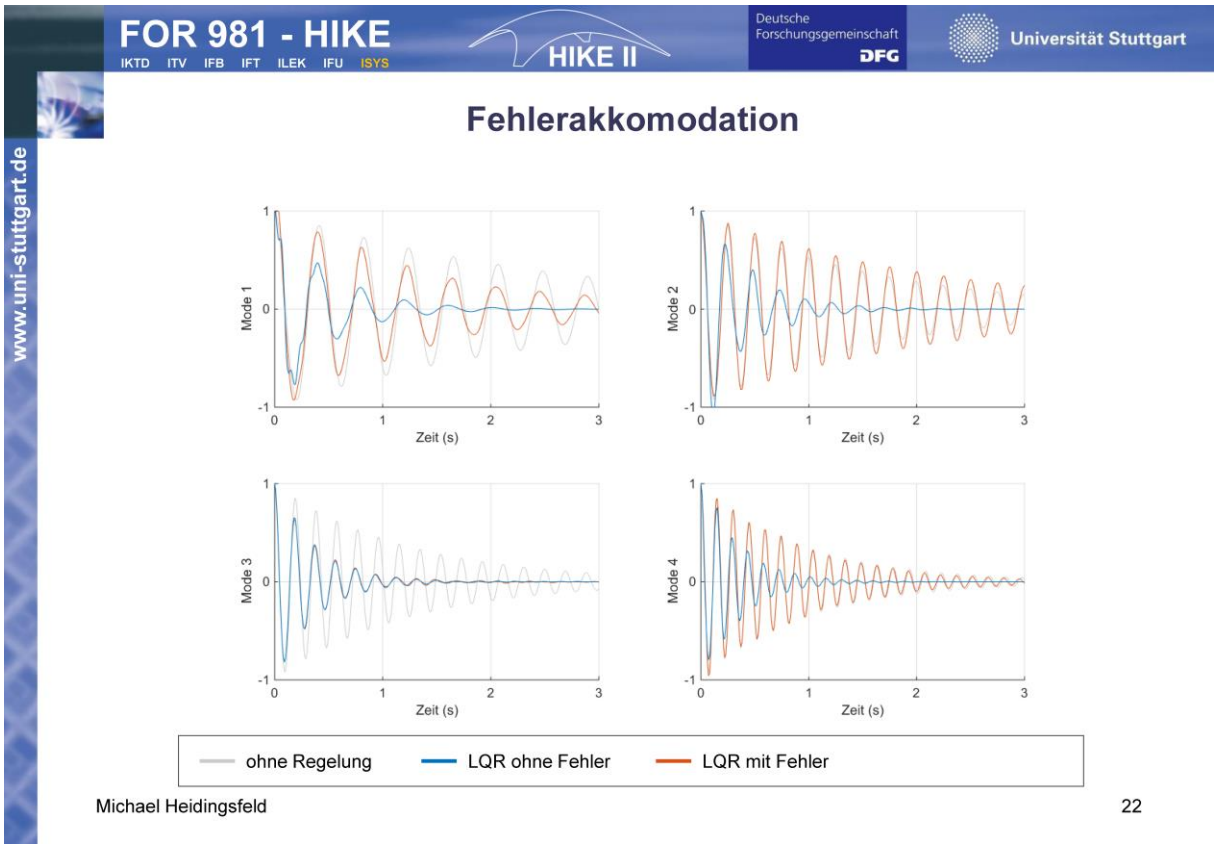
Michael Heidingsfeld 20

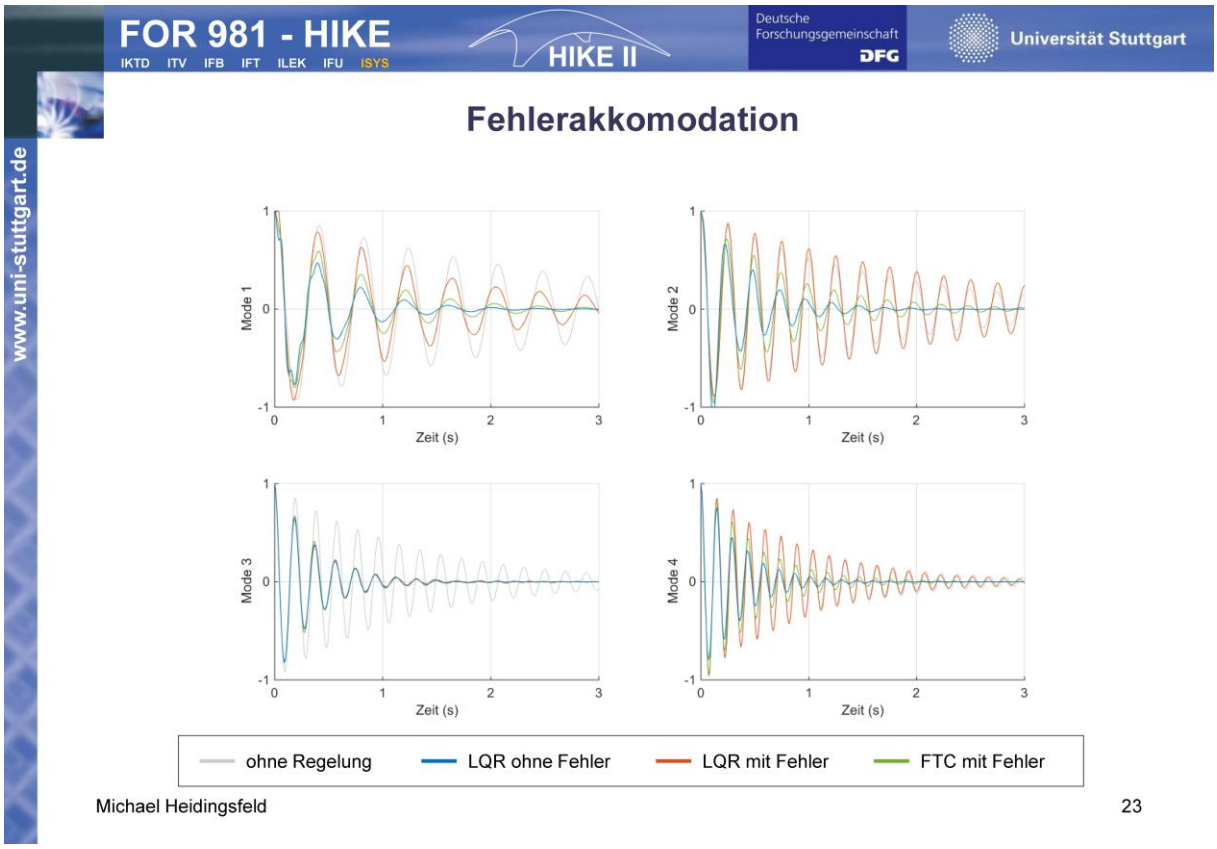
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Fehlerakkomodation



Michael Heidingsfeld 21


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Fehlerakkomodation
Mode 1
Mode 2
Mode 3
Mode 4
Zeit (s)
ohne Regelung
LQR ohne Fehler
LQR mit Fehler
Michael Heidingsfeld
22


FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de
Fehlerakkomodation
Mode 1
Mode 2
Mode 3
Mode 4
Zeit (s)
ohne Regelung
LQR ohne Fehler
LQR mit Fehler
FTC mit Fehler
Michael Heidingsfeld
23

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

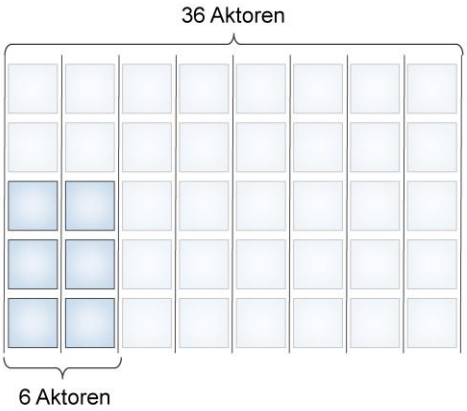
Ziele 2. Förderphase

- Verwendung aktorischer HIKE
  - Mathematischer Modellierung neuartiger HIKE
  - Entwurf lokaler Regelungen
  - Integration in Demonstrator
- Erhöhung der Ausfallsicherheit
  - Diagnose von Sensor- und Aktorfehlern
  - Fehlerakkomodation durch Rekonfiguration
- **Selbstorganisation von Systemen mit HIKE**

Michael Heidingsfeld 24

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Adaptives Fassadenelement



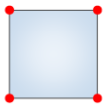
Ausblick auf geplante Forschung:

- Untersuchung von Konzepten zur automatischen Generierung von Baugruppen und Baugruppenmodellen
- Untersuchung von selbstorganisierenden Regelungskonzepten

Michael Heidingsfeld 25

Adaptives Fassadenelement

- Parametrische Port-Hamilton Modellierung der einzelnen Elemente

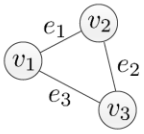

Scheibe
4-Port Modell

Seil
n-Port Modell

Rahmen
n-Port Modell

Aktor
2-Port Modell

- Automatisierte Synthese von Gesamtsystemmodell aus Verschaltung der Elementmodelle
- Systemtheoretische und graphentheoretische Analyse



- Baugruppengenerierung und automatisierter Regelungsentwurf

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

- Integration aktorischer HIKE in Demonstrator
- Modellbasierter Entwurf lokaler Regelungen auf HIKE-Ebene ermöglicht Vereinfachung des Ein-Ausgangsverhalten für übergeordnete Regelung
- Fehlertolerante Regelung kann durch Nutzung der Redundanz einen Beitrag zur Erhöhung der Ausfallsicherheit leisten.
- Untersuchung selbstorganisierender Regelung am Funktionsmuster „Adaptives Fassadenelement“

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DFG Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, welche die Arbeiten im Rahmen der Forschergruppe FOR 981 „Hybride Intelligente KonstruktionsElemente (HIKE)" gefördert hat.

3.9 Hybride Intelligente Konstruktionselemente (HIKE) - Zusammenfassung

Binz, H.

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Zielerreichung der Forschergruppe für 2012 – 2015

	A1 IKTD	A3 IFB	A4 ITV	B1 IFT	B2 ILEK	B3 IFU	B4 ISYS
Funktionserweiterung (Aktorik, Sensorik)	+/(✓)	+/✓	+/✓	+/✓		+/✓	+/✓
Dezentrale Intelligenz (Kommunikation, Selbstorganisation)	+/(✓)	o	o	o	+/(✓)		+/(-)
Sicherheitskonzepte	+/✓		o	+/(✓)	+/✓	o	+/✓
Kombination von HIKE zu intelligenten Baugruppen/Systemen	o	o	+/✓	+/✓	+/✓	o/+ (✓)	+/(✓)
Erweiterung Statik → Dynamik	o	+/✓	o	o	+/✓	o	+/✓
Serientauglichkeit/ Produktionstechnologie	+/✓	+/✓	o	+/✓	o	o	
Neue HIKE	o	+/✓	+/✓	+/✓	o	+/✓	o
Exemplarische Maschinenbauliche Anwendungen		o	+/✓	o		+/✓	o
Übertragbarkeit in andere Disziplinen (Luft-&Raumfahrt, Bauwesen)	+/✓	o	o	o	+/✓		+/✓

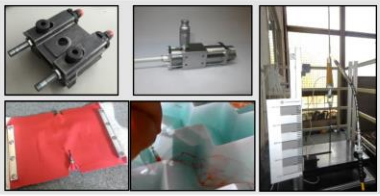
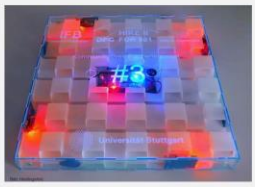
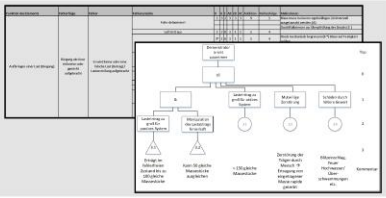
Legende: +: wesentliches TP-Ziel; o: Nebenziel des TP ; leere Zelle: kein Zielbeitrag
✓: Ziel erreicht; (✓): Ziel teilw. erreicht; (-) Ziel nur bedingt erreicht; -: Ziel nicht erreicht

H. Binz (IKTD) 2

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

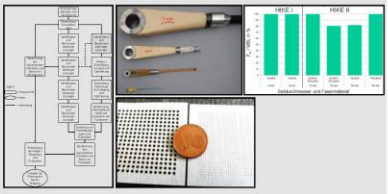
Zusammenfassung

Ziele	(Beispiel-)Beiträge
Funktions-erweiterung (Aktorik, Sensorik)	Nachspannender Hebel, aktorische Stabendverbindung, sensorischer pneumatischer Textilaktor, 3D-Strömungsverhalten der Faltkernstrukturen, aktorisches Seil 
Dezentrale Intelligenz (Kommunikation, Selbstorganisation)	Kommunikatives Flächenelement 
Sicherheitskonzepte	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA), Fehlerbaumanalyse FTA 

H. Binz (IKTD) 3

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

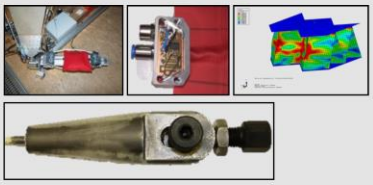
Zusammenfassung

Ziele	(Beispiel-)Beiträge	
Kombination von HIKE zu intelligenten Baugruppen/ Systemen	Federaktor (Glasfaserverbund-stäbe und sensorischer pneumatischer Textilaktor)	
Erweiterung Statik → Dynamik	Adaptives Fassadenmodul	
Serientauglichkeit/ Produktions-technologie	Entwicklungsprozess, Größenein-flussuntersuchungen am Seil, berührungslose Feinstrukturierung mittels Laser	

H. Binz (IKTD) 4

FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart
www.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Ziele	(Beispiel-)Beiträge	
Neue HIKE	Federaktor, sensorischer pneuma-tischer Textilaktor, neue Faltkern-strukturen und Ermittlung ihrer Eigenschaften, metallische Endverbindung für GFK-Stäbe	
Exemplarische Maschinenbauliche Anwendungen	Metallische Endverbindung für GFK-Stäbe, nachspannender Hebel	
Übertragbarkeit in andere Disziplinen (Luft-&Raumfahrt, Bauwesen)	Entwicklungsprozess, Gestaltungsrichtlinien, Informations- / Wissensbasis, Sicherheitskonzepte	

H. Binz (IKTD) 5

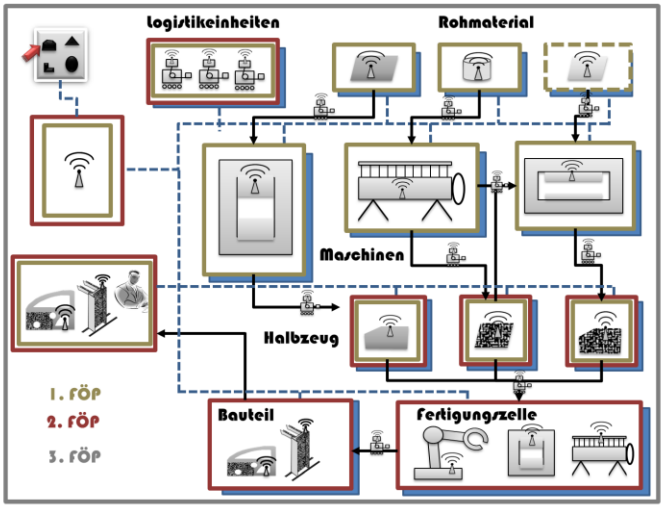
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Neue Projekte

SFB SPIM („Selbstorganisierende Produktionsprozesse im Maschinenbau, SPIM)

- Selbstständige Organisation der Produktion durch Kommunikation der Halbzeuge und Werkstücke mit Produktionsmaschinen und -anlagen
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit von ca. 15 Instituten der Universität Stuttgart



H. Binz (IKTD) 6

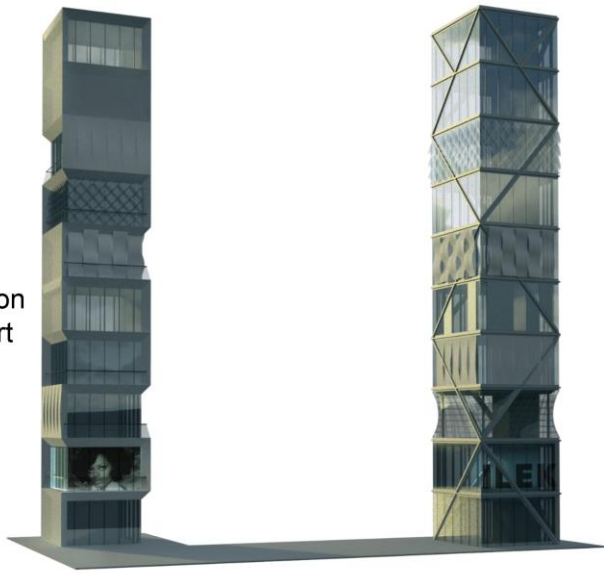
FOR 981 - HIKE
IKTD ITV IFB IFT ILEK IFU ISYS
HIKE II
Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG
Universität Stuttgart

www.uni-stuttgart.de

Neue Projekte

SFB 1244:
Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen

- Untersuchung des Potenzials adaptiver Elemente und Strukturen für Tragwerke, Hüllsysteme und Innenausbauten
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit von 16 Instituten der Universität Stuttgart



H. Binz (IKTD) 7

Danksagung

Die Forschergruppe 981 („Hybride Intelligente Konstruktions-elemente“, (HIKE)) bedankt sich bei

- der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung der Forschergruppe,
- dem Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart (Diskussionen zum Thema Sicherheitstechnik),
- dem Institut für Aerodynamik und Gasdynamik (Unterstützung bei den Strömungssimulationen),
- dem Lehrstuhl für Bauphysik - GaBi (Energetische Untersuchungen) sowie
- den Projektbeteiligten für die gute und produktive Zusammenarbeit

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung der Forschergruppe 981 (Hybride Intelligente Konstruktionselemente, HIKE).

ISBN-13: 978-3-922823-92-6