



Hochschule Konstanz
Fakultät Bauingenieurwesen

Bachelor-Thesis

Serieller Ausbau des Bestands – Eine Analyse des Energiesprong-Prinzips und der Gebäudeaufstockung in Holzbauweise zur Identifikation gemeinsamer Potentiale.

Zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Engineering (B.Eng.)“ im Studiengang Bauingenieurwesen in der Fakultät Bauingenieurwesen an der HTWG Konstanz.

Urheber: Manuel Hörner

Datum: 22.02.2022

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Alexander Michalski und Prof. Dr.-Ing. Michael Bühler

Inhalt der Bachelorarbeit

Zusammenfassung:

Um gegen den Klimawandel vorzugehen, ist im Gebäudebestand eine Reduktion der Treibhausgasemissionen nötig. Dafür müssen politische Entscheidungsträger, Wohnungsunternehmen und Baufirmen gemeinsam arbeiten, um CO₂ Neutralität zu erreichen. Die energetische Sanierung der bedürftigen Gebäude ist mit den konventionellen Methoden bis zum Jahr 2050 nicht zu erreichen. Das Energiesprung Prinzip bietet einen Lösungsansatz, welcher finanziell interessant ist und mit weniger Personalaufwand in großer Menge umgesetzt werden kann. Es wird die Erkenntnis gewonnen, dass die bisher verwendeten konstruktiven Systeme jedoch noch Optimierungsbedarf haben, um den finanziellen Rahmen des Prinzips einzuhalten und den Massenmarkt bedienen zu können. Die Untersuchungen dieser Arbeit ergeben, dass eine im Prozess eingebundene Gebäudeaufstockung in Holzbauweise eine lohnende Ergänzung sein kann. Aus nachhaltigem Baumaterial wird mit verhältnismäßigem Mehraufwand eine größere Rentabilität der Immobilie bewirkt und dem Problem der Wohnungsknappheit in Städten entgegengewirkt.

Summary:

In order to take action against climate change, a reduction in greenhouse emissions is necessary in existing buildings. Therefore, political decisionmakers, housing organisations and construction companies must work together to achieve carbon neutrality. The deep retrofit of the needy buildings till the year 2050 is not possible by conventional methods. The Energiesprung principle offers a solution that is financially interesting and can be implemented in large quantities with fewer personnel. The realization is gained that the previously used constructive systems still need to be optimized, in order to reach the financial goals of the principle and satisfy the mass market demand. The investigations of this work show that the concept could gain through the addition of a process integrated timber storey extension. With sustainable building materials, the property is made more profitable at considerable cost and workload, and the problem of housing shortages in cities is counteracted.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig angefertigt und alle von mir genutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben habe. Ich habe diese Arbeit in keiner anderen Prüfungsbehörde oder Person im Rahmen einer Prüfung vorgelegt. Sie ist noch nie veröffentlicht worden.

Redding, 22.02.2022

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagungen

Zuerst bedanke ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Alexander Michalski und Prof. Dr.-Ing. Michael Bühler für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik während der Betreuung meiner Arbeit. Weiterhin möchte ich mich bei Markus Rutz von der Blumer-Lehmann AG für den hilfreichen Input bedanken. Dank geht auch an Louis Metzger und Simeon Moor für die tatkräftige Unterstützung bei Korrekturen und für die inspirativen Gespräche. Zuletzt gebührt mein Dank meiner Familie und meiner Frau für die ermutigende Unterstützung.

Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
NDCs	Nationally determined contributions
dena	Deutschen Energie-Agentur
BMWi	Bundeministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
kWp	Kilowattpeak bei Photovoltaikanlagen
BIM	Building Information Modelling
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient in Watt pro Quadratmeter und Kelvin
EPS	Expandiertes Polysterol

Inhaltsverzeichnis

Inhalt der Bachelorarbeit	II
Eidesstattliche Erklärung	III
Danksagungen	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
2. Ausgangslage	2
2.1 Klimakrise - Klimaziele	2
2.2 Wohnungsknappheit in Städten	5
2.3 Fachkräftemangel	7
2.4 Marktentwicklung	8
2.4.1 Energiesprung	9
2.4.2 Gebäudeaufstockungen	11
2.5 Fazit der Ausgangslage	12
3. Energiesprung	13
3.1 Begriffsdefinition	13
3.1.1 Klimaschutz durch Net-Zero-Standard	13
3.1.2 Machbarkeit durch serielle Fertigung	15
3.1.3 Bezahlbarkeit durch Skalierung und Innovation	16
3.2 Ablauf und Stakeholder des Energiesprung Prinzips	17
3.2.1 Politische Marktentwicklung und Koordination	18
3.2.2 Wohnungswirtschaft und Banken	18
3.2.3 Bauwirtschaft	19
3.2.4 Mieter	20
3.3 Ablauf von Planung bis Fertigstellung	21
3.3.1 Digitales Aufmaß und Planung	21
3.3.2 Produktion und Logistik	23
3.3.3 Montage und Monitoring	23
3.4 Entwicklungspotential, Probleme und Lösungen	24
3.4.1 Aktueller Stand in Deutschland anhand eines Pilotprojekts	24
3.4.2 Entwicklungspotential und Lösungen	26
4. Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise	29

4.1 Begriffsdefinition	29
4.1.1 Wohnraumerweiterung durch Ausnutzung vorhandener Strukturen.....	29
4.1.2 Klimaschutz durch Holzbauweise	30
4.2 Ablauf einer Gebäudeaufstockung.....	33
4.2.1 Stakeholder	33
4.2.2 Ablauf von Planung bis Fertigstellung.....	34
4.3 Beispielprojekte einer Gebäudeaufstockung	36
4.4 Herausforderungen und Lösungen.....	39
4.4.1 Regulatorische Herausforderungen.....	39
4.4.2 Statische Herausforderung	40
4.5 Vergleich der Funktionsweise von Energiesprung und Gebäudeaufstockungen.....	42
5. Bauteile und Komponenten	44
5.1 Bestandteile des Systems	44
5.1.1 Fassadenelemente	44
5.1.2 Dachelemente	47
5.1.3 Energiemodul.....	49
5.1.4 Weitere aufstockungsspezifische Bestandteile	50
5.1.5 Weitere Innovationen	51
5.2 Konzeptionelle Anwendung auf ein Pilotprojekt.....	52
6. Abschließender Vergleich.....	55
6.1 Projektkarte für Energiesprung Sanierungen mit integrierter Gebäudeaufstockung in Holzbauweise.....	55
6.2 Abschließender Vergleich und Forschungsbedarf.....	56
7. Literaturverzeichnis.....	58
8. Abbildungsverzeichnis.....	63
9. Tabellenverzeichnis	63

1. Einleitung

Bei den, über die Jahre stark angewachsenen, Immobilienbeständen häufen sich die Gebäude, welche den heutigen Vorstellungen der Architektur und den energetischen Anforderungen nicht mehr entsprechen. Bauen im Bestand ist eine zunehmend wichtigere Thematik. Nutzungen haben sich geändert, die Anforderungen an die Gebäudetechnik ist gestiegen und auch das ästhetische Empfinden hat sich gewandelt. Die notwendigste Erneuerung ist bei vielen Gebäuden die energetische Sanierung. Der Grund dafür ist die Klimaerwärmung, eines der grundlegenden globalen Probleme unserer Zeit. Der Fokus für den Klimaschutz rückt vermehrt auf die Wohnungsbranche, da ein großes Einsparpotential der CO₂-Emissionen vorhanden ist. Es kann nicht nur der Heizenergiebedarf stark reduziert werden, sondern auch ein Wechsel von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energien erfolgen. Reduzierte Heizkosten verringern zudem auch das Armutsrisiko, welches jeden vierten Miethaushalt in Deutschland bedroht. Die Nebenkosten werden durch die, 2021 eingeführte, CO₂-Abgabe in den nächsten 10 bis 50 Jahren kontinuierlich steigen. Da aufgrund der niedrigen Energiekosten vor 60 Jahren zum Teil noch komplett ungedämmt gebaut wurde, steht man jetzt vor der großen Herausforderung die energetische Sanierung dieser Gebäude zu bewerkstelligen. [1]

Auch Wohnraumknappheit führt zu höheren Kaltmieten. Die Bundesregierung will mit Mietpreisbremsen und rund 400.000 neuen Wohnungen pro Jahr dagegen vorgehen. [1] Die für den Wohnraum benötigte Fläche ist in stark wachsenden Großstädten nur knapp vorhanden. Die veränderte Lebensweise im digitalen Zeitalter und die anhaltende Urbanisierung sind nur zwei der Gründe für die Entwicklungen. Mit stark wachsendem Umweltbewusstsein steigt das Interesse an nachhaltigen Baustoffen und auch der Wert der grauen Energie, welche bereits in das Bestandsgebäude investiert wurde, wird betrachtet und geschätzt. Die Stadtplanung ist im Wandel, um leerstehende Ressourcen in Wohnungen umzuwandeln und Umbau und Erweiterungsmaßnahmen bestehender Gebäude zu ermöglichen. [2]

Diese Arbeit hat zum Ziel, die Entwicklungen im Bestandsbau zu analysieren und zu bewerten. Dabei gibt es eine Vielzahl von Ansätzen wie eine Sanierung des Bestandes gehandhabt werden kann. Im Folgenden werden mit dem Energiesprung Prinzip und der Gebäudeaufstockung in Holzbauweise zwei dieser Konzepte genauer betrachtet. Die Leitfrage ist, ob das serielle Sanieren nach dem Energiesprung Prinzip mit dem Konzept der Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise symbiotisch ergänzt werden kann. Können gemeinsam die bestehenden Herausforderungen im Bereich Energieverbrauch und Wohnungsmangel bewältigt werden?

Dazu werden nacheinander die Ursachen für die Problematiken, das Energiesprung Prinzip, die Gebäudeaufstockung in Holzbauweise und die entsprechenden Bauteile und Komponenten analysiert. Auf Basis einer Literaturrecherche werden die bestehenden Prozesse und der aktuelle Stand dargestellt. Durch eine vergleichende Betrachtung des Energiesprung-Konzepts mit der Gebäudeaufstockung in Holzbauweise werden Potentiale

Ausgangslage

für eine Ergänzung beider Konzepte untersucht, kritisch betrachtet und ein konzeptionelles Beispielprojekt erstellt. Der Fokus liegt insbesondere auf dem Produkt, dem Fertigungsprozess, der Montage, der finanziellen Rentabilität und den politischen Umständen. Neben den gemeinsamen Chancen sollen auch aktuelle Pilotprojekte und Potentiale der einzelnen Konzepte dargestellt werden und ein Ausblick für zukünftige Entwicklungen aufgezeigt werden.

2. Ausgangslage

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Ursachen beleuchtet, für welche die Konzepte der seriellen Sanierung und der Gebäudeerweiterung potenzielle Teillösungen darstellen. Weiterführend wird der globale Markt aus dieser Perspektive betrachtet und ein Vergleich der Ausgangslage erstellt.

2.1 Klimakrise - Klimaziele

Seit den letzten beiden Jahren ist zu beobachten wie einschneidend eine Pandemie, bedingt durch das Coronavirus, das Leben der globalen Menschheit beeinflusst. Nach dem unten dargestellten Cartoon (Abbildung 1) von Graeme MacKay wird der Klimawandel noch viel umfangreichere Auswirkungen haben.

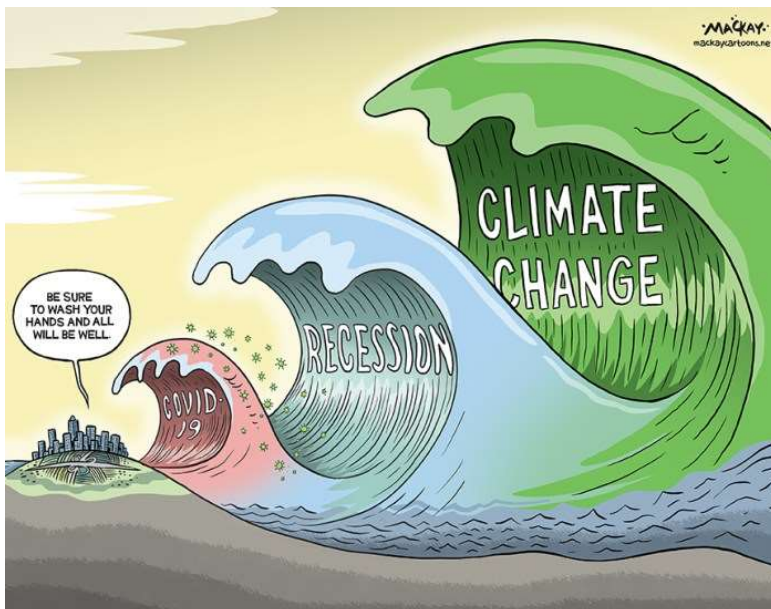


Abbildung 1: Cartoon Klimawandel

Quelle: [3]

Der Gründer der Global Challenges Foundation, László Szombatfalvy, beschreibt den Klimawandel als eine der vier größten Herausforderungen unserer Zeit. Die Veränderung des

Ausgangslage

Klimas ist bedingt durch die seit Jahren stetig ansteigende globale Mitteltemperatur, welche wiederum von den Treibhausgasemissionen verursacht wird. Rund ein Viertel der Emissionen fällt auf die Energieversorgung und knapp 8 Prozent fällt auf den Bausektor zurück. [4, S. 20–22]

Die Erderwärmung bringt keine lineare Erwärmung des Planeten sich, stattdessen wird es regional zu verschieden starkem Ansteigen der Temperatur kommen. Dies führt wiederum zu regional sehr unterschiedlichen Auswirkungen, welche, um die Relevanz zu unterstreichen, im Folgenden dargestellt sind. Durch das Schmelzen der Gletscher in der Arktis wird der Meeresspiegel erheblich steigen. Dies stellt eine enorme Bedrohung für die Hälfte der Erdbevölkerung dar, welche weniger als 200 km von der Küste entfernt lebt. Die Gletscher in den Gebirgen dienen oftmals als große Wasserspeicher, welche im Winter durch Schneefall genährt werden und im Sommer die Flüsse mit Wasser versorgen. Die Wasserversorgung der peruanischen Hauptstadt Lima hängt beispielsweise stark von dem, im Anden-Gebirge liegenden, Pastoruri-Gletscher ab. So kann die sommerliche Wasserversorgung in vielen Ländern zu einem Problem werden. In Regionen, in denen Wasserknappheit herrscht, besteht weiterhin die Gefahr das Hitzewellen und Dürren häufiger auftreten und die Wüsten sich ausweiten. Im Gegensatz dazu können andere Gebiete von extremen Stürmen und Regenfällen betroffen sein. Neben diesen direkten Auswirkungen der Klimaveränderung kann es mit großer Wahrscheinlichkeit zu weiteren, indirekten Folgen wie Waldbränden, Hungersnöten durch erschwerte Landwirtschaft, neuen Krankheiten, großen Schäden an Infrastruktur und Gebäuden, finanziellen und politischen Krisen und somit zu einer nie dagewesenen Flüchtlingsproblematik kommen. [4, S. 23–28]

Im Verlauf der Erwärmung gibt es die sogenannten „Tipping Points“ an welchen das Ökosystem des Planeten nachhaltig verändert wird. Als Schwelleneffekte bekannt ist das Abschmelzen der Polarkappen, das vollständige Auftauen der Sibirischen Tundra und die Freisetzung enormer Mengen an CO₂, das Ausbleiben des Golfstroms, das häufigere und verstärkte Auftreten des „El Niño“- Phänomens und die Verödung der tropischen Regenwälder des Amazonas. Diese Ereignisse sind unumkehrbar und werden massive Einflüsse auf das Leben der Menschheit haben. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Punkte ist stark von dem Anstieg der globalen Temperatur abhängig. [4, S. 28–29]

Um diese „Tipping Points“ nicht zu erreichen, haben 195 Parteien das Pariser Abkommen vom 12. Dezember 2015 unterschrieben. Am 4. November 2016 trat es in Kraft, nachdem 55 Länder mit mindestens 55% der globalen Emissionen die Entscheidung ratifiziert hatten. Zum heutigen Zeitpunkt haben bis auf wenige Ausnahmen alle Länder dem Abkommen zugestimmt. Das erklärte Ziel des Pariser Abkommens ist es, den globalen Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert unter 2°C zu halten und die Bemühung den Wert von 1,5°C nicht zu überschreiten. Der Wert für den Temperaturanstieg bezieht sich jeweils auf das vor-industrielle Level.[5]

Um dieses Ziel zu erreichen, soll der globale Höchststand an Treibhausgasemissionen so bald wie möglich erreicht werden, um dann im Jahr 2050 Klimaneutralität zu erlangen. Dafür werden in Fünf-Jahres-Zyklen von allen Ländern verpflichtend sogenannte NDCs („Nationally determined contributions“) erstellt. Dabei handelt es sich um Pläne für die Maßnahmen des

Ausgangslage

jeweilige Landes die seit 2020 in Kraft getreten sind. Weiterhin wurde beschlossen, dass Entwicklungsländer finanzielle Unterstützung erhalten und durch entwickelte Länder bei einem Aufbau von Reaktions- und Puffermaßnahmen gefördert werden, um auf die Herausforderungen des Klimawandels reagieren zu können. Dies wird auch Kapazitätsbildung genannt. Ein wichtiger Aspekt ist die Entwicklung, der gegenseitige Austausch und der Einsatz von Technologien, um die Emissionen zu reduzieren und die Widerstandsfähigkeit gegen die Folgen des Klimawandels zu erhöhen. [6]

Infolge des Pariser Klimaabkommens hat sich die EU die Klimaneutralität bis 2050 als Ziel gesetzt. Der europäische Grüne Deal stellt das neue Schlüsselprojekt der EU-Kommission dar. Es sollen keine Treibhausgase freigesetzt werden und wo dies nicht möglich ist, müssen die Restemissionen durch umkehrende Prozesse ausgeglichen werden. Zum Beispiel durch einen nachhaltigen Umgang mit der Natur oder das Aufforsten von geeigneten Gebieten. Ein Zwischenziel für das Jahr 2030 ist die Reduktion der EU-internen Treibhausgasemissionen um 55% im Vergleich zu 1990. Die zwei wesentlichen Werkzeuge sind der Emissionshandel und die Klimaschutzverordnung. Hierdurch wird nachhaltig Einfluss auf die Sektoren Energie, Industrie, Verkehr, Gebäude, kleine Industrieanlagen und Landwirtschaft genommen. [7]

Für diese Arbeit ist vor allem der Gebäudesektor von Relevanz und wird im weiteren Verlauf hauptsächlich betrachtet. Laut dem Beauftragten für Energie, Kadri Simson, verbrauchen Gebäude mit 40% den größten Anteil der Gesamtenergie in Europa und verursachen 36% der Europäischen Treibhausgasemissionen. Der Grund dafür sind die geringe Energieeffizienz vieler Gebäude, sowie das Heizen mit fossilen Brennstoffen. Da der Gebäudebestand im Jahr 2050 voraussichtlich zu 85% gleich sein wird, sind dringend Maßnahmen notwendig. Von der EU-Kommission wird deshalb vorgeschlagen, dass ab 2030 alle neuen Gebäude emissionsfrei sein müssen. Weiterhin sollen Energieausweise für Gebäude eindeutiger werden und bessere Informationen bieten. Die Verpflichtung für den Ausweis wird ausgeweitet und die 15% der am schlechtesten abschneidenden Gebäude jedes Mitgliedstaates sollen bis 2027 mindestens die Stufe F erreichen. Außerdem sollen fossile Energieträger als Brennstoff bis spätestens 2040 ausgedient haben. [8]

Eine große Herausforderung, um die Ziele zu erreichen, ist die Geschwindigkeit der Sanierungen. Nur etwa 1% des Gebäudebestandes wird pro Jahr energetisch saniert. Die „Renovation Wave“ Initiative der EU-Kommission strebt eine Verdopplungsrate der Sanierungen in den nächsten zehn Jahren an. So könnten bis 2030, 35 Millionen Gebäude renoviert werden und bis zu 160.000 zusätzliche Arbeitsplätze in der Bauindustrie geschaffen werden. Dazu sollen weitere Subventionen, mögliche „grüne“ Hypotheken, Mindest-Standards und eine bessere Kalkulierbarkeit der Sanierungs-Vorzüge beitragen.[9]

In Deutschland beträgt der Anteil des Gebäudebereichs mit direkten und indirekten Emissionen fast ein Drittel der Gesamtemissionen. Davon sind ca. zwei Drittel für die Bereitstellung von Raumwärme verantwortlich. Somit befindet sich in diesem Bereich das größte Einsparpotential an Treibhausgasemissionen. Wie in Abbildung 2 zu sehen, ist im deutschen Klimaschutzplan vorgesehen, diese im Gebäudesektor bis 2030 im Vergleich zu 2014 auf knapp die Hälfte zu reduzieren. [10]

Ausgangslage

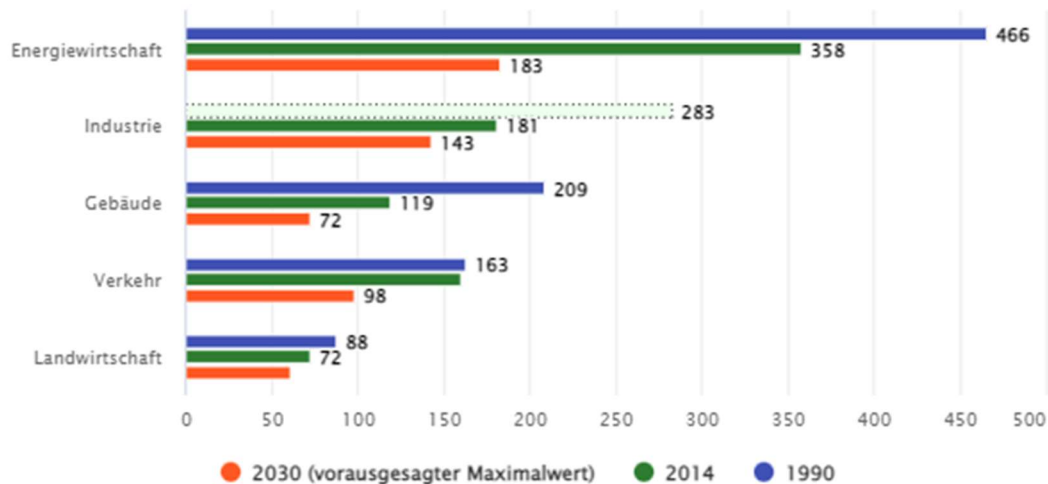


Abbildung 2: Die Sektorziele 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050 in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten

Quelle: [10]

Hierfür sollen anspruchsvolle Neubaustandards entwickelt werden, welche mittelfristig nahezu klimaneutral sind. Außerdem sollen die erneuerbaren Energien effizienter genutzt werden und eine sukzessiven Abbau der fossilen Heizungssysteme herbeigeführt werden. Als dritter Punkt soll mit Energieeffizienzmaßnahmen und durch erneuerbare Energien ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erwirkt werden. Da die Bauindustrie es nach den konventionellen Methoden nicht leisten kann die Sanierungsgeschwindigkeit zu vervielfachen, ist eine neue Methodik erforderlich. Solch eine neuartige Methode kann das Serielle Sanieren nach dem Energiesprung Prinzip darstellen. [11], [12]

2.2 Wohnungsknappheit in Städten

Die Vereinten Nationen schätzen die Weltbevölkerung zum heutigen Zeitpunkt auf rund 7,8 Milliarden Menschen. Prognosen zufolge wird das Wachstum bis im Jahr 2100 anhalten und bei der Anzahl von 10,9 Milliarden Menschen den Höhepunkt erreichen. Wie man in der nachfolgenden Abbildung 3 sehen kann, sinkt die prozentuale Wachstumsgeschwindigkeit dabei stetig. Im darauffolgenden Jahrhundert wird eher von einem Bevölkerungsrückgang ausgegangen. [13, S. 17]

Ausgangslage

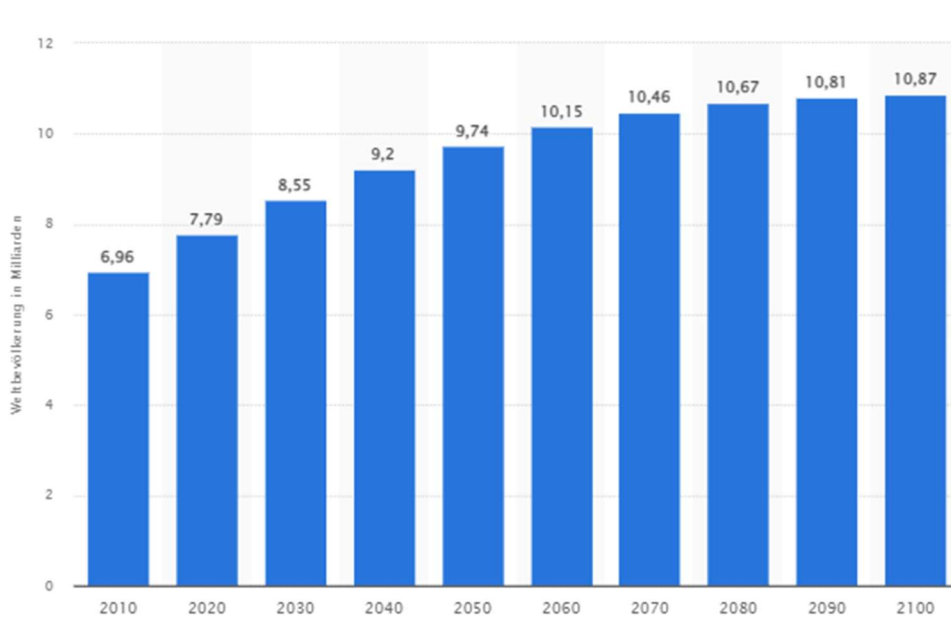


Abbildung 3: Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100

Quelle: [14]

Parallel dazu findet auf globaler Ebene eine zunehmende Verstädterung statt. Mit ca. 55% lebt heute schon über die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Basierend auf Erfahrungswerten steigt dieser Wert von etwa 30% um 1950 auf ungefähr zwei Drittel der Menschheit im Jahr 2050. Die Vereinten Nationen gehen davon aus, dass der kalkulierte Zuwachs von 2 Milliarden Menschen bis 2050 ausschließlich in den Städten zu erwarten ist. Durch den Bevölkerungsrückgang in Industrieländern kann es regional allerdings auch zu einem Rückgang der Stadtbevölkerung kommen. In Europa beispielsweise entwickelt sich die Demografie dahingehend, dass die Sterberate die Geburtenrate um 0,6 je 1.000 Personen übersteigt. Im Zeitraum von 2015 bis 2020 kommt das Bevölkerungswachstum nur durch den Zuwanderungsgewinn von 1,8 je 1.000 Personen zustande. [13, S. 53–54]

Obwohl aus der globalen Perspektive die Verstädterung unaufhaltsam voranschreitet, muss die Entwicklung in Deutschland kontrovers betrachtet werden. Nach einem konstanten Wachstum der meisten Großstädte bis 2017, zieht es heutzutage vermehrt Familien in ländliche Regionen. Ein adäquates Wohnungsangebot in der Stadt ist zu selten vorhanden. Daraus resultieren hohe Miet- und Immobilienpreise, welche sich weiterhin in einer steigenden Wachstum befinden. Das Wachstum der Städte ist in Deutschland somit kein allgemeingültiger Trend. Die Bevölkerungsgruppe, der unter 30-Jährigen hingegen zieht vermehrt in die Stadt, um zu studieren oder zu arbeiten [15]. Eine Abnahme der Zuzüge in dieser Bevölkerungsgruppe war im Jahr 2020 deutlich erkennbar. Mit dem Hintergrund der Coronakrise und der damit verbundenen Digitalisierung in Bildung und Arbeit allerdings ein erklärbares Phänomen. Ob diese Tendenz in dieser Altersgruppe auch langfristig anhält, bleibt abzuwarten. Da die demografische Entwicklung in Deutschland wie bereits erwähnt stark von der Zuwanderung aus dem Ausland abhängt wird dies ein entscheidender Faktor für die langfristige Entwicklung der Städte sein [16]. Ein Indiz auf ein weiteres Wachstum der

Ausgangslage

Städte gibt allerdings die Erfahrung, dass Migranten die Großstädte stets vorgezogen haben. [15]

Die Entwicklungen in der Schweizer Raumplanung kann auch für Deutschland richtungsweisend sein. In der Schweiz wird von einem Wachstum der Bevölkerung auf über 10 Millionen Menschen im Jahr 2040 ausgegangen. Um die begrenzt vorhandenen Flächen zu schützen, wurden verschiedene Initiativen lanciert und 2014 ein neues Raumplanungsgesetz in Kraft gesetzt, welches unter anderem das Ziel hat, die Entwicklung der Siedlungen nach innen zu richten. Um das Bevölkerungswachstum aufzunehmen, sollen primär hoch verdichtete Siedlungen weiterentwickelt werden. Laut einer Studie des Bundesamtes für Raumentwicklung sind die bestehenden, unbebauten und inneren Reserven groß genug, um den Wohnflächenbedarf in Zukunft zu decken. Grundvoraussetzung hierfür ist es, die vorhandenen innerstädtischen Reserven voll auszuschöpfen. Statt einer neuen Einzonung von land- und forstwirtschaftlicher Fläche zu Bauland entspricht die Aufzonung dem eigentlichen Ziel der Verdichtung bestehender Siedlungsgebiete. Durch die Erhöhung der Nutzungsmaße auf einer Parzelle können neue Reserven freigesetzt werden. Für die Wahrnehmung dieser Ressourcen ist dann der jeweilige Eigentümer verantwortlich. Um aus der Aufzonung realen Wohnraum zu schaffen, müssen die finanziellen Anreize groß genug sein. Sofern die Grenzabstände, Grünflächenziffern und die weiteren baurechtlichen Rahmenbedingungen eine Maßnahme mit entsprechend großem Volumen zulassen, kann in den meisten Fällen von ökonomischer Sinnhaftigkeit ausgegangen werden. [17, S. 59–63]

Unter Betrachtung der aktuellen Situation von Wohnungsknappheit und den Entwicklungen von Verstädterung und Bevölkerungswachstum, die in Europa mindestens bis 2030, und global möglicherweise bis im Jahr 2100 anhalten, ist es eine große Notwendigkeit die Städte wohnungstechnisch auszubauen. Erweiterungen im Bestand können die verschärfte Situation des Wohnungsmarktes in Städten abmildern und die ökologisch wichtigen land- und forstwirtschaftlichen Flächen vor einer Bebauung schützen. Mit diesem Hintergrund haben Gebäudeaufstockungen das Potential zu einem wichtigen Beitrag für die zukünftige Stadtentwicklung.

2.3 Fachkräftemangel

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, könnten bis 2030 bis zu 160.000 zusätzliche Arbeitsplätze in der Bauindustrie geschaffen werden. Damit ist allerdings nicht geklärt, ob die dafür benötigten Arbeitskräfte vorhanden sein werden. Der demografische Wandel befindet sich in einer entgegengesetzten Entwicklung. Laut des statistischen Bundesamtes gab es 2018 in Deutschland 51,8 Millionen potenziell erwerbsfähige Personen. Prognosen zufolge wird der Bevölkerungsanteil bis zum Jahr 2035 im Altersbereich von 20 bis 66 Jahren auf circa 45,8 bis 47,4 Millionen schrumpfen. Das sind 4 bis 6 Millionen potenzielle Arbeitskräfte, welche weniger vorhanden sein werden. Die Nettozuwanderung von 3 bis 5 Millionen ist dabei schon mit einberechnet. Bis zum Jahr 2060 könnte sich die Zahl auf 40 bis 46 Millionen weiter verringern. [18]

Ausgangslage

Die Produktion ist in Deutschland bereits durch das Arbeitskräftepotenzial begrenzt. Im Jahr 2017 gaben 47% der befragten Firmen an, über zu wenig Fachpersonal zu verfügen. Dies kann zu einer Auslastung des Betriebs führen und dem betrieblichen Wachstum im Weg stehen. Circa 25% der ausgelasteten Unternehmen berichten sogar von Engpässen bei Zeitarbeitern und können das Auftragspensum nur durch Zusatzschichten bewältigen. Hinzu kommt, dass ab dem Jahr 2023 die sogenannte Babyboomer-Generation in Rente zu gehen beginnt. Dies wird das Arbeitskräfteangebot weiter beeinträchtigen. [19, S. 37]

In den, für die Umsetzung der Klimapolitik wichtigen, Berufen gibt es bereits heutzutage ein Defizit. Neben der quantitativen Nachfrage verändern sich auch die qualitativen Anforderungen an Fachkräfte. Die Prozesse und Technologien weisen zum einen eine höhere Komplexität auf, andererseits verändern Internationalisierung und Digitalisierung die Tätigkeitsbereiche. Fachliche Kompetenzen für Bauplanung, Softwareanwendungen und spezifisches Fachwissen, sowie eine intensivere interdisziplinäre Zusammenarbeit werden vermehrt benötigt. Die erhöhten Sanierungsraten und ambitionierteren Sanierungstiefen erfordern komplexere Systeme und technisch weiterentwickelte Planung und Herstellung. Um die benötigten Qualifikationen und Kompetenzen zu erlangen, wird zwangsläufig potenzielle Arbeitszeit verbraucht. [20, S. 1–3]

In der Bauindustrie sind qualifizierte Fachkräfte eine Grundvoraussetzung für die Innovationskraft eines Unternehmens. Ohne diese geht eine technologische Weiterentwicklung der Systeme und Prozesse nur langsam voran. Im Vergleich zu vorherigen Jahren werden im Handwerk allerdings nicht mehr Fachkräfte ausgebildet als benötigt, sondern zu wenige. Andere Sektoren profitieren im Regelfall durch die Übernahme von den im Handwerk ausgebildeten Arbeitskräften.[21] Der Wettbewerb um die Fachkräfte mit anderen Branchen erschwert somit die Situation. Dies hat dazu geführt, dass allein im Handwerk etwa 250.000 Fachkräfte fehlen. [22]

Als notwendige Gegenmaßnahme ist die Zuwanderung von Fachkräften zu fördern. Wie bereits beschrieben wird den demografischen Prognosen zufolge diese Maßnahme allein nicht ausreichen. Eine Automatisierung in der Bauindustrie ist deshalb ein zentraler Schritt, um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. [19, S. 37]

2.4 Marktentwicklung

Mit dem Hintergrund der Ursachen beleuchtet dieses Kapitel das reale Interesse der Politik und der Wirtschaft an den zu betrachtenden Teillösungen und Entwicklungen. Die Betrachtung findet für das Energiesprung Prinzip und die Gebäudeaufstockung aus Holz getrennt statt.

2.4.1 Energiesprong

Bei dem in Kapitel 3 ausführlich dargestellten neuartigen Konzept für energetische Sanierungen sind die Niederlande die internationale Vorreiter- und Entwicklungslation. Der Name Energiesprong bedeutet auf Niederländisch so viel wie Energiesprung und beschreibt bildhaft die schnelle Ertüchtigung eines Gebäudes hinsichtlich der Energieeffizienz. Das Innovationsprogramm Energiesprong aus dem Jahr 2011 wird von der Organisation Stroomversnelling weitergeführt. Der erste große Rahmenvertrag zwischen Bauunternehmen und Wohnungsbaugesellschaften über ein Volumen von 111.000 Wohnungen wurde 2013 geschlossen. Dies wird auch als Volumendeal oder Volume-Deal bezeichnet. Seitdem haben 1300 NetZero-Energy Sanierungen stattgefunden und 500 weitere befinden sich in der Planungs- oder Bauphase. NetZero steht für einen Energie Standard, welcher in Kapitel 3.1.1 genauer erläutert wird. Die momentanen Entwicklungen in den Niederlanden befassen sich mit NetZero Konzepten für Gebäude mit mehr als fünf Stockwerken, solide finanzielle Lösungen für private Hausbesitzer und innovative Start-ups wie die Factory Zero. [23]

Seit 2016 gibt es Energiesprong auch in Frankreich. Mit den Wohnungsunternehmen Vilogia und ICF Habitats wurden die ersten Pilotgebäude errichtet. Auch in Frankreich wurde 2017 ein Rahmenvertrag über 3.600 Gebäude geschlossen, mit dem Ziel, diese bis 2022 zu sanieren. In Großbritannien wurden 2017 bereits 10 Gebäude des Wohnungsunternehmens Nottingham City Homes realisiert. Mit dem Ziel, attraktiven und günstigen Wohnraum zu kreieren, um gegen die sogenannte „fuel-poverty“ (Brennstoff-Armut) anzukämpfen, hat sich dafür eine Gruppe aus den Bereichen der Bauindustrie und dem sozialen Wohnungsbau mit der Energiesprong-Initiative zusammengeschlossen. [24]

Offizielle Bemühungen außerhalb Europas gibt es bisher hauptsächlich in den USA und Kanada. Der Staat New York hat 30 Millionen Dollar bereitgestellt, um in den nächsten zehn Jahren die Marktentwicklung voranzutreiben. Das Team dort arbeitet unter dem Namen RetrofitNY und ist dabei, eine skalierbare, preiswerte Sanierungslösung einzuführen. In Kanada wird an einem selbstfinanzierenden Fertigungskonzept für Sanierungen gearbeitet. Die Organisation Sustainable Buildings Canada hat dafür vor allem den sozialen Wohnungssektor im Blick. Da in anderen Breitengraden die klimatischen Bedingungen sehr unterschiedlich sind, ist das Energiesprong Prinzip nicht immer zielführend. Eine ausgereifte serielle Produktion könnte auch für Anforderungen in anderen Ländern interessant werden und ein Potential für weitere Märkte hervorbringen.[24]

Die EU plant verteilt auf sieben Jahre, 72,2 Milliarden Euro in die Sanierung von Gebäuden und weitere Klimaschutzmaßnahmen zu investieren. Diese Sozialfonds dienen dem Zweck, die weniger wohlhabenden Bevölkerungsschichten durch die Veränderungen nicht zu benachteiligen. Diese Fördergelder helfen der Entwicklung und vorschreitenden Umsetzung von Projekten. [25]

Seit 2017 gibt es in Deutschland die, von der Deutschen Energie-Agentur (dena) initiierte, Energiesprong Initiative. Das Ziel ist es, serielle Sanierungslösungen für Mehrfamilienhäuser am deutschen Markt voranzutreiben. Durch bereits realisierte Pilotprojekte, gebündelte

Ausgangslage

Nachfrage durch einen Volume-Deal und Kommunikationsarbeit soll die Bauindustrie dazu motiviert werden, innovative Produkte und industrielle Fertigungsprozesse zu entwickeln und die Sanierungskosten zu reduzieren. Das Marktpotential in Deutschland liegt ungefähr bei 3,8 bis 6,5 Millionen Wohneinheiten. Daraus ergibt sich ein Marktvolumen von 30 bis 120 Milliarden Euro. Dies begründet eine wahrscheinliche Nachfrage für neue Geschäftsmodelle und Produktionskapazitäten. Diese Zahlen stammen aus den, im folgenden Absatz näher dargelegten, Eignungskriterien [26]. Ein Meilenstein der diese Nachfrage untermauert ist der Volume-Deal der dena. Hier stellen 22 Wohnungsunternehmen der Bauwirtschaft über 11.000 Wohnungen bereit, welche ab November 2019 innerhalb von vier Jahren saniert werden sollen. [27]

Wesentlich für die Einschätzung des Marktes ist ein grundsätzliches Wissen bezüglich der Gebäudetypen, da sich daraus ein realistisches Marktvolumen prognostizieren lässt. Dabei gibt es langfristig kaum Einschränkungen, um eine Energiesprung Sanierung technisch zu realisieren. Um im jetzigen Marktstadium ein Projekt zügig und ökonomisch sinnvoll durchzuführen, sind allerdings bestimmte Grundvoraussetzungen zu beachten. Der NetZero-Standard soll durch ein günstiges Verhältnis von Solar- und Wohnfläche möglichst wirtschaftlich realisierbar sein. Deshalb sind Gebäude mit 2-4 Vollgeschossen und geringer Verschattung zu bevorzugen. Um den Skalierungseffekt zu erhöhen, wird eine Wohnfläche von mindestens 1000 m² und eine möglichst identische Architektur mit einfacher Kubatur benötigt. Für einen schnellen Bauablauf sollte umlaufend Platz für die Dämmelemente, das Energiemodul und die Montage derselben vorhanden sein. Zusätzlich ist von denkmalgeschützten und asbestverschmutzten Gebäuden Abstand zu nehmen. Ein unbewohntes Dachgeschoss, sowie ein zentrales Heizungs- und Warmwassersystem vereinfachen den Bauprozess. Der Sinn und die Rentabilität der Sanierung kann nur erreicht werden, wenn ein hoher Energieverbrauch von idealerweise über 130 kWh pro m² und Jahr und ein hoher Instandhaltungsbedarf des Gebäudes vorhanden ist. [28]

Die neue Koalition von SPD, Grüne und FDP hat ambitionierte Ziele im Gebäudesektor, welche die bisherigen Entwicklungen weiterhin stark beeinflussen werden. Durch Digitalisierung, Entbürokratisierung, Standardisierung und serielles Bauen sollen die Wohnungsbaukosten gesenkt und modulares und serielles Bauen schneller durchführbar werden. Dazu sollen vereinfachte Typengenehmigungen und Normung sowie Standardisierung und Prozessoptimierung im Planungs- und Genehmigungsverfahren beitragen. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, sollen passgenaue und technologieoffene Maßnahmen im Bereich Gebäudehülle sowie Erzeugung und Versorgung mit erneuerbaren Energien umgesetzt werden. Zur Entlastung der Mieter wird ein Umstieg auf das Teilwarmmiete Modell geprüft und eine gerechte Teilung des neuen CO₂-Preises für Heizmittel angestrebt. Serielles und modulares Bauen und Sanieren soll angestoßen und unter anderem im Forschungsprogramm „ZukunftBau“ weiterentwickelt werden. Für das Energiesprung-Prinzip sollen bauplanungs- und bauordnungsrechtliche Hindernisse erkannt und beseitigt werden. [29, S. 89–90]

Der erwähnte neue CO₂ Preis kann zu einer Beschleunigung der Marktsituation führen. Seit dem 1. Januar 2021 wurde der nationale Emissionshandel auf fossile Brenn- und Treibstoffe ausgeweitet. Über den Erwerb von Emissionsrechten müssen die Unternehmen indirekt

Ausgangslage

einen Preis für das CO₂ bezahlen, welches durch den Verbrauch der Energieträger freigesetzt wird. Der CO₂-Preis startet zu Beginn mit 25 Euro pro Tonne CO₂ und soll bis 2025 auf ungefähr 55 Euro steigen. Danach wird über Versteigerung und eine politisch regulierte Menge an Emissionsrechten ein Markt mit Angebot und Nachfrage gebildet, aus welchem der Preis hervorgeht. Durch die Verteuerung von fossilen Energieträgern werden erneuerbare Energien profitabler und die Einsparung von Energie durch Sanierungsmaßnahmen gewinnen an ökonomischer Bedeutung. Die daraus gewonnenen Einnahmen werden in Maßnahmen für den Klimaschutz reinvestiert und teilweise der Bevölkerung entlastend zurückgegeben. Dies wird beispielsweise in Form von Wohngeld und Mobilitätsprämien geschehen. [30]

2.4.2 Gebäudeaufstockungen

Bei Gebäudeaufstockungen wird ein bestehendes Gebäude um ein oder mehrere Geschosse erweitert. Sie stellen eine Lösung für die Wohnungsknappheit in Städten dar. Nach Kapitel 2.2 gibt es in jeder Region und in jedem Land, in dem der Trend zur Urbanisierung herrscht, ein auszuschöpfendes Potential. In Großstädten auf der ganzen Welt könnte so der Raum effizienter ausgenutzt werden und Wohnraum geschaffen werden. Wie aus Kapitel 2.2 ersichtlich wird, geht die Schweiz hier voran und versucht die rechtlichen Rahmenbedingungen zu ändern, um das Potential nutzbar zu machen und den Markt voranzutreiben. Variablen für den Markt sind die Entwicklungen in der Bauindustrie der jeweiligen Region, sowie Gebäudetypen und gesetzliche Vorschriften welche Aufstockungen strukturell und statisch überhaupt zulassen. Da die Untersuchung der regionalen Bedingungen in anderen Ländern über den Aufwand dieser Arbeit hinausgeht, wird im Folgenden vertieft auf die Marktsituation in Deutschland eingegangen.

Laut dem Baden-Württembergischen Minister für ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Peter Hauk, ist der mangelnde Wohnraum in Ballungsräumen ein Problem von großer Dringlichkeit. Eine innerörtliche Nahverdichtung oder Gebäudeaufstockung mit dem klimafreundlichen Material Holz kann das Problem der fehlenden Wohnungen lösen und den daraus resultierend hohen Mietpreise entschärfen. Die bauphysikalischen Eigenschaften von Holz, wie das Verhältnis von hoher Stabilität und geringem Gewicht, sowie der gute Dämmwert, verbunden mit einem hohen Vorfertigungsgrad, ermöglichen ein großes Marktpotenzial. Die Baden-Württembergische Landesregierung hat deshalb Förderungen in Form von Innovationspaketen auf den Weg gebracht, um den Holzbau bis 2023 voranzubringen. Die hohe Verfügbarkeit der Ressource Holz und die CO₂ speichernden Eigenschaften ergeben eindeutige Vorteile gegenüber den energieintensiven Baustoffen Beton und Stahl [31]. Auch die Pläne der neue Koalition lassen auf eine Markterweiterung deuten. Im Koalitionsvertrag wurde der Bau von 400.000 neuen Wohnungen pro Jahr beschlossen und eine erweiterte Bereitstellung von finanziellen Fördermitteln in die Wege geleitet. Außerdem sollen für das Nachhaltigkeitsziel beim Flächenverbrauch in Deutschland konkrete Maßnahmen erarbeitet werden. [29]

Ausgangslage

Bei Gebäudeaufstockungen gibt es bestimmte Kriterien für das Objekt zu beachten, um die Sinnhaftigkeit eines Projektes sicherzustellen. Ob ein Gebäude besonders geeignet ist, hängt von der Gebäudeart, der Bauweise, dem Alter, dem Standort und den Eigentumsverhältnissen ab. Die Grundvoraussetzung ist, dass die Bauhöhe und die weiteren Grundstückseigenschaften noch nicht voll ausgenutzt sind. Außerdem sind nur Regionen mit einem ungesättigten Wohnungsmarkt von Relevanz. Weiterhin muss die Statik des Gebäudes ohne, oder nur mit geringen Ertüchtigungsmaßnahmen, den neu aufgebrachten Lasten standhalten. Ein hoher Sanierungsbedarf oder Modernisierungsbedarf muss gegeben sein und es sollte kein Denkmalschutz vorliegen. Gebäude von Wohneigentumsgemeinschaften werden aufgrund des komplizierteren Verfahrens als Sekundärpotential betrachtet. Um mit großer Wahrscheinlichkeit ein hohes Potential aufzuweisen, sollte ein Gebäude in Deutschland also zwischen 1950 und 1989 erbaut sein und entweder in einem städtischen Gebiet oder alternativ einer Region mit Wohnungsmangel liegen. Der spezifische Zeitraum kommt daher, dass in dieser Zeit die Grundstückseigenschaften oft nicht ausgenutzt wurden, die konstruktiven Verhältnisse gegeben sind, ein Erneuerungsbedarf herrscht und noch kein Denkmalschutz vorliegt. Von den deutschlandweit 18 Millionen Gebäuden mit Wohnraum treffen diese Kriterien auf immerhin 580.000 Mehrfamilienhäuser zu und ergeben so ein Primärpotential für Gebäudeaufstockungen. Unter der Berücksichtigung von wahrscheinlichen Hemmnisfaktoren gibt es weitere 210.000 Gebäude, auf welche die Kriterien nur zum Teil zutreffen und somit als Sekundärpotential gewertet werden. Ein- und Zweifamilienhäuser wurden bei diesen Datenerhebungen nicht berücksichtigt, da hier Gebäudehöhen oft ausgereizt werden. Dennoch besteht auch hier ein gewisses Sekundärpotential. Der Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen bewertet das Aufstockungspotential von 1,1 Millionen Wohneinheiten mit 84,2 m² Wohnfläche als hoch. [32]

2.5 Fazit der Ausgangslage

Die Ursachen für welche die beiden Konzepte als Lösung verwendet werden überschneiden sich nur indirekt. Die Auswirkungen der Klimakrise können zu Bevölkerungswanderung und damit Wohnungsbedarf in anderen Regionen führen. Allerdings liegt dieses wahrscheinliche Szenario entfernt in der Zukunft und beeinflusst die Marktentwicklungen in den nächsten Jahren kaum. Der Fachkräftemangel betrifft sowohl Gebäudeaufstockungen als auch energetische Sanierungen. Die Automatisierung von Herstellungsprozessen ist damit ein gemeinsames Unterfangen.

Der politische Wille das Konzept voranzutreiben ist bei Energiesprung und Gebäudeaufstockungen deutlich wahrnehmbar und es wird jeweils daran gearbeitet die gesetzlichen Rahmenbedingungen zu verbessern. Der Bedarf nach Wohnraum der bezahlbar, klimaschonend, komfortabel und nachhaltig ist, tangiert beide Konzepte. Das Marktpotential ist bei energetischen Sanierungen allerdings um das zehnfache größer. Die Voraussetzungen für Gebäudetypen der beiden Konzepte sind für viele Kriterien gleich oder vereinbar und werden in einem gemeinsames Portfolio in Kapitel 6.1 übersichtlich dargestellt. Aus der

Energiesprong

Perspektive des Energiesprong Konzepts zum jetzigen Marktstatus gibt es dabei einen entscheidenden Vorteil. Für die Bedingung von einer Wohnfläche größer als 1000 m² kann die durch die Gebäudeaufstockung gewonnene Fläche dazugerechnet werden. Dadurch wird der Skalierungseffekt auch für vormals zu kleine Gebäude erreicht.

3. Energiesprong

Im vorigen Kapitel wurden bereits verschiedene Entwicklungen und Hintergründe des Energiesprong Prinzips beleuchtet. Im Folgenden soll das Prinzip genauer erklärt werden.

3.1 Begriffsdefinition

„Energiesprong ist ein neuartiges Sanierungskonzept, das hohen Wohnkomfort, minimale Sanierungszeiten und ein innovatives Finanzierungsmodell mit einem zukunftssicheren Energiestandard vereint. Ermöglicht wird dies, weil Energiesprong-sanierte Gebäude in der Jahresbilanz so viel Energie erzeugen, wie sie benötigen.“[33]

Das neuartige Sanierungskonzept wurde in den Niederlanden entwickelt und wird häufig auch als serielles Sanieren bezeichnet. Durch qualitative, standardisierte Elemente, welche in einer seriellen Produktion vorgefertigt werden, soll die Energieeffizienz stark erhöht und der Wohnkomfort gesteigert werden. Neben dem automatisierten Herstellungsprozess der innovativen Systeme, kann ein digitalisierter Bauprozess im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung die Bauzeit stark verkürzen. Zusätzlich wird die Mieterfreundlichkeit durch eine angestrebte Warmmietenneutralität ergänzt. Die Sanierungskosten sollen aus eingesparten Energie- und Instandhaltungskosten refinanziert werden. Das langjährige Performance-Versprechen schafft Sicherheit und die großflächigen Projekte bringen zusätzliche Skalierungseffekte und senken den Preis deutlich. In Deutschland treiben die Koordinatoren der dena und die Förderung durch das BMWi die Entwicklungen auf dem Markt voran. Durch das Erreichen des Net-Zero-Standards erzeugt das Gebäude über das Jahr gerechnet so viel Energie wie es für Heizung, Warmwasser und Strom verbraucht. Das Prinzip bringt neben der Möglichkeit, Sozialwohnungen finanziell sinnvoll zu sanieren, auch einen neuen Markt mit technischen Innovationen und neuen Geschäftsmodellen hervor. Energiesprong hat das Potential die Wärmewende zu beschleunigen und maßgeblich zum Erreichen der Klimaziele beizutragen.[27],[33]

3.1.1 Klimaschutz durch Net-Zero-Standard

Für NetZero Gebäude, zu Deutsch Netto-Null Energie Gebäude gibt es noch keine offizielle einheitliche Definition. Aus den verschiedenen Definitionsarten ergeben sich

Energiesprong

unterschiedliche Design-Strategien für ein optimales Gebäude und eine unterschiedliche Dimensionierung der verschiedenen Komponenten wie Dämmungsstärke, Haustechnik oder die Größe der Photovoltaikanlage. Verallgemeinert betrachtet, bedeutet Netto-Null, dass die Energiebilanz eines Gebäudes auf das Jahr gesehen unter dem Strich null ergibt. Wie in Abbildung 4 dargestellt, sind Gebäude nach dem Net-Zero Standard an das Energienetz angeschlossen und kaufen und verkaufen Energie je nach Bedarf oder Überschuss. Die Energiegewinnung findet im häufigsten Fall in Form von Elektrizität statt, wobei alternative Energieträger nicht ausgeschlossen sind. [34]

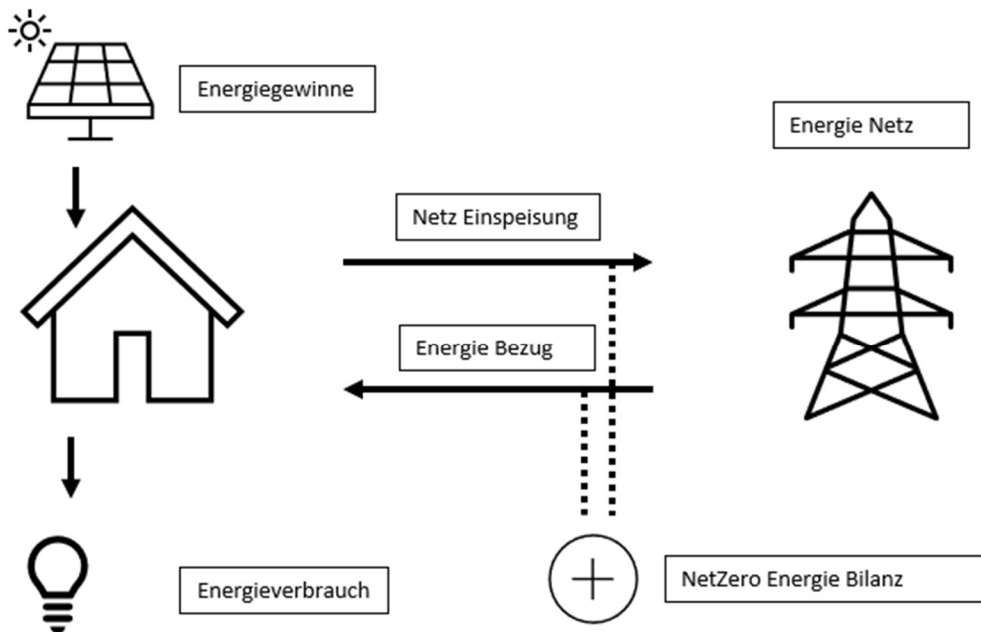


Abbildung 4: Energiekreislauf Energiesprong

Quelle: Eigene Abbildung nach [32]

Um den, für Energiesprong notwendigen, NetZero-Standard zu erreichen, muss das Gebäude durch Isolation, effiziente Heiztechnik und sparsame Elektrizität einen geringen Energieverbrauch aufweisen. Die Heizmethode beruht auf nachhaltigen Energieträgern. Um die Kalkulierbarkeit zu ermöglichen, werden Wärme und Strom gleichgesetzt, also entspricht die thermische Leistung (kWh) der elektrischen Leistung (kWh). Zur Verdeutlichung der Funktionsweise wird im Folgenden ein Beispiel vom deutschen Energiesprong Marktentwicklungsteam dargelegt. Ein Gebäude mit 6 Wohneinheiten, 450m² Wohnfläche und 150m² Dachfläche verbraucht 44 Kilowattstunden Strom pro m² und Jahr (kWh/(m²a)). Dies ergibt sich aus einem Raumwärmeverbrauch von 30 kWh/(m²a) und einem Warmwasserbedarf von 18 kWh/(m²a), welche mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3 einen Stromverbrauch von 16 kWh/(m²a) ergeben. Die Jahresarbeitszahl bedeutet, dass eine angenommene Wärmepumpe mit einer Kilowattstunde Strom jeweils 3 Kilowattstunden Wärme gewinnen kann. Zu den 16 kWh/(m²a) Stromverbrauch für Wärme kommen noch 3 kWh(m²a) Lüftungsstrom und 25 kWh/(m²a) Haushaltstrom hinzu. Damit benötigt das Gebäude eine Energiegewinnung aus

Energiesprung

Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraft etc. von mindestens 44 kWh/(m²a). Dies wird im Beispiel durch eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 25 kWp erreicht, welche auf der erwähnten Dachfläche ausreichend Platz hat und rechnerisch ein Ergebnis von 44,4 kWh/(m²a) erreicht. Der jährliche Gesamtstromverbrauch und die Stromgewinnung ergeben eine neutrale oder negative Endenergie-Jahresbilanz. Nach dem Energiesprung Prinzip soll eine Ausschreibung nach dem Performance-Ziel und nicht bauteilbasiert stattfinden. Der NetZero-Standard stellt dabei das Performance-Ziel dar und ist mit Performance Spezifikationen verknüpft. Beispielsweise muss die Energie regenerativ erzeugt werden, eine hohe Energieeffizienz erreicht werden und die Behaglichkeit durch garantierte Wohnraumtemperaturen etc. gegeben sein.[33]

3.1.2 Machbarkeit durch serielle Fertigung

Das Energiesprung Prinzip setzt auf eine industrialisierte Vorfertigung. Statt der Bearbeitung eines Projektes mit handwerklich ausgeführten Teillösungen, soll ein Produkt entwickelt werden, welches auf viele Projekte anwendbar ist. Die verschiedenen Lösungen sind bereits in das Produkt integriert und werden industriell gefertigt. Der Innovationsprozess betrifft also auch schon die Zulieferer, welche ihre Komponenten auf ein optimales Sanierungspaket anpassen und weiterentwickeln. Zur Optimierung muss zwischen den Kosten für weitere Isolation, intelligentere Haustechnik, weitere Reduzierung des Energieverbrauchs oder einer erhöhten Energieproduktionskapazität abgewogen werden. Als Beispiel dafür war es bei einem Projekt in den Niederlanden kostentechnisch von Vorteil, anstatt erweiterter Energieproduktionskapazität einen effizienten Kühlschrank mit auszuliefern, um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen. [33]

Da selbst Gebäude mit gleichem Grundriss und Architektur sich im Detail mindestens um einige Zentimeter unterscheiden, wird eine flexible Fabrik nach Industrie 4.0 angestrebt. Mit 3D-Laserscanning Techniken werden Gebäudeabmessungen schnell und genau aufgenommen, in ein Gebäudeinformationsmodell transformiert und technische Zeichnungen erstellt. Damit werden passgenaue Fassaden- und Dachelemente in einer individualisierten Serienproduktion hergestellt. Die flexible Fertigung ermöglicht es den Unternehmen ihre Sanierungspakete auf individuelle Wünsche anzupassen und das Erscheinungsbild einzeln zu gestalten und zu verbessern. Ein Sanierungspaket besteht aus drei Teilen. Den großen Fassadentafeln, welche bereits Fenster, haustechnische Elemente und Dämmung enthalten, den Dachelementen mit Photovoltaik Anlage und den Haustechnikmodulen mit Heizung, Warmwasser und Lüftung. Auf die spezifischen Eigenschaften der Bestandteile wird in Kapitel 5 weiter eingegangen. [26, S. 34], [33]

Die serielle Fertigung bringt überwiegend Vorteile mit sich. Aufgrund sehr kurzer Montagen vor Ort, welche häufig ohne Gerüst stattfinden können, ist die Mieterbeeinträchtigung gering. Die Montage kann so durchgeführt werden, ohne dass die Mieter ausziehen müssen. Durch die komplette Off-Site Produktion des Sanierungspaketes findet die Vorfertigung Wetterunabhängig statt. Ein gleichbleibend hoher Qualitätsstandard ermöglicht die langjährige Performance Garantie, welche die Bauunternehmen wiederum für die

Energiesprung

Weiterentwicklung von Lösungen motiviert. Durch das große Produktionsvolumen und die Standortgebundenheit sind die Anforderungen an die Logistik dementsprechend höher und müssen gut koordiniert werden, um einen reibungslosen Ablauf zu garantieren. [35]

Das North Sea Region Programm, ein von der EU mitfinanzierter Zusammenschluss von Ländern der Nordsee Region, hat im Rahmen des INDU-ZERO Projekts einen Plan für eine Smart Renovation Factory erarbeitet. Das Projekt hat dafür bereits existierende Renovationstechnologien auf Fabrikation nach Industrie 4.0 angepasst und materialspezifische Untersuchungen angestellt. Durch logistische Planung und Betrachtungen der Kreislaufwirtschaft wurde ein Gesamtkonzept mit Entwurf für eine flexible Fabrik erstellt. Unter Einbezug der Skalierungseffekte soll der Preis gesenkt werden und ein großes Produktionsvolumen realisiert werden [36]. Um eine Sanierungsquote von 15.000 Gebäuden pro Jahr zu erreichen, müssen an 250 Produktionstagen 60 Sanierungspakete pro Tag mit durchschnittlich 9 Elementen pro Wohneinheit hergestellt werden. Die vollautomatische Produktionslinie soll somit 540 Elemente pro Tag fertigen. Der Bau einer ersten Fabrik ist für 2023 in den Niederlanden geplant. [26, S. 39]

3.1.3 Bezahlbarkeit durch Skalierung und Innovation

Eine großflächige energetische Sanierung setzt sich nur durch, wenn für alle Beteiligten die finanzielle Rentabilität gegeben ist. Anders als in handwerklichen Sanierungsverfahren sind durch die industrielle Fertigung mittelfristig Skaleneffekte zu erwarten. Durch die serielle Fertigung wird das Produkt günstig produziert und technische Innovationen senken den Preis weiter. Eine anhaltende Prozessoptimierung und großvolumige Aufträge sorgen dafür, dass die Sanierungspakete im Wettbewerbsvergleich deutlich günstiger angeboten werden können. Um die Investition für die Sanierung zurückzubekommen, kann das Wohnungsunternehmen die Kaltmiete um die Energiekosteneinsparung des Mieters erhöhen. So hat der Mieter die gleichen Gesamtkosten von Nettokaltmiete, Betriebs-, Heiz- und Stromkosten. Durch den NetZero-Standard werden spätere Ausgaben für Effizienz-Maßnahmen nicht mehr benötigt und auch die Ausgaben für Wartung und Instandhaltung entfallen durch die 30-jährige Performance Garantie. In eine aktuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann außerdem die Wert-Steigerung der Immobilie und die eingesparten CO₂-Steuern auf die Heizenergieträger mit einberechnet werden. [33]

Die prognostizierte Preisentwicklung einer seriellen Sanierung in Abbildung 5 zeigt, dass Energiesprung Sanierungen im Vergleich zu konventionellen Methoden bereits im Jahr 2025 einen günstigeren Preis erzielen könnten. In den folgenden Jahren wird eine weitere Preissenkung erwartet. Einige Erfolge zeichnen sich bereits ab. Mit beständiger Optimierung konnten niederländische Generalübernehmer die Sanierungskosten in wenigen Jahren um 40% senken und die Installationszeiten von Wochen auf Tage reduzieren [33]. Diese Entwicklung war auch in Großbritannien zu erkennen. Die ersten Sanierungen in Nottingham kosteten rund 90.000€ pro Haus im Vergleich zu den ersten Sanierungen in den Niederlanden im Jahr 2010 mit 130.000€ pro Haus. [37, S. 15]

Energiesprung

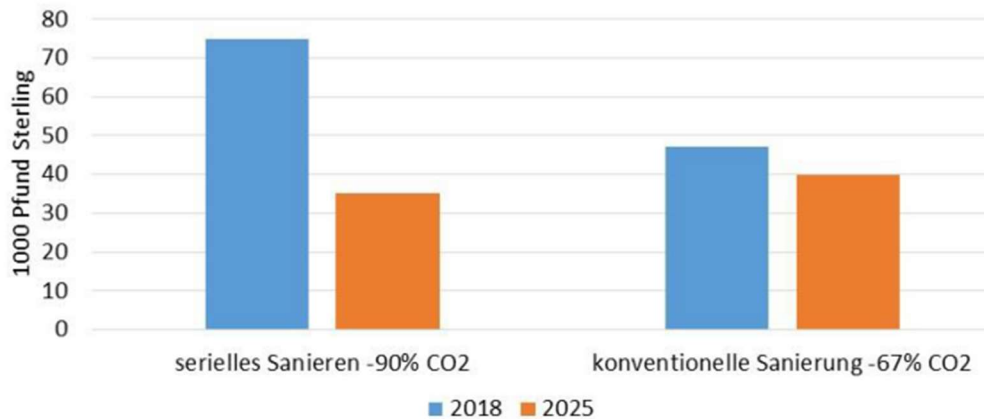


Abbildung 5: Potenzielle Kostensenkungen, serielles versus konventionelles Sanieren

Quelle: [37, S. 11]

3.2 Ablauf und Stakeholder des Energiesprung Prinzips

Die Zusammenhänge der Stakeholder werden in Abbildung 6 übersichtlich dargestellt. Die Politik ermöglicht mit passenden Rahmenbedingungen und Förderungen eine potenzielle Sanierung. Diese kommt zustande, wenn ein Wohnungsunternehmen eine Baufirma beauftragt ein Projekt von ausreichender Größe durchzuführen. Die Baufirma setzt das mit dem Hersteller entwickelte initiative Produkt in die Tat um und ermöglicht dem Mieter eine kurze Bauphase mit nachfolgendem hohen Wohnkomfort, gleichbleibenden Mietpreisen und einer deutlichen Verringerung der Treibhausgasemissionen. [33]

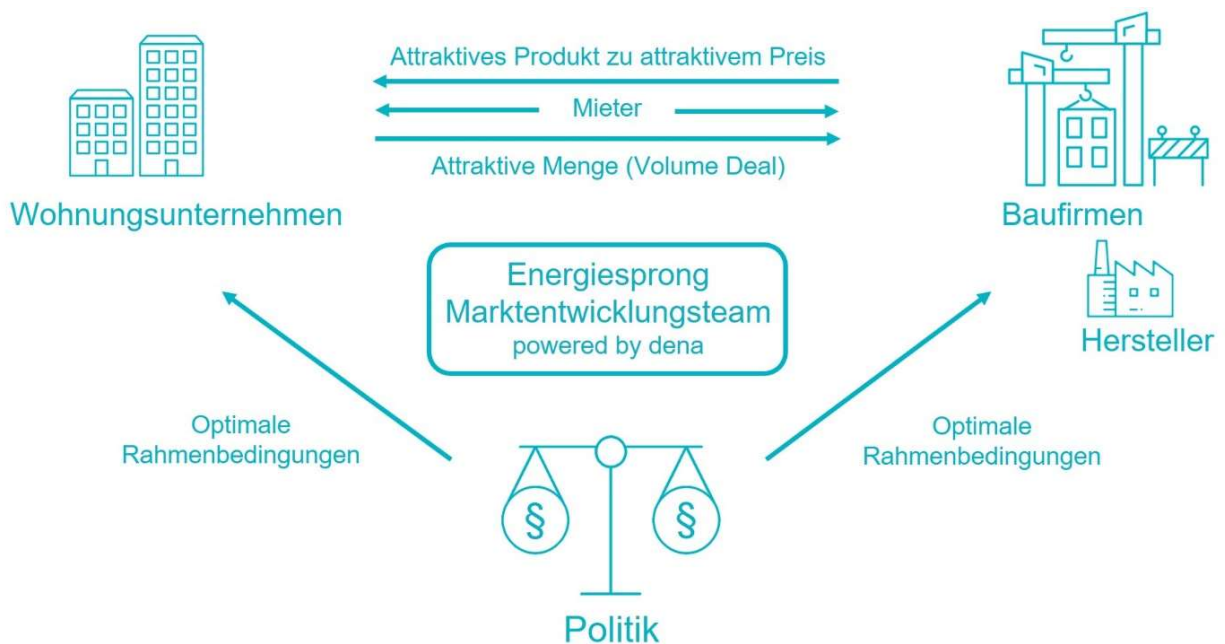


Abbildung 6: Ablauf und Stakeholder des Energiesprung Prinzips

Quelle: [38]

Energiesprong

3.2.1 Politische Marktentwicklung und Koordination

Da die EU und Deutschland wie in Kapitel 2 erläutert die Klimaziele erreichen möchten, wurden verschiedenen Institutionen damit beauftragt die Wärmewende voranzutreiben. In Deutschland agiert das Energiesprong-Team seit 2017 als unabhängiger Marktentwickler, welcher die Entwicklung serieller Sanierungslösungen vorantreibt und die Rahmenbedingungen für eine Energiesprong Sanierung festlegt. Dafür koordinieren sie die Kommunikation von interessierten Unternehmen aus der Wohnungswirtschaft, ausführenden Bauunternehmen und Herstellern von Fassaden- und Haustechnikmodulen sowie einem Photovoltaik (PV) Dach. Hierfür wurde unter anderem eine Lösungsanbieter Plattform eröffnet, auf welcher sich Unternehmen und Teillösungsanbieter öffentlich präsentieren können. Dazu werden Gesprächsrunden wie der Innovators Talk moderiert, um den Austausch und das Interesse zu fördern. Mit gebündelter Nachfrage von Wohnungswirtschaft und Investoren durch Verträge wie den Volumendeal, wird eine Grundlage geschaffen, auf welche die Hersteller von Sanierungspaketen innovative Lösungen entwickeln können. [26, S. 97]

Weiterhin leisten Sie Hilfestellung bei Prozessoptimierungen, Konzeptentwicklungen und der Umsetzung von Pilotprojekten. Sie betreiben Öffentlichkeitsarbeit und geben der Politik Rückmeldung für benötigte finanzielle Förderungen oder Veränderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen. Das Deutsche Energiesprong-Team gehört der dena an und ist vom BMWi beauftragt und finanziert. Außerdem steht es in engem Austausch mit weiteren europäischen Marktentwicklungs-Teams für Energiesprong.[38]

In finanzieller Hinsicht bemüht sich das Marktentwicklungs-Team um Klimaschutz fördernde Abmachungen mit Banken um den Unternehmen Kredite mit günstigen Konditionen zu ermöglichen. Auf EU-Ebene gibt es diverse Subventionen durch Programme wie „Transition Zero“, „E=0“ und „Mustbe0“, wobei beispielsweise letzteres mit einem Budget von 45 Millionen € die Weiterentwicklung von Pilotprojekten und die Expansion in Deutschland vorantreiben soll. [39]

3.2.2 Wohnungswirtschaft und Banken

Die Wohnungswirtschaft übernimmt die Rolle des Kunden und schafft die benötigte Nachfrage. Für die Wohnungswirtschaft ist eine energetische Sanierung wie in Abbildung 7 interessant, um durch Kostenstabilität, hohen Wohnkomfort und ein besseres Erscheinungsbild die Immobilien gut vermieten zu können. Das schlüsselfertige Sanierungspaket eines Generalübernehmers und Dienstleisters gibt durch Performance Garantie und Wartungsverträge Investitionssicherheit und reduziert den Arbeitsaufwand für die nächsten 30 Jahre. Leistungsmerkmale wie eine durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und Anforderungen an den Schallschutz werden bereits vor dem Bau vereinbart. [33] Die weitere finanzielle Rentabilität wurde bereits in Kapitel 3.1.3 dargestellt.



Abbildung 7: Ein unsaniertes Reihenhaus im Kontrast zum baugleichem Gegenstück nach der Sanierung

Quelle: [33]

Wenn die Entwicklung der Sanierungslösungen vorangeschritten und am Markt etabliert ist, wird es vermehrt auch im privaten Ein- und Zweifamilienhaussektor eine bevorzugte Option werden. In der momentanen Entwicklungsphase liegt der Fokus auf großvolumigen Projekten von Wohnungsunternehmen wie beispielsweise Vonovia. Das Unternehmen hat bereits eine jährliche Sanierungsrate von drei Prozent erreicht und strebt an das klimafreundliche Sanieren in den nächsten Jahren weiter voranzutreiben. Dabei möchten Sie die Mieter nicht belasten und Mieterhöhungen auf höchstens zwei Euro pro Quadratmeter beschränken. [40]

Die Banken werden benötigt, um die Entwicklung durch vorteilhafte Kreditvergaben zu unterstützen. Die KfW-Bankengruppe gibt seit Januar 2020 einen Tilgungszuschuss von 40 % für eine Sanierung zum „Effizienzhaus 55“ Energiestandard, welcher mit dem Energiesprong-Ansatz erreicht wird. [41]

3.2.3 Bauwirtschaft

Baufirmen und Planer sind mit der Aufgabe betraut die vorhandene Nachfrage zu bedienen. Dafür müssen Lösungen entwickelt werden, welche zuerst in Pilotprojekten umgesetzt und daraufhin optimiert werden. Anstatt einer projektorientierten Stücklösung braucht es ein industriell hergestelltes Gesamtpaket, welches bereits alle Teile enthält. Hierfür müssen die verschiedenen Akteure der Bauwirtschaft an zusammenarbeiten, um den Innovationsprozess voranzubringen. Generalübernehmer, Planer und Zulieferer arbeiten in engem Austausch an Prozessoptimierung und der Entwicklung innovativer Komponenten für das Sanierungspaket. Neben den Anpassungen der Hersteller für ihre Produkte und den Fertigungsprozess, verändern sich die Arbeitsabläufe und Schwerpunkte der Architekten und

Energiesprong

Bauingenieure. Das digitale Aufmaß mit einem nachfolgenden digitalen Modell bedarf großer Genauigkeit, da etwaige Fehler große Auswirkungen haben könnten. Letztendlich findet der Austausch mit Fachbetrieben schon frühzeitig im Projekt statt und wird anhand von Building Information Modeling (BIM) Modellen koordiniert. [26]

Energiesprong bringt den beteiligten Bauunternehmen einige Vorteile im Vergleich zu konventionellen Sanierungsmethoden. Trotz Fachkräftemangel kann das enorme Auftragsvolumen in kurzen Fertigungszeiten bewältigt werden. Der Aufwand auf der Baustelle wird drastisch reduziert und die industrielle Fertigung schafft hohe Planungssicherheit. Durch Automatisierung werden Fehlerquellen verringert und die Qualität kann garantiert werden. Sanierungen werden kostengünstig umgesetzt und durch niedrige Baukosten trotzdem Gewinne erwirtschaftet. „Das Produkt „Energetische Sanierung“ kann so im Vergleich zum Wettbewerb deutlich günstiger und besser angeboten werden.“ [33]

Durch die eröffneten Geschäftsperspektiven gibt es auch in Deutschland Lösungsanbieter für vorgefertigte Fassaden- und Dachelemente sowie Energiemodule und Lüftungsinstallationen. Diese arbeiten mit Generalübernehmern zusammen, welche die Projekte im Auftrag der Wohnungsbaugesellschaften realisieren und die Wartungsverträge betreuen. Durch die politisch unterstützte Marktentwicklung sind etablierte Unternehmen in die Entwicklung eingestiegen und Start-ups wurden gegründet. Da die Sanierungspakete sich noch in Test- oder Entwicklungsphasen befinden, werden weiterhin Gesamtlösungsanbieter gesucht, welche Produkte zu einem geringen Preis herstellen können. [26, S. 97]

3.2.4 Mieter

Der Mieter ist als Endnutzer schließlich der letzte Stakeholder einer Sanierung. Die Zufriedenheit des Mieters ist für eine Verbreitung des Energiesprong-Ansatzes grundlegend. Einen hohen Wert hat deshalb der frühzeitige Austausch der Beteiligten. So kann im späteren Verlauf auf die Wünsche und Anmerkungen der Mieter eingegangen werden und ihre Erfahrungen mit der Immobilie genutzt werden. Vorteilhaft für den Mieter sind die kurzen Montagezeiten und der unkomplizierte Montageablauf. Ein Auszug des Mieters ist nicht notwendig und die Eingriffe in der Wohneinheit beschränken sich auf einen Ausbau der Fenster und Erweiterung der Fensterbänke. Dies stellt nur bei niedrigen Temperaturen ein kurzzeitiges Problem dar. Belastungen durch Lärm, versperrte Wege und Staub sind, wenn überhaupt nur wenige Tage vorhanden. Weiterhin wird mit innovativem Design und individuellen Anpassungen das Erscheinungsbild des bewohnten Gebäudes verbessert und das positive Wohngefühl gesteigert. Das Hauptargument ist allerdings der massiv gesteigerte Wohnkomfort bei gleichen oder nur geringfügig höheren Gesamtkosten. [33], [42, S. 61]

Die Energieeinsparung löst neben dem Problem der Treibhausgasemissionen auch ein Weiteres. Europaweit haben 34 Millionen Menschen Probleme die steigenden Energiekosten zu tragen. Personen in der sogenannten Energiearmut können die Heiz- und Stromrechnungen nicht bezahlen, ohne sich zu verschulden. Vor allem in den

Energiesprung

Wintermonaten kann es deshalb zu gesundheitlichen Schäden kommen. Der leitende Vizepräsident für den europäischen Green Deal Frans Timmermans drückt die Vorteile für die Bevölkerung folgendermaßen aus:

“We want everyone in Europe to have a home they can light, heat, or cool without breaking the bank or breaking the planet. The Renovation Wave will improve the places where we work, live and study, while reducing our impact on the environment and providing jobs for thousands of Europeans. We need better buildings if we want to build back better.” [9]

3.3 Ablauf von Planung bis Fertigstellung

In der Umsetzung basiert die Fortschrittlichkeit des Energiesprung Konzeptes auf den drei wesentlichen Innovationsebenen aus Abbildung 8. Digitalisierte Planung ermöglicht eine industrielle Vorfertigung welche mit innovativer Prozessoptimierung zu einer schnellen, qualitativ hochwertigen Durchführung mit nachträglich gutem Monitoring führt [26, S. 34]. In den folgenden Unterkapiteln wird der Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte detailliert dargestellt.



Abbildung 8: Innovationsebenen

Quelle: [26, S. 34]

3.3.1 Digitales Aufmaß und Planung

Der erste Schritt nach Auftragsvergabe ist das digitale Aufmaß des bestehenden Gebäudes. Mithilfe von 3D-Laserscantechnik (Abbildung 9) wird durch eine Vielzahl von verknüpften Einzelscans eine Punktwolke des Gebäudes erzeugt. Störende Elemente werden aus den Scandaten entfernt, um nur den Rohbau mit allen relevanten Eckpunkten auswerten zu können. Hierbei sind insbesondere Fensteröffnungen, Geschossdeckenhöhen und Gebäudeaußenkanten wichtige Bezugsmasse für die Sanierungsfassade. Eine hohe Genauigkeit durch Scantechnik und eine Fachgerechte Ausführung ermöglichen die detailgerechte Planung von Anschlussdetails. [43]

Energiesprong



Abbildung 9: Ein 3D Laserscanner bei der Aufnahme eines Bestandsgebäudes

Quelle:[43]

Die Punktwolke wird in eine 3D Modell umgesetzt und überarbeitet. Die daraus erstellten Pläne dienen als Grundlage für die Produktion. Bei einer intelligenten Fabrik ist der Ablauf komplexer, was das Schema in Abbildung 10 zeigt. Das INDU-ZERO Projekt (siehe Kapitel 3.1.2) beispielsweise repräsentiert solch eine Fabrik. Die Ergebnisse des Scans werden in ein BIM Modell transformiert auf dessen Basis der Architekt die Sanierungspakete entwirft. Diese Daten werden in Maschinensprache konvertiert und in das Simulationssystem eingespeist. Ein möglicher Fehler wird hier erkannt und das Modell kann angepasst werden. Verläuft die Simulation fehlerfrei werden die Elemente produziert und auf Übereinstimmung mit dem Modell kontrolliert. Nach der Montage können die Monitoring Systeme mit dem BIM Model verknüpft werden, um den digitalen Kreislauf abzuschließen. [44]

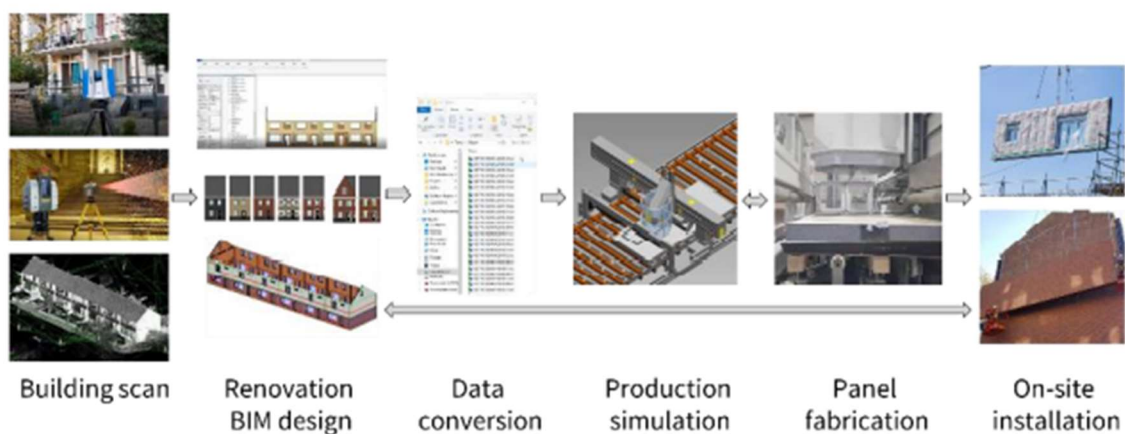


Abbildung 10: Der Schematische Ablauf der digitalen Prozesskette in einer intelligenten Fabrik

Quelle: [44]

Energiesprung

3.3.2 Produktion und Logistik

Mit einem BIM Modell oder einer 3D Zeichnung werden die Maschinen in der Fabrik gespeist und gesteuert, welche wiederum die Elemente produzieren. Dabei gibt es in der Automation noch ein großes Entwicklungspotential. Holzbau Elemente werden häufig halbautomatisch produziert, wobei der Zuschnitt von Ständer und Plattenwerkstoffen sowie das Heften der Platten maschinell funktioniert. Verschraubungen und weitere Zwischenschritte finden manuell statt. Im Werk der Blumer Lehmann AG schafft dieser Produktionsprozess 10-20 Elemente pro Tag was ein bis zwei Wohneinheiten entspricht. [45]

Im niederländischen Unternehmen Rc-Panels findet die Herstellung bereits in einem fortgeschrittenen Status statt. Die maßgeschneiderten Fassadenelemente aus Sandwichpanelen werden maschinell zugeschnitten und Fenster, Türen und Installationen können eingebracht werden. Ein Roboter bringt je nach Kundenwunsch abschließend eine Putzschicht auf oder belegt die Fassade mit Ziegel-Streifen nach einem bevorzugten Muster. Das Unternehmen konnte so in den letzten zwei Jahren 1200 Einheiten von Wohnungsgesellschaften sanieren. Mit Krediten in Millionenhöhe soll die Automatisierung sowie die Produktionskapazität stark erweitert werden. [46]

Für die Logistik ist es wichtig, dass die einzelnen Elemente, die für einen normalen Transport nötigen Abmessungen nicht überschreiten. Weiterhin sollen Transportwege für mehrere Baustellen möglichst zusammengelegt werden, um die Kosten und CO2 Emissionen möglichst zu reduzieren. Aus letzterem Grund wird auch wenn möglich ein Transport über die Wasserwege in Betracht gezogen. Mit der Just in Time Methode wird außerdem angestrebt Logistik und Montage perfekt aufeinander abzustimmen. [47]

3.3.3 Montage und Monitoring

Um die Montage möglich zu machen, gibt es je nach Situation einige Vorbereitungen zu treffen. Anschlussleitungen für die Gebäudeinstallationen werden falls benötigt verlegt. Wenn vorhanden müssen direkt am Bauwerk angeschlossene Balkone entweder entfernt oder im Zuge der Sanierung zu geschlossenen Loggien umfunktioniert werden. Vor der Einrichtung der Maschinen werden Zäune und andere Hindernisse entfernt. Projektbedingt kann häufig mit Mobilien Kränen und Hebebühnen gearbeitet werden. Dies erspart das Aufstellen eines Gerüsts oder stationären Krans für die kurze Bauzeit. Die Gründung für die Fassadenelemente wird erstellt und falls benötigt der Sockel und die Kellerdecke gedämmt. Daraufhin werden nicht mehr benötigte Teile wie Fenster, Türen, Regenrinnen, eventuell Dachziegel und Schornsteine entfernt und bei Bedarf eine Öffnung im Dach für das Haustechnik- oder Energie- Modul erstellt. Bei verschiedenen Konzepten kann das Modul auch im Keller oder Außerhalb des Gebäudes installiert werden, was die Zugänglichkeit für Servicetechniker erhöht. Mit Stahlwinkeln und Klebedübel in den Geschosdecken werden die Fassadenverankerungen vorbereitet. Das Auflager des untersten Elementes stellt entweder ein eigenes Betonfundament oder in der Keller Decke rückverankerte Stahlwinkel

Energiesprong

dar. Dies hängt von der konzeptionellen Herangehensweise und den Statischen Anforderungen ab. Ist das bestehende Gebäude nicht in der Lage die zusätzlichen Lasten der neuen Gebäudehülle aufzunehmen, empfiehlt es sich die Elemente tragend auszuführen und auf ein Betonfundament zu gründen. Wenn diese Vorbereitungen getroffen wurden, kann die Montage der eigentlichen Fassadenelemente stattfinden. Diese werden befestigt, enthaltene Installationen miteinander verbunden und über ein luft- und winddichtes Klebesystem zusammengeschlossen. Die neuen Fenster befinden sich passgenau vor den alten Fensterrahmen. Die Dachelemente mit integrierter Photovoltaik werden aufgebracht und mit dem Tragwerk und der neuen Fassade verbunden. Je nach Ablauf und Position wird das Energiemodul mit Heizungs-, Lüftungs-, und Monitoring-System installiert und noch am selben Tag mit dem bestehenden System verbunden und in Betrieb genommen. Abschließend sind Tür und Fensterrahmen fertigzustellen was durch erweiterte Fensterleibungen in den Wohnungen stattfindet. Falls gewünscht können vorgesetzte Ständerbalkone montiert werden. Zuletzt findet eine Optimierung der Haustechnikeinstellungen statt und die Baustelle kann aufgeräumt werden. [47],[48]

In den nachfolgenden Jahren werden die technischen Anlagen regelmäßig gewartet und erneuert. Mögliche Ausfälle können frühzeitig prognostiziert werden. Durch Leistungsoptimierung und Monitoring wird die Energieeinsparung optimiert und der bestmögliche Komfort geboten. Mit entsprechenden Serviceverträgen wird eine Performance Garantie von 10 bis 40 Jahren gewährleistet. Die Angebote und Garantiezeiten sind von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Durch das ganzheitliche Konzept des Energiecontracting kann das Unternehmen neben Wartung und Service auch die Energiebereitstellung verantworten und den NetZero Standard über viele Jahre garantieren. [48]

3.4 Entwicklungspotential, Probleme und Lösungen

Die beste Abschätzung des Entwicklungspotentials kann anhand umgesetzter Projekte getroffen werden.

3.4.1 Aktueller Stand in Deutschland anhand eines Pilotprojekts

Das Energiesprong Konzept befindet sich in Deutschland in der Markteinführung. Pilotprojekte werden realisiert, um das Vertrauen der Marktteilnehmer zu gewinnen und die technischen Innovationen auszutesten und zu optimieren. Das Energiesprong Team ist weiterhin bemüht die interessierten Unternehmen an einen Tisch zu bringen und zu vernetzen. So erhoffen Sie sich eine dynamische Entwicklung von verschiedenen Systemlösungen. Weiter gesucht werden insbesondere Teillösungsanbieter von Fassaden- und Dachmodulen, Hersteller von integralen Haustechniklösungen, Ingenieur- und Architekturbüros mit dem Fokus Produktentwicklung sowie weitere Expertinnen und Experten von Bauinformatik, Bauphysik, Produktionsprozessen und Zulieferunternehmen.

Energiesprong

Gebündelt sollen diese dann als Gesamtlösungsanbieter auftreten und mit den Wohnungsunternehmen verknüpft werden. Das momentane Hauptziel ist so viele Pilotprojekte wie möglich umzusetzen, um mit dann ausgereifteren Lösungen in den Markt einzusteigen.[49]

Auf der interaktiven Pilotprojektkarte der Energiesprong Website ist zu erkennen, dass es viele Beteiligte des Volume Deals oder sonstige interessierte Eigentümer gibt, sich aber nur ein kleiner Anteil an Sanierungsobjekten in der Umsetzung befinden. Dies unterstreicht den Bedarf nach Lösungsanbietern. [50]



Abbildung 11: Mehrfamilienhaus am Kuckuck

Quelle: [48]

Das erste realisierte Pilotprojekt in Deutschland ist das Mehrfamilienhaus am Kuckuck (Abbildung 11) in Hameln. Die Sanierung dauerte 13 Monate und war zu dieser Zeit nicht bewohnt. Die 12 Wohneinheiten mit 612 m² Wohnfläche wurden allerdings auch innen komplett saniert. Dies macht einen Vergleich von Bauzeit, Baukosten und Mietkosten mit anderen Objekten für das Energiesprong Konzept leider unmöglich. Der Fokus des Gesamtlösungsanbieters ecoworks GmbH lag auf der Prozessentwicklung und dem erstmaligen Austesten des entworfenen Sanierungspaketes. Die Sanierungskriterien für den Gebäudetyp mit 1930er Baujahr, unbeheiztem Keller und Dachgeschoss und passendem Sanierungsvolumen entsprechen den Kriterien für ein sinnvolles Pilotprojekt. Das Unternehmen garantiert der arsago Gruppe als Bauherren 15 Jahre NetZero Standard mit Instandhaltung sowie einen Wärme- und Stromliefervertrag. Das Gebäude hat den NetZero Standard erreicht und produziert mit der installierten Photovoltaikanlage mehr Strom als es verbraucht. Deshalb hat es sich auf für staatliche Förderung und vergünstigte Kredite qualifiziert. Das Sanierungspaket wurde von verschiedenen Teillösungsanbietern erstellt. Die 7m mal 2,85m großen Wände wurden 36 cm dick in Holztafelbauweise erstellt und enthalten Fenster, Türen und dezentrale Lüftungselemente mit Wärmerückgewinnung. Die Kellerdecke wurde um 20 cm isoliert. Eine Photovoltaikanlage wurde nachträglich auf die neuen Blechdachelemente aufgebracht und mit einem Batteriespeicher versehen. Weitere technische Neuerungen sind der Energiecontainer der mit einer Wärmepumpe zwei Wärmespeichern die Wohnungen mit Wärme aus rein nachhaltigen Quellen versorgt und außerhalb des Gebäudes aufgestellt wurde. Zusätzlich wurde eine Ultra-Filtrationsanlage installiert, welche das Trinkwasser aufbessert und einen effizienten Betrieb der

Energiesprung

Wärmepumpe garantiert. Das Hausverwaltung wird über Temperatur, Feuchtigkeit und Fehlfunktionen digital informiert und kann das System aus der Ferne steuern. Mit 80 Prozent der Arbeitsleistung für die Energetische Sanierung in der Fabrik wurden Schritte in die richtige Richtung getan. Es bedarf aber noch einiges an Weiterentwicklung, um den hohen Automatisierungsgrad zu erreichen und damit die Kosten weit genug zu senken. [48],[51]

3.4.2 Entwicklungspotential und Lösungen

Das Sanierungsziel wurde in den Niederlanden bisher weder von den Kosten noch von der Anzahl erreicht. Es hat sich aber ein Markt entwickelt und der Business Case ist positiv also lohnend. Experten des Marktentwicklungsteams bezeichnet den aktuellen Standpunkt als zweite Phase, in der frühe Nutzer das Produkt für sich entdecken. Dies wird anschaulich in Abbildung 12 dargestellt. Das Ziel ist die kritische Masse von 25 Prozent Marktaktivierung zu erreichen, um sich im Bereich des Massenmarktes zu befinden. Dies würde durch die Skalierungseffekte das Erreichen des Sanierungsziels ermöglichen. Ein starkes politisches Bekenntnis lässt auf Erfolgsaussichten schließen.[26, S. 44]

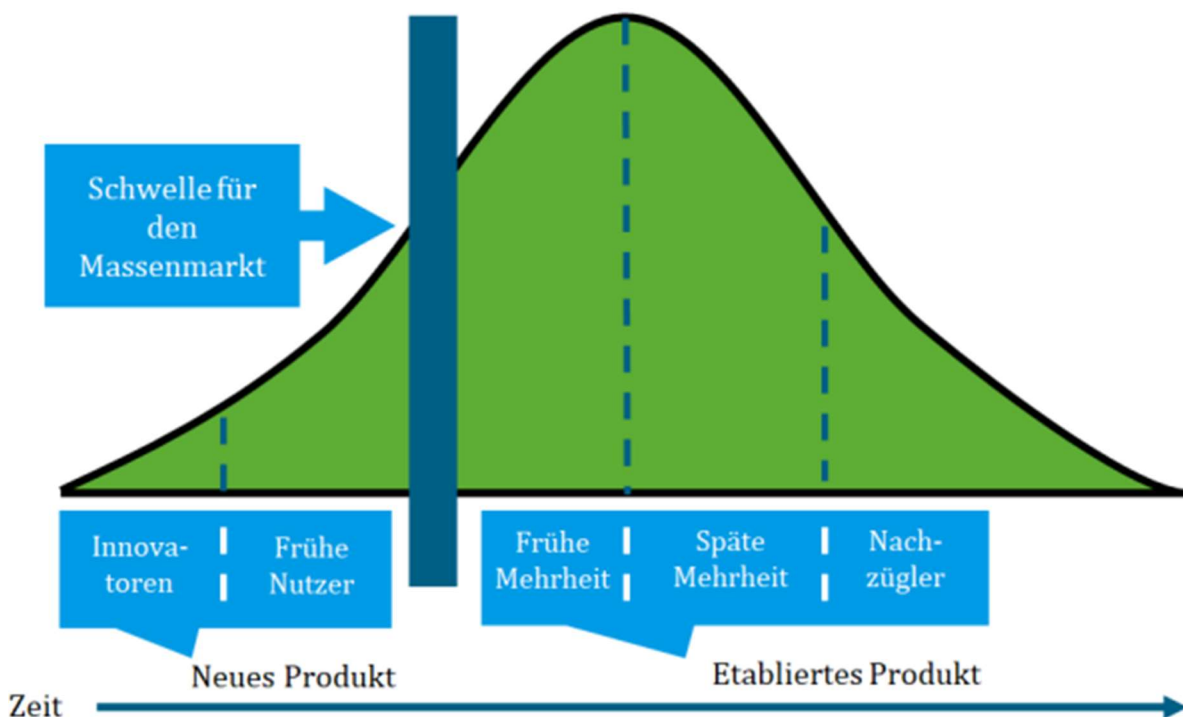


Abbildung 12: Verlauf der Marktentwicklung

Quelle: [26]

Das aktuelle Entwicklungspotential, Hemmnisse und Lösungen für Deutschland können der Übersicht halber in drei Bereiche Unterteilt werden. Der **erste Bereich** thematisiert **politische Potentiale**. Nach dem Energiesprung Konzept erhalten Wohnungsbaugesellschaften die Investition teilweise durch die entsprechende Erhöhung der Kaltmiete zurück. Dafür benötigt es einen Vertrag welcher auf der einen Seite die Sanierung,

Energiesprung

die Energieversorgung und das NetZero Standard langfristig garantiert und im Gegenzug für die Solarstromgewinnung und die Strom- und Wärmeversorgung der Mieter vergütet wird und Energiekostenminderung enthält. Nach derzeitiger Rechtslage ist der lokal produzierte Strom ertragssteuerpflichtig, Wärme- und Stromversorgung werden getrennt vergeben, die Anbieterwahl des Stromversorgers ist frei, die Möglichkeit von langfristigen Verträgen ist häufig nicht gegeben und die Stromversorgung durch den Vermieter ist faktisch verboten. [26, S. 60, S. 117]

Eine Lösung bringt ein Mieterstromgesetz ähnlich wie die Einspeisevergütung in den Niederlanden. Damit kann man den Verkauf von lokal produziertem Strom an die Mieter erlauben und von der Ertragssteuerpflicht unter Nachweis von Energieperformanz befreien. Die langfristige Vereinbarung eines Warmmiete Modells und beschränkte Auswahl bei Stromanbietern nach Effizienzkriterien können ebenfalls Teil eines Mieterstromgesetzes sein. Alternativ kann kleineren Photovoltaik Anlagen der Volleinspeisetarif gewährt werden, was zu einer einfachen und schnellen Rentabilitätssteigerung führt. [26, S. 60, S. 117]

Weitere Hemmnisse sind aufwändige Genehmigungsverfahren unklare Qualitätsstandards und klare politische Ambitionen. Durch schnelle und unkomplizierte Genehmigungen werden Zeit und Kosten gespart und die Hürde für eine Sanierung herabgesetzt. Ein digitaler Bauantrag soll mittels BIM an ein „Virtuelles Bauamt“ übermittelt werden und eine teilautomatisierte Prüfung nach dem Bauordnungsrecht erhalten. Eine digitalisierte Kommunikation funktioniert fundiert, schnell und reibungslos. Informationswege werden massiv gekürzt, Mehrfachinformationen eingespart, und Rücksprachen einfach ermöglicht. Das Ambitionsniveau muss unter allen Beteiligten hochgehalten werden, um die Lösungsfindung voranzutreiben. Die politischen Institutionen brauchen eine Übergreifende Strategie und welche Subventionen und vorteilhafte Rahmenbedingungen für die Wirtschaft schafft. Eine eindeutige politische Haltung bringt Käufern und Zulieferern Sicherheit. So verhilft auch ein definierter Qualitätsstandard für das Monitoring de Konzept zu weiterer Stabilität. Zulieferer, Wohnungs- und Bauunternehmen arbeiten gemeinsam mit weiteren Akteuren an dem Ziel solch einen Qualitätsstandard zu erstellen.[26, S. 50–60, S. 113]

Ein deutschlandspezifisches Problem sind die verschiedenen Landesbauordnungen. Um serielles Bauen zu ermöglichen, muss entweder ein System entwickelt werden welches Lösungen für jede Anforderung enthält oder die Vorschriften in den 16 Bundesländern müssen vereinheitlicht werden [52]. In höheren Gebäudeklassen ist dieser Effekt verstärkt. Bei steigender Gebäudehöhe gibt es eine weitere Herausforderung. Die Dachfläche für die Photovoltaik wird im Verhältnis zum Volumen immer kleiner. Somit kann ab einer bestimmten Geschosshöhe der Energiejahresbedarf nicht mehr abgedeckt werden. Ein Wärmenetz aus erneuerbaren Energien kann hier Abhilfe schaffen, um den NetZero Standard dennoch zu erreichen. Die rechtliche Grundlage hierfür ist noch nicht gegeben und muss entwickelt werden. Technische Innovationen durch ergänzende Windenergie, Wasserkraft oder einer Solarfassade sind weitere Möglichkeiten, an denen die Bauindustrie forschen muss. [26, S. 59]

Im **zweiten Bereich Wohnungswirtschaft** bedarf es vor allem unternehmensinterne Neuerungen und die Bereitstellung von weiterem großen Auftragsvolumen. Prozesse und

Energiesprung

Abläufe bedürfen Anpassung an das neue Geschäftsmodell. Die veränderten Bedingungen bei Kosten und Einnahmen müssen zu anderen Strukturen führen, um die Effizienzinvestitionen längerfristig zu refinanzieren. Verträge und Absprachen mit Mietern gestalten sich anders, da Abrechnungen unter Einbezug des neuen Energiekontingents abgewickelt werden. Durch gestiegene Standards für das Monitoring mit Wartung und Instandhaltung werden neue Aufgabenbereiche geschaffen und möglicherweise ganze Abteilungen umdisponiert oder abgeschafft. Mit erneuerter Organisation müssen größere Projekte umgesetzt werden. Die Kostenreduktionen finden statt, wenn das Bauvolumen eine ausreichende Größe erreicht. Um den Absatz zu sichern, braucht es weitere Zugeständnisse der Wohnungsunternehmen und eine Ausweitung des Volumen Deals. So kann die Idee zum Erfolg geführt werden. [26]

Der **dritte Bereich** betrifft die **Bauwirtschaft**. Die Finanzierung der ersten Projekte muss sichergestellt werden, um das Vertrauen in das Prinzip zu gewinnen. Werden gleichzeitig die politischen Rahmenbedingungen und Ambitionen klar aufgezeigt, gilt der Absatzmarkt als sicher und die zögerliche Haltung von Zulieferer und Investoren wird aufgehoben. Daraufhin wird wiederum das Kostenniveau gesenkt und der Markt wächst. Das erleichtert die Einstiegshürde für neue Unternehmen und bringt die Prozessoptimierung der Herstellung voran. Durch angepasste Organisation der Arbeitsweise wird die Erfolgchance gesteigert und eine spiralförmige Entwicklung befördert den Markt in Richtung Massenmarkt. [26, S. 50]

Entwicklungspotential hat die konservative Einstellung der Baubranche, da die serielle Sanierung nur mit technischen Innovationen realisiert werden kann. Dafür ist weiterhin die Überzeugungsarbeit des Marktentwicklungsteams nötig. Auch die Fachkräfte Situation ist kritisch zu betrachten. Digitale Arbeitsprozesse, automatisierte Vorfertigung und kurze Montagezeiten führt zu Einsparung von Arbeitskräften. Dies kann die knappe Situation am Arbeitsmarkt entspannen. Andererseits werden für die neuen Fertigungsprozesse geschulte Fachkräfte mit anderer Spezifikation benötigt. Da die Sanierungsleistungen in kurzer Zeit exponentiell gesteigert werden sollen gibt es nicht viel Zeit dieses Personal auszubilden. Deshalb ist es unklar ob diese Fachkräfte auf dem Arbeitsmarkt vorhanden sein werden. [26, S. 58]

Es braucht zwingend innovative Lösungsvorschläge und ein uneingeschränktes Zusammenarbeiten der verschiedenen Teillösungsanbieter. Der Informationsaustausch muss einfacher und offen gestaltet werden. Hier können auch Onlineplattformen wie die Lösungsanbieterplattform der dena hilfreich sind. Eine open-source Zusammenarbeit der Beteiligten oder ein Zusammenschluss zu einem größeren Kollektiv kann sich positiv auf die Innovationskraft auswirken. So können Gesamtanierungskonzepte mit schlanken technischen Lösungen entstehen. Die neuen Produkte müssen leicht anpassbar sein, um dann schnell und effizient produziert werden zu können. Auch der Produktionsaufbau muss vergrößert und weiter Industrialisiert werden, um die Skalierungseffekte nutzen zu können. Der anvisierte Automatisierungsgrad ist häufig noch nicht gegeben. Neue Produktionsanlagen wie die im INDU-ZERO Programm entworfene intelligente Fabrik müssen realisiert werden. Durch innovative Produkte und automatisierte Produktionsketten kann die

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

Bauindustrie das leisten, was der Markt dringend fordert: Es braucht mehr bezahlbare Lösungen! [49]

Durch den Vergleich der unterschiedlichen Voraussetzungen in den verschiedenen Märkten in den Niederlanden, Frankreich und Großbritannien konnten allgemeingültige Erfolgsfaktoren identifiziert werden. Die Hemmnisse für eine Energetische Sanierung sind entweder die Kosten, das Ansehen und das Vertrauen in das Konzept und die Produktionskapazität. Durch Prozessneuorganisation in der Wirtschaft, innovativen Bauunternehmen, rechtliche Änderungen für die Energiekosten des Mietobjekts, Anschubfinanzierung und dem Vertrauen zwischen den Stakeholdern kann eine positive Entwicklung verzeichnet werden.[26, S. 71]

4. Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise

Dieses Kapitel behandelt das zweite Konzept, um die Potentiale der Bestandsgebäude auszunutzen. Nachfolgend wird die Funktionsweise sowie Stärken und Herausforderungen für Gebäudeaufstockungen betrachtet und vergleichend mit Energiesprung betrachtet.

4.1 Begriffsdefinition

Unter einer Gebäudeaufstockung versteht man die Erhöhung eines bestehenden Gebäudes um ein oder mehrere Geschosse. Das bietet den Vorteil die Ausnutzung bestehender Strukturen zu optimieren und durch Vorfertigung auf eine moderne Art und Weise neuen Wohnraum zu schaffen. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich die Holzbauweise genauer betrachtet, was im Kapitel 4.1.3 genauer erläutert wird.

4.1.1 Wohnraumerweiterung durch Ausnutzung vorhandener Strukturen

Wie in Kapitel 2.2 dargestellt wird die Verstädterung und das Bevölkerungswachstum langfristig zunehmen. Durch Erweiterungen im Bestand kann die Wohnungsmarkt Situation entschärft und ökologisch wichtige Flächen geschützt werden. Dafür müssen Ballungsgebiete wohnungstechnisch ertüchtigt und verdichtet werden. Verdichten beinhaltet im städtebaulichen Kontext mehrere Aspekte, wobei für diese Arbeit vor allem die bauliche Verdichtung relevant ist. Dabei werden keine unbebauten Flächen genutzt, sondern die innerer Siedlungsentwicklung vorangetrieben. Gute Anschlüsse an den öffentlichen Verkehr und die weitere Infrastruktur machen Gebiete mit einer niedrigen Ausnützungsziffer interessant für eine bauliche Verdichtung. Die als Bruttogeschossfläche bezeichnete Wohn-, Arbeits-, und Erschließungsfläche ergibt im Verhältnis zur Grundstücksfläche die Ausnützungsziffer. Die Ausnützung eines Gebäudes kann durch Anbau, Ersatzneubau oder Aufstockung erhöht werden. Da Anbau wiederum neue Fläche verbraucht und ein

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

Ersatzneubau im Hinblick auf die nachfolgende Thematik der grauen Energie schlechter abschneidet ist die maßvolle Verdichtung durch Aufstockung von ein bis zwei Geschossen häufig eine interessante Option. Bei letzterem ist die proportionale Volumenerweiterung ein großer Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Eine zusätzliche Etage auf zwei bestehende Geschosse ist mit einem Volumensprung von 50% rentabler als eine zusätzliche Etage auf ein bereits fünfgeschossiges Gebäude mit 20% zusätzlichem Volumen. Wenn der Business Case positiv ist und weitere Hemmnisse wie Verteuerung der Mieten, städtebauliche Aspekte, mangelnde Belichtung nicht im Weg stehen ist eine Gebäudeaufstockung eine gesellschaftliche und finanzielle Wertsteigerung. [53, S. 7]

Werterhaltend ist auch der Aspekt, dass durch die Nutzung der vorhandenen Strukturen das Potential der grauen Energie nicht verschwendet wird. Die Energie welches für ein Gebäude vor und nach der Nutzung durch Herstellung, Logistik und Entsorgung aufgewendete wird, bezeichnet man als graue Energie. Dass die im deutschen Gebäudebestand enthaltene graue Energie circa der Energie für 20 Jahre Betrieb dieses Bestandes entspricht, verdeutlicht den Wert derselbigen. Bei NetZero und energiegewinnenden Gebäuden entspricht die graue Energie zu 100% dem Energieaufwand für das Gebäude über den gesamten Lebenszyklus. Bautechnisch kann die graue Energie durch einige Aspekte reduziert werden. Die Primärkonstruktion ist der energieaufwendigste Bestandteil und erhöht sich tendenziell mit dem Gewicht weshalb leichte Konstruktionen zu bevorzugen sind. Weiterhin kann der Energieeinsatz für die Fassade optimiert werden. Einfache Dach und Fassadenformen, eine konsequente konstruktive Ausbildung und ein funktionaler Einsatz von transparenten Elementen bewirken einfache Detaillösungen, verminderte Materialabnutzung und solare Energiegewinne. Über den Lebenszyklus eines Gebäudes betrachtet, lohnt sich die Isolation unabhängig vom Material energetisch gesehen stark. [54]

Neben der grauen Energie sind im Gebäudebestand häufig statische Lastreserven vorhanden. Diese bieten das Potential für Ergänzungen um eine oder mehrere Ebenen. Bei gleichbleibender Grundfläche kann so attraktive Nutzfläche geschaffen werden, über welche die Baumaßnahmen refinanziert werden können. Als ergänzende Maßnahme bietet die Kombination mit einer Fassadenertüchtigung eine wärmebrückenfreie, nahtlose Ausbildung der Übergänge. [55]

Wenn wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, ein Bestandsgebäude in einem Gebiet mit Bedarf und nach den notwendigen Kriterien ausgewählt wird, ist eine Aufstockung in Holzbauweise eine wertsteigernde Maßnahme unter Berücksichtigung vorhandener Potentiale. Die Eigenschaften der leichten, vorgefertigten und schnellen Holzbauweise werden im nächsten Kapitel dargestellt.

4.1.2 Klimaschutz durch Holzbauweise

Eine zukunftsfähige Bauwirtschaft hat unter Anbetracht der menschlichen und klimatischen Entwicklungen auf die nachhaltige Verfügbarkeit, Umwelt- und Menschenverträglichkeit

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

sowie Energieeffizienz eines Baustoffes zu achten. Dies gilt über den gesamten Lebenszyklus und die komplette Wertschöpfungskette.[56]

Während sowohl bei der Herstellung als auch bei der Entsorgung von Baustoffen wie Stahl und Beton große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt werden verhält sich der Baustoff Holz über den Lebenszyklus emissionsneutral. Während des Wachstums wird CO₂ im Holz gebunden und am Ende durch Verrottung oder Verbrennung wieder freigesetzt. Dadurch hat der Holzbau nur eine minimale Belastung mit grauer Energie durch Transport und Verarbeitung, welche etwa fünf Prozent der im Rohstoff gespeicherten Energie entspricht. [57]

Der jährliche Holzverbrauch von 420 Millionen Kubikmetern liegt unter dem Wachstum von 660 Millionen. Damit kann eine Nachhaltige Forstwirtschaft Waldpflege betreiben und gleichzeitig Rohmaterial für Baustoffe liefern. Der Rohstoff Holz wird im Ökosystem Wald unter umweltfreundlichsten Bedingungen produziert. Die natürliche Beschaffenheit des Rohstoffes bietet eine gute Grundvoraussetzung, um nach Weiterverarbeitung hervorragende Wärmedämmeigenschaften zu erreichen. Durch die Herstellung von Bauprodukten aus Holz fallen Holzreststoffe an, welche entweder zu weiteren Bauprodukten verarbeitet werden oder durch Umwandlung in Wärmeenergie den Kreislauf schließen. Die Holzbauweise reduziert nicht nur den Energieaufwand der Herstellung, sondern bindet den Kohlenstoff klimaentlastend in den Gebäuden. Wenn die Lebensdauer eines Gebäudes erreicht ist, wird das Baumaterial als Lieferant von Wärmeenergie weiter verwertet. Aufgrund von Energiebilanzen kann Abgeschätzt werden, dass der Energieverbrauch für Herstellung, Nutzung und Entsorgung geringer ist als die aus Reststoffen gewonnene Energie.[56]



Abbildung 13: Holz ist CO₂ neutral

Quelle: [58]

Mit dem klimatechnischen Stärken und der guten Tragfähigkeit im Verhältnis zum Eigengewicht eignet sich der Holzbau für den Leichtbau und somit auch für Gebäudeaufstockungen. Hierbei sollte angemerkt werden das auch der Stahlleichtbau unter Umständen eine lohnende Bauweise sein kann. Aufgrund des begrenzten Rahmens dieser Arbeit wird die Thematik nicht weiter betrachtet. Neben den vorteilhaften Statischen Eigenschaften bewirken ein hoher Vorfertigungsgrad und kurze Bauzeiten nur eine geringe Belastung der Bewohner. Da sich Tragkonstruktion und Wärmedämmung in der gleichen Wandebene befinden wird wertvoller Wohnraum gewonnen. Aus genannten Gründen werden die mehrschichtig aufgebauten Holzelemente bereits häufig in der Umsetzung von diversen Energiestandards eingesetzt. [57]

Für Gebäudeaufstockungen eignen sich theoretisch diverse Bausysteme vom Holzständerbau, Skelettbau, Holzrahmenbau und der Modulbauweise. Um eine Vergleichbarkeit mit der Energiesprung Methode zu erreichen ist ein hoher Vorfertigungsgrad nötig. Dieser wird vor allem im Holztafelbau und dem Modulbau erreicht. Durch hohe Präzision und bereits vollendete Oberflächen ergeben sich kurze Bauzeiten mit wenig Bedarf an Bauplatz. Vorteilhaft ist außerdem das bei einem geeigneten System der Übergang von Fassade zur Dachkonstruktion wärmebrückenfrei vom selben Bauunternehmen ausgeführt werden kann. [55]

Der Modulbau besitzt durch die extrem kurze Bauzeit vor Ort interessante Eigenschaften, ist aber in der momentanen Entwicklungsphase zu unflexibel und bietet Möglichkeiten für weitere Forschung. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Holztafelbau, welcher sich mit dem Holzrahmenbau nur durch einen höheren Vorfertigungsgrad unterscheidet und häufig Synonym verwendet wird. [59, S. 22]

Die Holztafelbauweise ist mit bewährten Regeldetails für Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutz bewährt darin die baurechtlichen Anforderungen zu erfüllen, sowie die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten. Durch den Nachweis der Ausführungsqualität sind Leistungsfähigkeit in Wohnqualität und Energieeffizienz gewährleistet. Der Holztafelbau liefert eine gute Dämmwirkung im gesamten Wandquerschnitt und minimiert den Effekt von Wärmebrücken, da die Wärmeleitfähigkeit von statisch relevanten Holzbauteilen gering ist und durch gute Detailausbildung weiter reduziert wird. Mit einer zusätzlichen Außendämmung durch ein Wärmedämm-Verbund-System oder ähnlichem kann bereits ein U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und somit aktuelle Niedrigenergie Standards erreicht werden. [59, S. 14–19]

Auch wenn die Wirtschaftlichkeit von Projekt zu Projekt differenziert, betrachtet werden muss, bringen Vorelementierung und Vorkonfektionierung die Möglichkeit für Kostenoptimierung mit sich. Neben der Trag- und Isolationsebene werden Beplankungen, Fassadenbekleidung und der Einbau von Fenster und Türen komplett im Werk getätigt. Das garantiert eine hohe Qualität und reduziert durch kurze Aufrichtungszeiten von bis zu einem Tag das Risiko für bauphysikalische Schäden infolge Baufeuchtigkeit. Durch die Eigenschaften des Holzbaus entsteht im Winter ein warmes Wohnklima, während im Sommer die Überhitzung der Räume vermieden wird. Verbunden mit der angenehmen Haptik von Holz lassen sich erstellte Objekte gut vermarkten. Kombiniert mit kurzen Vorfinanzierungszeiten

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

und sicheren Fertigstellungsfristen werden Investoren und Bauherren angesprochen. Vor allem in Ballungsräumen mit hohen Quadratmeterpreisen ist der geringere Flächenbedarf ein finanzieller Vorteil. Da bei gleichen wärmedämmtechnischen Anforderungen der Wandaufbau schlanker ausgeführt werden kann, vergrößert sich die Nutzfläche auf bis zu zehn Prozent. Etwaige Änderungen nach einem Nutzungszeitraum können flexibel ohne großen Aufwand umgesetzt werden. So kann der Holzbau mit anderen Bausystemen finanziell mithalten, während die ökologischen Aspekte deutlich überwiegen. [59, S. 14–19]

4.2 Ablauf einer Gebäudeaufstockung

Bei einer Gebäudeaufstockung entspricht der Verlauf zum größten Teil einem konventionellen Bauablauf. Etwaige Ergänzungen und Unterschiede werden im folgenden Text dargestellt.

4.2.1 Stakeholder

Die Bauherrschaft und Investoren sind die Initiatoren eines Projektes. Wenn der Bedarf festgestellt, die Rentabilität kalkuliert und die Finanzierung sichergestellt ist, kann es zur Beauftragung eines Architekten kommen. Dies passiert direkt oder durch einen Wettbewerb. Dieser entwickelt im Austausch mit der Bauherrschaft einen Entwurf wobei Randbedingungen aus dem Herstellungsprozess und den Werkstoffeigenschaften bereits mit einbezogen werden sollten. Die Bauherrschaft sollte gut über die spezifischen Eigenschaften und Herausforderungen der Aufstockung in Holzbauweise informiert sein, um mit dem Verständnis der Zusammenhänge ihre Vorstellungen darzustellen. So können aufwendige Änderungen vermieden werden. Eine klare Kommunikation von Voraussetzungen, Beauftragungen und Zahlungsmodalitäten stärkt das Vertrauen und erhöht somit die potenzielle Wertausschöpfung des Projektes. Aufgrund der häufig unterschiedlichen gesetzlichen Bedingungen ist ein reger Austausch mit den Baubehörden unumgebar. Der Holztafelbau entspricht den generell geforderten Anforderungen und ist von der Zulassung unbedenklich. Die weiteren Planungsdetails wie Ausnützungsziffern und Abstände sowie Montageabläufe müssen geklärt werden. Beispielsweise könnte eine Straßensperrung für die Montage mit einem Mobilkran benötigt werden. Bei höheren Gebäudeaufstockungen in Gebäudeklasse 4 oder 5 sind außerdem brandschutztechnische Aspekte genauer zu betrachten. [59, S. 23]

Der Architekt erarbeitet auf dieser Grundlage Pläne für eine Ausschreibung, mit welcher das ausführende Holzbauunternehmen beauftragt wird. Durch Anmerkung von involvierten Fachplanern und des Bauunternehmens kann der Architekt die Pläne weiter ergänzen und verbessern. Einen maßgebenden Teil hat dabei der Tragwerksplaner. Durch die Anforderungen des Bestandsgebäude darf der Aufbau nur zu begrenzten Lasten führen und gegebenenfalls müssen Ertüchtigungen angeordnet werden. Der Holztafelbau stellt dabei ein leistungsfähiges Bausystem, mit dem Aussteifung und Lastweiterleitung unkompliziert

möglich sind. Den bauphysikalischen Aspekten wie Schallschutz und Brandschutz ist hingegen genauere Beachtung zu schenken. Akustische Entkopplung kann zu anderen Bauteilanschlüssen führen und der Brandschutz bedingt möglicherweise größere Querschnitte, welche wiederum das Gewicht des Aufbaus erhöhen. Die Tragwerksplanung ist je nach Bestandsgebäude eine der größten Herausforderungen. Das verwendete Material und dessen Dimensionen sind außerdem von Brandschutz und den energetischen Bedingungen abhängig. Als letzter Punkt ist die technische Gebäudeausrüstung zu beachten. Die unter Berücksichtigung all dieser Aspekte erstellten Werkpläne werden von der Baufirma in der Produktion umgesetzt. Die produzierten Elemente sollen dann in einer kurzen Zeit montiert werden, um mögliche Bewohner nur gering zu belasten. Umso genauer die Planung auf den individuellen Fertigungsprozess der ausführenden Firma abgestimmt ist, desto wirtschaftlicher kann ein Projekt ablaufen. Letztendlich bewirkt eine gute Zusammenarbeit der Beteiligten Akteure eine erfolgreiche Umsetzung mit finanzieller Optimierung und qualitativer Ausführung. [59, S. 23]

4.2.2 Ablauf von Planung bis Fertigstellung

Wie beschrieben wird die Ausführungsplanung in eine auf die Produktion angepasste Werkplanung zerteilt. Das Unternehmen nutzt dafür standardisierte Raster und Regeldetails, um Skalierungseffekte zu erzielen. Die Qualitätsüberwachung erfordert die Elemente im Detail zu überprüfen und die Informationen für spätere Anwendungen aufzubewahren. In der Produktion wird die tragende Konstruktion isoliert, beidseitig beplankt sowie mit Fenstern und Installationsleitungen versehen. Zusätzlich wird die Luftdichtigkeit und kontrollierte Dampfdiffusion durch Folien oder Beplankung erreicht und eine Fassade wird angebracht. Die Fertigung funktioniert je nach Unternehmen mehr oder weniger halbautomatisch. Der Abbund sowie Vernagelungen und Plattenzuschnitt wird Maschinell ausgeführt und die Zwischenschritte finden meist manuell statt. Unternehmen brauchen dafür ausreichend Fertigungskapazitäten, witterungsunabhängige Produktionsfläche und Lagerfläche für Baustoffe und fertigestellte Bauteile. Neben der Fläche und ausreichend Fachpersonal sind die Maschinen und Messgeräte von immer größerer Bedeutung. [59, S. 35–36]

Neben den Wandelementen werden auch die Decken- und Dachelemente vorfabriziert. Dabei ist es wichtig eine kraftschlüssige Verbindung der Elemente so vorzubereiten, dass die Montage schnell vonstatten gehen kann. Weiterhin werden die Verbindungen mit dem Bestandsgebäude vorbereitet. Für große Fensterelemente, Fassadenkonstruktionen und Dämmdicken mit großem Platzbedarf kann ein separater Transport mit Montage auf der Baustelle wirtschaftlicher sein. Dies ist hauptsächlich von den zulässigen Transportabmessungen abhängig. Die Abmessungen von 20 m Länge, 4 m Höhe und 3,20 bis 3,50 m sind maßgebend, können sich jedoch in den verschiedenen Bundesländern leicht unterscheiden. Spezialtransporte sind möglich aber wegen dem größeren Aufwand in der Beantragung, Streckenplanung und durch polizeiliche Begleitung selten finanziell rentabel. Ob die Wirtschaftlichkeit und Durchführbarkeit von Spezialtransporten einer

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

zeitaufwendigeren Montage von kleineren Elementen überliegt, muss im Einzelfall geprüft werden. Durch diffusionsoffene Folien werden die Elemente während einer Zwischenlagerung und dem Transport vor Witterungseinflüssen geschützt. [59, S. 36]

Während der Produktion kann zeitgleich das alte Dach zurückgebaut und eine ebene Fläche erstellt werden. Darauf werden die Anschlüsse an das Bestandsgebäude eingemessen und installiert. Gegebenenfalls müssen am Bestandsgebäude statisch relevante Ertüchtigungen vorgenommen werden. Dies kann einige Tage in Anspruch nehmen. Dabei wird das Bauwerk vor Witterungseinflüssen geschützt. Dafür verwendet man neben dem Baugerüst ein flexibles Notdach oder eine Abdichtung. So kommt es nur zu minimalen Beeinträchtigungen der unteren Etagen und somit der Bewohner oder Nutzer des Gebäudes. Sind alle Vorbereitungsarbeiten abgeschlossen, können die Wände, die Deckenelemente und das neue Dach aufgerichtet und an das Gebäude montiert werden. [55]



Abbildung 14: Montage von Holztafelbauwänden

Quelle: [60]

Für die Montage sind außer den Stellflächen für die Lkw Pritschen und der Standfläche für den Kran keine gesonderten Lagerflächen erforderlich. Die Baustelleneinrichtung bedarf in den meisten Fällen ein Baugerüst für die Montage und Sicherheit sowie Absperrungen und Verkehrsregelung für die Anlieferung falls erforderlich. Mit dem Kran werden die an speziellen Transporthilfen befestigten Elemente auf das Gebäude gehoben (Abbildung 14), an die richtige Stelle versetzt und montiert. Die Aufrichtung erfolgt je nach Volumen in bis zu 12 Stunden. Daraufhin ist die Gebäudehülle witterungsbeständig und die Gefahr von Tauwasser- und damit Schimmelpilzbildung weitgehend gebannt. In wenigen Tagen werden Details ergänzt und die Konstruktion wind- und luftdicht ausgeführt sowie das Dach

vollständig abgedichtet. Durch die Ausbaugewerke werden die Restarbeiten dann in unter 12 Wochen bewerkstelligt. [59, S. 40]

Der hohe Vorfertigungsgrad reduziert den Aufwand für die Ausbaugewerke auf der Baustelle. Die Installationen können in dafür vorgesehene Hohlräume in Wand und Decke geführt werden. Dadurch wird der Aufwand reduziert und ein versehentliches Durchdringen von luftdichten Ebenen wird verhindert, was den Schall- und Feuchtigkeitsschutz gewährleistet. Gegebenenfalls ist die Haustechnik über Installationskerne bereits im Vorfeld erschlossen und der Anschluss an vorgefertigte Technikcontainer und Nasszellen findet statt. Dadurch können Sanitäreinrichtungen, Lüftungsleitungen und Elektroverteilungen werkseitig eingebracht werden und müssen auf der Baustelle nur an die ebenfalls vorproduzierte Heizung, Lüftung und Regelungstechnik angeschlossen werden. [59, S. 36]

Abschließend werden die nicht aus Sichtholz bestehenden Oberflächen verputzt oder verkleidet und eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Zu dieser gehört auch eine Luftdichtheitsmessung mit dem „Blower-Door-Test“. Dadurch wird die effektive Erreichung der Dämmwerter, Konvektionsschutz vor der Raumluft und die Funktionalität der Lüftungsanlage garantiert. Sind alle Anforderungen eingehalten ist die Aufstockung Bezugfertig. [59, S. 41]

4.3 Beispielprojekte einer Gebäudeaufstockung

Aktuell werden die verschiedensten Gebäudetypen aus den verschiedensten Gründen Aufgestockt. Viele Projekte sind sehr individuell und architektonisch interessant. Die Darstellung aktueller Entwicklungen wäre deshalb nicht zielführend. Um eine Vereinbarkeit mit Energiesprung zum momentanen Entwicklungszeitpunkt möglich zu machen sind bestimmte Kriterien vorauszusetzen, welche in Kapitel 6.1 übersichtlich dargestellt werden. Die beiden nachfolgenden Beispielprojekte wurden aufgrund von Gebäudetyp, Alter, Nutzung und Kubatur ausgewählt.

Das in der Abbildung 15 dargestellte Wohnhaus in der Möhrlistrasse Zürich wurde im Jahr 1973 gemeinsam mit elf weiteren gebaut. Neben der Aufstockung wurden die Gebäude umstrukturiert und 140 vornehmlich Alterswohnungen sind entstanden. Durch den Umbau war neben der Schaffung von Wohnraum auch die Vergrößerung der Bestandswohnungen und ein geschlossenes architektonisches Außenkonzept das Ziel. Das äußere Design ist eine grau lasierte Holzverkleidung aus Douglasie Lamellen. Die einzelnen Gebäudegruppen unterscheiden sich durch eine farblich unterschiedliche Ausführung der Loggias und Hauseingänge. Die Ausführung der Gebäudeaufstockung in Holzrahmenbauweise begründet sich durch finanzielle Rentabilität, kurze Bauzeit und komfortable moderne Wohnungen. Die vorgefertigten großformatigen Bauteile wurden präzise und schnell eingebaut. [61, S. 137–138]



Abbildung 15: Aufstockung auf das Wohnhaus „Irchel“

Quelle: [61]

Die Außenwände bestehen aus einem mit 180 mm Mineralwolle gedämmten Holzrahmen der auf der Innenseite mit einer 25 mm OSB Platte, einem Installationszwischenraum von 50mm und einer Gipskartonplatte verkleidet ist. Die äußere Seite besteht aus 15 mm Gipsfaserplatten und darauf eine hinterlüftete Holz Unterkonstruktion mit der Holzverkleidung. Das Dach besteht wie die Zwischendecke aus Hohlkastenelementen von 180 mm Stärke. Diese sind mit Mineralwolle ausgedämmt und besitzen auf beiden Seiten Dreischichtplatten von 27 mm. Dadurch werden auch die Anforderungen an einen Feuerwiderstand von 60 Minuten eingehalten. Der obere Dachaufbau besteht aus einer Dampfsperre, 150 mm Mineralstoff Dämmung sowie einer zweischichtigen Bitumenabdichtung und einer extensiven Begrünung. Im Gegensatz dazu besteht der weitere Deckenaufbau aus 25 mm Installationsraum, Trittschalldämmung, Unterlagsboden und einem Parkett Belag. Die Rahmenkonstruktionen der Innenwände haben eine zweischichtige Bekleidung mit OSB- und Gipsplatten. [61, S. 139]

Das zweite Projekt aus den Vierzigerjahren steht ebenfalls in Zürich in der Wallisellenstrasse. Um den Wohnkomfort zu erhöhen und den Energiestandard zu optimieren wurden vier Blöcke Aufgestockt und erweitert. Außerdem sollten das als Gartenstadt geplante, durchgrünte Wohngebiet seinen Charakter behalten. Ein Hauptziel der Bauherrschaft war dabei die niedrigen Mietkosten möglichst beizubehalten. In dem umfangreichen Projekt wurde neben der Aufstockung um zwei Geschosse die bestehenden Wohnungen saniert, mit einem Aufzug ergänzt und eine Balkonfront vorgesetzt. Durch die Aufstockungen sind zweigeschoßige Wohnungen entstanden, wobei das Attikazimmer mit großer Terrasse durch

Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

eine interne Treppe erschlossen ist. Außerdem wurde zur Reduktion des Straßenlärms zweigeschossige Anbauten zwischen die Blöcke gestellt. Um ein architektonisch Einheitliches Bild zu schaffen sind alle Gebäude über alle Stockwerke mit den in der nachfolgenden Abbildung ersichtlichen blauen Faserzementplatten verkleidet. [61, S. 125]



Abbildung 16: Aufstockung um ein Geschoss.

Quelle: [61, S. 126–127]

Konstruktiv erfolgten die Baumaßnahmen im vorgefertigten Holzrahmenbau. Die werkseitige Serienfertigung der Holzelemente erhöhte dabei die Rentabilität der Sanierung maßgeblich, was sich positiv auf die Mietkosten auswirkt. Zudem war aber auch die Leichtigkeit der Konstruktion maßgebend. Das ungedämmte, 350 mm starke Mauerwerk des Bestandsgebäudes war mit einem Satteldach in Kaldachausführung errichtet. Durch die ausreichenden statischen Reserven des Mauerwerks konnte die Aufstockung ohne Ertüchtigung durchgeführt werden. Eine Entkernung des Gebäudes war nur für die Erneuerung und den Umbau der alten Wohnungen nötig. Das Satteldach wurde abgetragen und mit einem Flachdach aus 180 mm hohen Hohlkastenelementen ersetzt. Diese sind mit Zellulosefasern gedämmt. Inwendig wurde nach der Dampfsperre eine Lattung mit 15 mm Gipsplatten aufgebracht. Über den Hohlkastenelementen befindet sich die Dichtungsbahn und eine Kiesschüttung. Die Holzrahmenwände sind in der 160 mm breiten Tragebene mit Mineralwolle ausgedämmt und zweischichtig mit 15 mm OSB- und 15mm Gipsplatten beplankt. Auf der Außenseite befinden sich offenporige Faserplatten, eine hinterlüftete

Unterkonstruktion und die erwähnten Faserzementplatten. Das Mauerwerk wurde ebenfalls mit einer 160 mm Mineralwolldämmung verstärkt und die Ansicht durch die auf der Unterkonstruktion aufgetragenen Faserzementplatten ergänzt. Die energetische Sanierung entspricht damit den gesetzlichen Vorgaben, erreicht aber keinen fortschrittlichen Energiestandard.[61, S. 126–127]

Unter der Betrachtung der Hintergründe werden die genutzten Konstruktionsweisen in Kapitel 5 wieder aufgegriffen. Die hier gezeigten Projekte haben Vorbildcharakter, um das Potential von Aufstockungen weiter zu verbreiten. Dafür müssen allfällige Herausforderungen aus dem Weg geschaffen werden.

4.4 Herausforderungen und Lösungen

Da die Gebäude sehr individuell sein können, sind auch die Herausforderungen und die Lösungen dafür sehr individuell. Generell stellen sich aber bei jedem Projekt die regulatorischen Anforderungen sowie die statischen Voraussetzungen als maßgebend heraus.

4.4.1 Regulatorische Herausforderungen

Städtebaulich muss zuallererst die Bauhöhe der gegebenen Bauzone unterschieden werden. Aufstockungen befinden sich im Regelfall in Gebäudeklasse 4 und 5. Weiterhin ist die Anzahl der Vollgeschosse, die Nutzungsart und die Flächenausnutzung zu beachten. Die bestimmenden Rahmenbedingungen sind im Baugesetzbuch, in den Landesbauordnungen und den lokalen Bebauungsplänen mit der angehängten Baunutzungsverordnung definiert. Dort sind außerdem die baulichen Anforderungen festgelegt. Dazu gehört Gebäudeausstattung mit Rettungswegen, Parkplätzen und Aufzügen sowie die technischen Voraussetzungen für die materialspezifische Bauweise, wobei vor allem der Brandschutz relevant ist. Brandschutztechnische Vorgaben sind schon in der Projektierungsphase von Bedeutung, da diese wesentliche, projektentscheidende Einflüsse haben können. Die rechtlichen Vorgaben sind komplex und werden unterschiedlich gehandhabt. Das Spektrum reicht von unbedingt einzuhaltenden Vorgaben über alternative Lösungswege zu begründeten Abweichungen von der Vorschrift. Um einen optimalen und rechtssicheren Projektablauf zu erreichen ist eine ausführliche Absprache der Planer mit den rechtlichen Instanzen zu empfehlen. Falls beispielsweise die Einhaltung der normalen Vorgaben nicht möglich ist, können diese durch ein Brandschutzkonzept eines Brandschutzgutachters kompensiert werden. Das Schutzziel der Vorschrift könnte so auch mit einer ergänzenden Sprinkleranlage erreicht werden.[62, S. 96]

Eine spezifischere Betrachtung ist im Brandschutztechnischen Leitfaden für die serielle Sanierung für Einfamilienhäuser zu finden. Die maßgebenden Vorgaben für eine

energetische Sanierung mit kombinierter Gebäudeaufstockung können als Grundlage für weitere Arbeiten verwendet werden. [63]

Ein weiteres Holzbau-spezifisches Hemmnis kann der höhere Kostenanteil von 5-10% darstellen. Dieser wird durch Vorteile wie die kurze Bauphase und die hohe Qualität aufgewogen. Problematisch für ein übergreifendes System sind momentan allerdings die verschiedenen Landesbauordnungen in Deutschland [26, S. 106]. Dabei muss auch beachtet werden, ob der Altbau bei einer Aufstockung weiterhin Bestandsschutz besitzt. Wenn das Gebäude rechtskräftig errichtet wurde, ist es vor neuen technischen Anforderungen geschützt und muss auch bei substanz- und nutzungserhaltenden Maßnahmen nicht angepasst werden. Sind die Änderungen allerdings umfangreich und wesentlich, entfällt dieser Bestandsschutz. Eine neue Statik für das gesamte Gebäude ist beispielsweise als wesentlich anzusehen. Viele Dachausbauten und Gebäudeaufstockungen können somit zu umfangreichen Investitionen und Sanierungsmaßnahmen für das Bestandsgebäude führen. Neben dem Brandschutz betrifft dies auch die energetische Sanierung des Bestandes. In dieser Hinsicht erscheint eine Kombination der Energiesprung Methode mit Gebäude Aufstockungen als sinnvoll. [64]

4.4.2 Statische Herausforderung

Durch die neue Aufstockung von einem oder mehreren Geschossen, müssen verschiedene Lasteinwirkungen abgetragen werden. Dies passiert entweder über bestehende Decken, Wände, Stützen und Fundamente oder über neue Baumaßnahmen. Die vertikalen Eigen-, Schnee und Nutzlasten sind dabei ausschlaggebend, da die Tragfähigkeit des Bestandes schnell ausgereizt sein kann. Weitere Lasten, die auftreten können, sind horizontaler Windsog und Winddruck, Imperfektionen durch Setzungen und Erdbebenbelastung. In einer Erdbebenzone bietet sich der Holzbau mit dem kleineren Gewicht und den vergleichsweise geringeren horizontalen Massenkräften im Gegensatz zum Massivbau an. Die bestehende Konstruktion muss dennoch unter Einbezug des zusätzlichen Gewichts auf den Erbebenlastfall untersucht und gegebenenfalls zusätzlich Ausgesteift werden. Grundsätzlich braucht es eine wirtschaftliche Lösung für den Lastabtragung wirtschaftlich, um die Rentabilität eines Projekts zu garantieren. [62, S. 115]

Zu Beginn eines Projektes ist deshalb eine Bestandsaufnahme zwingend notwendig. Mit den vorhandenen Wandstärken, Stützen und Geschosshöhen ist die Knick- und Druckfestigkeit des Tragwerks nachzuprüfen. Diese Ergebnisse, zusammen mit einer Betrachtung des Gebäudes unter Berücksichtigung des baurechtlichen Rahmens zum Erstellungszeitraum ergeben eine Einschätzung, ob das bestehende Tragwerk ausreicht oder ob ein anderer Weg einzuschlagen ist. Ist letzteres der Fall bedarf es bereits zu Beginn der Planung ein ausführliches statisches Gutachten, um die statischen Möglichkeiten der Konstruktion zu ermitteln. Insbesondere die Fundamente dürfen dabei nicht vergessen werden. Unter Berücksichtigung der folgenden drei Szenarien findet daraufhin die Planung des Tragwerks statt. [62, S. 115]

Im ersten Szenario reicht die Tragfähigkeit des Bestandsgebäudes aus. Dies stellt aufwandstechnisch den optimalen Fall dar. Der Lastabtrag der vertikalen Einwirkungen wird hier von Auflagerkonsolen auf dem Bestand übernommen. Bei Bedarf sind Zusatzfundamente anzuordnen. Horizontale Einwirkungen werden entweder durch Stahlwinkel geschossweise in die Bestandskonstruktion der Decken rückverankert oder an einem umlaufenden Richtbalken auf Höhe der Deckenstirnseite angeschlagen und verschraubt. Es gibt auch Anschlüsse, die horizontale und vertikale Kräfte gemeinsam aufnehmen. Die Raumstruktur der neuen Aufstockung wird dabei durch die tragenden Wände und Stützen und die bestehende Infrastruktur definiert. Das neue Tragwerk aus Holztafelbauwänden und weiten Decken ermöglicht entweder einen passgenauen Aufbau auf die alte Struktur oder quer zu dieser. Außerdem sind gewisse Flexibilität durch Auskragungen oder ähnliches realisierbar. Die neue Nutzungsstruktur und die gestalterischen Ansprüche müssen dem Bestandstragwerk angepasst werden. Falls dies nicht möglich ist, wird das zweite Szenario maßgebend. [55, S. 154–156]

Das zweite Szenario bedarf einer Ertüchtigung des alten Tragwerks. Dies ergibt sich, wenn der Bestandsbau ungenügend statische Reserven aufweist oder die gestalterischen Ansprüche nicht durch das gegebene Tragwerk aufgenommen werden können. Die Decken, tragenden Querschnitte und das Fundament können hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Aussteifung, des Schallschutzes und des Brandschutzes verbessert werden. Dazu werden Schüttungen, Holzwerkstoffplatten, Balkenlagen und Stahlträger verwendet. Eine genauere Beschreibung der Maßnahmen übersteigt den Aufwand an dieser Stelle. Durch die Holzkonstruktion besteht auch die Möglichkeit der konzentrierten Lastenleitung auf wenige Punkte. Befinden sich diese Punkte im Gebäudeinneren, wird die Gestaltungsfreiheit der Fassade erhöht. So können beispielsweise größere Fensteröffnungen ermöglicht werden. [55, S. 154–156]

Wir die Last auf Punkte an der Außenseite des Gebäudes konzentriert ergibt sich das dritte Szenario. Außen angebrachte zusätzliche Stützen oder Wände tragen die neuen vertikalen Lasten ab. Die oberste Geschossdecke wird dafür mit Stahlträgern ertüchtigt, welche an die neue äußere Tragstruktur angeschlossen sind. Diese sind in neue Einzel- oder Streifenfundamente gegründet. Bei Holzbauweise muss der konstruktive Holzschutz im Sockelbereich zwingend eingehalten werden. Der horizontale Lastabtrag funktioniert gleich wie im ersten Szenario über Verankerung an den Zwischendecken. Mit der Ertüchtigung findet häufig auch eine energetische Sanierung der Außenseite statt. Die dafür häufig genutzten Holztafelbauelemente bilden eine eigene Ebene. Falls baurechtlich gefordert, müssen nicht brennbare Baustoffe verwendet werden. Balkone stehen einer wirtschaftlichen und wärmebrückenfreien Ausführung häufig im Weg. Deshalb werden sie entweder abgebrochen oder eingehaust und als zusätzliche Wohnfläche verwendet. Das Fassadenelement wird normal luftdicht mit Dampfbremse ausgeführt, um die Dämmwirkung und den Feuchteschutz zu erreichen. Wichtig ist die richtige Ausführung der Anschlussebene an die Bestandsfassade. Um Unregelmäßigkeiten auszugleichen, werden 6 – 8 cm Hohlraum gelassen, der mit hitzebeständigem Dämmstoff auszufüllen ist. Dabei ist auch der Schallschutz zu beachten, um bei unterschiedlichen Nutzungseinheiten Schallbrücken zu vermeiden. Je nach Bekleidungswerkstoff der neuen Fassade muss die Hinterlüftungsebene zwecks Brandschutz geschossweise unterbrochen werden. Wird nach diesen statischen

Ansprüchen eine finanzierbare Lösung für ein Projekt gefunden ist eine Aufstockung möglich. [55, S. 154–156]

4.5 Vergleich der Funktionsweise von Energiesprong und Gebäudeaufstockungen

Vergleichend betrachtet ergeben sich aus Kapitel 3 und Kapitel 4 einige Punkte, durch welche die Bedingungen, Vorteile und Kritiken einer Kombination von Energiesprong mit Gebäudeaufstockungen deutlich werden.

Die erste Gemeinsamkeit ergibt sich aus dem Überthema Bauen im Bestand. Das Potential der bestehenden Grauen Energie wird genutzt und damit der Ressourcenverbrauch reduziert und die Umwelt geschont. Dabei wird der Wert des Gebäudes gesteigert. Das in der Praxis schon länger erprobte Konzept ist die Gebäudeaufstockung. Nach konventioneller Methode wird das System allerdings für jedes Projekt angepasst oder neu entwickelt. Eine Umfassendes System das an einer Vielzahl von Projekten funktioniert ist in dieser Hinsicht das neue an Energiesprong. Die Funktion und Rentabilität bedarf hierbei noch weiterer Pilotprojekte. Dabei kann bei Energiesprong Projekten von der Erfahrung bei Gebäudeaufstockungen profitiert werden.

Der Ablauf der beiden Konzepte verläuft in einigen Punkten gleich. Die Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise kann durch die fortschrittliche Herangehensweise von Energiesprong profitieren. In der Projektentwicklung verlangt der Energiesprong Weg eine sehr enge Zusammenarbeit von politischen Treibern, Wohnungs- und Bauunternehmen. Das gemeinsame Ziel, das geteilte Wissen und das Vertrauen untereinander ermöglicht effiziente Problemlösung und kann die Umsetzung vieler gemeinsamer Projekte bewirken. Durch die Perspektive der Bauunternehmen, dass das große Auftragsvolumen gemeinsam bewältigt und nicht gegeneinander gearbeitet werden muss, kann der Informationsaustausch erhöht und innovative Lösungen schnell weiterentwickelt werden.

Dies ist auch nötig, um die angestrebte Automatisierung zu erreichen, da diese sich weitgehend in der Entwicklung befindet. Die Ambitionen von Energiesprong sind hoch und kann die weitere Baubranche mitziehen. Serielle Fertigung ist im Holzbau in den letzten Jahren zu einem verbreiteten Thema geworden. Da die Fertigung weitestgehend halbautomatisch abläuft ist die weitere Prozessoptimierung unbedingt anzustreben. Der Klimaschonende leichte Holzbau mit guten Dämmwerten ist sinnvoll für beide Konzepte. Das Bausystem für Energiesprong ist flexibel und wird durch die Aufstockung auf Holzbau fixiert. Im nächsten Kapitel wird aber zusätzlich das von InduZero bevorzugte System auch dargestellt, da es sich möglicherweise auch mit der Gebäudeaufstockung in Holzbauweise kombinieren lässt.

Die angestrebte Automatisierung benötigt Fachpersonal, welches möglicherweise schwierig zu finden ist. Im Vergleich zu konventionellen Sanierungen wird allerdings deutlich weniger Personal benötigt. Das Fachpersonal ist hauptsächlich durch den deutlich gesteigerten Planungsaufwand bedingt. Vor allem in den Bereichen der Tragwerksplanung, des Brandschutz und der weiteren Bauphysik ist vertieftes Fachwissen nötig. Die Planung in der

Holzbaubranche ist bereits sehr fortschrittlich und kann auf einen industrialisierten Herstellungsprozess ausgeweitet werden. Wenn digitale Aufmaße mit Laserscanning, BIM Modellierungen und automatisierte Fertigung mit Unterstützung durch Robotik in einem Unternehmen bisher nicht genutzt werden, wird das in den nächsten Jahren durch die Entwicklungen in der Baubranche kommen. Energiesprong verlangt diese Neuerungen bereits jetzt und ermöglicht Unternehmen in den kommenden Jahren damit einen Marktvorteil.

Für die Kombination ist die Statik der Aufstockung maßgebend, da die Energiesprong Sanierung weniger zusätzliches Gewicht aufbringt. Eine statisch tragend ausgebildete Fassade kann die Lasten einer Aufstockung teilweise übernehmen. Dadurch werden Gebäudeaufstockungen auch bei bestehenden Objekten möglich wo das Tragwerk bereits ausgenutzt ist. Wenn das System so gebaut wird, dass die Lasten über die Fassade abgetragen werden können, muss die Überprüfung der Bestandsstatik für eine Aufstockung weniger intensiv durchgeführt werden und ein System kann für alle Gebäude gleich funktionieren.

Abgesehen durch den etwas höheren Montageaufwand bei Gebäudeaufstockungen, ist der Ablauf und die Bedingungen der Montage sehr ähnlich und einer Kombination steht nichts im Weg. Der Bauablauf kann im bewohnten Zustand ausgeführt werden. Beide Konzepte sind darauf ausgelegt in wenigen Tagen bis Wochen ausgeführt zu werden, wobei eine Kombination längere Beeinträchtigungen verursacht. Die Anforderungen an die Planung und die Kommunikation mit den Bewohnern ist dabei hoch. Die Energieeinsparung, der Wohnkomfort und die neu geschaffenen Wohnungen wiegen dies jedoch wieder auf.

Der NetZero Standard stellt auch für Gebäudeaufstockungen die Zukunft dar. Die Politik plant bis 2030 die Anforderungen an die Energieeffizienz von Neubauten drastisch zu erhöhen, was auch tiefgreifende Umbauten wie Gebäudeaufstockungen betreffen wird. Weiterhin müssen sowohl für Energetische Sanierungen als auch Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise politische Hindernisse aus dem Weg geschafft werden. Die Regulatorien stellen für beide Konzepte eine der größten Herausforderungen dar. Energiesprong ist dabei momentan mehr auf finanziellen Aspekte und die Energie Gewinnung fokussiert und Gebäudeaufstockungen auf die Städtebaulichen und Bautechnischen Anforderungen. Einige der baurechtlichen Anforderungen ergänzen sich wie zum Beispiel der Brandschutz oder der Platz für die Montage. Durch eine Gebäudeaufstockung kommen weitere Anforderungen dazu wie die maximale Gebäudehöhe oder Mindestabstände. Die Voraussetzungen für ein Gebäude werden damit im Vergleich zu einer einfachen Energiesprong Sanierung erhöht. Die Auswahl für kombinierte Projekte ist damit um einiges kleiner als für Energiesprong geschätzt wird und etwas kleiner als die geschätzten Gebäudeaufstockungen.

Dem Aufwendigeren Planungsprozess steht eine höhere Rentabilität der Immobilie gegenüber. Eine Umfassende kombinierte Methode bewirkt langfristig finanzielle Vorteile im Vergleich zu einzelnen Teilsanierungen. Das Potential eines Bestandsgebäudes wird dabei voll ausgenutzt. Die Energiesprong Sanierung hat das Potential zur eigenen Refinanzierung durch die Kombination der verschiedenen Möglichkeiten und das gleiche gilt auch für die Aufstockung durch die dazugewonnene Miete. Der Skalierungseffekt kann den Preis einer

Bauteile und Komponenten

Gebäudeaufstockung stark reduzieren, da die Fertigung bisher projektorientiert abläuft. Dafür muss allerdings ein System gefunden werden, welches mit den häufig unterschiedlichen Tragwerken und statischen Reserven zurechtkommt. Die Rentabilität einer Aufstockung bei größeren Volumensprüngen wie 50% oder mehr erhöht sich und für Energiesprung ist momentan eine Geschosshöhe von zwei bis vier Vollgeschossen optimal. Damit erreicht ein Gebäude mit zwei bis drei bestehenden Vollgeschossen und einer Aufstockung um ein oder zwei weitere Geschosse das beste Ergebnis.

Für Energiesprung macht eine ergänzende Gebäudeaufstockung projektorientiert Sinn, wenn die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit und Skalierung den zusätzlichen Aufwand überwiegen. Für Gebäudeaufstockungen von Wohnkomplexen mit niedriger Geschoszahl macht eine Energiesprung Sanierung hinsichtlich der momentanen und zukünftigen Anforderungen meisten Sinn.

5. Bauteile und Komponenten

Das letzte Kapitel betrachtet die einzelnen Bauteile unter der Perspektive der Vergleichbarkeit. Basierend auf den bauphysikalischen Hintergründen werden die Systeme erläutert und abschließend konzeptionell an einem Beispiel zusammengefügt.

5.1 Bestandteile des Systems

Der Reihe nach werden die statisch, bauphysikalisch und technisch relevanten Bauteile betrachtet. Um gemeinsame Grundvoraussetzungen zu schaffen, steht der Baustoff Holz im Vordergrund. Die Bauteile basieren auf den in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Beispielprojekte und dem Plan des INDU-ZERO Projekts. Die dargestellten Bestandteile haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und weisen im aktuellen Energiesprung-Kontext ein enormes Entwicklungspotential auf.

5.1.1 Fassadenelemente

Für eine Serielle Sanierung mit zusätzlicher Gebäudeaufstockung ist für die Fassade ein hoher Vorfertigungsgrad und eine schnelle Montage gefordert. Dies bedeutet, dass Fenster, Türen und Lüftungsanlagen werkseitig montiert werden oder vor Ort sehr einfach einzubauen sind. Werden Bestandsbalkone ersetzt sollte der Anschluss für neue Balkone vorbereitet sein. Optional ist die Anlagentechnik wie Steigleitungen, Sensorik oder Heizungstechnik vorkonfektioniert eingebracht oder es wird Raum dafür gelassen. Die Fassade muss für Entwässerung, Schlagregenschutz, Verschattung und Einbruchschutz sorgen. Auftretende Feuchtigkeit muss über das Jahr gesehen wieder abgegeben werden

Bauteile und Komponenten

können. Dabei ist die Langlebigkeit und eine einfache Wartung zu berücksichtigen. Am Ende der Nutzungszeit soll eine einfache Instandsetzung oder Demontage mit Recycling möglich sein. Schadstoffe und weiterer potenzieller Sondermüll muss vermieden werden. [65]

Der winterliche Wärmeschutz bedingt, den in Kapitel 3.1.1 ausführlich erklärten, NetZero-Standard. Das Gesamtgebäude erfordert ein hohes Maß an Luftdichtigkeit und ein geringen Wärmedurchgangskoeffizient. Die benötigten Werte sind in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt.

(alle Werte in $W/(m^2K)$)	Optimaler Wert: 40% des Referenzgebäudewertes	Orientierungswert: 55% des Referenzgebäudewertes	Minimalwert: 70% des Referenzgebäudewertes
Außenwand (0,28 $W/(m^2K)$)	0,11	0,15	0,20
Dach (0,2 $W/(m^2K)$)	0,08	0,11	0,14
Fenster (1,3 $W/(m^2K)$)	0,52*	0,72	0,91
Wärmebrückenfaktor (0,05 $W/(m^2K)$)	0,02**	0,028	0,035

*technisch so derzeit nicht/kaum praktikabel umsetzbar

** bei unbeheiztem Keller oftmals wegen einbindender Kellerwände schwer erreichbar

Tabelle 1: U-Werte für die Bauteile

Quelle: [65]

Weitere Anforderungen sind der sommerliche Wärmeschutz, der Schallschutz, der Brandschutz und die Statik. Im Sommer sollen die Stunden mit mehr als 25,5 °C im Innenraum bei unter 300 gehalten werden. Dafür werden vor allem Verschattungen und eine kontrollierte Lüftung zur Nachtauskühlung genutzt. Der äußere Einfluss des Schallpegels soll 30 dB nicht übersteigen und die neuen Bauteile dürfen die Gebäudeinterne Schallübertragung nicht erhöhen. Die neue Fassade muss den Brandschutzanforderungen der entsprechenden Gebäudeklassen entsprechen. Dieses Umfassende Thema wird in einem von der dena extra erstellten Brandschutzleitfaden genauer betrachtet [63]. Da die Aufstockung die höheren statischen Anforderungen mit sich bringt kann von denselben Grundlagen wie in Kapitel 4.4.1 ausgegangen werden. Dasselbe gilt für die Anschlüsse an das Gebäude. Aufgrund der Individualität der Gebäude ist entweder ein statisch belastbares Fassadensystem benötigt oder es kann ein leichtes Fassadensystem mit ausgeklügelter Lasteinleitung verwendet werden. Hier kann beispielsweise für die neuen Fenster eine Lasteinleitung in die bisherigen Fensterlaibungen genutzt werden. Die Anwendung des letzteren Systems macht Sinn, wenn das Gebäude ausreichend statische Reserven aufweist, um die zusätzlichen Lasten der Fassadenelemente und die einer Gebäudeaufstockung aufnehmen zu können. [65]

Bauteile und Komponenten

Ein solches System wurde als Ergebnis des INDU-ZERO Projekts hervorgebracht. Dafür wurde eine Untersuchung der Materialien für die Dämmung durchgeführt. Dabei haben Holzrahmen-Konstruktionen und Sandwich-Paneele hinsichtlich Automatisierung und Kostenreduktion am besten abgeschnitten. Langfristig gesehen unterscheiden sich die ökologische Fußabdrücke wenig. Das Sandwich-Paneel ist kostengünstiger, leichter und besser für eine automatische Herstellung geeignet. Der Nachteil ist die erheblich geringere Tragfähigkeit und die Materialherstellung aus Erdöl. Da sich Dämmstoffe energetisch in kurzer Zeit amortisieren ist jedes Material über den Lebenszyklus gesehen als energetisch positiv zu bewerten [54]. Das für die Sandwich-Paneele verwendete Expandierte Polysterol (EPS) sollte zukünftig durch ein biobasiertes Produkt ersetzt werden. Wie in Abbildung 17 zu sehen ist das Sandwich-Paneel folgendermaßen aufgebaut. Der Hauptbestandteil ist der äußere Kern aus hoch komprimiertem EPS für die Stabilität und der innere Kern aus leichtem EPS für die Dämmwirkung. Der Kern ist verklebt und auf der Außenseite mit einem Netz überspannt, um dem feuerbeständigen Mörtel einen Haftgrund zu bieten. Abschließend wird eine Holz, Putz oder Stein Optik aufgebracht. Dafür werden beispielsweise feuerfeste Streifen verwendet. Das ganze Paneel erreicht dabei die für dieses Produkt bestmögliche Feuerwiderstandsklasse B nach der Europäischen Norm 13501. Die Gesamtdicke des Elements beträgt ungefähr 25 cm.

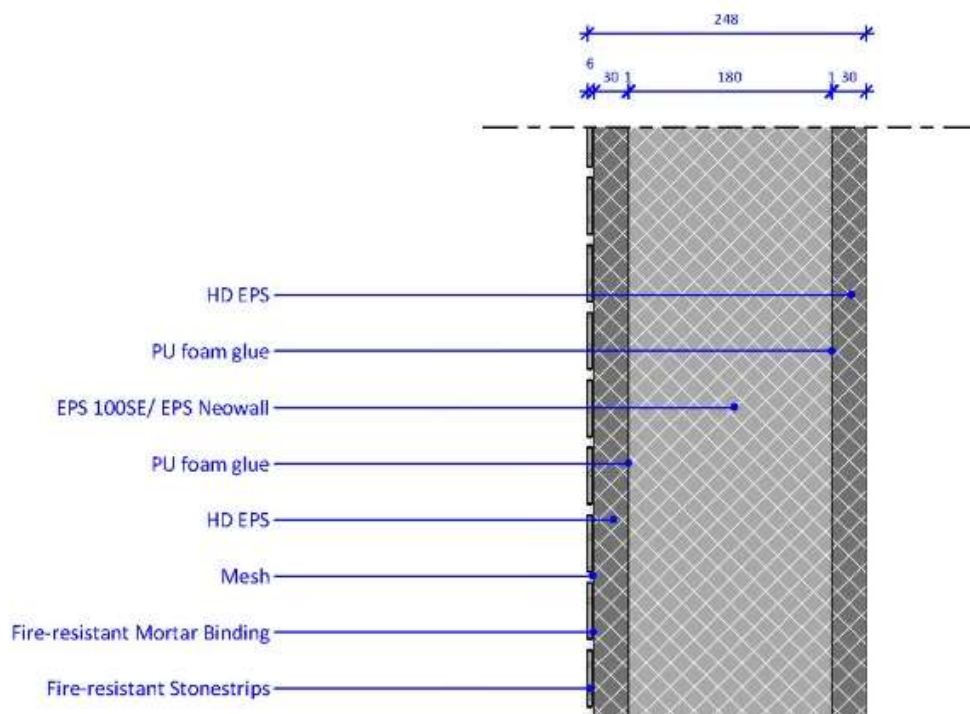


Abbildung 17: Aufbau eines Sandwich-Paneels nach INDU-ZERO

Quelle: [47]

Bauteile und Komponenten

Reichen die statischen Reserven des Bestandsgebäudes nicht aus ist ein Fassadensystem in Holztafelbauweise zu wählen. Der folgende Aufbau wird von innen nach außen beschrieben und ist Abbildung 18 dargestellt. Auf eine innere Beplankung mit Gipskarton oder Gipsfaserplatten folgt die Ebene der Dampfbremse, die entweder als OSB oder als Folie ausgebildet ist. Der Kern besteht aus der Ständerkonstruktion mit Gefachdämmung aus feuerresistenter Mineralwolle. Um Wärmebrücken zu vermeiden und den benötigten Dämmwert zu erreichen wird eine zweite Dämmebene aufgebracht. Diese sollte stabil und diffusionsoffen sein und wird mit einem Windpapier bekleidet. Die Diffusionsoffenheit des Aufbaus steigt von innen nach außen um ungefähr das zehnfache. Nachfolgend sorgt eine Unterkonstruktion für die Hinterlüftung der Außenwandbekleidung aus Holz. [62, S. 170]

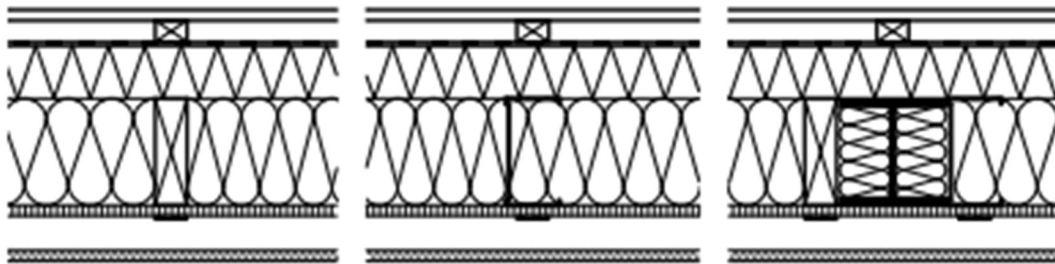


Abbildung 18: Wandaufbau Holztafelbau

[62, S. 170]

5.1.2 Dachelemente

Die Anforderungen an die Dachelemente entsprechen zum größten Teil denen der Fassade. Besonders relevant ist die Wasserundurchlässigkeit und Unterbringung der PV-Module. Der grundsätzliche Schichtaufbau entspricht der Außenwand mindestens in der Reihenfolge. So kann die Luftdichtigkeitsebene und die Hülle der Wärmedämmung geschlossen um das gesamte Gebäude hergestellt werden. Die Dämmung muss mindestens einen U-Wert von $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist. Die daraus resultierend größere Schichtdicke wird durch einen höheren Wärmeverlust in der Dachebene begründet. Besonders im Sommer verursacht der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht Kondensation in den Bauteilen der Dachkonstruktion. Um die Feuchtigkeit abzutragen, muss die Konstruktion eine feuchteadaptive Dampfbremse und eine Hinterlüftungsebene aufweisen. Im Unterschied zur Fassade wird eine Dachdeckung benötigt, um den Niederschlag abzuleiten. Um Gewicht einzusparen ist eine Ziegeldeckung zu vermeiden. Für schräge Dächer ab 7° Dachneigung sind Metalldeckungen oder besser PV-Dachplatten zu wählen. Zusätzlich wird eine Unterspannbahn als zweite Wasserführende Schicht eingebaut. Der Zwischenraum der wasserführenden Schichten stellt die Hinterlüftungsebene dar, welche seitlich mit einem Insektenschutzgitter abgeschlossen wird. Um die Wasserundurchlässigkeit bei Flachdächern zu gewährleisten, muss eine mehrschichtige Bitumenabdichtung aufgebracht werden. Das Tragsystem des Dachs kann je nach Dachform

Bauteile und Komponenten

variieren und beispielsweise als Hohlkastendach oder Sparrendach ausgeführt werden. [62, S. 172]

Die Dachfläche wird zu Energiegewinnung genutzt. Um die NetZero Energiebilanz zu erreichen, wird in bisherigen Projekten die Solarenergie verwendet. Die Photovoltaikanlage wurde in bisherigen Projekten meist nachträglich aufgebracht, wobei die Verankerung bereits in der Vorfertigung montiert wird. Aufgrund des angestrebten Vorfertigungsgrads zielt Energiesprung darauf ab die Module bereits im Werk anzubringen, wie es bei dem Satteldach in Bochum in der Abbildung 19 der Fall ist. Abbildung 20 zeigt den Aufbau bei einem Flachdach. Die Montage erfolgte, nachdem das Dach aufgerichtet wurde. Die Ost-West Ausrichtung verlagert den Energieertrag auf die Abend und Morgenstunden und deckt somit eine größere Zeitspanne ab.[65]



Abbildung 1919: Montage von Dachmodulen mit integrierter Photovoltaik

Quelle: [69]



Abbildung 2020: Photovoltaik auf Flachdach

Quelle: [68]

Bauteile und Komponenten

5.1.3 Energiemodul

Die Voraussetzungen für das Energiemodul sind folgende. Das gewählte System muss mit den vorhandenen Anlagen vereinbar sein. Ein umfassendes System dazu auf die Großzahl der Anlagen bereits abgestimmt ist reduziert den Aufwand und damit die Kosten.

Der Metallrahmen bildet die Tragstruktur des Energiemoduls. Zu den Ausstattungskomponenten gehören die Wärmepumpe, gegebenenfalls ein zentrales Lüftungssystem, ein Druckausgleichsbehälter, ein Boiler mit Pufferspeicher oder ein Pufferspeicher für die Wärmepumpe, ein PV-Inverter und eine Mess- und Kontrolleinheit. Das Energiemodul wird an die Bestehende Heizungsanlage angeschlossen und versorgt das Gebäude mit ausreichend Wärme und Warmwasser [47]. Wird die Wärmepumpe an die Außenwand ausgebracht oder als Kleinstwärmepumpe in die Fassade integriert, wird eine nicht brennbare Kapselung zwischen der Außenwandbekleidung und der Wärmepumpe benötigt. [63]

Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Energieeinheiten für Energiesprong Projekte in den Niederlanden. Im konventionellem System in Abbildung 21a wurden die Komponenten getrennt installiert. Bestehend aus einer Lüftungseinheit, einer Wärmepumpe, einem Boiler für heißes Wasser, einer Kontrolleinheit und Messanzeigen kosteten diese Installationen zum Beginn der Energiesprong Sanierungen in den Niederlanden ungefähr 30.000 Euro. Daraus wurde, wie in Abbildung 21b zu sehen, ein Energiecontainer für circa 20.000 Euro, der außen am Gebäude angebracht wurde. [37]

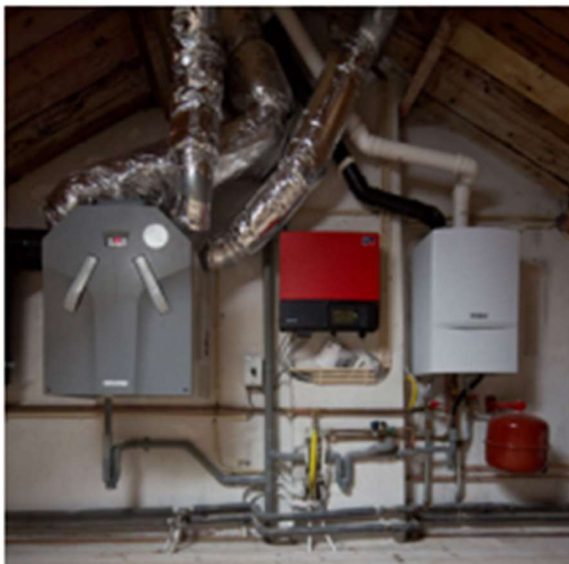


Abbildung 21a und 21b: Entwicklung der Energiemodule

Quelle: [37]

Den Energiecontainer hat man in ein flexibles Energiemodul nach Abbildung 22a umgewandelt, um den Installationsort flexibel bestimmen zu können. Der Preis von 13.000 Euro wurde durch eine höher skalierte Produktion geschaffen. Außerdem wurde ein PV-

Bauteile und Komponenten

Inverter integriert, um den Solarstrom direkt einzuspeisen. Abbildung 22b zeigt ein angestrebtes Energiemodul mit einem potenziellen Preis von 6.000 Euro bei einer Massenproduktion. Dabei wird dieses Modul direkt in das Dach integriert, um die Montage und Vorfertigung zu vereinfachen. [37]



Abbildung 22a und 22b: Entwicklung der Energiemodule

Quelle: [37]

Besonders wichtig für die Energetische Sanierung ist die Lüftung. Diese ist entweder zentral im Energiemodul untergebracht oder separat installiert. Die Luftdichtigkeit wird für die bessere Isolation stark erhöht. Um Schimmelbildung durch Feuchtigkeit und Sauerstoffmangel zu vermeiden, muss eine ausreichende Lüftung vorhanden sein. Ein viertel der Wärmeenergie geht durch Lüftung verloren. Bei hochgedämmten Gebäuden beträgt der Anteil zwischen 50 und 75 Prozent. Um den dadurch verursachten Wärmeverlust zu beschränken, werden Systeme mit Wärmerückgewinnung benutzt. Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kann bis zu 80 Prozent des Wärmeverlustes durch Lüftung vermeiden und garantiert eine permanente Frischluftzufuhr. Dabei kann man zwischen einem Zentralen System und einem System mit mehreren dezentralen Lüftungseinheiten wählen. Entweder wird dafür bei Zu- und Abluft ein Wärmetauscher verwendet oder die Wärmeenergie wird mithilfe einer Kleinstwärmepumpe zur Warmwasserbereitung verwendet. [70, S. 25]

5.1.4 Weitere aufstockungsspezifische Bestandteile

Da eine Aufstockung im Vergleich mit Energiesprung weitere Komponenten benötigt sind die wichtigsten hier dargestellt.

Bei einer der Aufstockungen mit Holztafelbau bedarf es zusätzlich Innenwände. Diese sind als leichte Trockenbauwände zu erstellen und funktionieren als raumtrennendes Element.

Bauteile und Komponenten

Sie enthalten benötigte Installationen wie Elektro Lehrrohre die bei der Montage miteinander verbunden werden. Fungieren sie als Trennwand zwischen verschiedenen Nutzungseinheiten sind die besonderen Anforderungen für Schall und Brandschutz zu beachten. Wohnungstrennwände sind mit einem Feuerwiderstand von 60 Minuten und Treppenhauswände mit einem Feuerwiderstand von 90 Minuten nichtbrennbar und stoßsicher auszuführen. Die Wände erreichen dabei ein ungefähres Gewicht von 50 bis 73 kg/m² und Wandstärken zwischen 15 und 18 cm. [62, S. 171]

Falls die Aufstockung mehrgeschossig ist, werden Zwischendecken eingezogen. Da diese aufgrund von Trittschall und Schwingungen beschwert werden verursachen sie den größten Teil des Eigengewichts von Aufstockungen. In der Planung ist die Optimierung des Gewichts und das Brandschutzkonzept von größter Priorität. Raumabschließende Holzdecken als Brettsperrholz- und Hohlkastenkonstruktion erreichen einen Feuerwiderstand von 90 Minuten nicht. Deshalb bedarf es Kompensationsmaßnahmen, welche vom Brandschutzexperten frühzeitig entwickelt werden müssen. [62, S. 173]

Ist die Grundkonstruktion errichtet können die restlichen Komponenten wie im normalen Wohnungsbau ergänzt werden. Die Heizkörper oder Bodenheizung mit entsprechendem Schichtbelag und dem abschließenden Bodenbelag. Sanitäranlagen werden montiert, falls sie nicht zuvor als vorgefertigte Nasszellen eingebaut wurden. Letztlich ist die Küche anzuschließen und die Heizung mit dem Energiemodul zu verbinden.

5.1.5 Weitere Innovationen

Das Innovations-Potential für die Gebäudesanierung ist noch lange nicht ausgeschöpft. Alles was die Rentabilität erhöht, den Umweltschutz verbessert oder das System optimiert ist anzustreben. Der folgende Anstoß für weitere Forschungsarbeit hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Wie bereits erwähnt kann die Energiegewinnung durch Windenergie ergänzt werden. Standortbezogen wäre auch Wasserkraft eine mögliche Option. Weiterhin ist ein Zusammenschluss eines Quartiers oder einer Kommune zu einer gemeinsamen Energiesprong Sanierung denkbar. Mit angepasster Gesetztes Grundlage kann ein gemeinsames Energienetz oder ein lokales Kraftwerk die Energieversorgung und Gewinnung gewährleisten. Das Energiesprong Konzept wird damit auf eine größere Dimension erweitert. [71, S. 17]

Die Fassade bietet weiteres Potential. Eine Solarfassade wie in der folgenden Abbildung dargestellt, kann den Energieertrag ebenfalls steigern. Dafür bedarf es eine nicht beschattete Südfassadenfläche mit begrenztem Fensteranteil. Eine Südost und Südwest Fassaden Ausrichtung wäre optimal, um die Energie zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Dies kann vor allem bei mehrstöckigen Wohnkomplexen eine sinnvolle Ergänzung sein, da dort die Dachfläche häufig nicht für ausreichend Energie erwirtschaften kann, um den NetZero Standard zu erreichen. Die Paneele könnten direkt in die vorgefertigten Wandelemente eingebaut werden.



Abbildung 23: Solarfassade an einem Mehrfamilienhaus in Brütten (ZH)

Quelle: [72]

Konträr zur Photovoltaik bringen auch Begrünungen ökologische Vorteile. Durch Bepflanzungen auf dem Dach oder eine begrünte Fassade mit Hängepflanzen wird CO₂ umgewandelt, das positive Wohngefühl gesteigert und das Gebäude architektonisch aufgewertet.

Im Fokus der Politik steht auch die Nutzung und Wiederverwertung nachhaltiger Baustoffe. Eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus senkt den CO₂ Verbrauch. Neue Baumethoden mit natürlichen Baustoffen, die wie Lehm und Stroh ausreichend vorhanden sind, müssen wirtschaftlich rentabel einsetzbar gemacht werden. [71, S. 18]

Ein Energiesprong System auf den sommerlichen Wärmeschutz umzustellen. Damit funktioniert auch die Übertragbarkeit in wärmere Klimazonen, wo ein Großteil des Energieverbrauchs durch Klimaregulierung und Kühlung der Innenräume verursacht wird. Die Sinnhaftigkeit und die Rentabilität der hier dargestellten Überlegungen sind ausführlich zu prüfen.

5.2 Konzeptionelle Anwendung auf ein Pilotprojekt

Abschließend wird im Folgenden die Kombination der Energiesprong Methode mit der Gebäudeaufstockung anhand eines Beispielprojekt dargestellt. Für den Versuch wird das Energiesprong Pilotprojekt in Hammel als Grundlage genutzt. Eine grobe Skizze in Abbildung 34 veranschaulicht die nachfolgende Beschreibung. Mit den ergänzten Bauteilen wird ein Konzept für das Projekt erstellt. Dabei wird von einer Erhöhung von zwei auf drei Vollgeschoss gewählt, damit 50% Volumenerweiterung erreicht wird und ein positiver Business Case erwartet werden kann. Auf eine Attikawohnung wird verzichtet um ausreichend Fläche für die PV-Paneele zu erhalten. Für das Konzept wird von passenden regulatorischen Grundvoraussetzungen nach der Projektkarte in Kapitel 6.1ausgegangen.

Grundlegend für eine Kombinierte Ausführung ist die Wahl des Tragwerks. Verfügt das Gebäude über ausreichend statische Reserven kann die Fassade mit den leichteren INDUZERO Elementen über die komplette Höhe ertüchtigt werden. Um statisch auf der sicheren Seite zu sein wird eine geringe Lastaufnahme durch das Bestandsgebäude angenommen. Die Fassadenelemente müssen einen großen Teil der Eigen- und Nutzlasten der Zusatzfassade und der Aufstockung abtragen. Dazu wird wie in der realen Umsetzung in Hameln die Holztafelbauweise gewählt. Wie in der Skizze (Abbildung 22) ersichtlich werden zwei Typen von Wänden produziert. Der erste Typ sind hochgedämmte Wände für die Außenfassade, die nach Kapitel 5.1.1 aufgebaut sind. Diese übernehmen den vertikalen Lastabtrag der Aufstockung und reduzieren den Energieverbrauch des Gebäudes maßgeblich. Die Windlasten werden über Rückverankerungen in der Fassade in die Betondecken des Bestandsgebäudes eingeleitet. Im Erdgeschoss wird die neue Gebäudehülle an ein zusätzliches Streifenfundament angeschlossen, welches wiederum eine Perimeterdämmung besitzt. Der zweite Wand-Typ bildet die Innenwände der Aufstockung. Vorgefertigt werden die Installationen eingebracht und mit entsprechender Mineralwolle Dämmung und Detailplanung der jeweils benötigte Schall- und Brandschutz erreicht. Wände zwischen zwei Wohneinheiten werden zweischalig aufgebaut. Für die ebenfalls zweischalige Außenwand des aufgestockten Geschosses werden die beiden Wandtypen kombiniert. Die Außenwand schützt das Gebäude vor Wind und Niederschlag während die Innenwand mit einer Dampfbremse versehen eine Luftdichte Ebene ermöglicht.

Um einen Teil der Lasten in den Bestand einleiten zu können, wird die Decke über dem ersten Obergeschoss mit Stahlträgern ertüchtigt und gegebenenfalls schallschutz-technisch optimiert. Die Last wird damit auf die tragenden Wände des Bestandes und die neuen Außenwände konzentriert. So wird das alte Tragwerk im Verhältnis weniger stark belastet, während die Flexibilität im Grundriss der Aufstockung erhöht wird. Das neue Flachdach wird aus leichten Hohlkastenelemente gefertigt, welche auf der neuen Außenfassade aufliegen. Reicht die Dachfläche für den für NetZero benötigten der Ertrag durch Photovoltaik nicht aus, werden zusätzliche PV-Paneele in die Südfassade integriert.

Das in der Abbildung Grün dargestellte Energiemodul wird wie im realen Projekt außen am Gebäude angebracht. Die Kellerdecke wird zusätzlich mit Mineralwolle gedämmt. Um beim Innenausbau Zeit einzusparen, werden vorgefertigte Nasszellen verwendet, welche während der Montage bereits an die richtige Position gestellt werden. Darauf kann der restliche Innenausbau der Aufstockung mit Fußbodenheizung, Bodenbelag, Küchen und sonstigen Arbeiten erfolgen.

Bauteile und Komponenten

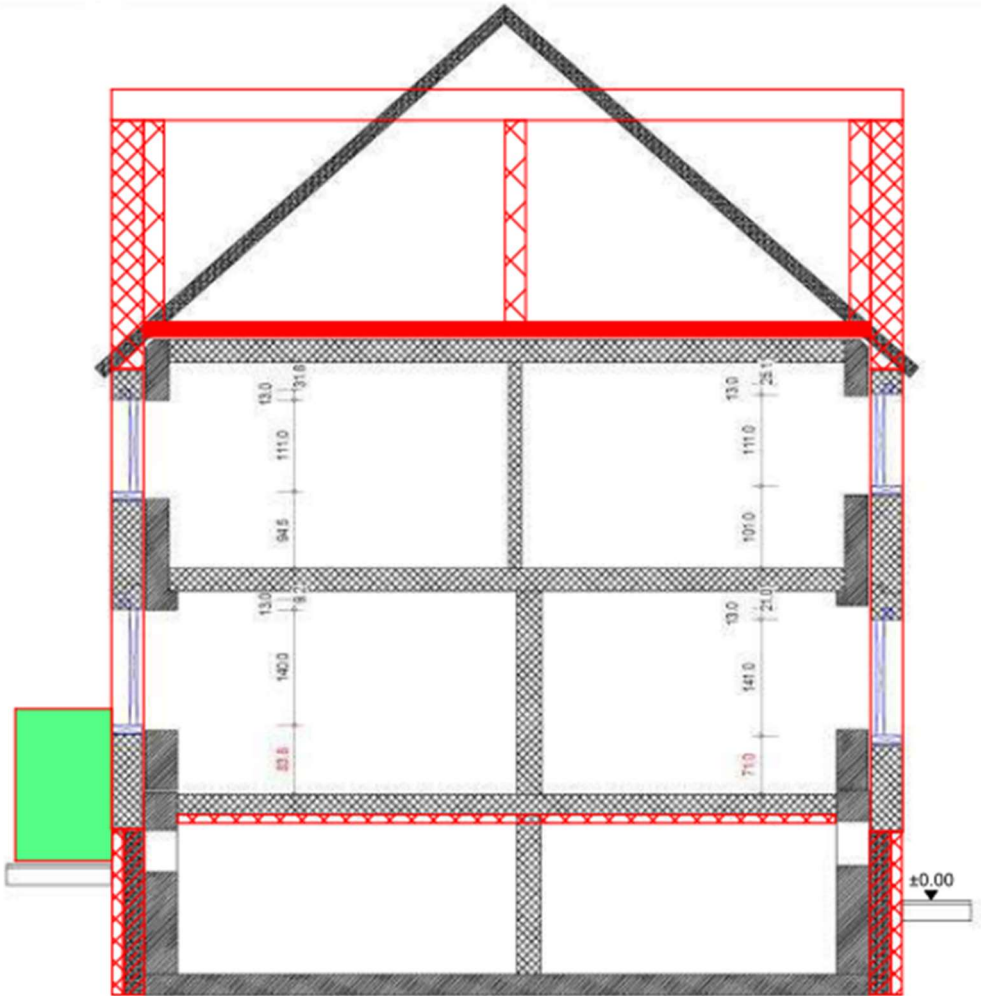


Abbildung 24: Konzeptskizze der kombinierten Sanierung

Quelle: Eigene Darstellung nach [73]

6. Abschließender Vergleich

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Ergebnisse dieser Arbeit. Die Ergebnisse des Vergleichs einer Energiesprong Sanierung und Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise werden zusammengefasst dargestellt. Dies führt zu einem Ausblick mit Empfehlungen hinsichtlich weiterer Forschung.

6.1 Projektkarte für Energiesprong Sanierungen mit integrierter Gebäudeaufstockung in Holzbauweise

Die aus den Kapiteln 2.4 und 4.5 gewonnenen Erkenntnisse über die Kriterien für geeignete Sanierungsobjekte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Standort	<ul style="list-style-type: none">- Standort Region mit ungesättigtem Wohnungsmarkt- Großstadtnähe
Baujahr	<ul style="list-style-type: none">- zwischen 1950 und 1989 bringt gute Voraussetzungen
Geschosszahl	<ul style="list-style-type: none">- 2-3 bestehende Vollgeschosse mit 1-2 Aufgestockten Geschosse im jetzigen Marktstadium- optimal 50% Volumenerweiterung wegen Rentabilität- Günstiges Verhältnis von Solar und Wohnfläche ohne Verschattung
Eigentumsverhältnis	<ul style="list-style-type: none">- Keine Wohneigentumsgemeinschaften- Ein Eigentümer oder ein Wohnungsunternehmen
Wohnfläche	<ul style="list-style-type: none">- mindestens 1000 m² inklusive der Aufstockung
Statik	<ul style="list-style-type: none">- ausreichende Lastreserven des Bestandsgebäude oder- eine tragende Fassade übernimmt die Lastableitung teilweise
Energetische Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none">- Hoher Sanierungs- und Modernisierungsbedarf- Energieverbrauch von über 130 kWh pro m² und Jahr- hoher Instandhaltungsbedarf
Gebäudeeigenschaften	<ul style="list-style-type: none">- Kein Denkmalschutz- Kein Asbest- möglichst identische Architektur mit einfacher Kubatur
Grundstückseigenschaften	<ul style="list-style-type: none">- Bauhöhe und weitere Grundstückseigenschaften nicht ausgenützt- Ertüchtigungsmaßnahmen müssen möglich sein- Umlaufend Platz für Montage und Elemente
Wünschenswerter Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none">- Unbewohntes Dachgeschoss erhöht Rentabilität- Zentrales Heizungs- und Warmwassersystem

Tabelle 2: Projektkarte

Quelle: Eigene Darstellung

6.2 Abschließender Vergleich und Forschungsbedarf

Aus der Analyse der Entwicklungen im Bestandsbau ergibt sich die Antwort, dass die beiden Konzepte können die Probleme nicht allein lösen können, voraussichtlich aber zu einem großen Teil dazu beitragen werden. Die Hintergründe von Klimakrise und Wohnungsnot sind zwar unterschiedlich aber überschneiden sich im Bereich der Gebäudesanierung häufig. Der Ressourcenverbrauch an Fläche und Material wird reduziert und die Umwelt geschont. Auch der Gebäudewert wird jeweils gesteigert. Aus der politischen Perspektive sind beide Konzepte sinnvoll und sollen vorangebracht werden. Für Energiesprong Projekt kann von der Erfahrung bei Gebäudeaufstockungen profitiert werden und Gebäudeaufstockungen in Holzbauweise werden durch die fortschrittliche Herangehensweise von Energiesprong erweitert. Der NetZero Standard stellt beispielsweise auch für Gebäudeaufstockungen die Zukunft dar. Der Fachkräftemangel betrifft sowohl Gebäudeaufstockungen als auch energetische Sanierungen. Die Automatisierung von Herstellungsprozessen ist damit ein gemeinsames Unterfangen, dass von Energiesprong vorangetrieben wird. Die fortschrittliche Planung im Holzbau dient als gute Grundlage um diese Entwicklung nachzuahmen. Dem Aufwendigeren Planungsprozess steht eine höhere Rentabilität der Immobilie gegenüber.

Die Bauteile und Komponenten sind für eine Kombination leicht vereinbar. Die größte Herausforderung sind dabei die statischen Anforderungen. Durch die spezifischen Kriterien an die Sanierungsobjekte ist eine kombinierte Herangehensweise nicht immer möglich und das Marktpotential ist um ein zehnfaches kleiner als bei einfachen Energiesprong Sanierungen. Der größte Vorteil einer Kombination ist die Erhöhung des Skalierungseffekts in der seriellen Produktion, durch das zusätzliche Bauvolumen der Gebäudeaufstockung. Serielles energetisches Sanieren hat das Potenzial, einen großen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu bieten und Gebäudeaufstockungen schaffen neuen Wohnraum in den Städten, ohne weitere Flächen zu verbauen. Die Kombination verbindet diese Lösungen zu einer einzigen. Deshalb ist davon Auszugehen dass in naher Zukunft einige kombinierte Projekte zu sehen sein werden.

Um in der Zukunft den Massenmarkt zu erreichen, muss die kritische Masse von 25 Prozent Marktaktivierung erreicht werden. Dafür muss die Politik gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Wohnungswirtschaft sinnvolle Strukturen entwickeln. Dafür plant die Politik die Anforderungen an die Energieeffizienz von Neubauten bis 2030 drastisch zu erhöhen. Die Bauwirtschaft wird die innovativen Systeme, Teillösungen und Digitalisierung weiterentwickeln und gemeinsam mit den anderen Akteuren an Pilotprojekten erproben. Digitale Aufmaße mit Laserscanning, BIM Modellierungen und automatisierte Fertigung mit Unterstützung durch Robotik werden dabei stark zunehmen. Vorreiter ist dabei die geplante INDU-ZERO Fabrik.

Da diese Arbeit einen Überblick verschaffen soll und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt soll der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt werden. Der automatisierte Herstellungsprozess im Holzbau hat großes Steigerungspotential. Hinsichtlich einer kombinierten Sanierung wäre ein grundlegendes Tragwerkskonzept, welches für viele Projekte funktioniert, eine sinnvolle Erweiterung. Im Energiesprong Bereich bedarf es


Abschließender Vergleich

weiteren ganzheitliche Systeme, welche unter Betrachtung des Herstellungsprozesses entwickelt werden müssen. Dafür sollen möglichst viele Pilotprojekte umgesetzt werden. Auch eine Ausweitung des Energiesprung Konzeptes auf ein Wohnquartier oder eine Kommune ist zu untersuchen. Diese und weitere Forschungen können dazu beitragen mithilfe von Energiesprung die energetische Sanierung des Immobilienbestandes zu bewältigen, durch Gebäudeaufstockungen Wohnraum zu schaffen und einen Fortschritt in der Bauwirtschaft zu erreichen.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Benjamin Freund, Ben Hartlmaier, Scott Olster, Jakob Schulz, Anja Willner, „22 Big Ideas für 2022: Diese Trends werden das kommende Jahr prägen | LinkedIn“, 8. Dezember 2021. <https://www.linkedin.com/pulse/22-big-ideas-f%C3%BCr-2022-diese-trends-werden-das-kommende-/> (zugegriffen 31. Dezember 2021).
- [2] O. Bahner, M. Böttger, L. Holzberg, Bund Deutscher Architekten, und Deutsches Architektur-Zentrum, Hrsg., *Sorge um den Bestand: zehn Strategien für die Architektur*. Berlin: Jovis, 2020.
- [3] G. MacKay, „Wednesday March 11, 2020“, 23. Mai 2020. <https://mackaycartoons.net/2020/03/18/wednesday-march-11-2020/> (zugegriffen 21. Dezember 2021).
- [4] L. Szombatfalvy, „Die grössten Herausforderungen unserer Zeit“. Hoffmann und Campe, 2010. Zugegriffen: 4. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://globalchallenges.org/wp-content/uploads/die-grossten-herausforderungen-unserer-zeit.pdf>
- [5] „Key aspects of the Paris Agreement | UNFCCC“. <https://cop23.unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/key-aspects-of-the-paris-agreement> (zugegriffen 5. Januar 2022).
- [6] „The Paris Agreement | UNFCCC“. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (zugegriffen 5. Januar 2022).
- [7] Bundesumweltministeriums, „EU-Klimapolitik“, *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*, 21. Januar 2021. <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/eu-klimapolitik> (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [8] o.V., „Renovation and decarbonisation of buildings“, *European Commission - European Commission*, 15. Dezember 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6683 (zugegriffen 4. Januar 2022).
- [9] o.V., „Renovation Wave“, *European Commission - European Commission*, 14. Oktober 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1835 (zugegriffen 5. Januar 2022).
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Hrsg., „Klimaschutz in Zahlen - Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik, Ausgabe 2021“. 2021.
- [11] Bundesumweltministeriums, „Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie“, *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*, o.J. <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050> (zugegriffen 5. Januar 2022).
- [12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, „Klimaschutzprogramm 2030“, S. 180, 2030.
- [13] L. Elke, F. Swiaczny, A. Genoni, N. Sander, und R. Westermann, „Globale Bevölkerungsentwicklung. Fakten und Trends“, Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, Juli 2021. doi: 10.12765/bro-2021-01.

- [14] Statista, „Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100“, *Statista*, 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1717/umfrage/prognose-zur-entwicklung-der-weltbevoelkerung/> (zugegriffen 6. Januar 2022).
- [15] Daniel Bakir, „Exodus der Familien: Wie die Wohnungsknappheit die Städte verändert“, *stern.de*, 14. März 2019. <https://www.stern.de/wirtschaft/immobilien/wohnen--wie-die-wohnungsknappheit-die-staedte-veraendert-8621458.html> (zugegriffen 7. Januar 2022).
- [16] „Deutsche Großstädte im Jahr 2020 nicht mehr gewachsen“, *Statistisches Bundesamt*, 14. Oktober 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/10/PD21_485_12.html (zugegriffen 6. Januar 2022).
- [17] C. Kraft und C. Kempf, *Nachhaltige Wohnungswirtschaft in der Schweiz: Erkenntnisse aus Forschung und Praxis*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021. doi: 10.1007/978-3-658-34808-3.
- [18] Statistisches Bundesamt, „Bevölkerung im Erwerbsalter sinkt bis 2035 voraussichtlich um 4 bis 6 Millionen“. Statistisches Bundesamt, 27. Juni 2019.
- [19] IW-Forschungsgruppe Konjunktur, „Die deutsche Konjunktur am Limit? Fachkräftemangel als Wachstumsbremse“, *IW Trends*, Nr. 4, 2017, doi: 10.2373/1864-810X.17-04-01.
- [20] Claudia Münch, Markus Hoch, Uta Weiß, und Helena Stange, „Fachkräfte Roadmap“. Fraunhoferinstitut, 9. Juni 2020.
- [21] J. Mannott und H. Alhusen, „Digitale Fachkräftegewinnung im Handwerk durch Einsatz sozialer Medien“, S. 32.
- [22] wegewerk GmbH, „Zu viele verlassen das Handwerk“, 19. Januar 2020. <https://www.zdh.de/presse/veroeffentlichungen/interviews-und-statements/zu-viele-verlassen-das-handwerk/> (zugegriffen 6. Januar 2022).
- [23] o.V., „The Netherlands – Energiesprong“, o.J. <https://energiesprong.org/?country=the-netherlands> (zugegriffen 8. Januar 2022).
- [24] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Energiesprong International“, o.J. <https://www.energiesprong.de/marktentwicklung-aktuell/energiesprong-international/> (zugegriffen 7. Januar 2022).
- [25] o.V., „Umsetzung des europäischen Grünen Deals“, *EU-Kommission - European Commission*, 2021. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de (zugegriffen 7. Januar 2022).
- [26] E. Örtl, *Serielle Sanierung in Europa und Deutschland*. o.A.: Umweltbundesamt, 2021. Zugegriffen: 22. Dezember 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/serielle-sanierung-in-europa-deutschland>
- [27] Deutsche Energie-Agentur GmbH, Hrsg., „Hintergrundpapier Volume-Deal“. o.J. Zugegriffen: 10. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.energiesprong.de/fileadmin/Energiesprong/Bilder/Newsroom/Publikationen/Hintergrundpapier_Volume-Deal_FAQ.pdf
- [28] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Auswahl und Vorbereitung geeigneter Sanierungsobjekte“. 1. Dezember 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.energiesprong.de/fileadmin/Energiesprong/Dokumente/211201_Checkliste_Portfolioanalyse_Energiesprong_extern.pdf
- [29] SPD, Bündnis 90 / DIE GRÜNEN, SPD, Hrsg., „MEHR FORTSCHRITT WAGEN-Koalitionsvertrag“. o.A., 2020.

- [30] o.V., „CO₂-Bepreisung für weniger Emissionen“, *Bundesregierung*  *Startseite*, o.J. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/weniger-co2-emissionen-1790134> (zugegriffen 5. Januar 2022).
- [31] o.V., „Aufstockungen in Holzbauweise sorgen für Wohnraum“, *Baden-Württemberg.de*, 10. April 2019. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/aufstockungen-in-holzbauweise-sorgen-fuer-wohnraum/> (zugegriffen 7. Januar 2022).
- [32] o.V., „Flächengewinnung durch Aufstockung. Anforderungen und Potentiale im deutschen Gebäudebestand“. 2019. Zugegriffen: 7. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.grin.com/document/1015115>
- [33] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Das Energiesprong-Prinzip“, o.J. <https://www.energiesprong.de/was-ist-energiesprong/das-energiesprong-prinzip/> (zugegriffen 12. Januar 2022).
- [34] I. Sartori, A. Napolitano, A. Marszal, S. Pless, P. Torcellini, und K. Voss, „Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings“, in *Proceedings of the EuroSun 2010 Conference*, Graz, Austria, 2010, S. 1–8. doi: 10.18086/eurosun.2010.06.21.
- [35] K. Hintersteiner, „KENNZEICHEN UND ASPEKTE DES INDUSTRIELLEN BAUENS – ANWENDBARKEIT IM HOLZBAU“.
- [36] „About the process, Interreg VB North Sea Region Programme“. <https://northsearegion.eu/indu-zero/about-the-process/> (zugegriffen 15. Januar 2022).
- [37] „Green Alliance Reinventing retrofit: how to scale up home energy efficiency in the UK“. https://green-alliance.org.uk/reinventing_retrofit.php (zugegriffen 15. Januar 2022).
- [38] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Rolle des Marktentwicklungsteams“, o.J. <https://www.energiesprong.de/was-ist-energiesprong/rolle-des-marktentwicklungsteams/> (zugegriffen 15. Januar 2022).
- [39] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Energiesprong explained – Energiesprong“, o.J. <https://energiesprong.org/about/> (zugegriffen 15. Januar 2022).
- [40] „Auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand“, *Wohnungswirtschaft Heute*, Nr. 145, Okt. 2020.
- [41] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Höhere Förderung macht serielle Gebäudesanierungen attraktiv“, 22. Januar 2020. <https://www.energiesprong.de/newsroom/meldungen/2020/hoehere-foerderung-macht-serielle-gebaeudesanierungen-attraktiv/> (zugegriffen 15. Januar 2022).
- [42] van S. L.F.M., „Investigating possible mismatches in deep retrofit renovation“. Eindhoven University of Technology, 2014.
- [43] Johannes Rechenbach, „Anwenderbericht rechenbach architecture“. o.A., o.J. Zugegriffen: 18. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://media.faro.com/-/media/Project/FARO/FARO/FARO/Resources/2021/01/29/00/51/Case-Study-3D-AUFMASS-ANHAND-LASERSCANNING-FR-DIE-ENERGETISCHE-SANIERUNG-VON-FASSADE-DEU.pdf?rev=c57554dd7b28470c92b2df3a8a9667c6>
- [44] B. Zander, K. Lange, und H.-D. Haasis, „Designing the data supply chain of a smart construction factory“, Dez. 2021, S. 41–62. doi: 10.15480/882.3992.
- [45] Rutz Markus, „Blumer Lehmann AG Interview“, gehalten auf der Unveröffentlicher Vortrag, Gossau, 10. September 2021. [Online]. Verfügbar unter: Unveröffentlicher Vortrag

- [46] Lianda Sjerps-Koomen, „Energiezuinig huis in één dag - Energy-efficient house in one day“, *RC Panels*, 6. April 2021. <https://www.rcpanels.nl/nieuw-product-verzonnen/> (zugegriffen 18. Januar 2022).
- [47] o.V., „Blueprint - Introduction“, *Smart Renovation Factory by INDU-ZERO*, 2021. <https://www.induzeroblueprint.eu/deliver-renovation-packages/> (zugegriffen 18. Januar 2022).
- [48] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Bauunternehmen stellen Komplettlösungen für NetZero-Standard vor“. 6. März 2020. Zugegriffen: 18. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energiesprong.de/newsroom/meldungen/2020/bauunternehmen-stellen-komplettlösungen-fuer-netzero-standard-vor/>
- [49] Christian Richter, „Energiesprong Innovators Talk“, gehalten auf der Unveröffentlichter Vortrag, Berlin, 21. September 2021.
- [50] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Piloten und Projekte“, o.J. <https://www.energiesprong.de/marktentwicklung-aktuell/aktuelle-prototypen/> (zugegriffen 19. Januar 2022).
- [51] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Mehrfamilienhaus im ‚Kuckuck‘ Hameln“, o.J. <https://www.energiesprong.de/marktentwicklung-aktuell/aktuelle-prototypen/steckbrief-pilotprojekt-hameln/> (zugegriffen 19. Januar 2022).
- [52] „Besser statt billiger bauen: Interview mit Thomas Jocher / Building Better, Not Cheaper: Interview with Thomas Jocher“, in *best of DETAIL: Urbanes Wohnen/Urban Housing*, DETAIL, 2017, S. 14–17. doi: 10.11129/9783955533601-004.
- [53] Präsidialdepartement des Kantons Basel-Stadt, Hrsg., „Was ist eigentlich Verdichtung?“ Kantons- und Stadtentwicklung, 2015.
- [54] Zeumer, Martin, John, Viola, und Hartwig, Joost, „Nachhaltiger Materialeinsatz – Graue Energie im Lebenszyklus“, *Detail Green*, Bd. 1, Nr. 1, S. 54–60, Mai 2009.
- [55] F. Lattke, „Lösungen für die Gebäudemodernisierung“, in *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau*, DETAIL, 2017, S. 150–158. doi: 10.11129/9783955533540-017.
- [56] P. Cheret, K. Schwaner, A. Seidel, T. Deines, und Arbeitsgruppe Urbaner Holzbau, Hrsg., *Urbaner Holzbau: Chancen und Potenziale für die Stadt ; Handbuch und Planungshilfe*. Berlin: DOM Publ, 2014.
- [57] M. Baschung und D. Pflug, „Lignum, Le Mont-sur-Lausanne Februar 2008“, S. 48.
- [58] o.V., „Bauen mit Holz ist aktiver Klimaschutz!“, *Holzbau Andreas Schmidt*, 15. Juni 2020. <https://www.schmidt-zimmerei.de/bauen-mit-holz-ist-aktiver-klimaschutz/> (zugegriffen 1. Februar 2022).
- [59] Dederich, Ludger, Hubweber, Christoph, Schmidt, Daniel, Schopbach, Holger, Wagner, Gerhard, und Zeitter, Helmut, *Holzrahmenbau*, Bd. 1. Bonn: HOLZABSATZFONDS, 2009.
- [60] o.V., „Wirtschaftlich und mit Klimaschutz in Holztafelbauweise“, *bba*, 2. Januar 2021. <https://www.bba-online.de/holzbau/wirtschaftlich-und-mit-klimaschutz-in-holztafelbauweise/> (zugegriffen 1. Februar 2022).
- [61] C. von Büren, M. Mooser, M. Forestier, und M. Pittet-Baschung, *Aufstocken mit Holz: Verdichten, Sanieren, Dämmen*. Basel/Berlin/Boston: Birkhäuser, 2014.
- [62] B. Dahlgrün, „Innerstädtische Gebäudeaufstockungen in Hamburg : konstruktive, rechtliche und gestalterische Rahmenbedingungen“, Thesis, HafenCity Universität Hamburg, 2016. Zugegriffen: 1. Februar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/445>
- [63] Nabil A. Fouad und Thomas Merkewitsch, „Brandschutztechnischer Leitfaden HH-3-FM-19-026-00-1“. o.A., 16. Juli 2020.

- [64] o.V., „Bestandsschutz im öffentlichen Baurecht - Baurecht für Architekten: Urteile, Rechtsprechung im Bauwesen | BauNetz.de“, *BauNetz*, o.J. https://www.baunetz.de/recht/Bestandsschutz_im_oeffentlichen_Baurecht_44458.html (zugegriffen 1. Februar 2022).
- [65] Deutsche Energie-Argentur GmbH, „Anforderungen an Fassaden- und Dachelemente“. o.A., o.J. [Online]. Verfügbar unter: https://www.energiesprong.de/fileadmin/Energiesprong/Dokumente/Energiesprong-Anforderungen-Fassade_Dach_allgemein.pdf
- [66] H. M. Künzel und D. Zirkelbach, „Feuchteverhalten von Holzständerkonstruktionen mit WDVS - Sind die Erfahrungen aus amerikanischen Schadensfällen auf Europa übertragbar?“, *wksb*, Bd. 58, Nr. 52, S. 50, 2007.
- [67] A. Pech, W. Hubner, und F. Zach, „Konstruktionsschichten und Materialien“, in *Flachdach*, Birkhäuser, 2021, S. 27–70. doi: 10.1515/9783035623727-004.
- [68] VBW Bauen und Wohnen GmbH, „Erstes Energiesprong-Projekt im Ruhrgebiet!“, 2022. <https://www.vbw-bochum.de/energiesprong> (zugegriffen 18. Februar 2022).
- [69] o.V., „Mehrfamilienhaus Ulmenstraße, Herford“, 2021. <https://www.energiesprong.de/marktentwicklung-aktuell/aktuelle-prototypen/mehrfamilienhaus-ulmenstrasse-herford/> (zugegriffen 18. Februar 2022).
- [70] M. Fishedick *u. a.*, „Konjunkturprogramm unter der Klimaschutzlupe: Viele gute Impulse, aber Nachbesserungen für nachhaltige Wirkung erforderlich?! Eine erste Bewertung des Konjunkturprogramms der Bundesregierung unter besonderer Berücksichtigung des Klimaschutzes“, *Zukunftsimpuls, Research Report 13*, 2020. Zugegriffen: 2. Februar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/229621>
- [71] European Commission, „EU renovation Wave Strategy“. 14. Oktober 2020. Zugegriffen: 5. Januar 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_renovation_wave_strategy.pdf
- [72] „Architektur, Bauprojekte, Leuchtturmprojekte | Umwelt Arena Schweiz“. https://www.umweltarena.ch/ueber-uns/architektur-und-bauprojekte/#energieautarkes_mehrfamilienhaus (zugegriffen 10. Februar 2022).
- [73] o.V., „Energiesprong Pilotprojekt | Haussanierung“, *Der Dämmstoff*, 23. März 2020. <https://www.der-daemmstoff.de/energiesprong-pilotprojekt-in-fertigstellung/> (zugegriffen 1. Februar 2022).

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Cartoon Klimawandel.....	2
Abbildung 2: Die Sektorziele 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050 in Millionen Tonnen CO ₂ -Äquivalenten	5
Abbildung 3: Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100.....	6
Abbildung 4: Energiekreislauf Energiesprung	14
Abbildung 5: Potenzielle Kostensenkungen, serielles versus konventionelles Sanieren	17
Abbildung 6: Ablauf und Stakeholder des Energiesprung Prinzips.....	17
Abbildung 7: Ein unsaniertes Reihenhaus im Kontrast zum baugleichem Gegenstück nach der Sanierung.....	19
Abbildung 8: Innovationsebenen	21
Abbildung 9: Ein 3D Laserscanner bei der Aufnahme eines Bestandsgebäudes.....	22
Abbildung 10: Der Schematische Ablauf der digitalen Prozesskette in einer intelligenten Fabrik.....	22
Abbildung 11: Mehrfamilienhaus am Kuckuck	25
Abbildung 12: Verlauf der Marktentwicklung.....	26
Abbildung 13: Holz ist CO ₂ neutral	31
Abbildung 14: Montage von Holztafelbauwänden	35
Abbildung 15: Aufstockung auf das Wohnhaus „Irchel“	37
Abbildung 16: Aufstockung um ein Geschoss.....	38
Abbildung 17: Aufbau eines Sandwich-Panels nach INDU-ZERO.....	46
Abbildung 18: Wandaufbau Holztafelbau	47
Abbildung 19: Montage von Dachmodulen mit integrierter Photovoltaik.....	48
Abbildung 20: Photovoltaik auf Flachdach	48
Abbildung 21a und 21b: Entwicklung der Energiemodule.....	49
Abbildung 22a und 22b: Entwicklung der Energiemodule.....	50
Abbildung 23: Solarfassade an einem Mehrfamilienhaus in Brütten (ZH)	52
Abbildung 24: Konzeptskizze der kombinierten Sanierung	54

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: U-Werte für die Bauteile	45
Tabelle 2: Projektkarte	55