

# HOCH- SCHULPREIS

des Bayerischen Bauindustrieverbandes

2022

# Inhalt

## Digitales Planen und Bauen

Seite 4

Vorwort .....	3
CAD-integrierte Isogeometrische Analyse und Entwurf .....	4
Automatisierte Baufortschrittskontrolle .....	6
Klassifizierung der Level of Geometry von Bauelementen mit Deep Learning .....	8

## Nachhaltiges Bauen

Seite 10

Konzept natürlicher Reisschalenaschen als Zusatzstoff für ökologische Betone .....	10
Numerische Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit von Spannbetonbrücken .....	12
Abstraktion des Punktwolken-Skeletts .....	14

## Innovative Materialien und Konstruktionen

Seite 16

Außerplanmäßig beanspruchte Kehlnähte dichtgeschweißter Hohlkästen .....	16
Wandelbare Deckungssysteme .....	18
Jansen Mechanismus - Analyse und Simulation .....	20
Impressum .....	22

# Die Bauindustrie Bayern gratuliert herzlich allen Preisträgern

Die Technische Universität München (TUM), speziell die Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt sowie die Fakultät Architektur, pflegen seit jeher einen intensiven Austausch mit dem Bayerischen Bauindustrieverband e.V.. Dieser Diskurs zwischen Theorie und Praxis, den frischen Ideen und Forschungsprojekten der Studierenden und Promovierenden gepaart mit dem Know-How der erfahrenen Unternehmer ist sehr wichtig, um der Branche Impulse für die Zukunft zu geben.

Wir befinden uns in der glücklichen Lage die Spitzenforschung einer international beachteten Excellence-Universität vor der Haustür zu haben und möchten deshalb dem Nachwuchs der Branche umso mehr demonstrieren, dass seine Forschungsprojekte auch hierzulande große Anerkennung finden.

Deshalb freuen wir uns sehr, an jeweils drei wissenschaftliche Arbeiten der zukunftsweisenden Kategorien „Digitales Planen und Bauen“, „Nachhaltiges Bauen“, „Innovative Materialien und Konstruktionen“ den „Hochschulpreis der Bayerischen Bauindustrie“ zu verleihen.

Zudem bedanken wir uns sehr herzlich bei der hochkarätig besetzten Jury aus Professoren der TUM School of Engineering and Design.

Die Bauindustrie Bayern gratuliert herzlich allen Preisträgern.

Mit besten Grüßen



**Thomas Schmid**

Hauptgeschäftsführer | Bayerischer Bauindustrieverband e.V.

## **CAD-integrierte Isogeometrische Analyse und Entwurf**

Die Hauptziele der Dissertation sind Vereinfachung und Optimierung des Entwurfsprozesses im Leichtbau. In der konventionellen Entwurfskette wird zuerst eine Form vom Designer entworfen, die dann vom Ingenieur baubar gestaltet wird. Für diesen oftmals iterativen Prozess verwenden beide Akteure unabhängige digitale Modelle. Änderungen und Ergebnisse müssen manuell übertragen werden. Um diese sequenzielle Kette interaktiver zu gestalten, wurde die innovative Methode der isogeometrischen Analyse (IGA) angewandt. Die Grundidee ist die Verwendung des initialen, digitalen Entwurfsmodells aus dem CAD (Computer-Aided-Design) mit NURBS auch direkt für die numerische Analyse durch den Ingenieur, um die zwei getrennten Arbeitswelten näher zusammen zu bringen. Um diesen nahtlosen Prozess in der Praxis etablieren zu können, musste zunächst der isogeometrische Baukasten mit allen relevanten Strukturtypen und deren Interaktionen methodisch vervollständigt werden.

Die Verzahnung von Geometrieentwurf und Analyse, auch schon in frühen Entwurfsphasen, erlaubt nicht nur die Vereinigung diverser Entwurfsaufgaben, sondern ermöglicht auch verbessertes Design, da die Methoden der jeweils anderen Welt schon während der Arbeit im eigenen Prozess zur Verfügung stehen. So hat der Ingenieur z.B. Zugriff auf die vielseitigen Funktionen des CAD und der Entwerfer erhält direkt mechanisches Feedback zu seiner Geometrie. Dies ermöglicht eine bessere Synchronisation und einen vielseitigeren Informationsaustausch und führt letztendlich zu einer gesteigerten Produktivität und besseren Produkten.

Zusätzlich kann das Modell auch parametrisch aufgebaut werden, sodass die komplette Struktur über logische Operationen in Abhängigkeit verschiedener geometrischer und struktureller Parameter, wie Länge, Höhe oder Festigkeit, erstellt werden kann. Durch die Variation dieser Parameter können viele Abwandlungen des Grundkonzeptes automatisiert untersucht und optimiert werden.

## Fazit

Die parametrische CAD-integrierte Analyse bereichert insbesondere den Entwurf leichter Tragwerke, da diese durch eine hohe Interaktion von Form und Kraft geprägt sind und keine getrennte Betrachtung erlauben. Wird eine entsprechende Geometrie gewählt, können große Spannweiten mit geringem Materialeinsatz überbrückt werden. Der fließende Übergang zwischen Entwurf und Analyse erleichtert zudem die Evaluierung neuer Ansätze und Ideen von der frühen Entwurfsphase bis in die finale Umsetzung.

## Ausblick

Zusammen mit einem Ingenieurbüro wurde ein frei verfügbares, CAD-integriertes, parametrisches Berechnungsprogramm für die mechanische Evaluierung von Tragwerken und Strukturen erarbeitet. Gerade im Bauwesen hat der vorgeschlagene Entwurfsprozess enormes Potential, da die Bauwirtschaft als eine der ressourcenintensivsten Industrien einen großen Einfluss auf die natürliche und soziale Umwelt. Die Technik findet außerdem Anklang in vielen weiteren Disziplinen, wie dem Automobilbau und Produktdesign.

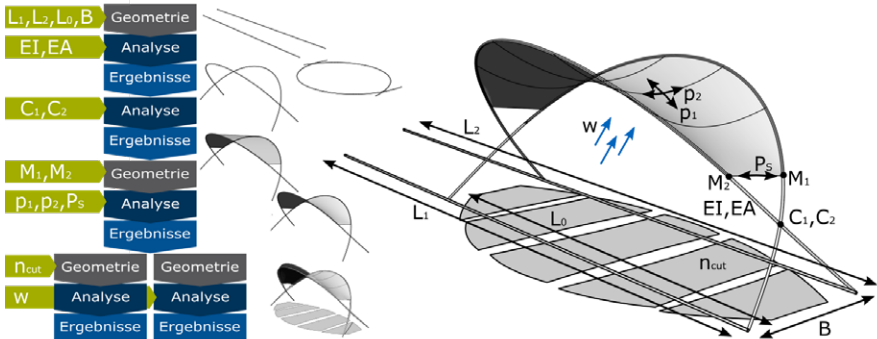
## Profil

Dr. Anna Bauer

Lehrstuhl für Statik, TUM

am.bauer@tum.de

[www.kiwi3d.com](http://www.kiwi3d.com)



## Automatisierte Baufortschrittskontrolle

Die Digitalisierung der Baubranche hat eine Vielzahl neuer Optimierungsmöglichkeiten geschaffen. Trotz sorgfältiger Planung kann sich der Baufortschritt durch unvorhersehbare Einflüsse wie Lieferschwierigkeiten, Planungsfehler oder Witterungseinflüsse verzögern. Zudem verlangen Bauherren die Einhaltung von Terminen, wobei zu prüfen ist, ob die Subunternehmer die vertraglich vereinbarten Liefer- und Fertigstellungstermine einhalten. All dies wird durch eine kontinuierliche Überwachung des Baufortschritts sichergestellt, wobei der Qualitätskontrolle und insbesondere der Termintreue eine Schlüsselrolle zukommt. Dieser Prozess wird heutzutage meist manuell durchgeführt und ist daher sehr mühsam, zeitaufwendig und fehleranfällig, was zu kostspieligen Planungsänderungen führen kann.

Der in dieser Dissertation entwickelte Forschungsansatz konzentriert sich auf die Verwendung von dreidimensionalen Punktwolken, die den Ist-Zustand eines Gebäudes darstellen. Dazu werden Bilder, die z.B. von Drohnen aufgenommen wurden, verwendet, um mit photogrammetrischen Methoden Punktwolken zu erzeugen. In dem entwickelten Ansatz werden diese Punktwolken mit der digitalen Gebäudegeometrie abgeglichen, um fertige oder im Bau befindliche Bauteile erkennen zu können. Diese Ergebnisse werden daraufhin mit dem Planungszustand sowie den vorhandenen 4D-Prozessinformationen abgeglichen.

Um die Genauigkeit des Erkennungsprozesses weiter zu erhöhen, werden Verschattungsanalysen auf Basis der Kamerapositionen durchgeführt. Die hier angewandten Computer Vision-Methoden werden mit Algorithmen des maschinellen Lernens eingesetzt, um automatisierte Objektdetektionen auf Bilddaten durchzuführen und aus den Bilddaten zusätzliche Erkenntnisse über das Vorhandensein einzelner Komponenten zu gewinnen. Auf Basis der zeitlichen Daten kann eine abschließende Aussage über den aktuellen Baufortschritt getroffen werden.

## Fazit

Die entwickelten Methoden wurden anhand mehrerer realer Bauprojekte verifiziert und weiter optimiert. Es konnten Genauigkeiten von über 90% bei der Detektion der einzelnen Bauteile erreicht werden. Zudem kann das erforschte Verfahren der Bauteilprojektion auf Bildebene zur Datengenerierung für neuronale Netze genutzt werden. Mit den entwickelten Methoden ist es möglich geworden, die Automatisierung in der Baufortschrittskontrolle deutlich zu erhöhen.

## Ausblick

Die Automatisierung der Baufortschrittskontrolle ermöglicht es, den Daten- und Informationsfluss von Bauprojekten weiter zu digitalisieren. Dadurch können neue Prozesse entwickelt werden, welche durch ein kontinuierliches Monitoring frühzeitig Fehler im Prozessablauf aber auch Abweichungen vom Planungsstand identifizieren können. Um dies weiter voranzutreiben, ist es nötig, größere Datenmengen von realen Bauprojekten zu erfassen und diese mittels Big Data Methoden zu analysieren und auszuwerten.

## Profil

Dr.-Ing. Alexander Braun

Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation, TUM

[alex.braun@tum.de](mailto:alex.braun@tum.de)

[bit.ly/3BqbJiO](https://bit.ly/3BqbJiO)



ID	Name	Start	End	Typ	Größe	Einheit
1	1. Bauteil	2023-01-01	2023-01-15	Struktur	1000	m³
2	2. Bauteil	2023-01-15	2023-02-01	Struktur	1000	m³
3	3. Bauteil	2023-02-01	2023-02-15	Struktur	1000	m³
4	4. Bauteil	2023-02-15	2023-03-01	Struktur	1000	m³
5	5. Bauteil	2023-03-01	2023-03-15	Struktur	1000	m³
6	6. Bauteil	2023-03-15	2023-04-01	Struktur	1000	m³
7	7. Bauteil	2023-04-01	2023-04-15	Struktur	1000	m³
8	8. Bauteil	2023-04-15	2023-05-01	Struktur	1000	m³
9	9. Bauteil	2023-05-01	2023-05-15	Struktur	1000	m³
10	10. Bauteil	2023-05-15	2023-06-01	Struktur	1000	m³
11	11. Bauteil	2023-06-01	2023-06-15	Struktur	1000	m³
12	12. Bauteil	2023-06-15	2023-07-01	Struktur	1000	m³
13	13. Bauteil	2023-07-01	2023-07-15	Struktur	1000	m³
14	14. Bauteil	2023-07-15	2023-08-01	Struktur	1000	m³
15	15. Bauteil	2023-08-01	2023-08-15	Struktur	1000	m³
16	16. Bauteil	2023-08-15	2023-09-01	Struktur	1000	m³
17	17. Bauteil	2023-09-01	2023-09-15	Struktur	1000	m³
18	18. Bauteil	2023-09-15	2023-10-01	Struktur	1000	m³
19	19. Bauteil	2023-10-01	2023-10-15	Struktur	1000	m³
20	20. Bauteil	2023-10-15	2023-11-01	Struktur	1000	m³



## Klassifizierung der Level of Geometry von Bauelementen mit Deep Learning

BIM-basierte Gebäudeentwürfe umfassen die Verwendung geometrischer und semantischer Informationen für ihre elementaren Aufgaben in der Bauindustrie. Der Entwicklungsstand (Level of Development, LOD) wird in BIM häufig verwendet, um anzugeben, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt während der gesamten Phase eines Bauprozesses verfügbar sein müssen. LOD hilft bei der Definition des Reifegrades und der Detaillierung in einem Fall des Bauprozesses und wird als rechtsverbindliche Information für verschiedene Bewertungen angesehen. Es stehen viele offene Tools in BIM und kommerzieller Software zur Verfügung, mit denen die semantischen Informationen eines Gebäudemodells automatisch validiert werden können. Die automatische Validierung der erforderlichen geometrischen Informationen, die ein Modell benötigt, um seinen Zweck zu erfüllen, ist jedoch noch nicht erforscht.

Derzeit erfolgt die geometrische Validierung auf der Grundlage menschlicher Erfahrungen und bleibt weiterhin eine manuelle Aufgabe. Diese Abschlussarbeit präsentiert ein Deep-Learning-Framework, mit dem der Geometriepegel (LOG) von Bauelementen automatisch bewertet und erfasst werden kann. Die Studie analysiert zunächst die Wirksamkeit populärer Methoden, die beim Deep Learning zur Klassifizierung von 3D-Modellen für ihr LOG verfügbar sind (z. B. Mesh CNN, Graph CNN, Triple Input CNN, Multiview CNN (MVCNN) usw.). Die Merkmalsmuster, die die LOG-Ebenen der Gebäudemodelle darstellen, wurden ohne manuellen Eingriff automatisch aus den visuellen Darstellungen extrahiert. Die MVCNN-Modellarchitektur wird weiter auf ihre effektive Verwendung in einer praktischen Anwendung der LOG Klassifizierung durch Anpassung ihrer Modellarchitektur sowie verschiedener Arten von Trainingsdatensätzen untersucht. Mit MVCNN wurden acht verschiedene Ansätze mit Variationen wie einzelne Ebenen, mehrere Ebenen, mit Schnittbildern und geometrischen Informationen des 3D-Bauelements untersucht.

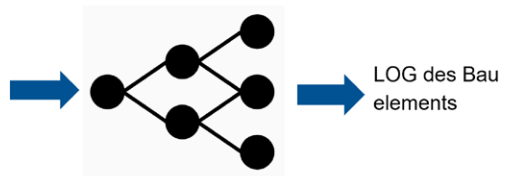
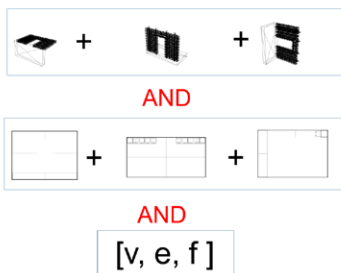


## Fazit

MVCNN zeigte eine bessere Effizienz bei der Erkennung der Komplexitätsstufen der einzelnen LOGs in Gebäudeelementen und war im Vergleich zu 3D-Modell-basierten Klassifizierungsmethoden weniger rechenintensiv. Mehrschichtige Darstellungen von MVCNN zeigten, dass sie Gebäudeelemente mit besserer Genauigkeit in verschiedene LOG-Stufen einteilen konnten. Multi Plane MVCNN mit Schnittbildern und geometrischen Informationen ergibt eine Genauigkeit von 83%. Diese Ergebnisse wurden ohne manuelle Eingriffe erzielt.

## Ausblick

Dieses Papier beschreibt die Klassifizierung der Geometrieebene von Bauelementen mit Hilfe der Methode des Deep Learning. Es wird eine neue Methode erforscht, bei der 2D-Daten aus 3D-Modellen erfasst und diese neuen Daten zum Trainieren eines neuronalen Netzes verwendet werden. Es ist gelungen, eine Architektur zu entwickeln, die in der Lage ist, das LOG von Bauelementen vorherzusagen. Für die kommerzielle Anwendung wird ein zukünftiger Rahmen vorgeschlagen, der bessere Aussichten bei der Erkennung aller Merkmalsmuster verschiedener Arten von Gebäudeelementen bietet.



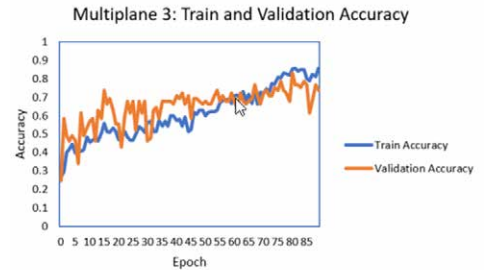
## Profil

Jayasurya Kannankattil Ajayakumar

Lehrstuhl für Computergestützte  
Modellierung und Simulation, TUM

[jayasuryaka@gmail.com](mailto:jayasuryaka@gmail.com)

[bit.ly/33vGhDg](https://bit.ly/33vGhDg)



# Konzept natürlicher Reisschalenaschen als Zusatzstoff für ökologische Betone

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Zementklinkerherstellung betragen im Jahr 2018 laut des Global Carbon Projects etwa 4,12% der gesamten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, ohne die zu berücksichtigende Emissionen aus Landnutzungsänderungen. Der wachsende Bedarf an Zementklinker und die damit steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordern es, Möglichkeiten der Reduktion von Zementklinker auszuloten. Aufgrund der zusätzlichen Festigkeitsbildung von puzzolanischen Zusatzstoffen kann der Gehalt an Zementklinker in Betonen verringert werden. Da die mineralische Zusammensetzung von Reisschalenasche (engl. rice husk ash (RHA)) eine puzzolanische Reaktion ermöglicht, erscheint diese als Zusatzstoff besonders vielversprechend.

Um die Einsatzmöglichkeiten von RHA in Beton zu evaluieren, werden Mörtel mit RHA als Zementersatzstoff auf ihre Druckfestigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften hin untersucht. Des Weiteren werden zum Vergleich Mörtelproben herangezogen, die zum einen reinen Portlandzement und zum anderen die herkömmlichen Zusatzstoffe Flugasche und Kalksteinmehl enthalten. Durch die Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass Mörtelproben mit einem Zementersatz durch RHA von 25 Ma.-% im Hydratationsalter von 7 bis 90 Tagen eine höhere Festigkeit aufweisen als die Vergleichsproben. Zudem zeigte sich, dass die Zugabe von RHA Auswirkungen auf den Hydratationsprozess hat. Während der frühen Hydratation war eine beschleunigte Reaktionsgeschwindigkeit zu erkennen. Im weiteren Verlauf war eine starke puzzolanische Reaktion durch eine ausgeprägte Abnahme der Portlanditkonzentrationen erkennbar.

Die Untersuchungen der kapillaren Wasseraufnahme lassen den Schluss zu, dass sich der Kapillarporenraum der Mörtelprobe mit RHA durch die puzzolanische Reaktion gegenüber den Vergleichsproben reduziert. Aufgrund des Verbrauchs an Portlandit zeigte die RHA-Probe trotz des reduzierten Porenraums eine leicht erhöhte Karbonatisierungsgeschwindigkeit gegenüber der Portlandzementprobe.

## Fazit

Insgesamt konnten mit Hilfe der durchgeführten Untersuchungen wichtige Erkenntnisse bezüglich der Nutzbarkeit von RHA in Beton gewonnen werden. Insbesondere die gute Festigkeitsentwicklung sowie die geringe Wasseraufnahme und der damit geringe Kapillarporenraum lassen darauf schließen, dass die RHA einen geeigneten puzzolanischen Zusatzstoff darstellt.

## Ausblick

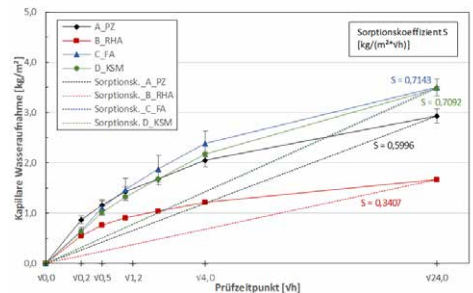
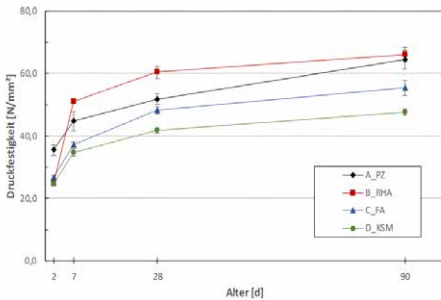
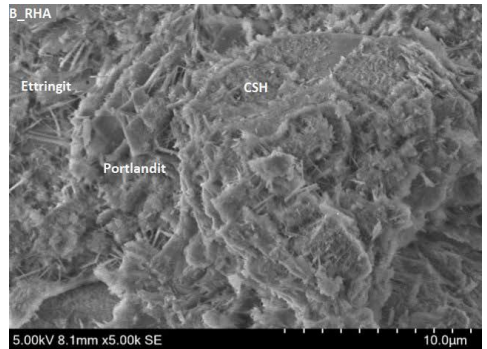
Schon die aktuellen Auswirkungen der Klimaveränderung machen die Brisanz der CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich. Neben Anstrengungen in Bezug auf die Verringerung des Beton- und damit des Zementeinsatzes beispielsweise durch intelligente Tragwerkslösungen zeigen die vielversprechenden Ergebnisse einen Ansatzpunkt auf Materialebene. Durch den Einsatz von nachhaltigen Zementersatzstoffen wie RHA können CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden, ohne auf den flexiblen Baustoff Beton zu verzichten.

## Profil

Benjamin Ostermaier

Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen, TUM

benjamin.ostermaier@tum.de



## Numerische Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit von Spannbetonbrücken

Die Herstellung von weitspannenden Brücken aus Beton stellt einen immensen Bedarf an Zement und Stahl dar, der maßgeblich für die Ausschüttung von CO<sub>2</sub> verantwortlich ist. Aktuell weist ein Großteil des alten Brückenbestands rechnerische Defizite auf, die jedoch nicht mit Schäden am Bauwerk korrespondieren. Um das Tragverhalten wirklichkeitsnäher beschreiben zu können und entsprechende Rechenmodelle anzupassen, werden in der Forschung sowohl experimentelle als auch numerische Untersuchungen durchgeführt. Viele Bauwerke lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt jedoch ausschließlich mit nichtlinearen Berechnungsmodellen nachweisen, deren Leistungsfähigkeit und Grenzen jedoch noch nicht näher beschrieben und in Richtlinien zur Verfügung gestellt wurden.

Die Simulationsergebnisse der nichtlinearen Finite Element Methode hängen insbesondere von der Güte des gewählten Materialmodells ab. Um die Berechnungen validieren zu können, werden in dieser Arbeit sowohl das komplexe Tragverhalten von Spannbetonbauteilen unter Schubbeanspruchung als auch die Materialmodellierung untersucht. Dabei wurden die durch Begleitversuche ermittelten Verbundbedingungen nicht normgerechter Querkraftbewehrung, die zukünftig bei der Nachrechnung von Brücken rechnerisch berücksichtigt werden sollen, in die Simulationsmodelle integriert. Durch den Vergleich mit vorhandenen Versuchsdaten konnten die Last-Verformungskurven und die fortschreitende Rissbildung somit zutreffend abgebildet werden und damit die sich einstellenden Spannungszustände bei Schubbeanspruchung näher untersucht werden.

## Fazit

In dieser Arbeit konnten aufgrund der durchgeführten Simulationsberechnungen Anwendungsgrenzen und Empfehlungen zur Materialmodellierung gegeben werden. Somit können bestehende Spannbetonbrücken wirklichkeitsnah nachgerechnet und die Nutzungsdauer vieler älterer Bauwerke verlängert, erforderliche Verstärkungsmaßnahmen reduziert und Ersatzneubauten auf diejenigen wenigen Bauwerke beschränkt werden, die nicht nur ein rechnerisches, sondern ein tatsächliches Tragfähigkeitsproblem aufweisen.

## Ausblick

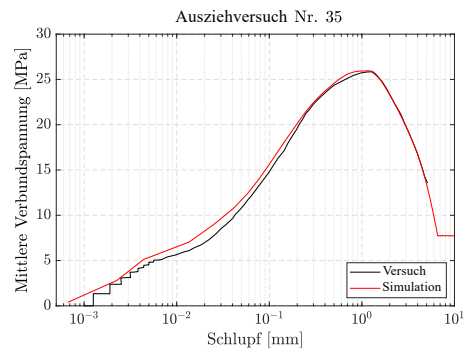
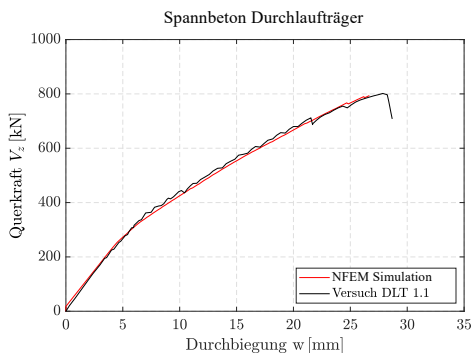
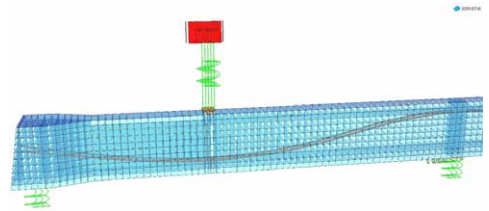
Die wirklichkeitsnahe Nachrechnung von Bestandsbrücken soll zukünftig für den Benutzer basierend auf vorher bekannten Anwendungsgrenzen und Empfehlungen möglich sein. Fehler und unzureichende Kenntnisse können so ausgeglichen oder sogar vermieden werden. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens werden für die Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie Handlungsanweisungen zur Nutzung von nichtlinearen Simulationen erarbeitet.

## Profil

Sebastian Lamatsch

Lehrstuhl für Massivbau, TUM

Sebastian.lamatsch@tum.de



## Limitrophe Räume

### Potenziale von Freibereichen im Geschosswohnungsbau

Limitrophe Räume ist eine theoretische und entwerferische Auseinandersetzung mit dem Thema Wohnen. Im Zentrum der Arbeit steht der Freibereich und wie dieser zur Entwicklung einer neuen Wohntypologie beisteuern kann. Mithilfe der geschichtlichen sowie der typologischen Aufarbeitung des Themas erschließt sich, wie der Freibereich zum festen Bestandteil des Wohnens wurde. Ausgehend von historischen Überlieferungen entstanden in den darauffolgenden Jahrhunderten unterschiedliche Expressionen des Freisitzes. Im Fokus der theoretischen Arbeit liegt vor allem die Entwicklung ab dem 19. Jahrhundert. Ausgelöst von der Industrialisierung fand eine rasante Urbanisierung statt, die zu hygienischen und sozialen Missständen führte. Zu dieser Zeit entwickelte sich der Freibereich parallel in unterschiedliche Richtungen. Den Bourgeois galt er als Sinnbild der Macht und diente der Repräsentation. Konträr hierzu nutzte man die Freiraumhygiene der Sanatorien als Inspiration reformatorischer Ansätze für das Proletariat. In den darauf folgenden Jahrzehnten war der Außenraum das Aushängeschild der Massenemanzipation und manifestierte sich als Sinnbild für ein gesundes Wohnen. Der anschließende Neoliberalismus legte neue Kriterien im Wohnungsbau fest und instrumentalisierte den Freisitz für seine Zwecke.

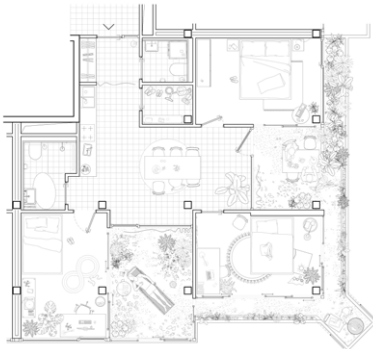
Deutlich zu erkennen ist, dass ein Wandel in der Gesellschaft auch immer einen Wandel des Wohnens mit sich bringt. Aktuelle Veränderungen, welche ein Umdenken im Wohnen fordern, werden im Manifest „wohnHAFT“ dargelegt. „Das Konzept der Wohnung, wie wir sie heute kennen, stammt aus dem Funktionalismus und der sei vor hundert Jahren entstanden. Einer Zeit, mit festen Vorstellungen, wie eine Gesellschaft zu leben, zu arbeiten und zu lieben hat.“ (Laura Weissmüller, 2021) Der Markt neigt dazu, gleiche Muster wieder und wieder zu repetieren. Appartements, die weißen Schuhkartons ähneln und von haftartigen Verhältnissen zeugen, sind den heutigen Anforderungen nicht mehr gewappnet.

## Fazit

Eine Wohnung muss die Komplexität der Gegenwart abbilden. Geschlechtergleichstellung, hybrides Wohnen und Digitalisierung lösen die in der Moderne gesetzte Grenze auf. Sowie der Freibereich auch in den letzten Jahrhunderten ein Umdenken mit sich brachte, ist dies auch heute seine Rolle. Eine räumliche Vielfalt mithilfe von unterschiedlich situierten Freiräumen ermöglicht neue Wohnsituationen. Limitrophe Räume dienen als Schwelle zwischen öffentlich und privat sowie von innen und außen.

## Ausblick

Ein zentraler Raum bildet das kommunikative Zentrum des Entwurfs. Dieser leitet in die privateren Individualräume ein, die in ihrer Größe immer gleich sind, sich jedoch in ihrer architektonischen Ausprägung des jeweils zugeordneten Freibereichs unterscheiden. Hierdurch entsteht eine teils transparente Raumschichtung, welche bereits beim Betreten der Wohnung erlebbar ist. Als Balkon, Laube, Loggia oder Wintergarten erweitert der Freibereich individuell den zugehörigen Individualraum und schafft so eine neue Wohnkultur.



## Profil

Jens Roll

Lehrstuhl für Städtische Architektur,  
TUM

[jens\\_roll@yahoo.de](mailto:jens_roll@yahoo.de)

[bit.ly/3uTMOxN](https://bit.ly/3uTMOxN)

[bit.ly/3I02Sqm](https://bit.ly/3I02Sqm)



# Außerplanmäßig beanspruchte Kehlnähte dichtgeschweißter Hohlkästen

Nicht begehbare dichtgeschweißte Hohlkästen sind im Stahl- und Verbundbrückenbau eine bewährte Bauweise. Hierdurch werden filigrane Brückenbauwerke im Bereich der Straße und Bahn ermöglicht. Außerdem können Überführungsbauwerke, welche oftmals aufgrund der Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit als stützenfreie Rahmenkonstruktion ausgeführt werden, effizient gebaut werden. Die sich im Eckbereich befindenden Kehlnähte werden bisher nur auf Längsschub bemessen. Durch klimatische Temperatureinwirkungen kommt es jedoch zu Druckschwankungen im Inneren der dichtgeschweißten Konstruktion. Hieraus ergibt sich eine zusätzliche Beanspruchung der Längskehlnähte, die insbesondere bei den einseitig ausgeführten Kehlnähten eine ungünstige Biegespannung in der Nahtwurzel erzeugt. Ein erster Ansatz zur Berücksichtigung des Problems führte zu einer Vorgabe der Mindestnahtdicke einseitig geschweißter Kehlnähte. Durch eine numerische Untersuchung des Erwärmungsverhaltens eines fiktiven Brückenquerschnittes sowie experimentellen Untersuchungen an einseitig geschweißten Kehlnähten konnte gezeigt werden, dass die Annahmen, welche zu einer Mindestschweißnahtdicke führten, zu einer konservativen Bemessungsregel und somit zu einer negativen Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit der Bauweise führen.

Hierfür wurde in einem ersten Schritt aufbauend auf Klimadaten einer Messstation ein numerisches Temperaturmodell erstellt. Dabei ließ sich durch die Abbildung eines instationären Wärmeaustauschs zwischen dem fiktiven Bauwerk und der Umgebung eine dreijährige Zeitreihe der Lufttemperatur im Inneren des Hohlkastens generieren. Mittels statistischer Methoden war es anschließend möglich, die Zeitreihe auszuwerten und den Bemessungswert der Innenluft und somit die Druckbeanspruchung zu bestimmen. Im zweiten Schritt wurde durch Biegeversuche an einseitig geschweißten einlagigen und mehrlagigen Kehlnähten das Momenten-Rotationsverhalten untersucht und der Bemessungswert für den Biege widerstand der Schweißnähte bestimmt.



## Fazit

Die numerischen Berechnungen zeigen, dass die Gleichsetzung der Innenlufttemperatur mit der Bauwerkstemperatur zu einer Überschätzung der Einwirkung führt. Wird auf dieser Annahme der Temperaturlastfall bestimmt, kommt es folglich zu einer Überschätzung des Innendrucks. Aus der Auswertung der Biegeversuche geht hervor, dass die normativen Empfehlungen einer linear elastischen Biegebemessung der Schweißnaht das Tragverhalten unzureichend abbilden und ebenfalls zu einer konservativen Bemessung führen.

## Ausblick

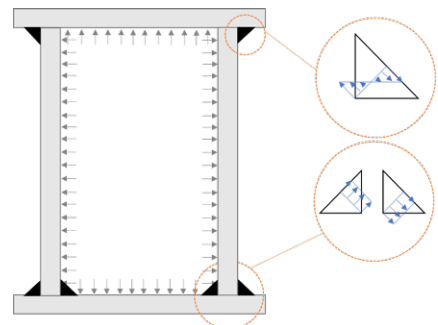
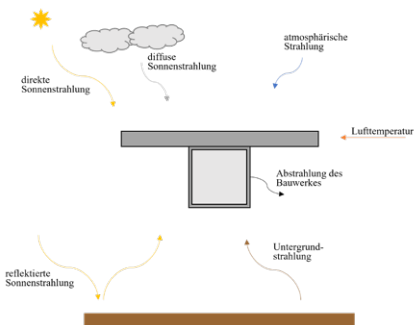
Aus der gesellschaftlichen Forderung robuste und nachhaltige Bauwerke ressourcenoptimiert zu errichten, entsteht die Notwendigkeit, ein Bemessungskonzept dichtgeschweißter Hohlkästen zu entwickeln. Im Rahmen eines Forschungsprojekts soll durch die Verallgemeinerung des thermischen Modelles unter Berücksichtigung unterschiedlicher baulicher Situationen und Klimamessdaten verschiedener Wetterstationen, sowie weiterer experimenteller Untersuchungen die dafür notwendige Datengrundlage geschaffen werden.

## Profil

Malik Ltaief

Lehrstuhl für Metallbau, TUM

malik.ltaief@me.com



# Wandelbare Deckungssysteme

## Research, Formfindung und Digitale Fabrikation

Das klassische Architekturverständnis legte den Schwerpunkt auf Dauerhaftigkeit und Solidität als wichtigste Eigenschaften von Gebäuden. Dies wurde allmählich durch ein durch Funktionalität, Zweckmäßigkeit, Nützlichkeit und Beweglichkeit gekennzeichnetes Modell ersetzt. (Blümel & Pankoke, 1972).

Der vorgeschlagene Entwurf konzentriert sich auf innovative textile Deckungssysteme von wandelbaren kinetischen Strukturen, die derzeit ein besonderes Interesse in der Forschung in Architektur und Ingenieurwesen erfahren. Die textilen Elemente sind in diesem architektonischen Kontext besonders geeignet, da sie so beschaffen sind, dass sie durch ihre Flexibilität inhärent auf die Wandlungsfähigkeit reagieren können. Unser Beitrag ist ein wandelbares Beschattungssystem für räumliche, teilelastische Gitterstrukturen.

Das System ist speziell für den Kinetic Umbrella konzipiert, eine temporäre und wandelbare Struktur, entwickelt an der Professur für Structural Design der Technischen Universität München. Es wurde eine innovative, parametrische Lösung aus Textilstreifen entwickelt. Diese Textilstreifen aus UV-resistentem Diolen sind elegant und zum anderen fungieren sie als Sonnenschutz. Das Beschattungssystem passt sich der räumlichen Veränderung der Unterkonstruktion an.

In einem iterativen Entwurfsprozess wurden geometrische, umweltbedingte und architektonische Parameter berücksichtigt, um ein visuell ansprechendes und konstruktiv einfaches modulares Deckungssystem zu schaffen, welches mit den geometrischen Anforderungen der wandelbaren Struktur interagiert. In enger Zusammenarbeit mit Herstellern aus der Textilindustrie wurden langlebige und elastische Bänder für die Beschattung entwickelt. Ein parametrisiertes Halterungssystem lenkt die Textilstreifen bei der Auffaltung der Struktur.

## Fazit

Das neuartige, wandelbare Deckungssystem eignet sich insbesondere in Kombination mit Gitterstrukturen. Das System kann sich räumlichen Formänderungen anpassen und ist dabei besonders "einfach" konstruiert. Die lineare Anordnung der Textilstreifen betont die zugrundeliegende Gitterstruktur. Am Beispiel des Kinetic Umbrella, einer elastisch und räumlich wandelbaren Gitterstruktur wurde das System erfolgreich umgesetzt.

## Ausblick

Ob an Fassaden oder Überdachungen von öffentlichen Plätzen, Wandelbarkeit und Adaptivität erweitern die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten und schaffen Nutzungsszenarien. Vor allem die Einfachheit der Herstellung, Montage und Betrieb sollen Architekten und Bauherren Vertrauen in wandelbare Konstruktionen geben. Das wandelbare Deckungssystem des Kinetic Umbrella ist übertragbar und parametrisch modifizierbar. Fadendichte, -dicke und Farbgebung ermöglichen die umfangreiche Individualisierung.



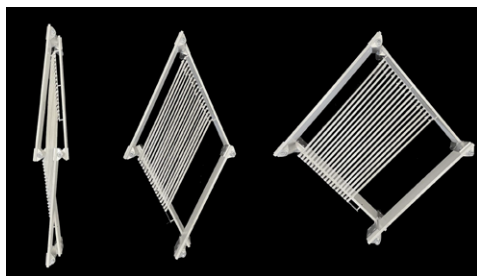
## Profil

**Clemens Lindner,  
Tao Sun**

**Professorship of Structural Design**

**clemens.lindner@tum.de,  
tao.sun@tum.de**

**[bit.ly/3oXlrE6](https://bit.ly/3oXlrE6)**



# Jansen Mechanismus - Analyse und Simulation

Der niederländische Physiker und Künstler Theo Jansen entwickelt seit 1990 nach dem Vorbild der natürlichen Laufbewegung kinetische Skulpturen, die er „Strandbeester“ nennt. In dieser Arbeit wird der Mechanismus der Bewegung des von ihm entwickelten kinetischen Beines und zugehörigen Laufmechanismus analysiert und mit unterschiedlichen Programmen Simulationen eines einzelnen Beines, sowie eines kleinen Modells erzeugt. Dafür finden statische Berechnungsprogramme aus dem Studienverlauf Verwendung.

Zunächst werden die Voraussetzungen für die Simulation untersucht, dabei liegt der Fokus vor allem auf der Konstruktion des Beines und der anschließenden Animation des Bewegungsablaufes. Auf die Eignung und Funktionsweise der unterschiedlichen Berechnungsansätze in Bezug auf einen kinetischen Mechanismus wird dabei ebenfalls kurz Bezug genommen. Die Excelbasierte Lehrsoftware Stiff des Statik Lehrstuhls wird für erste Ansätze verwendet. Anschließend lässt sich im NFEM-Tool, eine vollständige Animation des Bewegungsablaufes eines einzelnen Beines, sowie eines Modells mit mehreren Beinpaaren erzeugen. Dabei ist es ebenfalls möglich den Mechanismus kurz zu analysieren und auf den Einfluss der Längen der Stäbe, aus denen das Bein aufgebaut ist, auf die resultierende Bewegung einzugehen.

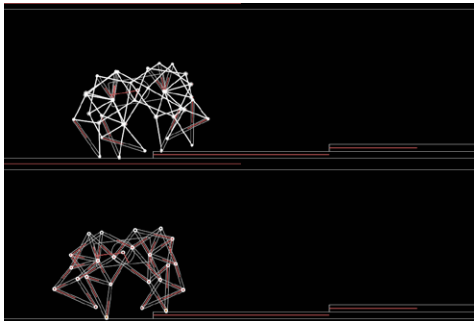
Weiterführend wird für eine vollständige Simulation die Physik-Engine Matter.js verwendet, um ein Computermodell eines Biestes zu erstellen. Anhand dieser erfolgt die Untersuchung alternativer Bein- und Gesamtmodellbauten und die darauf aufbauende Durchführung kleiner Experimente. Die vorangegangenen Beobachtungen zum Einfluss der Stablängen lassen sich so mit einer Laufsimulation verifizieren. Die Anwendbarkeit der Ergebnisse wird vor allem in Hinblick auf die getroffenen Annahmen, sowie die während des Simulationsprozesses aufgetretenen Fehler diskutiert. Abschließend wurden die gewonnen Erkenntnisse auf den Bau eines kleinen Papp-Strandbeests übertragen.

## Fazit

Im Bauingenieurwesen sind sehr kleine Verschiebungen der Regelfall, daher eignet sich ein kinematischer Mechanismus besonders um die Grenzen der zugrundeliegenden Theorien aufzuzeigen. Die Anwendung statischer Berechnungsprogramme, mit entsprechenden Vorkehrungen, erzielen für die Analyse kinematischer Mechanismen sehr gute Ergebnisse. Die anschließende Simulation mit der Physik-Engine liefert eine glaubwürdige Laufanimation des gesamten Modells unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen.

## Ausblick

Weitere Analysemöglichkeiten kinematischer Mechanismen mit den verwendeten statischen Berechnungsprogrammen böte die Einbindung von Kontaktelementen. So ließe sich die Laufbewegung animieren und gleichzeitig die Aufnahme der entsprechenden Kontaktkräfte und die sich daraus ergebenden innerer Kräfte nachvollziehen. Eine ausführlichere Analyse der Einflüsse der Stablängen, sowie Beinanzahl und Beinanzahl wären hingegen für eine mögliche Anwendung des Mechanismus in der Robotik von Interesse.



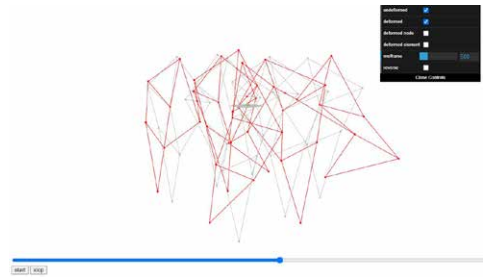
## Profil

**Paula Löcherer**

**Lehrstuhl für Statik, TUM**

**paula.loecherer@tum.de**

**[bit.ly/3gUAzOS](https://bit.ly/3gUAzOS)**



# Impressum

## Ansprechpartner

Bayerischer Bauindustrieverband e.V.  
Thomas Schmid  
info@bauindustrie-bayern.de  
+49 89 235003-12

Technische Universität München  
Fakultät für Architektur sowie  
Ingenieur fakultät für Bau Geo Umwelt

Abteilung Projektplattform Energie + Innovation  
Dipl.-Ing. Sandro Haseloff  
s.haseloff@ppe.tum.de  
+49 89 289-28153

## Gestaltung

Dipl.-Des. (FH) Daniel Schwaiger

## Herausgeber

Bayerischer Bauindustrieverband e.V. (BBIV)  
Oberanger 32  
80331 München  
www.bauindustrie-bayern.de

© BBIV, 1. Auflage, März 2022



**Bayerischer Bauindustrieverband e.V.**  
[www.bauindustrie-bayern.de](http://www.bauindustrie-bayern.de)