



Gebäudesanierung neu gedacht

Effizienzsteigerung durch Künstliche Intelligenz und Digitale Zwillinge

Eine Veröffentlichung aus dem
Forschungsprojekt „KIESAG“

Gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus
Baden-Württemberg im Rahmen des Programms Invest BW.

Stand: September 2025

www.bwcon-research.org

Einleitung

Gebäudesanierung neu gedacht

Der Gebäudesektor ist einer der größten Verursacher von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Rund 30 % der energiebedingten CO₂-Emissionen entfallen auf Raumwärme, Warmwasser und Stromverbrauch in Gebäuden (vgl. Umweltbundesamt, 2024). Um das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, müsste der Energieverbrauch in diesem Bereich um bis zu 46 % gegenüber 2020 sinken (vgl. Boston Consulting Group & BDI, 2021; Prognos et al., 2021). Der wichtigste Hebel dafür: die energetische Sanierung des Gebäudebestands.

Doch die Realität hinkt den Anforderungen deutlich hinterher. Die aktuelle Sanierungsrate liegt bei gerade einmal 0,7 % pro Jahr, nötig wäre mindestens das Doppelte (vgl. WWF & Öko-Institut, 2024). Besonders große Potenziale liegen in den sogenannten „Worst Performing Buildings“ – Gebäuden mit sehr geringer Energieeffizienz, z. B. Energieklasse F oder schlechter. Laut Studien lassen sich gerade hier erhebliche CO₂-Einsparungen mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand erzielen (vgl. Enseling & Hinz, 2022; DIW, 2024).

Gleichzeitig kämpfen viele Handwerksbetriebe mit Engpässen, die eine Skalierung der Sanierungsmaßnahmen erschweren. Laut Zentralverband des Deutschen Handwerks fehlen 60.000 Monteur*innen allein für den geplanten Einbau von Wärmepumpen, abgesehen von Fachkräften in den übrigen Ausbaugewerken – etwa bei der Dämmtechnik oder der Fenster- und Fassadenmontage (vgl. ZDH, 2023). Neue gesetzliche Vorgaben, komplexe Förderbedingungen und zunehmender Dokumentationsaufwand stellen zusätzliche Herausforderungen dar. Besonders kleinere Betriebe geraten dadurch an ihre Kapazitätsgrenzen.

Klar ist: Die Sanierungsziele lassen sich weder mit den bisherigen Werkzeugen noch mit der bestehenden Struktur erreichen. Was es braucht, sind neue Ansätze, die Fachkräfte entlasten, Prozesse vereinfachen und digitale Unterstützung in die handwerkliche Praxis bringen.

Genau hier setzt das vom Land Baden-Württemberg geförderte Forschungsprojekt zur Anwendung Künstlicher Intelligenz (KI) in der energetischen Sanierung und zur Geschäftsmodellinnovation im Handwerk (KIESAG = **KI**-basierte **e**nergetische **S**anierung von **G**ebäuden) an. Es zeigt exemplarisch, wie digitale Technologien, insbesondere Digitale Zwillinge und KI, Prozesse im Handwerk vereinfachen, beschleunigen und qualitativ verbessern können.

Ziel ist es, bestehende Kompetenzen durch digitale Werkzeuge zu ergänzen und Betriebe so fit für die Zukunft zu machen – ohne sie zu überfordern.

Der Ansatz

Gebäudesanierung, Digitale Zwillinge und Künstliche Intelligenz

Die energetische Sanierung umfasst bauliche und technische Maßnahmen, die darauf abzielen, den Primärenergiebedarf eines bestehenden Gebäudes dauerhaft zu senken, z. B. durch Dämmung, den Austausch ineffizienter Fenster und Heizsysteme oder die Integration erneuerbarer Energien. Gesetzliche Grundlage ist das Gebäudeenergiegesetz (GEG), flankiert von umfangreichen Förderprogrammen wie der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Die Sanierung kann entweder als Einzelmaßnahme oder in Form einer umfassenden Sanierung zum Effizienzhausstandard erfolgen, wobei der CO₂-Vermeidungseffekt zunehmend zum zentralen Maßstab wird.

In der Praxis sind diese Prozesse oft aufwendig, fehleranfällig und schwer zu skalieren – insbesondere für kleine und mittlere Handwerksbetriebe, die unter Fachkräftemangel, knappen Ressourcen und wachsender Komplexität leiden.

Digitale Technologien versprechen hier Entlastung – und zwar nicht nur in der Planungsphase, sondern entlang des gesamten Sanierungsprozesses. Insbesondere Technologien wie Building Information Modeling (BIM), Sensortechnik, mobile Applikationen, Digitale Zwillinge und KI bieten hier vielversprechende Ansätze, um die Planung, Umsetzung und Qualitätssicherung von Sanierungsmaßnahmen effizienter und transparenter zu gestalten.

Studien zeigen: Durch Digitalisierung können Zeitaufwand, Fehlerquoten und Ressourceneinsatz teils deutlich reduziert werden (vgl. Bauen 4.0, 2021; Fraunhofer IESE, 2023). Doch gerade für kleine und mittlere Betriebe (KMU) bestehen weiterhin Hürden bei Integration, Bedienbarkeit und Investitionssicherheit (vgl. PwC, 2024). So ist auch die breite Umsetzung in der Fläche noch ausbaufähig. Laut einer PwC-Befragung (2024) sehen 81 % der Bauunternehmen großes Digitalisierungspotenzial – aber nur 20 % fühlen sich technisch ausreichend gut aufgestellt. Die größten Hürden sind fehlende Standards, hohe Einstiegskosten, unsichere Investitionsbedingungen und mangelnde Schulung. Die Kluft zwischen technologischer Machbarkeit und handwerklicher Realität bleibt groß – besonders im Bereich der energetischen Sanierung.

Ein vielversprechender Ansatz zur Überwindung dieser Lücke ist der Einsatz Digitaler Zwillinge in Kombination mit KI.

Wir verstehen unter einem Digitalen Zwilling ein digital erzeugtes, datenbasiertes Abbild eines realen Objekts – im Bauwesen eines Gebäudes oder Bauteils (vgl. Reinhart, J. et al., 2019). Digitale Zwillinge lassen sich je nach Datenvernetzung und Anwendungszweck in verschiedene Reifegrade einteilen – von rein visuellen Modellen über semantische Zwillinge mit interpretierbaren Metadaten bis hin zu dynamischen, simulationsfähigen Systemen.

Anders als reine 3D-Modelle enthält ein Zwilling strukturierte Informationen über Geometrie, Eigenschaften, Zustände oder Nutzungen, die für Planung, Analyse, Simulation und Steuerung verwendbar sind (siehe Abbildung 1).



> Abb. 1: Stufenmodell Digitaler Zwillinge in der Gebäudesanierung. (Eigene Darstellung)

Mit KI bezeichnen wir IT-Systeme, die möglichst eigenständig Aufgaben lösen können, indem sie die beste mögliche Aktion in einer bestimmten Situation wählen. Maschinenlernen (ML) ist eine Teilmenge von KI, Neuronale Netze wiederum eine Teilmenge von ML und Deep Learning eine Teilmenge von Neuronalen Netzen. Diese arbeiten datenbasiert und sind besonders leistungsfähig bei der Erkennung komplexer Zusammenhänge – etwa in Bildern oder Sprachdaten.

Diese Entwicklungsperspektive veranschaulicht auch Abbildung 1: Vom einfachen digitalen Beschreiben über Analyse und Prognose bis hin zu simulationsbasierten Entscheidungen zeigt sie das Potenzial, das digitale Zwillinge und KI im Sanierungskontext entfalten können. Am Anfang steht die beschreibende Erfassung des Ist-Zustands eines Gebäudes, etwa durch die Erstellung von

Bauplänen, durch 3D-Scans oder digitale Fotoaufnahmen. Darauf folgt die analytische Verarbeitung dieser Daten – zum Beispiel durch die KI-gestützte Auswertung von Bildmaterial zur Identifikation energetischer Schwachstellen oder baulicher Potenziale.

In einer weiteren Stufe können KI-Modelle auf Basis vorhandener Daten Vorhersagen treffen, etwa über den künftigen Energieverbrauch oder die CO₂-Einsparung durch bestimmte Maßnahmen. Noch weiter gehen simulationsbasierte Anwendungen, die es erlauben, verschiedene Sanierungsszenarien miteinander zu vergleichen – etwa hinsichtlich ihrer ökologischen oder wirtschaftlichen Effekte. Als höchste Ausbaustufe gelten autonome Systeme, die auch automatisiert Handlungsvorschläge generieren oder selbstständig Entscheiden und Handeln können.



Warum digitale Technologien die Sanierung verändern

Digitale Zwillinge, Künstliche Intelligenz, BIM, Sensorik und weitere können Sanierungsprozesse beschleunigen, Fehler reduzieren und Ressourcen einsparen. Studien zeigen eine mögliche Zeitersparnis von bis zu 30 %, um bis zu 50 % sinkende Fehlerquoten sowie einen messbaren Effekt auf den Materialeinsatz. Trotzdem dominieren in der Praxis noch Einzellösungen, inkompatible Systeme und fehlende Schulungen. Besonders kleine und mittlere Betriebe (KMU) benötigen integrierte, sofort einsetzbare Systeme. Genau hier setzt das Projekt KIESAG an – mit Fokus auf praxisnahe Umsetzbarkeit.

Das Projekt KIESAG bewegt sich aktuell auf den ersten beiden Ebenen – der digitalen Beschreibung und der automatisierten Analyse – und zeigt erste Ansätze für eine datenbasierte Vorhersage. Perspektivisch wird eine Weiterentwicklung angestrebt, die simulationsgestützte Beratungen und teilautonome Empfehlungen ermöglicht – speziell ausgerichtet auf die Bedürfnisse kleiner und mittlerer Handwerksbetriebe, die von einfachen, sofort einsatzfähigen Lösungen besonders profitieren.

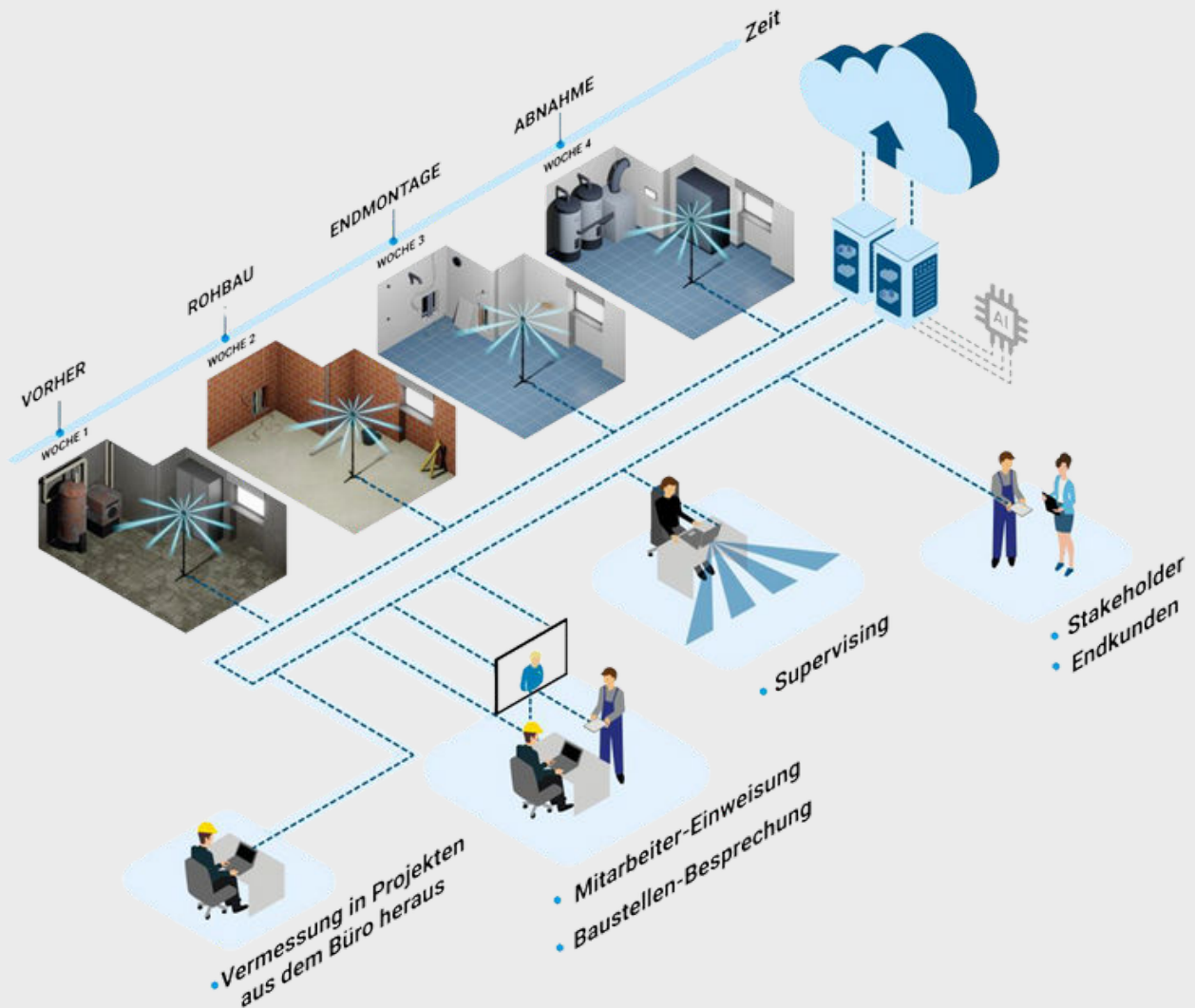
Aus der Praxis

Gebäudesanierung mit immersight

Im Projekt KIESAG wird demonstriert, wie digitale Technologien – konkret ein Digitaler Zwilling kombiniert mit Künstlicher Intelligenz – in kleinen und mittleren Handwerksbetrieben zur Effizienzsteigerung beitragen können. Die Lösung basiert auf der immersight-Plattform 3D-Workroom und adressiert zentrale Herausforderungen im Sanierungsalltag: von der Bestandsaufnahme über die Angebots-erstellung bis zur digitalen Dokumentation des Baufortschritts.

Herzstück ist ein statischer, strukturierter Digitaler Zwilling, der aus 360-Grad-Bildaufnahmen entsteht. Über eine mobile Scan-App wird ein Gebäude visuell mit Kameras erfasst, die Aufnahmen werden automatisch in die Cloud übertragen und zu einem 3D-Modell verarbeitet.

In der immersight-Plattform „3D-Workroom“ kann dieses Modell zur Vermessung, Planung und Kundenberatung verwendet werden – ortsunabhängig, ohne Spezialsoftware oder Vorkenntnisse. Die Integration in bestehende Prozesse erfolgt einfach über mobile Endgeräte.



> Abb. 2: Einsatzmöglichkeiten des digitalen Zwillings im Prozess der Gebäudesanierung.
(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 2 zeigt den digital unterstützten Arbeitsprozess bei energetischen Sanierungen im Rahmen des Projekts KIESAG. Ausgangspunkt ist die digitale Bestandsaufnahme vor Ort durch das Handwerk: Mit einer 360°-Kamera werden Raumaufnahmen erstellt und automatisch in die Cloud übertragen. Dort werden sie in ein begehbare 3D-Modell überführt, das über die Plattform 3D-Workroom von immersight visualisiert wird. In diesem Modell können Handwerker oder Planer Maße nehmen, Anmerkungen einfügen und energetische Maßnahmen planen – ohne erneuten Ortstermin. Eine integrierte KI erkennt automatisch Bauteile wie Fenster, Dächer oder Heizkörper und berechnet deren Flächen. Auf dieser Basis können Angebote schneller erstellt und mit Kunden besprochen werden. Das Modell dient auch als gemeinsame visuelle Referenz für Energieberater, Monteure und Endkunden. So verbessert sich nicht nur die Effizienz, sondern auch die Transparenz und Abstimmung im Projektverlauf.

Die Kombination aus Digitalem Zwilling und KI wird damit zu einem effektiven Werkzeug – besonders für kleine Betriebe, die ihre Ressourcen gezielt einsetzen müssen.

Zur weiteren Automatisierung wird das System durch eine KI-Komponente ergänzt: Ein trainiertes Bildklassifikationsmodell auf Basis von sogenannten Convolutional Neural Networks, wie z. B. YOLOv7, erkennt automatisiert typische Bauteile – etwa Fenster, Dächer oder Heizkörper – und berechnet deren Flächen. Die Trainingsdaten umfassen rund 12.000 gelabelte Bilder aus realen Handwerksprojekten. Die erreichte Klassifikationsgenauigkeit beträgt derzeit durchschnittlich 87,2%. Die KI-Modelle werden lokal trainiert und in eine Webanwendung eingebunden, die über einen Cloudserver zur Verfügung steht.

Aktuell handelt es sich bei KIESAG um eine visuell geprägte, eher statische Lösung. Dynamische Elemente – etwa simulationsgestützte Energieprognosen, textverarbeitende Komponenten zur Analyse von Energieausweisen oder kontinuierliches Lernen über föderierte Lernverfahren – sind noch nicht umgesetzt.

Die technische Machbarkeit ist gegeben, jedoch bedarf es hierfür zusätzlicher Daten, rechtlicher Freigaben (z.B. DSGVO-konformer Verarbeitung) sowie personeller und organisatorischer Ressourcen.

Fallbeispiel aus dem Projektverlauf

Ein Handwerksbetrieb aus dem Raum Ulm (die Karl Bez GmbH) dokumentierte mithilfe der immersight-App die Sanierungen. Die aufgenommenen Räume wurden automatisch in ein begehbare 3D-Modell überführt. Im Büro konnten die Flächen von Fassaden, Fenstern und Heizkörpern digital vermessen und mit Anmerkungen versehen werden. Die KI erkannte relevante Bauteile, berechnete deren Abmessungen und diente so als Grundlage für die Planung energetischer Maßnahmen.

Der Aufwand reduzierte sich für Projektleitende um 40 %, der für Monteur*innen um 6 %. Die Sanierungsdauer sank durchschnittlich um 18 % (eigene Erhebung). Das Modell diente zudem als gemeinsame Referenz bei der Abstimmung mit Kunden, Energieberater*innen und Monteur*innen.

Perspektivisch eröffnet dies das Potenzial für ein semantisches, lernfähiges Assistenzsystem, das sich auch in kleinere Handwerksbetriebe ohne technisches Fachpersonal integrieren lässt.

Im Vergleich zu vielen Forschungslösungen zeichnet sich das KIESAG-System durch sofortige Praxistauglichkeit, intuitive Bedienbarkeit und geringen Schulungsbedarf aus. Dies adressiert eine der zentralen Umsetzungsbarrieren

Die Anwendung reduziert den Aufwand also erheblich. Für kleinere Handwerksbetriebe bedeutet dies einen spürbaren Effizienzgewinn bei gleichzeitiger Verbesserung der Angebotsqualität. Zudem ist die Lösung skalierbar und unmittelbar nutzbar. Sie erfordert keine tiefgehende Schulung, lässt sich in bestehende Arbeitsabläufe integrieren und reduziert das Risiko fehlerhafter Erhebungen. Die Investition in Software und Geräte amortisiert sich bei regelmäßiger Nutzung binnen weniger Projekte. Besonders vorteilhaft ist die Wiederverwendbarkeit der erfassten Daten für spätere Planungen, Abstimmungen oder Angebotsanpassungen.

der Digitalisierung im Handwerk – wie sie u. a. in der DiCoMa-Studie (vgl. Fraunhofer IESE, 2023) oder der PwC-Branchenanalyse (2024) identifiziert wurden.



**Sie haben eine spannende Idee
für ein Innovationsprojekt und
brauchen Unterstützung bei der
Umsetzung?**

Kontaktieren Sie Joachim Reinhart
(reinhart@bwcon.de).

Lessons Learned

Was wir gelernt haben

**Im Projektverlauf konnten wir zeigen:
Der Digitale Zwilling im 3D-Workroom
plus KI-gestützte Bauteilerkennung liefert
messbaren Produktivitätsgewinn –
gerade in der energetischen Sanierung.**

Auf Basis der eigenen Erhebung (siehe Seite 7) sank die Sanierungsdauer im Mittel um 18 %, der Planungsaufwand in der Projektleitung um 40 % und der Montageaufwand um 6 %. Möglich wird das durch weniger Ortstermine, präzise Flächen und asynchrone Freigaben im gemeinsamen Modell (siehe Abbildung 2). Die integrierte KI erreicht derzeit Ø 87,2 % Erkennungsgenauigkeit und entlastet wiederkehrende Routinen wie Objekterkennung und Flächenberechnung. Zugleich sind die Grenzen klar: Der heute überwiegend statisch-visuelle Zwilling braucht für die nächste Stufe – etwa Simulationen, erklärbare KI/XAI und kontinuierliches Lernen – sorgfältig kuratierte Daten, eine klare Governance im Sinne der DSGVO, Datenhoheit und Zugriffsrechte sowie Ressourcen.

Mit Blick auf das Geschäftsmodell, verstanden als orchestrierte Logik des Wertschaffens, Wertliefern und Wertabschöpfens (vgl. Business Model Canvas nach Osterwalder & Pigneur, 2010), verschiebt die Digitalisierung mehrere Bausteine zugleich. Im Wertangebot rücken Tempo, Transparenz und Risikoreduktion in den Vordergrund – belegt durch vermasste, begehbare Modelle, nachvollziehbare Kalkulationen und belastbare Dokumentationen wie GEG-/BEG-Nachweise und Abnahmen.

In der Leistungserbringung wandern Routinen wie Aufmaße, Variantenvergleiche und Abstimmungen in digitale Workflows; Vor-Ort-Schleifen werden seltener, Übergaben klarer. Ressourcen werden zu Daten-Assets – etwa durch Scans, Zwillingstände, Bauteilbibliotheken und KI-Modelle – Partnernetzwerke arbeiten auf einer gemeinsamen Datenbasis (Handwerk × Energieberatung × Lieferant), was Übergabeverluste und Gewährleistungsrisiken reduziert. In der Erlöslogik ergänzen paketierte und wiederkehrende Leistungen die klassische Stunden-/Einheitspreislogik. Perspektivisch, sobald Simulationen praxistauglich sind, werden Performance-Modelle mit variablen Vergütungsteilen bei nachweisbaren Einsparungen denkbar.

Für das Handwerk ergeben sich konkrete Chancen – besonders in der energetischen Sanierung:

- Schnellere, belastbare Angebote (förder- und gesetzeskonform dokumentiert)
- Kapazitätsgewinn trotz Fachkräftemangel (Shift von Routinen zu Beratung/Qualität)
- Kooperative Komplettangebote mit Partnern auf einer Datenbasis

Die Amortisation gelingt erfahrungsgemäß rasch, wenn die Nutzung regelmäßig erfolgt, Prozesse wie Rollenvergaben, Benennungen, Versionierung und Zugriffsrechte standardisiert sind, Schnittstellen zu GAEB/AVA, ERP und ggf. BIM/IFC durch den Export/Import gängiger Formate verfügbar sind und Datenregeln wie Einwilligungen in bewohnten Räumen, Datenhoheit und Zugriffsrechte klar definiert werden.

Die Übertragbarkeit sollte domänenspezifisch gedacht werden: Innenraum-Workflows wie Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie Innenausbau lassen sich gut skalieren; Außen-Gewerke wie Fassade und Dach erfordern zusätzliche Praxisregeln für Außenaufmaß, Witterung, Gerüst und Datenschutz.

Digitale Technologien wie Digitale Zwillinge und KI beschleunigen energetische Sanierung, senken Risiken und öffnen den Weg von der reinen Stundenleistung hin zu lösungs- und datenbasierten Geschäftsmodellen. Wer klein startet, beispielweise mit zwei Use Cases zu Aufmaß und Angebot, Prozess vor Tool denkt und Kennzahlen konsequent misst (Zeit bis Angebot, Vor-Ort-Termine pro Auftrag, Fehlerrate, Rework-Stunden, Deckungsbeitrag pro Crew-Tag, Anteil wiederkehrender Umsätze, Lead-zu-Rechnungs-Zeit), macht aus Technologie planbaren, skalierbaren Nutzen.



Förderpraxis: Hürden und Hebel der energetischen Sanierung

In Deutschland existieren verschiedene Förderprogramme für energetische Sanierungen. Zu den wichtigsten gehören:

- **BEG – Bundesförderung für effiziente Gebäude:** Zuschüsse und zinsgünstige Kredite für Einzelmaßnahmen (z. B. Dämmung, Heizungstausch) oder Komplettisanierungen. Zuständig: BAFA und KfW.
- **Invest BW (Baden-Württemberg):** Förderung von Digitalisierung und nachhaltigen Innovationen im Mittelstand – auch im Bau- und Handwerksbereich.
- **Kommunale Programme:** Ergänzende Mittel und Beratungsangebote auf Landes- oder Stadtebene (z. B. Sanierungsfahrpläne, Energieberatung).

Trotz dieser Angebote bleibt die praktische Nutzung herausfordernd:

- Antragsverfahren gelten als komplex, gerade für kleinere Handwerksbetriebe und private Eigentümer.
- Fristen und Anforderungen ändern sich häufig, was Planungssicherheit erschwert.
- Vernetzte Beratung und digitale Antragshilfen sind oft nicht ausreichend verfügbar.

Als zentrale Hürden werden meist fehlende Transparenz, Bürokratie und mangelnde digitale Unterstützung genannt – und zugleich wird auf das große Potenzial vereinfachter und praxisnaher Förderstrukturen verwiesen.

Ein Blick nach vorne

Wir haben vier Fäden zusammengeführt:

1. Der Sanierungsdruck im Gebäudebestand trifft auf knappe Kapazitäten im Handwerk – neue, digitale Wege sind notwendig, um Klimaziele, Budgets und Termine zusammenzubringen.
2. Digitale Zwillinge und KI sind dafür tragfähige Enabler; sie machen Bestände sichtbar, reduzieren Mess- und Planungsfehler und unterstützen Entscheidungen – von der Beschreibung über die Analyse bis perspektivisch zur Simulation.
3. Die Praxis mit immersight zeigt, dass das im Alltag funktioniert: 360°-Scan, begehbare 3D-Modell im 3D-Workroom, KI-gestützte Bauteilerkennung (Ø 87,2 % auf rund 12.000 Bildern). In den KIESAG-Piloten sanken der Planungsaufwand in der Projektleitung um etwa 40 %, der Montageaufwand um 6 % und die Sanierungsdauer um 18 %.
4. Aus diesen Erfahrungen ergibt sich ein Wandel der Geschäftsmodelle – weg von reiner Stundenleistung hin zu lösungs- und datenbasierten Angeboten wie Scan-to-Quote, Dokumentationsservice, Twin-Update-Abos und kooperativen Bundles; wiederkehrende Service-Erlöse entstehen dabei beim Handwerk, während Plattformgebühren beim Anbieter anfallen.

Kurzfristig liegt der Hebel in Standardisierung und Integration: Klare Rollen, Benennung und Versionierung, definierte Daten- und Zugriffsregeln im Hinblick auf Einwilligungen, Datenhoheit und DSGVO sowie Schnittstellen zu GAEB/AVA, ERP und bei Bedarf BIM/IFC.

Betriebe, die zwei schlanke Use Cases (z. B. Aufmaß und Angebot) einführen, regelmäßige Nutzung sicherstellen und wenige, aussagekräftige Kennzahlen fortlaufend messen (Zeit bis Angebot, Vor-Ort-Termine pro Auftrag, First-Time-Right-Rate, Rework-Stunden, Anteil wiederkehrender Umsätze), realisieren die Effekte schnell und belastbar.

Mittelfristig wird der heute überwiegend statische Zwilling schrittweise dynamischer und semantischer. Erwartbar sind simulationsgestützte Energie- und CO₂-Szenarien direkt im Modell, erklärbare KI-Overlays wie z. B. Heatmaps zur Nachvollziehbarkeit der Erkennung, dokumentenzentrierte KI für Energieausweise, Normtexte und Förderbedingungen, sowie AR-gestützte Vor-Ort-Assistenz für Einbau und Abnahme.

Damit werden Beratung, Variantenvergleich und Qualitätssicherung weiter beschleunigt; zugleich wachsen die Möglichkeiten für kooperative Angebote über Gewerke hinweg.

Langfristig eröffnet sich der Weg zu lernenden, vernetzten Zwillingen: kontinuierliche Aktualisierung durch Sensordaten, föderiertes Lernen über viele Betriebe hinweg (ohne zentrale Datenpools), und bei solider Datenbasis auch erfolgsabhängige Vergütungsmodelle mit Einspar- oder Qualitätskomponenten.

Damit rücken serielle und teil-industrielle Sanierung, Vorfertigung und stabile Lieferketten in greifbare Nähe – bei höherer Transparenz und geringeren Risiken für alle Beteiligten.

Digitalisierung ist kein Selbstzweck.

Sie wird dort wertvoll, wo sie messbar Zeit spart, Qualität erhöht und neue, wiederkehrende Leistungen ermöglicht. Wer die nächsten Schritte pragmatisch setzt – klein starten, Prozesse klären, Schnittstellen planen, Daten verantwortungsvoll managen – macht aus Digitalem Zwilling und KI ein robustes Werkzeug für die energetische Sanierung und ein tragfähiges Geschäftsmodell im Handwerk.

Literatur

- Bauen 4.0. (2021). Demonstrator-Plattform zur vernetzten Baustelle der Zukunft. https://www.verbundprojekt-bauen40.de/zentrale_baufaufgabe#two
- Boston Consulting Group & Bundesverband der Deutschen Industrie. (2021). Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/>
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. (2024). Energetische Gebäudesanierung: Investitionen sinken preisbereinigt – Klimaziele ohne Trendwende nicht erreichbar. https://www.diw.de/de/diw_01.c.925703.de/publikationen/wochenberichte/2024_46_1/energetische_gebaeudesanierung__investitionen_sinken_preisbereinigt____klimaziele_ohne_trendwende_nicht_erreichbar.html
- Enseling, A., & Hinz, E. (2022). Spezifische Kosten für die energietechnische Modernisierung im Gebäudebestand in Abhängigkeit des Effizienzstandard. https://deneff.org/wp-content/uploads/2022/04/220427_Akt-Zsf_Studie_Modernisierung_EFH_wirtschaftlich_final-1.pdf
- Fraunhofer IESE. (2023). Digitalisierung der Baubranche – Ergebnisse der Digital Construction Management-Studie. <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/digitalisierung-baubranche-studie/>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business Model Generation; Campus Verlag GmbH, Weinheim
- Prognos AG, Öko-Institut e. V., & Wuppertal Institut. (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045/>
- PwC Deutschland. (2024). Die Bauindustrie in Krisenzeiten: Fortschritte bei ESG, Stillstand bei der Digitalisierung. <https://www.pwc.de/de/risk-regulatory/risk/pwc-bauindustrie-studie-2024.pdf>
- Reinhart, J., Mayer, O., Greiner, C. (2021). Künstliche Intelligenz – Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Umsetzungsstrategien für Unternehmen. Vogel Communications Group, Würzburg.
- Reinhart, J., Hoisl, B.; Baumgartl, J. (2019): Digital Twin. Grundlagen, Anwendungsfelder und Umsetzungsstrategien. https://www.researchgate.net/publication/334697407_Whitepaper_Digital_Twin
- Umweltbundesamt. (2024). Energiesparende Gebäude – Klimarelevanz des Gebäudesektors. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebaeude>
- WWF Deutschland & Öko-Institut. (2024). Auf die Zukunft bauen – So rechnen sich Sanierungen. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klima/studie-auf-die-zukunft-bauen-so-rechnen-sich-sanierungen.pdf>
- Zentralverband des Deutschen Handwerks. (2023). Die Wärmewende braucht ein starkes Handwerk. <https://www.zdh.de/presse/veroeffentlichungen/interviews-und-statements/die-waermewende-braucht-ein-starkes-handwerk/>

**Sie haben Fragen zum Thema?
Kontaktieren Sie uns!**



Joachim Reinhart

Projektleiter Innovations- & Forschungsprojekte



+49 176 47669984



reinhart@bwcon.de

www.bwcon-research.org

Projektpartner



Gefördert durch

