

# Entwicklung eines semi-probabilistisches Feuchtesicherheitskonzept für hohe Holzfassaden

Stephan Ott<sup>1</sup>, Andrea Tietze<sup>1</sup>, Stefan Winter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, 80333 München, E-Mail: [ott@tum.de](mailto:ott@tum.de)

## Einleitung

Vor dem Hintergrund des wachsenden Interesses für den Einsatz von Holz in urbanen Gebäuden und um die Marktchancen mittelfristig weiter zu entwickeln und langfristig zu bewahren, müssen heutige Holzkonstruktionen zuverlässig, langlebig, flexibel und innovativ sein. Diese Anforderungen erfüllen sie bereits bis zur Gebäudeklasse 3, doch eine verbesserte Feuchtesicherheit für höhere Gebäude ist unumgänglich. Gemeinsam mit Forschungs- und Industriepartnern aus vier europäischen Ländern arbeitet der Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion an Lösungen im Forschungsprojekt TallFacades.



**Abbildung 1:** Exemplarische Vielfalt und Komplexität urbaner Fassadenkonfigurationen, NINA Trondheim

## Ziele

Das Ziel des vorgestellten Projekts ist die wechselwirkenden Klimaeinflüsse auf mehrgeschossige Gebäude wie stärkerer Winddruck und Schlagregen, längere Bauzeiten, die die Strukturelemente mit mehr Feuchtigkeit beaufschlagen, besser bewerten zu können. Nicht zuletzt sind Inspektion, Wartung und Reparaturmöglichkeit in hohen Gebäuden aufwändig oder beschränkt. Die Vielfalt der Konfigurationen der Gebäudehülle und der Effekte des äußeren und inneren Klimas benötigen Unterstützung bei der Auswahl von Material und Designoptionen, siehe Abbildung 1. Das hygrothermische Verhalten von Gebäudehüllen aus Holz, vorwiegend in Holzrahmenbauweise, wird seit mehr als 25 Jahren diskutiert und Verbesserungen zum Wärmeschutz und der Reduzierung Luftundichtigkeit entwickelt. In den frühen Studien konzentrierte man sich hauptsächlich auf die Konvektion in Hohlräume und Mängeln an dampfdiffusionshemmenden Schichten des Wandquerschnittes. Es gibt wenige, jüngere Publikationen die sich

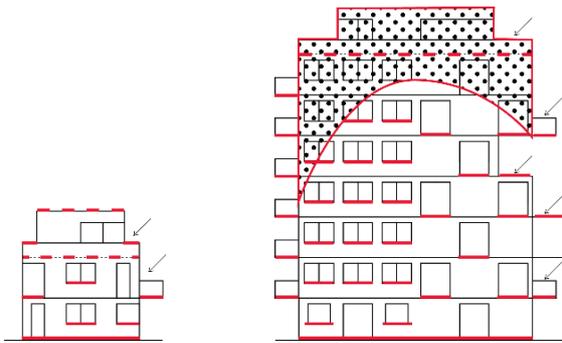
mit dem Außenklima und seinen Auswirkungen auf gedämmte Wände selbst beschäftigen. Gudum erkennt den Einfluss der Belüftung hinter äußeren Bekleidungen, während Vinha verschiedene Bekleidungs-systeme untersucht. [1,2] Nore beobachtet Schlagregen auf belüftete sowie unbelüftete Bekleidungen als zwei unterschiedliche Feuchtigkeits-sicherheitskonzepte. [3] Eine nichtbelüftete Struktur funktioniert in trockenem Klima ausreichend gut, entstehen allerdings zu hohe Feuchtelasten vom Außenklima oder aufgrund schlechter Verarbeitung, zeigt eine belüftete Fassade bessere Performance. Diese muss differenziert nach Exposition, Wandaufbau, Feuchteschutz- und Belüftungskennwerten betrachtet werden wie Winter et al. gezeigt haben. [4] Rechnerische Untersuchungen mittels Simulation von exponierten Außenhüllen machen Kehl & Künzel aufbauend auf den vorgenannten belüfteten Fassaden. [5]

## Methode

Zum umfassenden methodischen Vergleich wird in europäischem Rahmen eine eingehende Literaturrecherche betrieben. Anhand von besonders beaufschlagten Bereichen der Gebäudehülle werden die Eingangsgrößen der Einwirkungen und Widerstände festgelegt. Durch Befragung und Experteninput werden Versagensmechanismen systematisiert. Basierend auf Methoden der Risikoanalyse wird eine semi-probabilistische Bemessung mit Feuchteschutz-nachweis entwickelt.

## Konzept und Leistungskriterien

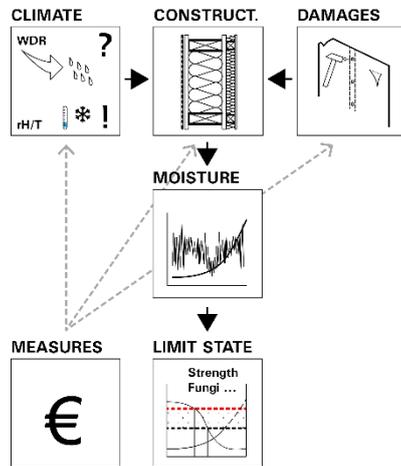
Bei den Einwirkungen steht die Thematik des Schlagregens im Mittelpunkt, weil Unsicherheiten hier besonders groß sind, sowohl was die Schlagregenmenge als auch den Wasserablauf betrifft und der Einfluss der Gebäudehöhe auf die Schlagregenmenge, wie in Abbildung 2 dargestellt ist. [6] Die aktuelle Datenlage ist meist dürftig da stündliche Messintervalle und ungewichtete Mittelwertbildung aus Normalregen und Wind die mikroklimatische Belastung unzureichend abbilden, was weiterentwickelte Schlagregenmodelle jenseits der Norm ermöglichen. [7,8] Für die probabilistischen Untersuchungen der Klimaexposition müssen die Daten parametrisiert werden nach Häufigkeiten, Dauer und Extremwerte von Niederschlagsereignissen, um ihre mögliche Korrelation mit Feuchteschäden zu ermitteln. Zusätzlich können über diese Betrachtungsweise mittels Klimaprognosen zukünftige Einwirkungen und ihre Folgen abgeschätzt werden. [9]



**Abbildung 2:** Unterschiedliche Risikobereiche (rot) von Außenwänden / -fassaden niedriger und hoher Holzbauten mit starker Schlagregenbeanspruchung (gepunktet)

### Risikomodell

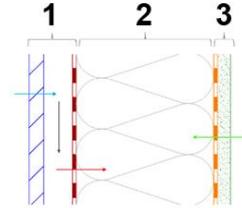
Das Risikomodell bildet die bauphysikalischen Wirkmechanismen von Feuchte auf Außenwandbauteile in einem gekoppelten Modell mit probabilistischer Darstellung der Schädigung und Degradation abhängig von der Außenklimaexposition ab; das heißt ausgehend vom Verständnis über Versagensarten, Versagensmechanismen und Mikroklima. Anhand eines probabilistischen Modells lässt sich die Leistungsfähigkeit von Fassadenkonstruktionen untersuchen. Das Modell berücksichtigt alle Unsicherheiten und drückt die Erreichbarkeit bestimmter Leistungskriterien in Wahrscheinlichkeiten aus.



**Abbildung 3:** Prozessorientierter Ansatz der Risikoanalyse zur Erfassung der Wahrscheinlichkeiten

Die Randbedingungen für das Modell entstammen den Daten von Außen- und Innenklima. Diese wirken auf eine zu untersuchende Konstruktion ein und möglicherweise sind bereits Vorschädigungen z. B. durch Baumängel oder erhöhte Baufeuchte vorhanden. Für die individuellen Wandaufbauten und Detaillösungen wird die Auffeuchtung untersucht und schließlich in einer Grenzwertbetrachtung die mögliche Schädigung des Bauteils bewertet. Anhand des Details, Versagen und Ursache lassen sich spezifische Maßnahmen treffen um die Robustheit zu erhöhen, dabei kann nach vorgegebenen Zielfunktionen optimiert werden,

siehe Abbildung 3. Die Auswahl kritischer Konstruktionsweisen und Anschlussdetails wird anhand von Experteneinschätzungen, Schadenauswertungen, Konstruktionskataloge und dem Vergleich der meist semi-empirischen Konstruktionsregeln zum Feuchtschutz getroffen.



**Abbildung 4:** Schichten der Aussenwand nach Feuchteangriff / -einwirkung und Funktionsweise, (1) Außenbekleidung (2), tragender Kern (3), Innenbekleidung

### Simulationen und geplante Versuche

Mängel in der (Bekleidungs-) Schutzschicht vor äußerer Feuchtigkeit werden Teil der experimentellen Untersuchungen sein, da Fehler der Bekleidung bisher nur selten untersucht wurden, siehe Abbildung 4. Die Betrachtung von Fassadendurchdringungen und horizontalen Barrieren wie Fensterbänke sowie deren möglicher zweiter Schutzschicht bzw. wasserführender Ebene ist ein anderes Thema. In diesen Fällen ist das Risiko einer Leckage höher und Versagensmechanismen basieren auf multivariate Einwirkungen, vgl. Abbildung 5. Die experimentellen Untersuchungen liefern die notwendigen Eingangsdaten für Simulationen.

Cat.	Description	Pictogram Cross-Section	Details
1a	complete breakthrough + possibility of run-off		balcony door head, window head, loggia door head, duct, front door head
1b	complete breakthrough + possibility of accumulation		balcony door sill, window sill, loggia door sill, front door sill, base point
2a	surface disturbance + possibility of run-off		next story, change of cladding
2b	surface disturbance + possibility of accumulation		next story, change of cladding
3a	geometrical change + possibility of run-off		connection wall-roof, outer corner, projection
3b	geometrical change + possibility of accumulation		attic / flat roof, inner corner, base point

**Abbildung 5:** Systematische Differenzierung der Detaillösung und Einfluss auf die Schichten.

In Parameterstudien, unter Heranziehung von realistischen, bewährten Details, werden sie in hygrothermischen Simulationen mit WUFI analysiert und schrittweise um Schäden ergänzt und Sensitivitätsanalysen zu Feuchteabsorption, Auffeuchtung und Rücktrocknung durchgeführt. Bei Feuchteakkumulation wird anhand empirischer Grenzwerte das Versagen ermittelt. Schadensmechanismen werden wie in Tabelle 1 klassifiziert.

**Tabelle 1:** Kategorisierung der Feuchteschäden an Holz

Feuchte-schäden	Parameter		
	Kritisch	Bedingt kritisch	Un-bedenklich
Oberfläche	Schimmel		Verfärbung
Material-struktur	Fäulnis	Festigkeits-verlust	

## Diskussion

In der ersten Stufe wird aus dem einfachen Ursache-Wirkungsmodell ein komplexes Risikomodell erstellt, das die Folgen und Konsequenzen genauer differenziert. Dabei werden physikalische Phänomene und wechselwirkende Prozesse spezifiziert und mit den direkten und indirekten Konsequenzen in Zusammenhang gebracht. Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts TallFacades werden Laborversuche und Versuchsdaten verwertet, um Unsicherheiten von Konstruktionskategorien und Schadensklassen der Fassade zu analysieren.

Wie im Bauingenieurwesen generell geben auch hier Risikotheorie und probabilistische Methoden einen wirklichkeitsnahen Rahmen zur Problemlösung. Die denkbaren Unsicherheiten werden in die Systemzusammenhänge und ihre einflussgebenden Variablen einbezogen. Darüber hinaus gibt die Zuverlässigkeitstheorie einen Rahmen für Qualitätsmanagement, Materialauswahl und -optimierung zur Verbesserung der Robustheit des Feuchteschutzes von Konstruktionen.

## Danksagung

Das Projekt TallFacades, in dessen Rahmen dieser Artikel entstand, wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe und ERA-Net Woodwisdom-Net.

## Literatur

- [1] Gudum, C: Moisture Transport and Convection in Building Envelopes. PhD thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2003
- [2] Vinha, J. Kakela, P: Water vapour transmission in wall structures due to diffusion and convection. In Proceedings of Healthy Buildings, Finland, 3/2000
- [3] Nore, K: Hygrothermal performance of ventilated wooden cladding. PhD thesis. Norwegian University of science and technology, Norway, 2009
- [4] Winter, S. Bauer, P. Kehl, D: Freilandbewitterungsversuche von Holztafelbauwänden mit Mauerwerkvorsatzschale ohne zusätzliche Feuchteschutzschicht auf der Außenbekleidung der Holztafelelemente und mit hinterlüfteten, kleinformatischen Holzverkleidungen, Abschlussforschungsbericht 2006

- [5] Kehl, D. Künzel, H: Hinterlüftung von Fassaden – ein Muss? DNQ, 2 (2009), 13-17
- [6] Brüggen, P.M. Blocken, B. Schellen, HL: Wind-driven rain on the facade of a monumental tower: Numerical simulation, full-scale validation and sensitivity analysis. Building and Environment 44 (8), (2009), 1675–169
- [7] Blocken B: Wind-driven rain on buildings. Dissertation. Laboratory of Building Physics. Katholike Universiteit Leuven (B), 2004
- [8] Fülle, C.: Climatic boundary conditions in hygrothermal building part simulation. A contribution to the modelling of shortwave and longwave radiation and driving rain. PhD thesis. Institut für Bauklimatik, Technische Universität Dresden, 2011
- [9] Bjarnadottir, S. Li, Y. Stewart, MG: A probabilistic-based framework for impact and adaptation assessment of climate change on hurricane damage risks and costs. Structural Safety. 2011, 33(3), 173-185

## Curriculum Vitae

**Architekt Dipl.-Ing.  
Stephan Ott M.A.**



### Ausbildung:

- |           |   |
|-----------|---|
| 1992      | Abitur an Robert-Bosch-Schule Technisches Gymnasium, Ulm              |
| 1993-1999 | Studium der Architektur an der TU München                             |
| 2005-2008 | Aufbaustudium Denkmalpflege an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg |

### Beruflicher Werdegang:

- |           |   |
|-----------|---|
| 1999-2000 | Kolbe & Sekles Berlin, Lichtplaner und Produktdesigner        |
| 2000-2005 | Haack + Höpfner Architekten, Projektleiter                    |
| Seit 2005 | Architekturbüro S. Ott, Nürnberg                              |
| Seit 2008 | TUM, Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion, wiss. Mitarbeiter |

### **Andrea Tietze, M.Sc.**

wiss. Mitarbeiterin

Schwerpunkte: Baukonstruktion, Klimaeinwirkung, Fassadentechnik

### **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter**

Ordinarius, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion