

Abstract

The renovation rate of apartment buildings having the External Thermal Insulation Composite System (ETICS) has increased during the last decades as it enables to optimise the energy efficiency of building envelopes. However, identified deficiencies that appear after the completion of construction confirm the existence of systematic, but avoidable, construction process shortcomings. These systematic inadequacies of application process increase the financial risk for the stakeholders and reduce the long-term durability of the façade. The extent of on-site shortcomings can be reduced if the most significant causes are detected during construction supervision. This complex façade system is a combination of different, but matching, construction materials in several layers, all having specific requirements as well as application methods. As the relevance of construction materials is well-studied and the causes of degradations are often known, the question arises: why is the number of occurring defects in the industry so high?

The thesis contributes to researches which study the impact of the construction process shortcomings and the construction quality of ETICS. To compare the relevance of numerous degradation factors to each other, a unique relevance assessment method has been developed. The ETICS assessment model, which is built according to the developed method, prioritises the degradation factors for rational focus setting in the industry.

The method quantifies the technical significance of the degradation factors along with the future repair costs, probability of occurrence and detectability of the shortcoming. The technical significance is derived from the analysis of expert judgments and validated with the non-parametric Friedman's test. The method weighs the impact of the essential technical requirements and simulates an integrated weighted value. The relevant economic parameters are to be collected from national statistics and project-based historic cost data. The data collection of predictable components follows the Delphi technique. The method of failure mode and effects analysis, together with the usage of risk matrix, enables the mathematical aggregation of the components.

The ETICS assessment model is verified on three simulations that evaluate the impact of the 103 degradation factors collected through the literature review. The analysis of the results shows that the model enables priority setting for complex construction systems in the industry. The numerical results of the simulations emphasise that the on-site construction activities of ETICS strongly influence the long-term durability, the stability, as well as the ability to bypass tensions. The degradation factors that occur during the preparation of the substrate, application of adhesive, and installation of additional details that penetrate the system have the highest relevance. The on-site failures occurring during the application of mechanical anchors, insulation materials, and finishing layer have the lowest relevance. The results show that half of the shortcomings show visible degradation signs during the first two years after completion and 90% of the shortcomings appear within the first five years.

It is recommended to upskill the craftsmen as the occurrence of shortcomings reduces significantly and the detection rate increases already during the construction phase. This relates in particular to the measures for protection against external weather effects due to their high relevance.

Kurzfassung

Der Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) ermöglicht es, die Energie-effizienz äußerer Gebäudehüllen zu optimieren. Festgestellte Mängel nach Fertigstellung der Bauarbeiten belegen jedoch, dass häufig systematische, aber vermeidbare Fehler während des Bauprozesses auftreten. Durch diese systematischen Defizite beim WDVS steigt das finanzielle Risiko für die Beteiligten. Gleichzeitig sinkt die Dauerhaftigkeit der Fassade. Der Umfang der bauseitigen Fehler kann reduziert werden, wenn die hierfür wichtigsten Ursachen im Rahmen einer Bauüberwachung erkannt werden. Das komplexe WDVS besteht aus einer Kombination unterschiedlicher, aufeinander abgestimmter Baumaterialien in mehreren Schichten, die jeweils bestimmten Anforderungen gerecht werden müssen und spezifischer Verarbeitungsmethoden bedürfen. Da die Relevanz der Baumaterialien bereits eingehend untersucht wurde und die Abnutzungsursachen häufig bekannt sind, stellt sich die Frage: Warum treten die Mängel in der Branche so häufig auf?

In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird eine neue Bewertungsmethode zur Qualitätssicherung von WDVS entwickelt. Durch diese Methode wird ein einheitliches Modell erstellt, das die Abnutzungsfaktoren priorisieren.

In der Methode werden die technische Signifikanz der Abnutzungsfaktoren und die zukünftigen Instandsetzungskosten quantifiziert, einschließlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwierigkeit der Fehlerdetektion. Das Modell wägt die Auswirkungen der wesentlichen technischen Anforderungen ab und simuliert einen gewichteten technischen Schweregrad, der aus der Analyse der Expertenbewertungen hervorgeht, die anhand des nichtparametrischen Friedman-Tests validiert wurden. Die relevanten wirtschaftlichen Parameter werden aus den nationalen Statistiken und projektbasierten Kostendaten bezogen. Die vorhersehbaren Komponenten basieren auf der Delphi-Methode. Die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) ermöglicht in Kombination mit einer Risikomatrix die mathematische Zusammenführung der Komponenten.

Das Modell wird in drei Simulationen verifiziert, die die Auswirkungen der im Rahmen einer Literaturrecherche gesammelten 103 Abnutzungsfaktoren auswerten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Methode die Priorisierung bei komplexen Bausystemen ermöglicht und in der Praxis umsetzbar ist.

Das quantitative Simulationsergebnis zeigt, dass die Ausführungsarbeiten von WDVS insbesondere einen erheblichen Einfluss auf die Langzeitbeständigkeit, die Standsicherheit sowie die Rissgefährdung haben können. Die Abnutzungsfaktoren, die während der Vorbereitung des Untergrundes, dem auftragen des Klebstoffs und beim Aufbringen zusätzlicher Details, die sich durch das System ziehen, haben aufgrund der hohen Instandsetzungskosten, der großen Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der schwierigeren Feststellbarkeit die höchste Relevanz. Bauseitige Fehler bei der Ausführung der mechanischen Verankerungen, Dämmmaterialien und Schlussbeschichtungen sind dagegen von geringerer Relevanz. Die Ergebnisse der Simulationen zeigen weiter, dass die Hälfte der Mängel innerhalb der ersten zwei Jahre nach Fertigstellung auftreten und 90% während fünf Jahren erkennbar sind.

Empfohlen wird, die Facharbeiter zur Ausführung von WDVS zu schulen, da dadurch zum Einen die Gefahr der Mängelerstehung und zum Anderen gleichzeitig der Aufwand zur Mängelerkennung deutlich reduziert wird. Dies betrifft insbesondere auch die aufgrund ihres relativ großen Einflusses empfohlenen Schutzmaßnahmen gegen äußere Witterungseinflüsse.