ThEGA
Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur

Praxisratgeber

Klimaangepasstes Bauen und Sanieren

ThEEN
Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e.V.

IAB
Institut für Angewandte Bauforschung Weimar

Gefördert durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Grußwort 3

1 Summary 4

2 Maßnahmenkatalog 6

2.1 Herangehensweise 6

2.2 Maßnahmen auf Gebäudeebende 9

2.3 Maßnahmen auf Quartiersebene 31

3 Klimaangepasste Sanierungsmaßnahmen an Praxisbeispielen 39

3.1 Herangehensweise 39

3.2 Wohngebäude 41

3.3 Nichtwohngebäude 47

3.4 Empfehlungen und Fazit 50

Quellenverzeichnis 53

Impressum 55

Grußwort

Das Klima wandelt sich. Dies zeigen Veränderungen von Temperatur und Niederschlägen in der Vergangenheit und die Prognosen von Expert*innen für die Zukunft. Immer neue Klimarekorde führen uns immer häufiger vor Augen: Wir stecken mittendrin im Klimawandel. Stadt- und Regionalentwicklung müssen sich mehr und mehr auf stärkere Witterungsextreme vorbereiten. Wie können wir uns wappnen und die Anpassung an nicht mehr vermeidbare Folgen des Klimawandels bestmöglich gestalten?

In der vorliegenden Broschüre widmen wir uns insbesondere den möglichen Maßnahmen im Gebäudebereich. Es werden praktische Lösungsansätze vorgestellt, wie wir verschiedene Gebäudetypen so an den Klimawandel anpassen, dass wir sie auch in Zukunft optimal als Wohn- oder Arbeitsstätten nutzen können. Um die Schäden durch Extremwetter zu begrenzen, den Wert der Immobilie zu erhalten und vor allem die Schutzwirkung von Gebäuden für den Menschen zu gewährleisten, müssen voraussehbare Klimaveränderungen frühzeitig in der Sanierung und Planung von Bauvorhaben berücksichtigt werden. Um die richtigen Maßnahmen auszuwählen, müssen die klimarelevanten Risiken bekannt sein, diese sind u. a.:

- steigende Beanspruchung durch Sommerhitze,
- erhöhte Gefahr durch Überschwemmungen,
- erhöhte Intensität und Häufigkeit von lokal beschränkten Starkniederschlägen,
- erhöhtes Hagel- und Sturmrisiko.

Diese extremen Wetterereignisse machen nicht an Grundstücksgrenzen halt. Deswegen ist die Anpassung an Folgen des Klimawandels ein Thema für alle – sowohl für Politik und Verwaltung als auch für Eigentümer*innen, Mieter*innen sowie Architekt*innen und Ingenieur*innen. Der „Praxisratgeber Klimaangepasstes Bauen und Sanieren“ unterstützt dabei. Unser Praxisratgeber informiert über mögliche Gefahren und zeigt Lösungen und Maßnahmen auf. Die Betrachtungen werden auf zwei konkrete Gebäude mit Modellcharakter bezogen: ein Mehrfamilienhaus in Stadtilm und ein Nichtwohngebäude in Erfurt. Als drittes Gebäude wurde ein nicht reales, jedoch typisches Einfamilienhaus mit in die Betrachtungen einbezogen. Die ausgewählten Klimaanpassungsmaßnahmen wurden dabei in ihrer Wirksamkeit hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Dimension untersucht.

Prof. Dr. Dieter Sell
Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)

1 Summary

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung von Klima-Adaptionstrategien und -Technologien in Thüringen, KlimAdapTiT“ hat die Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) gemeinsam mit dem Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e.V. und dem IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH analysiert, wie sich z. B. Kommunen und Hausbesitzer gegen extreme Wetterphänomene wie Hochwasser, Hitze und Stürme wappnen können. Ziel war es, in einem Unterauftrag die „Konzipierung von technologischen Strategien und Produkten für klimaadaptive Gebäude- und Quartierslösungen“ zu untersuchen. Dabei wurden anhand von zwei reellen Gebäuden (Mehrfamilienhaus und Nichtwohngebäude) und einem praxistypischen Gebäude (Einfamilienhaus) Maßnahmen zur Sanierung abgeleitet.

Die in der Broschüre aufgeführten Klimaanpassungsmaßnahmen[1] bieten vielfältige Möglichkeiten, unsere Gebäude und Quartiere in den nächsten Jahren an die prognostizierten Klimaänderungen und Wetterextreme anzupassen. Die anfallenden Investitionskosten richten sich dabei nach der jeweiligen Maßnahme und der Ausgangslage. Die Sanierungskosten im Schadensfall, beispielsweise durch starkregenbedingte Sturzfluten und Überschwemmungen, sind meistens weitaus höher anzusetzen. Bei den vorgestellten Anpassungsmaßnahmen handelt es sich um Anregungen, deren Umsetzung im Einzelfall mit Fachleuten, beispielsweise Planer*innen/Architekt*innen oder Energieberater*innen, abgestimmt werden sollten.

Die Auswirkungen des künftigen Klimawandels sind regional sehr unterschiedlich. Expert*innen gehen von lang anhaltenden Hitzewellen im Sommer aus. Hier können als Anpassungsmaßnahmen am Gebäude Wärmeisolierverglasung, unterschiedliche Dämmmaßnahmen, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, helle Gebäude, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung oder manuelle Nachtkühlung sowie eine Begrünung der Dächer und/oder Fassaden eingesetzt werden. Auf Quartiersebene sind die Freihaltung von Freiluftschneisen, eine Erhöhung des Grünflächenanteils sowie Bäume als Verschattungselemente, Wasserflächen, eine kompakte Siedlungsstruktur und die Optimierung der technischen Infrastruktur zu nennen. Weiterhin warnen die Expert*innen vor zunehmenden Starkregenereignissen vor allem im Winter sowie vor wesentlich stärkeren Stürmen. Zum Schutz der Gebäude und der Bewohner*innen ist hier als Anpassungsmaßnahme ebenfalls die Begrünung der Dächer zu nennen. Des Weiteren gehören Maßnahmen bezüglich der Standfestigkeit der Gebäude, ein hochwasserangepasstes Keller- bzw. Erdgeschoss, Regenwassernutzung mittels Zisternen und die bauliche Verstärkung der Dächer dazu. Auf Quartiersebene sollten hochwassergefährdete Gebiete freigehalten sowie Flächen zur Aufnahme von Starkregenereignissen ausgewiesen werden. Ebenfalls wirken sich eine kompakte Siedlungsstruktur und die Optimierung der technischen Infrastruktur positiv aus.

Die ökonomischen und vor allem die ökologischen Auswirkungen der im Rahmen des Projektes ausgewählten und simulierten Anpassungsmaßnahmen sind stark vom Ausgangszustand des betrachteten Gebäudes abhängig. So sind die Einsparmöglichkeiten (CO_2-Emissionen und Energiebezugskosten) für das energetisch schlechtere Einfamilienhaus (EFH) höher als für das untersuchte Mehrfamilienhaus (MFH). Für das betrachtete MFH kann die Dämmung der Außen-

1 Klimaanpassung: Die Anpassung an den Klimawandel bezeichnet den Prozess der Umstellung und Ausrichtung von natürlichen und gesellschaftlichen Systemen auf tatsächliche oder zu erwartende Klimaveränderungen mit deren Folgen, um die negativen Auswirkungen zu minimieren und Vorteile nutzbar zu machen.

wand und der Kellerdecke als Maßnahme empfohlen werden. Für das untersuchte EFH sind im Prinzip alle untersuchten Maßnahmen empfehlenswert.

Für das betrachtete MFH liegen die jährlichen Einsparungen beim Energiebezug zwischen ca. 260 € und ca. 2.600 € und die Reduktion der CO_2-Emissionen zwischen 1,5 und 15 Prozent. Die Amortisationszeiten variieren dabei zwischen 13 Jahren für die Kellerdecke und 25 Jahren für die Dämmung der obersten Geschossdecke. Beim betrachteten EFH betragen die jährlichen Einsparungen beim Energiebezug zwischen ca. 360 € und ca. 780 € je nach betrachteter Einzelmaßnahme. Die CO_2-Einsparungen liegen zwischen 11,4 und 24 Prozent. Die Dämmung der Kellerdecke weist mit 7 Jahren die kürzeste und der Fenstertausch mit Wärmeisolierverglasung mit 16 Jahren die längste Amortisationszeit auf.

Für das untersuchte Nichtwohngebäude (NWG) wurde nur die Dämmung der Außenwand näher betrachtet. Diese ist im Zuge anstehender Sanierungsmaßnahmen an der Fassade empfehlenswert. Die Wärmebezugskosten können jährlich um ca. 2.100 € gesenkt werden und die CO_2-Einsparungen liegen bei 22,6 Prozent. Die Amortisationszeit der Maßnahme beträgt 11 Jahre.

Neben den wirtschaftlichen spielen die ökologischen Faktoren eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Anpassungsmaßnahmen. Dazu gehört z. B. die Reduzierung von Emissionen. Diese lassen sich nur schwer in wirtschaftliche Zahlen fassen. Ein weiterer wesentlicher, aber wirtschaftlich kaum greifbarer Aspekt ist der Wohlfühlfaktor. Die vorgestellten Klimaanpassungsmaßnahmen haben einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden und den Wohnkomfort der Bürger*innnen und können darüber hinaus zur Schadensminimierung/-vermeidung bei Extremwettern beitragen.

2 Maßnahmenkatalog

2.1 Herangehensweise

Im Rahmen des Projektes wurden Klimaanpassungsmaßnahmen erarbeitet und auf zwei unterschiedlichen räumlichen Ebenen – der Gebäude- und der Quartiersebene – hinsichtlich der nachfolgenden Kriterien analysiert und bewertet. Neben der Unterteilung in die Klimaelemente Temperatur, Niederschlag und Wind wird der Umsetzungszeitraum der jeweiligen Maßnahme betrachtet. Dieser wird wie folgt untergliedert:

Umsetzungszeitraum	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Gebäudeebene	‹ 6 Monate	6 – 24 Monate	› 24 Monate
Quartiersebene	‹ 5 Jahre	5 – 10 Jahre	› 10 Jahre

Die Maßnahmen auf der Gebäudeebene wurden hinsichtlich der unterschiedlichen Gebäudetypen Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und Nichtwohngebäude (NWG) und unter Einbeziehung der energetischen Verordnungen (vor 1977; 1978 – 2001, ab 2002) analysiert. Für die drei Gebäudetypen wurde jeweils ein Referenzgebäude mit Kennwerten wie U-Werte, Flächen der lichtundurchlässigen Bauteile sowie Fensteranteile ausgewählt, um die jeweiligen Maßnahmen realistisch zu bewerten. Weitere Ausführungen hierzu finden Sie im zweiten Teil dieser Broschüre.

Nicht nur die Maßnahmen auf der Ebene der Gebäude, welche alle Bürger*innen umsetzen können, sind von besonderer Bedeutung, sondern auch die Maßnahmen auf der Quartiersebene. Diese sind insbesondere für Kommunen und Planer*innen, wie beispielsweise Stadtplaner*innen und Architekt*innen relevant.

KRITERIEN

Für die Bewertung der Maßnahmen zur Gebäudedämmung (Fassade, Dach bzw. oberste Geschossdecke und Kellerdecke) sowie der Spezialverglasung hinsichtlich der CO_2-Reduktion und der Einsparung von Primärenergie wurde auf die Ergebnisse der im Rahmen der Studie „Konzipierung von technologischen Strategien und Produkten für klimaadaptive Gebäude- und Quartierslösungen“ durchgeführten Simulation zurückgegriffen.

Technische Umsetzbarkeit:

Einschränkungen bei der Umsetzbarkeit bestehen hinsichtlich Aspekten wie Denkmalschutz, Platzmangel und weiterer baulich/technischer Voraussetzungen bzw. Anforderungen.

kaum umsetzbar	unter bestimmten Voraussetzungen umsetzbar	immer umsetzbar

Investitionskosten:

Die Investitionskosten stellen die für die Maßnahme anfallenden Anschaffungskosten dar. Sie beinhalten nicht die Sanierungs- und Instandhaltungskosten. Zur Beurteilung der Maßnahmen im EFH-Bereich wird das durchschnittliche monatliche Bruttoeinkommen privater Haushalte herangezogen. Nach Ergebnissen der laufenden Wirtschaftsrechnungen betrug dieses im Jahr 2015 4.196 €[1]. Investitionen, die weniger als 88 Prozent dieses durchschnittlichen Bruttoeinkommens betragen, werden als gering und solche, die mehr als das 1,5-Fache kosten, als hoch eingestuft.

Für das MFH wurden die Regelungen für Mieterhöhungen nach §§ 557 bis 561 BGB[2] herangezogen. Für eine Einteilung der Investitionskosten im MFH-Bereich wurde eine maximale Mieterhöhung von 10 Prozent bei einer durchschnittlichen Nettokaltmiete in Thüringen[3] von 4,85 €/m² angenommen. Investitionskosten, die im Rahmen dieser Mieterhöhung liegen, werden als sehr gering bis gering eingestuft und Investitionskosten, die den dreifachen Betrag dieser Mieterhöhung übersteigen, gelten als hoch bis sehr hoch. Damit ergeben sich für das Referenz-MFH (2.500 m²) unten aufgeführte Werte.

● ○ ○	● ● ○	● ● ●	○ ○ ○
sehr gering – gering	mittel	hoch – sehr hoch	keine Angaben möglich
EFH: 0 € – 3.700 €	EFH: 3.701 € – 6.300 €	EFH: ab 6.301 €	
MFH: 0 € – 14.550 €	MFH: 14.551 € – 43.650 €	MFH: ab 43.651 €	

Der Bereich der NWG ist sehr heterogen, nicht nur, was die Gebäudegröße und -nutzung betrifft, sondern auch bezüglich der Eigentümer*innen und somit der Investor*innen für Klimaanpassungsmaßnahmen. Daher lässt sich hier keine sinnvolle und repräsentative Einteilung der Investitionskosten vornehmen.

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten Ausgaben für Wartung, Instandhaltung, Pflegemaßnahmen, Strom usw. Die Kriterieneinteilung der jeweiligen verbrauchsgebundenen Kosten beruht auf Recherchen und eigenen Einschätzungen.

● ○ ○	● ● ○	● ● ●	○ ○ ○
sehr gering – gering	mittel	hoch – sehr hoch	keine Angaben möglich

1 Statistisches Bundesamt. (2017)
2 Bundesregierung. (2002). Bürgerliches Gesetzbuch (BGB)
3 Verband Thüringer Wohnungs- und Immobilienwirtschaft – vtw. (2017). Daten und Fakten 2017

Reduzierung CO_2-Emissionen:

Dieses Kriterium stellt eine Einschätzung der möglichen CO_2-Einsparungen der Maßnahme im Vergleich zu den im Referenzgebäude auftretenden CO_2-Emissionen dar.

sehr gering – gering 0 – 5,0 %	mittel 5,1 – 24,9 %	hoch – sehr hoch ab 25 %	keine Angaben möglich

Einsparung Primärenergie:

Die Einsparung der Primärenergie stellt eine Einschätzung der Einsparpotenziale im Vergleich zum Primärenergieverbrauch ohne Umsetzung der Maßnahme (Referenzfall) dar. Die Kriterieneinteilung der jeweiligen Einsparung der Primärenergie beruht auf Recherchen und eigenen Einschätzungen.

sehr gering – gering	mittel	hoch – sehr hoch	keine Angaben möglich

Gesellschaftliche Akzeptanz:

Dieses Kriterium stellt eine Einschätzung zur Akzeptanz der Maßnahme beim bei Anwender*innen/Nutzer*innen/Bauenden dar. Die Kriterieneinteilung der jeweiligen gesellschaftlichen Akzeptanz beruht auf Recherchen und eigenen Einschätzungen.

kaum akzeptiert	akzeptiert	nahezu immer akzeptiert

Realisierungschancen:

Die Realisierungschance beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit von einer tatsächlichen Realisierung/Umsetzung der Maßnahme ausgegangen werden kann. Die Kriterieneinteilung der jeweiligen Realisierungschancen beruht ebenfalls auf Recherchen und eigenen Einschätzungen.

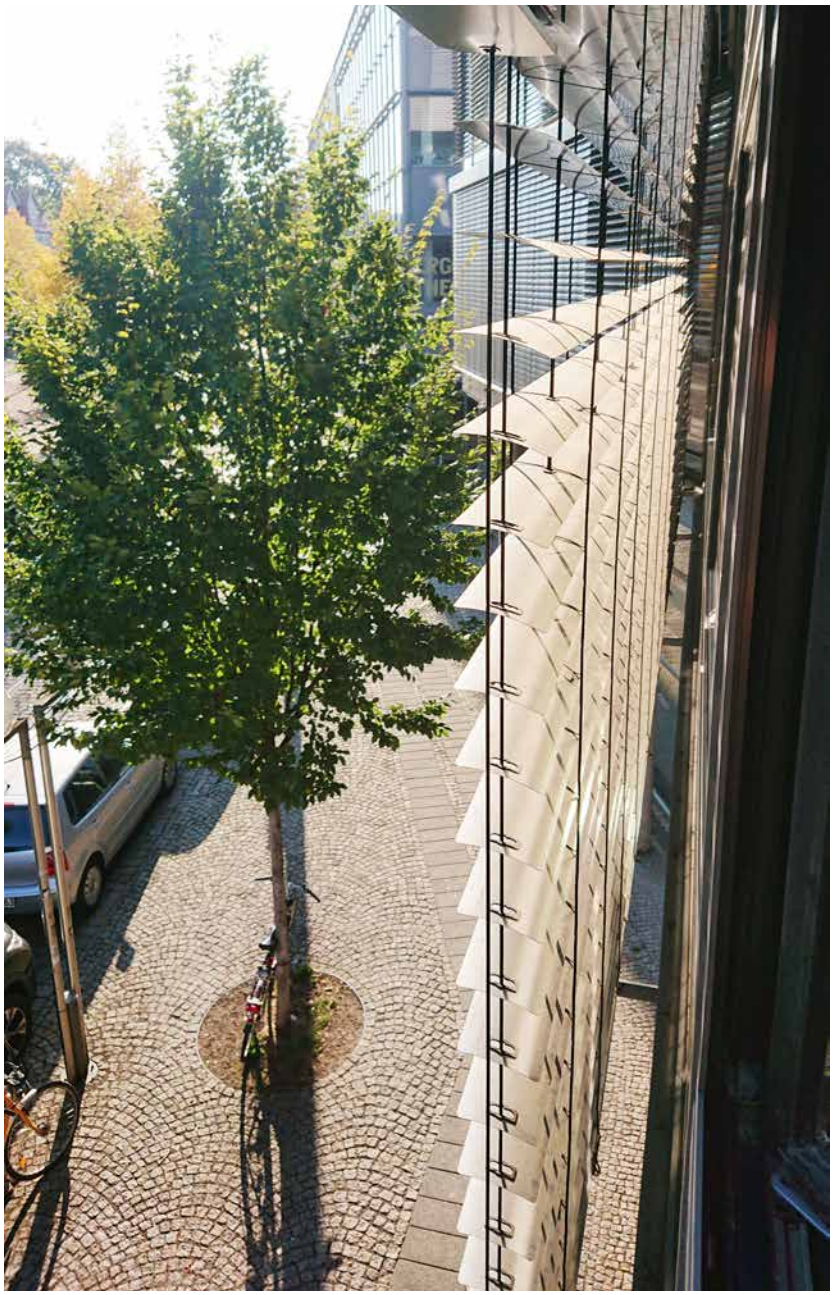
sehr gering – gering	mittel	hoch – sehr hoch

2.2 Maßnahmen auf Gebäudeebene

ÜBERBLICK

Maßnahmen auf Gebäudeebene	Klimaelemente		
	Temperatur	Niederschlag	Wind
Gebäudehülle: Spezialverglasung (S. 12)	■		
Gebäudehülle: Fassadendämmung (S.14)	■		
Gebäudehülle: Dachdämmung (S. 16)	■		
Dämmung Kellerdecke (S. 18)	■		
Reflektierende Anstriche und Beschichtungen (S. 19)	■		
Innenliegende Verschattungselemente (S. 20)	■		
Außenliegende Verschattungselemente (S. 21)	■		
Mechanische Gebäudekühlung (S. 22)	■		
Manuelle Nachtkühlung (S. 23)	■		
Fassadenbegrünung (S. 24)	■		
Extensive Dachbegrünung (S. 25)	■	■	
Intensive Dachbegrünung (S. 26)	■	■	
Standfestigkeit und Fundamente von Gebäuden (S. 27)		■	
Hochwasserangepasstes Keller-/ Erdgeschoss (S. 28)		■	
Regenwassernutzung via Zisternen (S. 29)		■	
Bauliche Verstärkung der Dächer (S. 30)		■	■

Abbildung 1: Dachbegrünung und Verschattungselemente, Kita in Erfurt (ThEGA)



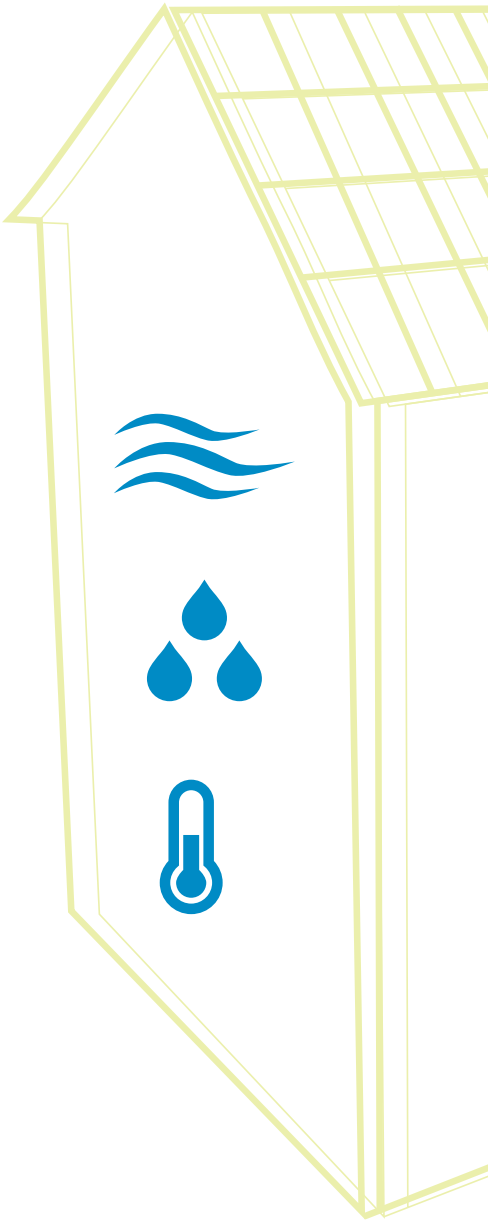


Abbildung 2: Außenliegende Verschattungselemente am Gebäude (ThEGA)

Gebäudehülle: Spezialverglasung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Ausstattung der Fenster mit Sonnenschutzverglasung zur Verminderung des Wärmeeintrags
- Nutzungsspezifische Aspekte, Standortbedingungen und Ausgangssituation für jedes Objekt einzeln bestimmen
- Zusätzliche Verwendung von Verschattungselementen (siehe Maßnahmen Verschattungselemente)

Erwartete Auswirkungen

- Reflexion von Sonnenstrahlen bzw. Absorption von Wärmestrahlung
- Bis zu 80 Prozent weniger Sonnenenergie im Gebäude
- Senkung der Gebäudeinnentemperaturen
- Verbesserung der Lebensqualität (geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen)[4]

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	●○○	●●○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Investitionskosten: ca. 330 €/m² inkl. Montage[5]
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

4 *Energie Fachberater. (2016)*
5 *Energieheld. (2017c)*

Gebäudehülle: Spezialverglasung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Ausstattung der Fenster mit Sonnenschutzverglasung zur Verminderung des Wärmeeintrags
- Nutzungsspezifische Aspekte, Standortbedingungen und Ausgangssituation für jedes Objekt einzeln zu bestimmen
- Zusätzliche Verwendung von Verschattungselementen (siehe Maßnahmen Verschattungselemente)

Erwartete Auswirkungen

- Reflexion von Sonnenstrahlen bzw. Absorption von Wärmestrahlung
- weniger Sonnenenergie im Gebäude
- Senkung der Innentemperaturen
- Verbesserung der Lebensqualität (geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen)

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○

Erläuterungen

- Investitionskosten: Wärmeschutz-Isolierglas ca. 330 €/m² inkl. Montagekosten[6]
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

6 *Energieheld. (2017c)*

Gebäudehülle: Fassadendämmung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Fassadendämmung gegen Wärme bzw. Kälte
- Wandflächen besonders anfällig für Energieverluste
- Unterscheidung in Außen- und Innendämmung
- Wahl geeigneter Dämmstoffe erforderlich, Berücksichtigung bauphysikalischer und bautechnischer Eigenschaften

Erwartete Auswirkungen

- Senkung des Kühl- und Heizenergiebedarfs
- Reduzierung von Wärmeenergieverlusten
- Senkung der Innentemperaturen im Sommer
- Schutz vor Auskühlung im Winter, schnelleres Aufheizen der Innenräume im Winter
- Gefahr der Bildung von Wärmebrücken und Schimmel: kontrolliertes Lüften von hoher Bedeutung

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten*	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●●●	●●○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Investitionskosten: Wärmedämmverbundsystem (WDVS)[7] ca. 90 – 150 €/m² ; Holzfaserplatte Energie-plus massiv (0,04 W/m²K): 32 €/m² bei 10 cm Schichtdicke[8]; zzgl. Montagekosten[9] ca. 85 – 120 €/m²
- * angenommene Gesamtinvestitionskosten: EFH: 160 €/m² bei einer benötigten Dämmschicht von 14 cm, MFH: 150 €/m² bei einer benötigten Dämmschicht von 11 cm, NWG: 130 €/m² bei einer benötigten Dämmschicht von 5,5 cm
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

7 Energieheld GmbH. (2017)
8 Homatherm. (o.J.); Benz24. (o.J.)
9 vPRESS. GmbH. (2017); Deutsche Auftragsagentur GmbH. (o.J.)

Gebäudehülle: Fassadendämmung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Fassadendämmung gegen Wärme bzw. Kälte
- Wandflächen besonders anfällig für Energieverluste
- Unterscheidung in Außendämmung und Innendämmung
- Wahl geeigneter Dämmstoffe erforderlich, Berücksichtigung bauphysikalischer und bautechnischer Eigenschaften

Erwartete Auswirkungen

- Senkung des Energiebedarfs
- Reduzierung von Wärmeenergieverlusten
- Senkung der Gebäudeinnentemperaturen im Sommer
- Schutz vor Auskühlung im Winter, schnelleres Aufheizen der Gebäudeinnenräume im Winter
- Gefahr der Bildung von Wärmebrücken und Schimmel: kontrolliertes Lüften von hoher Bedeutung

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●○○	●○○	●●●	●●○
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●○○	●○○	●●●	●●○
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●○○	●○○	●●●	●●○

Erläuterungen

- Investitionskosten: Wärmedämmverbundsystem (WDVS)[10] ca. 90 – 150 €/m²; Holzfaserplatte Energieplus massiv (0,04 W/m²K): 32 €/m² bei 10 cm Schichtdicke[11]; zzgl. Montagekosten[12] ca. 85 – 120 €/m²
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

10 Energieheld GmbH. (2017)
11 Homatherm. (o.J.); Benz24. (o.J.)
12 vPRESS. GmbH. (2017); Deutsche Auftragsagentur GmbH. (o.J.)

Gebäudehülle: Dachdämmung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Dachdämmung gegen Wärme bzw. Kälte
- Dachflächen durch direkte Sonneneinstrahlung besonders temperaturanfällig
- Unterscheidung in Steildachdämmung, Flachdachdämmung und Dachbodendämmung
- Sowohl Außen- als auch Innendämmung möglich

Erwartete Auswirkungen

- Senkung des Kühl-/Heizenergiebedarfs
- Reduzierung von Wärmeenergieverlusten
- Heizwärmeeinsparung von bis zu 30 %[13]
- Senkung der Gebäudeinnentemperaturen im Sommer
- Schutz vor Auskühlung im Winter
- Zusätzlich Verbesserung des Schallschutzes und Brandschutzes

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitionskosten*	Verbrauchsgebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungschance
Einfamilienhaus						
●●●	●●●	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	●○○	●●○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Investitionskosten variieren je nach Dachform, Zustand des Daches und gewähltem Dämmmaterial
- Investitionskosten Zellulosefaserdämmstoff ISOCELL (0,04 W/m²K): 8 – 10 €/m² bei 10 cm Schichtdicke[14] zzgl. Montagekosten Spitzdach (Untersparrendämmung): 50 – 80 €/m², oberste Geschossdecke (begehbar)[15]: 35 – 45 €/m²
- * angenommene Gesamtinvestitionskosten: EFH: 85 €/m², bei einer benötigten Dämmschicht von 12,5 cm, MFH: 50 €/m² bei einer benötigten Dämmschicht von 3,5 cm
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

13 *Energie Fachberater. (2016a)*
14 *Zimmerei Nattrodt. (o.J.)*
15 *Frahm, T. (o.J.); Energieheld GmbH. (2017b)*

Gebäudehülle: Dachdämmung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Dachdämmung gegen Wärme bzw. Kälte
- Dachflächen durch direkte Sonneneinstrahlung besonders temperaturanfällig
- Unterscheidung in Steildachdämmung, Flachdachdämmung und Dachbodendämmung
- Sowohl Außen- als auch Innendämmung möglich

Erwartete Auswirkungen

- Senkung des Kühl-/Heizenergiebedarfs
- Reduzierung von Wärmeenergieverlusten
- Heizwärmeeinsparung
- Senkung der Gebäudeinnentemperaturen im Sommer
- Schutz vor Auskühlung im Winter
- Zusätzlich Verbesserung des Schallschutzes und Brandschutzes

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●○○	●○○	●●○	●●○

Erläuterungen

- Investitionskosten variieren je nach Dachform, Zustand des Daches und gewähltem Dämmmaterial
- Investitionskosten Zellulosefaserdämmstoff ISOCELL (0,04 W/m²K): 8 – 10 €/m² bei 10 cm Schichtdicke[16] zzgl. Montagekosten Spitzdach (Untersparrendämmung): 50 – 80 €/m², oberste Geschossdecke (begehbar)[17]: 35 – 45 €/m², Einzelfallprüfungen notwendig
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

16 *Zimmerei Nattrodt. (o.J.)*
17 *Frahm, T. (o.J.); Energieheld GmbH. (2017b)*

Dämmung Kellerdecke

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Kellerdeckendämmung gegen Wärme bzw. Kälte
- Dämmung an der Unterseite der Kellerdecke effektiv und schnell umsetzbar
- Dämmmaterialien z. B. Kork, Mineralwolle, Mineralschaum, Holzfaserdämmplatten oder Dämmstoffe auf Basis von Holzspänen, Zellulose oder Hanf

Erwartete Auswirkungen

- Reduzierung von Wärmeenergieverlusten
- Senkung des Heizenergiebedarfs
- Schutz vor Auskühlung im Winter
- Gefahr der Bildung von Wärmebrücken bei unsachgemäßer Anbringung

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten*	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●●	●○○	○○○	●●○	●○○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus	●●●	●●○	○○○	●●○	●○○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude	●●●	○○○	○○○	●○○	●○○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Investitionskosten Korkplatte (0,04 W/m²K): ~16 €/m² bei 60 mm Plattendicke[18] zzgl. Montagekosten[19] 20 – 35 €/m²
- * angenommene Gesamtinvestitionskosten: EFH: 40 €/m², bei einer benötigten Dämmschicht von 9 cm, MFH: 35 €/m² bei einer benötigten Dämmschicht von 6 cm
- Reduktion von CO_2-Emissionen durch Senkung des Primärenergieverbrauchs
- Konfliktpotenzial bei Umsetzbarkeit in Gewölbekellern
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

18 Korkmanufaktur. (o.J.)
19 Energie Fachberater. (o.J.); Bosch Thermotechnik GmbH. (o.J.)

Reflektierende Anstriche und Beschichtungen

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Verwendung von reflektierenden Anstrichen und Beschichtungen als wärmereflektierende Fassade
- Vorwiegend Gebrauch von weißen Beschichtungen

Erwartete Auswirkungen

- Verhinderung einer starken Aufheizung der Fassadenflächen, aufgrund der Reflexion der Sonnenstrahlen (höhere Albedowerte)
- Verminderung von Lufttemperaturanstieg an der Fassade und somit auch der Gebäudeumgebung besonders in sonnenintensiven Jahreszeiten
- Erzielung eines Komfortgewinns im Sommer durch niedrigere Temperaturen im Gebäude ohne aktive mechanische Kühlung
- Verringerung der Wärmeabstrahlung in kalten Nächten

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●	●				●●	●●
Mehrfamilienhaus						
●●	●●				●●	●●
Nichtwohngebäude						
●●					●●	●●

Erläuterungen

- Konfliktpotenzial Umsetzbarkeit und Denkmalschutz, Klinkerbauten
- Einsparungen im Bereich Primärenergie lediglich hinsichtlich Vermeidung des Gebrauchs von Klimaanlagen
- Investitionskosten sind abhängig von Größe/Art des Gebäudes sowie verwendeten Materialien, Arbeitskosten ca. 20 – 55 €/m² (inkl. Gerüst und Vorarbeiten und Grundierung) zzgl. Farbe ca. 4,00 €/m² (bei 0,3 l/m² Verbrauch) je Anstrich[20]
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

20 Schwarzer.de Software + Internet GmbH. (2016); MyHammer AG. (o.J.); Berschneider GmbH. (o.J.); maxit Baustoffwerke GmbH. (2017)

Innenliegende Verschattungselemente

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Schutz vor eindringenden Sonnenstrahlen in den Raum mithilfe von Jalousien, Raff-Rollos, Vorhängen etc.
- Innenliegende Sonnenschutz-Systeme sind unabhängig von äußeren Einflüssen (Wind, Niederschlag und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen)
- Sonnenschutzfolien als Alternative, wenn innenliegende Verschattung unzureichend und außenliegende Verschattung nicht möglich

Erwartete Auswirkungen

- Entgegenwirkung des Aufheizens der Raumluft im Sommer
- Senkung der inneren Gebäudetemperaturen
- Geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen
- Nachteil gegenüber außenliegender Verschattung: dennoch Eindringen von Strahlung in den Raum
- Gefahr der Wärmestaubildung zwischen Verschattungselement und Glasscheibe im Innenraum bei zu dichter Befestigung

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitionskosten	Verbrauchsgebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungschance
Einfamilienhaus						
●●●	●○○	○○○	●○○	●○○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus						
●●●	●○○	○○○	●○○	●○○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	●○○	●○○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Reduzierung CO_2-Emissionen und Einsparung Primärenergie gering aufgrund verminderter Kühlleistung
- Äußere Verschattungselemente erzielen höhere Wirkung, da Sonnenstrahlen nicht in den Raum dringen, sie sind jedoch kostenintensiver
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, außenliegende Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

Außenliegende Verschattungselemente

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Schutz vor eindringenden Sonnenstrahlen in den Raum mithilfe von Jalousien, Rollläden, Fensterläden, Fassadenmarkisen, Überkopfverschattung etc.
- Abschirmen der Gebäudehülle ebenfalls durch natürliche Verschattungselemente wie Bäume, angrenzende Bebauungen oder Balkone möglich
- Außenliegende Sonnenschutz-Systeme abhängig von äußeren Einflüssen (Wind, Niederschlag und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen), daher oft Kombination

Erwartete Auswirkungen

- Entgegenwirkung des Aufheizens der Raumluft im Sommer
- Fassadengestaltungselement
- Senkung der inneren Gebäudetemperaturen
- Geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
Mehrfamilienhaus						
Nichtwohngebäude						

Erläuterungen

- Umsetzbarkeit teilweise abhängig von Denkmalschutzvorgaben
- Verbrauchsgebundene Kosten je nach Verschattungsart geringfügig vorhanden (z. B. Strom und Wartung für Steuerung der Verschattung), überwiegend jedoch ohne Kosten
- Reduzierung CO_2-Emissionen und Einsparung Primärenergie aufgrund verminderter Kühlleistung
- Außenliegender Sonnenschutz effizienter, aber auch kostenintensiver in der Anschaffung und in der Wartung
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, innenliegende Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

Mechanische Gebäudekühlung

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Unterstützung der natürlichen Lüftung
- Sicherstellung des geforderten Luftwechsels im Gebäude
- Unabhängig von äußeren Einflüssen (Wind/Temperaturen)
- Unterscheidung in zentrale Lüftungsanlagen (ein Kühlsystem für mehrere Räume) und dezentrale Lüftungsanlagen (ein Kühlsystem je Raum, nicht miteinander verbunden)

Erwartete Auswirkungen

- Senkung der inneren Gebäudetemperaturen
- Abführung von Schadstoffen, Gerüchen, Feuchtigkeit und Wärme
- Vermeidung von Bauschäden durch Kondensatausfall
- Verbesserung der Lebensqualität (geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen)
- Nachteil: Zunahme des Primärenergieverbrauchs und der CO_2-Emissionen

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●●	●●○	●●○	○○○	○○○	●●○	●●●
Mehrfamilienhaus	●●●	●●○	●●○	○○○	○○○	●●○	●●●
Nichtwohngebäude	●●●	○○○	●●○	○○○	○○○	●●○	●●●

Erläuterungen

- Je nach System hoher technischer Aufwand
- Bei nahezu allen Gebäuden umsetzbar
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, manuelle Nachtkühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

Manuelle Kühlung

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Ausnutzung der kühleren Nachttemperaturen
- Durchlüftung des Gebäudes durch Öffnung der Fenster in den Nachtstunden
- Tagsüber Fenster geschlossen halten und Verschattungselemente nutzen
- Keine baulichen Maßnahmen erforderlich

Erwartete Auswirkungen

- Senkung der inneren Gebäudetemperaturen sowohl nachts als auch tagsüber
- Verbesserung der Lebensqualität (geringere Hitzebelastung für Bewohner*innen)

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus	●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude	●●●	○○○	○○○	●●○	●●○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Maßnahme, bei der ausnahmslos keine Kosten entstehen
- Reduzierung der CO_2-Emissionen und Einsparung von Primärenergie aufgrund verminderter Kühlleistung
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, Fassaden- und Dachbegrünung

Fassadenbegrünung

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Bepflanzung von Gebäudefassaden (z. B. Kletterpflanzen) oder Pflanzkästen/Balkonbepflanzung
- Minimaler Bedarf an Raum und Bodenfläche
- Pflanzenwahl abhängig nach gewünschter Wuchshöhe, Wachstumsgeschwindigkeit, immergrün/laubabwerfend etc.

Erwartete Auswirkungen

- Reduzierung des städtischen Wärmeinsel-Effekts
- Kompensation mangelnder Begrünung der städtischen Gebiete
- Bepflanzung als natürliche Staubfilter (Aufnahme gasförmiger und flüssiger Schadstoffe)
- Bessere Isolierung der Gebäude (Wärmereduktion im Sommer bzw. Kältereduktion im Winter)
- Verbesserung von Schalldämmung, Material- und Fassadenschutz
- Visuelle Aufwertung
- Verbesserung der Lebensqualität

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●	●●	●	●	●	●●	●●
Mehrfamilienhaus	●●	●●	●	●	●	●●	●●
Nichtwohngebäude	●●		●	●	●	●●	●●

Erläuterungen

- Umsetzung der Bepflanzung kurzfristiger Prozess, jedoch unterschiedlich lange Wachstumszeiträume der Pflanzen (schnell wachsend: z. B. Efeu, Wilder Wein, Schlingknöterich; langsamer wachsend: Kletterrose oder Obstspaliere wie Birne)[21]
- Konfliktpotenzial Umsetzbarkeit und Denkmalschutz
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Dachbegrünung

21 Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. (2014)

Extensive Dachbegrünung

Klimaelement: + Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Extensive Bepflanzungen von Dächern im geringen Umfang (Gründach-Schichtaufbau 5 – 15 cm stark)[22]
- Verwendung von sich selbst erhaltenden Begrünungen (Gräser, Moose etc.)
- Schnell herstellbar und leicht zu unterhalten, keine Bewässerung notwendig
- Anpflanzungen bis zu einem Dachwinkel von 35° möglich
- Dachbegrünung als mögliche Alternative für bestehende Stadtquartiere mit wenig Raum für neue Grünflächen

Erwartete Auswirkungen

- Reduzierung des städtischen Wärmeinsel-Effekts
- Speicherung von Niederschlagswasser
  - Verdunstung mit positiven Effekten auf Luftfeuchtigkeit und Temperatur
  - Reduzierung der Niederschlagsabgabe und damit Entlastung des Abwassersystems
- Visuelle Aufwertung
- Verbesserung der Lebensqualität
- Absorption der Sonnenenergie

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●	●	●			●●	●●
Mehrfamilienhaus						
●●	●	●			●●	●●
Nichtwohngebäude						
●●		●			●●	●●

Erläuterungen

- Voraussetzung zur Realisierung: Flachdächer bzw. Dächer mit geringer Dachneigung sowie ausreichende Gebäudestatik
- Investitionskosten für extensive Begrünung von ca. 12 – 25 €/m² (Kiesdach ca. 7 €/m²)[23]
- 1 – 2 Pflegegänge pro Jahr sind empfehlenswert (verbrauchsgebundene Kosten)
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassadenbegrünung

22 Optigrün international AG. (2017)
23 UBA. (2012)

Intensive Dachbegrünung

Klimaelement: + Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Intensive Bepflanzungen von Dächern im größeren Umfang (neben Gräsern und Moosen zusätzlich Sträucher, Büsche und kleinere Bäume etc.)
- Gründach-Schichtaufbau 25 – 100 cm stark [24]
- Pflege erforderlich (regelmäßige Versorgung mit Wasser und Nährstoffen)
- Anpflanzungen vorwiegend auf Flachdächern möglich
- Dachbegrünung als mögliche Alternative für bestehende Stadtquartiere mit wenig Raum für neue Grünflächen (bietet z. B. Möglichkeit für *urban gardening*)

Erwartete Auswirkungen

- Reduzierung des städtischen Wärmeinsel-Effekts
- Speicherung von Niederschlagswasser
  - Verdunstung mit positiven Effekten auf Luftfeuchtigkeit und Temperatur
  - Reduzierung der Niederschlagsabgabe und damit Entlastung des Abwassersystems
- Visuelle Aufwertung
- Verbesserung der Lebensqualität
- Absorption der Sonnenenergie

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●○	●●○	●○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Mehrfamilienhaus						
●●○	●●○	●○○	●○○	●○○	●●○	●●○
Nichtwohngebäude						
●●○	○○○	●○○	●○○	●○○	●●○	●●○

Erläuterungen

- Voraussetzung zur Realisierung: begehbare Flachdächer sowie ausreichende Gebäudestatik
- Intensive Dachbegrünung erforderlich, um CO_2 wirkungsvoll zu reduzieren
- Kosten im Vergleich zu extensiver Begrünung höher, jedoch im Vergleich zu anderen Maßnahmen gering
- Investitionskosten beginnen bei 50 €/m² (abhängig von Fläche und Art der Anpflanzung)[25]
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Temperatur: Optimierungen der Gebäudehülle, reflektierende Anstriche und Beschichtungen, Verschattungselemente, mechanische Gebäudekühlung, manuelle Nachtkühlung, Fassadenbegrünung

24 *Optigrün international AG. (2017)*
25 *Optigrün international AG. (2017)*

Standfestigkeit und Fundamente von Gebäuden

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Form und optimale Ausrichtung von Gebäude(-teilen) hinsichtlich Sturm- und Wasserschäden
- Spundwände oder Stelzensysteme gegen Eindringen von Niederschlag
- Anpflanzungen zur Vermeidung von Erdrutschen und Erosion

Erwartete Auswirkungen

- Erhöhte Standfestigkeit vor allem an Hanglagen
- Schutz vor Hochwasserschäden
- Verbesserung der Gebäudestatik

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●	●●●				●●	●●
Mehrfamilienhaus	●●	●●●				●●	●●
Nichtwohngebäude	●●					●●	●●

Erläuterungen

- Umsetzung im Bestand äußerst kostenintensiv
- Alternative ist u. a. die Umsiedelung von Gebäuden und Bewohner*innen
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Niederschlag: Dachbegrünung, hochwasserangepasstes Keller- und Erdgeschoss, bauliche Verstärkung der Dächer

Hochwasserangepasstes Keller-/Erdgeschoss

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Umrandung der Kellerfenster, Licht- und Lüftungsschächte mit Schwellen
- Einsatz von Rückstauklappen/-ventilen; weißen oder schwarzen Wannen
- Sicherung überflutungssensibler Anlagen – Stabilisierung von Tanks im Keller (Verwendung von mobilen wasserbeständigen Kellereinrichtungen)
- Elektroanlagen/Steckdosen im Kellergeschoss nicht in Bodennähe anbringen; Stromverteiler, Heizungsanlage und Elektrogeräte in gefährdeten Gebieten in oberen Stockwerken unterbringen; Erhöhung Hauseingänge

Erwartete Auswirkungen

- Sicherheit gegen Starkregen und Hochwasser
- Gewährleistung Versorgungssicherheit
- Gewährleistung des Niederschlagsabflusses und Vermeidung von Wassereintritt

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	○○○	○○○	○○○	○○○	●●●	●●●
Mehrfamilienhaus						
●●●	○○○	○○○	○○○	○○○	●●●	●●●
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	○○○	○○○	●●●	●●●

Erläuterungen

- Investitionskosten variieren stark (z. B. Rückstauklappe günstig, weiße Wanne kostenintensiv)
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Niederschlag: Dachbegrünung, Standfestigkeit und Fundamente von Gebäuden, bauliche Verstärkung der Dächer

Regenwassernutzung via Zisternen

Klimaelement: Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Sammeln von Regenwasser mittels Zisternen
- Nutzung des gesammelten Wassers für Bewässerungen, Toilettenspülung, Waschmaschinennutzung, Gebäudereinigung etc.

Erwartete Auswirkungen

- Minderung der Überlastung der Kanalisation durch die Wasserspeicherung bei Starkregenereignissen
- Bedarfsorientierte Nutzung des Regenwassers
- Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs

Kriterien

	Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus	●●●	●○○	●○○	○○○	○○○	●●○	●●○
Mehrfamilienhaus	●●○	●○○	●○○	○○○	○○○	●○○	●○○
Nichtwohngebäude	●●○	○○○	●○○	○○○	○○○	●○○	●○○

Erläuterungen

- Investitionskosten abhängig von der Größe der Zisterne (Materialkosten) sowie der Haustechnik: ca. 2.640 € bei einer 3.000-Liter-Zisterne zzgl. Montage, Systemeinbindung an die Haustechnik[26]
- Umsetzbarkeit abhängig von Platzverhältnissen

26 Speidel Tank- und Behälterbau. (2017)

Bauliche Verstärkung der Dächer

Klimaelement: + Umsetzungszeitraum:

vor 1977	1978 – 2001	ab 2002

Kurzbeschreibung

- Auswahl robuster Materialien (Hagelfestigkeit) und stabiler Konstruktionsweisen (Traglasterhöhung), Dachüberstand
- Sicherung von Dächern vor Winddruck und Windsog durch Verklammerung
- Integration von Solarthermie- oder Photovoltaik-Anlagen in den Dachaufbau zur Sicherung bei Stürmen
- Dachbegrünung als Zwischenspeicher von Niederschlägen

Erwartete Auswirkungen

- Sicherheit gegen Sturm, Hagel, Starkregen und Schneelast
- Gewährleistung des Niederschlagsabflusses und Vermeidung von Wassereintritt

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Einsparung Primärenergie	Akzeptanz der Investor*innen	Realisierungs-chance
Einfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	○○○	○○○	●●○	●●○
Mehrfamilienhaus						
●●●	●●○	○○○	○○○	○○○	●●○	●●○
Nichtwohngebäude						
●●●	○○○	○○○	○○○	○○○	●●○	●●○

Erläuterungen

- Investitionskosten je nach Maßnahme verschieden
- Kombinierbar mit folgenden Maßnahmen im Handlungsfeld Niederschlag: Dachbegrünung, Standfestigkeit und Fundamente von Gebäuden, hochwasserangepasstes Keller- und Erdgeschoss

2.3 Maßnahmen auf Quartiersebene

ÜBERBLICK

Maßnahmen auf Quartiersebene	Klimaelemente		
	Temperatur	Niederschlag	Wind
Freihaltung von Frischluftschneisen (S. 32)	■		■
Erhöhung Grünflächenanteil (S. 33)	■		
Verschattungselement Bäume (S. 34)	■		
Freihaltung von hochwassergefährdeten Gebieten (S. 35)		■	
Wasserflächen im Quartier (S. 36)	■	■	
Kompakte Siedlungsstruktur (S. 37)	■	■	■
Optimierung der technischen Infrastruktur (S. 38)	■	■	■

Abbildung 3: Frischluftschneisen und Begrünung in der Innenstadt von Erfurt

Freihaltung von Freiluftschneisen

Klimaelement: + Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Instrument der Stadt- und Raumplanung zur Freihaltung von Frischluftschneisen im Hinblick auf prognostizierten Temperaturanstieg (klimagerechtes Flächenmanagement)

Erwartete Auswirkungen

- Verbesserung des Stadtklimas
- Reduzierung des städtischen Wärmeinsel-Effekts
- Erhöhte Frischluftzufuhr in wärmeangestauten Innenstadtbereichen
- Komfortgewinn aufgrund niedrigerer Temperaturen im Sommer, ohne mechanische Kühlung
- Verbesserung des Wohlbefindens im Stadtinneren
- Vermeidung von Gesundheitsrisiken durch Staub, Abgasen, Hitze etc.

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
● ○ ○	● ● ●	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	● ○ ○
Neubau					
● ● ●	● ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●

Erläuterungen

Die Kosten und der Nutzen für diese Maßnahmen hängen von der jeweiligen lokalen Situation ab. Auf der Kostenseite ist zwischen Bestands- und Neubauquartieren zu unterscheiden. Während die Umsetzbarkeit in Bestandsquartieren eine Herausforderung darstellt, können in Neubauquartieren die Freiluftschneisen von Beginn an in die Bauleitplanung integriert werden. Auf der Nutzenseite ist abzuwägen, wie viele Einwohner*innen von der Frischluftzufuhr profitieren und wie sich die Frischluftschneise auf die gefühlte Temperatur auswirkt. Diese Aussagen lassen sich meist nur über detaillierte stadtklimatologische Gutachten treffen.

Erhöhung Grünflächenanteil

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Erhalt und Erweiterung von städtischen Grünflächen, um Flächenversiegelung zu reduzieren
- Dach- und Fassadenbegrünung (siehe Maßnahmen auf Gebäudeebene)
- Erhöhung von teilversiegelten Oberflächen, z. B. Rasengittersteine

Erwartete Auswirkungen

- Minimierung der Aufheizung / thermische Entlastungsfunktion
- Optimierung der Kühleffekte
- Reduktion der Feinstaubbelastung
- Ästhetische Aufwertung des Stadtbildes
- Erhöhung der Aufenthaltsqualität
- Natürliche Versickerung von Niederschlägen

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
Neubau					

Erläuterungen

In Bestandsquartieren gestaltet es sich schwierig, den Grünflächenanteil zu erhöhen. Meist entstehen Grünflächen auf Brachflächen oder nach dem Abbruch von Gebäuden. Im Neubauquartier können diese Flächen bereits in der Planung integriert werden.

Neben den positiven Auswirkungen/Einflüssen für das städtische Klima bieten Grünflächen der Bevölkerung einen wichtigen Erholungsraum mit Schattenfunktion.

Verschattungselement Bäume

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Gehölze spenden der Bevölkerung, Gebäuden und Infrastrukturen Schatten
- Erhöhung des Baumbestandes an öffentlichen Plätzen, Grünflächen, Straßen (Straßenbegleitgrün)
- Beachtung von klimaresistenter Artenauswahl

Erwartete Auswirkungen

- Minimierung der Aufheizung / thermische Entlastungsfunktion
- Erzeugung von Verdunstungskälte
- Reduktion Feinstaubbelastung
- Ästhetische Aufwertung des Stadtbildes
- Erhöhung Aufenthaltsqualität
- Höhere Gefahr bei Windwurf und Windbruchgefahr durch Stürme

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
●●	●●	●●	●●	●●●	●●
Neubau					
●●●	●●	●●	●●	●●●	●●●

Erläuterungen

Zukünftig müssen klimaangepasste Arten gepflanzt werden, welche gegen Trockenperioden und Hitzewellen resistent sowie sturmsicher sind (z. B. Purpurerle, Apfeldorn, Blumenesche, Thüringische Säulen-Eberesche, Sommerlinde). Die Investitionskosten eines Baumes betragen im Durchschnitt 2.500 € (inkl. Standortsanierung, Substrat, Lieferung sowie dreijähriger Pflege). Die verbrauchsgebundenen Kosten sind vorwiegend auf die Pflege zurückzuführen, wobei ca. 100 € je Baum pro Jahr (inkl. jährlicher Verkehrssicherungskontrolle und regelmäßigem Jungbaumschnitt – ca. alle 2 Jahre) anfallen.[27,28] Zu beachten sind ferner die veränderten Pflegeansprüche der klimaangepassten Arten. Die Realisierungschancen sind in Bestandsquartieren geringer, da bebaute Stadträume weniger Platz für Bepflanzungen bieten. Bei Neubauten kann es von Beginn an in die Planung integriert werden.

27 E. Sander GmbH. (o.J.)
28 Umweltamt Stadt Nürnberg. (2012)

Freihaltung von hochwassergefährdeten Gebieten

Klimaelement:

Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Instrument der Stadt- und Raumplanung zum langfristigen Schutz vor Hochwasser und der Entgegenwirkung von unangepasster Siedlungsentwicklung
- Klimawandel sorgt für eine erhöhte Anzahl an Wetterextremen (z. B. Starkregenereignisse) und den Anstieg des Grundwasserspiegels

Erwartete Auswirkungen

- Verminderung von generellen Hochwassergefahren für Bevölkerung und Infrastruktur
- Verhinderung von Hochwasserschäden an Gebäuden
- Natürliche und/oder kontrollierte Überschwemmungsflächen

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
● ○ ○	● ● ●	● ○ ○	○ ○ ○	● ○ ○	● ○ ○
Neubau					
● ● ●	○ ○ ○	● ○ ○	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●

Erläuterungen

Ähnlich wie bei den Frischluftschneisen ist die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der raumplanerischen Anpassungsmaßnahme stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig. Im Vordergrund steht deshalb die regionale Kosten-Nutzen-Betrachtung. Aufwendig ist beispielsweise die Umsiedlung von Gebäuden in hochwassergefährdeten Gebieten. Bei Neuplanungen empfiehlt es sich, hochwassergefährdete Gebiete von Bebauungen freizuhalten.

Wasserflächen im Quartier

Klimaelement: + Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Schaffung von Wasserflächen in urbanen Gebieten, z. B. offene Regenrinnen, Versickerungsmulden, künstliche Seen und Flussläufe

Erwartete Auswirkungen

- Verbesserung des Stadtklimas
- Reduzierung des städtischen Wärmeinsel-Effekts durch adiabate Verdunstungskühlung
- Sammlung von Regenwasser
- Entlastung der Kanalisation durch verzögerte Regenwasserabgabe
- Komfortgewinn aufgrund niedrigerer Temperaturen im Sommer, ohne mechanische Kühlung
- Verbesserung des Wohlbefindens im Stadtinneren

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
● ○ ○	● ● ●	● ○ ○	○ ○ ○	● ● ●	● ○ ○
Neubau					
● ● ●	● ● ○	● ○ ○	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●

Erläuterungen

Neu angelegte Frei- und Wasserflächen werden von der Bewohnerschaft vorwiegend anerkannt und vielfach genutzt. Neben den klimatischen Effekten besitzen die Wasserflächen auch eine Erholungsfunktion für die Bevölkerung und lassen sich vor allem in den Sommermonaten auch zu Freizeitzwecken nutzen. Hemmnisse bei der Umsetzung dieser Maßnahme ergeben sich durch den Platzmangel im Siedlungsbestand.

Kompakte Siedlungsstrukturen

Klimaelement: + + Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Instrument der Stadt- und Raumplanung zur nachhaltigen Flächennutzungs- und Bauleitplanung
- Brachflächen- und Lückenbebauung mit einhergehender Verdichtung der Siedlungsstrukturen
- Bestehende planerische Leitbilder „Stadt der kurzen Wege“ und „kompakte Stadt“

Erwartete Auswirkungen

- Reduzierung Verkehrsaufkommen und somit Minderung CO_2- Ausstoß (Förderung des öffentlichen Nahverkehrs und Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs)
- Kompakte Energieerzeugung und -verteilungsstrukturen, Verbesserung der Effizienz und Minderung des Treibhausgasausstoßes
- Vermeidung von Zersiedelung bzw. Flächenausdehnung der Siedlungen (Innen- vor Außenentwicklung)
- Entgegenwirken des Verfalls von Stadtgebieten (Sicherung der Qualität innerstädtischer Quartiere)
- Verschattungen durch Kompaktheit z. B. von öffentlichen Plätzen

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitions-kosten	Verbrauchs-gebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungs-chance
Bestand					
●●●	●●○	○○○	●○○	●●○	●●●
Neubau					
●●●	○○○	○○○	○○○	●●●	●●●

Erläuterungen

Laut § 1 sowie § 1a des Baugesetzbuches ist die Innen- vor der Außenentwicklung anzustreben. Kompakte Siedlungsstrukturen können im Bestand deshalb vor allen Dingen im Bereich der Brachflächenrevitalisierung umgesetzt werden. Sowohl bei Bestands- als auch bei Neubauquartieren erschließt sich beispielsweise eine Einsparung im Bereich der (technischen und sozialen) Infrastruktur. Auch wenn durch die kompakte Bauweise eine Verschattung und somit ein Kühleffekt generiert wird, weist die dichte Siedlungsstruktur ebenso Hemmnisse auf. Hierzu zählen beispielsweise die erschwerte Notentwässerung oder der Wegfall von Frischluftschneisen. Eine dichte Siedlungsstruktur steht zudem im Konflikt mit städtischen Grünflächen. Eine Bebauung von Freiflächen führt zum Wegfall von Erholungs- und Hochwasserschutzräumen und fördert wiederum das Aufheizen der Siedlungsstruktur.

Optimierung der technischen Infrastruktur

Klimaelement: + + Umsetzungszeitraum:

Kurzbeschreibung

- Maßnahmen zur Anpassung der Energieversorgung (Strom, Gas, Fernwärme etc.), Kommunikationsversorgung (Internet, Telefonie etc.), der stofflichen Ver- und Entsorgung (Müll, Abwasser, Trinkwasser etc.) und Verkehrsinfrastruktur (motorisierter Individualverkehr, öffentlicher Personennahverkehr) an die klimatischen Auswirkungen (Wetterextreme: Starkregen, Hitze, Winde)
- Versickerung, Sammlung oder Verwendung von Niederschlagswasser auf dem jeweiligen Grundstück / der jeweiligen Fläche

Erwartete Auswirkungen

- Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Reduzierung von Systemausfällen
- Hochwasserschutz durch Vorbeugung der Versickerung bzw. Sammlung von Niederschlagswasser

Kriterien

Technische Umsetzbarkeit	Investitionskosten	Verbrauchsgebundene Kosten	Reduzierung CO_2-Emissionen	Gesellschaftliche Akzeptanz	Realisierungschance
Bestand					
●●●	●●●	●	●		●
Neubau					

Erläuterungen

Die verbrauchsgebundenen Kosten belaufen sich vorwiegend auf Reparaturen, Wartungs- und Instandhaltungskosten. Durch die Anpassung der Infrastruktur an zukünftige klimatische Verhältnisse werden geringfügig CO_2 und Primärenergie eingespart. Über die Akzeptanz der Gesellschaft lässt sich nur schwer eine Aussage treffen. Ergebnisse wie die Reduzierung von Systemausfällen erfahren meist eine hohe Akzeptanz, Behinderungen aufgrund von Bauarbeiten werden oft kritisch gesehen.

Da sich die Maßnahmen auf die Optimierung der technischen Infrastruktur beschränken, können im Bereich des Neubaus keine Angaben gemacht werden. Es ist anzumerken, dass neue technische Infrastrukturen den Klimawandel und eine gesamtstädtische Sicht berücksichtigen müssen. Als Beispiel ist ein geeignetes Entwässerungskonzept (u. a. Rohrquerschnitt von Abwasserleitungen) im Hinblick auf zunehmende Starkregenereignisse anzuführen.

3 Klimaangepasste Sanierungsmaßnahmen an Praxisbeispielen

3.1 Herangehensweise

Abbildung 4: Blockbauweise Mehrfamilienhaus in Stadtilm (ThEGA)

An zwei konkreten Modellgebäuden, einem Mehrfamilienhaus (MFH) in Stadtilm und einem Nichtwohngebäude (NWG) in Erfurt sowie an einem nicht realen, jedoch typischen Einfamilienhaus (EFH) wurden ausgewählte Klimaanpassungsmaßnahmen hinsichtlich Ökonomie und Ökologie untersucht. Hierzu wurde die Simulationssoftware TOP-Energy® verwendet. Mit dieser können komplexe Energiesysteme erstellt, visualisiert sowie simuliert und die betrachteten Varianten anhand ökonomischer und ökologischer Kennzahlen miteinander verglichen werden. Dabei erfolgte die Wirtschaftlichkeitsberechnung der einzelnen Varianten im Vergleich zum Ist-Stand des jeweiligen Gebäudes. Mit dem Simulationsprogramm sind nur die Klimaanpassungsmaßnahmen, die einen nennenswerten Einfluss auf das Energiesystem des Gebäudes haben, darstellbar. Dies sind Dämmmaßnahmen und der Austausch der Fenster, im vorliegenden Fall durch Wärmeschutz-Isolierverglasung.

Als Dämmung für die unterschiedlichen klimaadaptiven Maßnahmen an der Gebäudehülle wurden nachhaltige Materialien ausgewählt. Entsprechend dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) sind die Dämmstoffe ressourcenschonend, ausreichend verfügbar und haben eine möglichst geringe Schadstoffbelas-

tung. Eine Entsorgung am Ende des Lebenszyklus sollte problemlos sein, besser ist eine weitere Verwertungsschiene. Dies ist beispielsweise bei Holzfaserplatten der Fall, die entweder thermisch entsorgt oder stofflich in der Holzwerkstoffproduktion verwertet werden können.

Zellulosedämmung besteht überwiegend aus Altpapier, meistens aus einem Umkreis von 50 bis 100 km. Da es sich um ein Recyclingmaterial handelt, trägt es zum Umweltschutz bei. Weiterhin weist Zellulose ein geringes Treibhauspotenzial auf und ist somit als nachhaltiger Dämmstoff einzustufen. Es ist darauf zu achten, dass boratfreie Produkte verwendet werden. Die Herstellung von Holzfaserdämmstoffen erfolgt aus Abfällen der Sägewerke und aus Durchforstungsholz. Als Bindemittel wird holzeigenes Lignin verwendet. In den Holzfasern ist CO_2 gebunden und eine stoffliche Nutzung trägt daher aktiv zum Klimaschutz bei. Während der Herstellung des Dämmstoffes entstehen Abwasserbelastungen. Diese können durch einen geschlossenen Kreislauf minimal gehalten werden. Als Rohstoff für Korkdämmplatten dient die Korkeiche. Diese kann etwa alle neun Jahre geschält werden. Die Dämm- und Bodenplatten sind dabei ein Nebenprodukt der Flaschenkorkenherstellung. Es werden hauptsächlich die Rest- und Abfallstoffe sowie die erste Ernte, die für die Flaschenkorkenherstellung unbrauchbar ist, verwendet. Herkunftsländer der europäischen Korkeichen sind überwiegend Portugal, Spanien und Italien. Die ausgewählten Materialien – Zellulosefasern, Holzfaserplatten und Korkplatten – bestehen demnach hauptsächlich aus Recyclingmaterial oder es handelt sich um nachwachsende Rohstoffe.

Der Betrachtungszeitraum der durchgeführten Simulationen beträgt 30 Jahre und es wurde ein Kalkulationszinssatz von 3,0 Prozent angenommen. Der Erdgaspreis für das EFH wurde mit 6,5 ct/kWh und für das MFH mit 5,49 ct/kWh angesetzt. Das NWG wird über Fernwärme versorgt. Hierfür wurde ein Preis von 6,33 ct/kWh verwendet.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Dämmmstoffe mit relevanten Kennzahlen

	Dach	**Außenwand**	**Kellerdecke**
	Zellulosefaserdämmstoff	Holzfaserplatte Energie – Komfort	Korkplatte
λ-Wert [W/m²K]	**0,04**	**0,04**	**0,04**
Materialkosten [€/m²]	**10,00** (bei 10 cm Schichtdicke)	**32,00** (bei 10 cm Schichtdicke)	**12,00** (bei 10 cm Schichtdicke)
Einbaukosten [€/m²]	**50 – 80** (Spitzdach) **35 – 45** (oberste Geschossdecke, begehbar)	**85 – 120**	**20 – 35**
Investitionskosten [€/m²]	**75,00** (Spitzdach, EFH) **50,00** (oberste Geschossdecke, MFH)	**132,00**	**40,00**

(Quellen: Zimmerei Nattrodt. (o.J.); Frahm, T. (o.J.); Energieheld GmbH. (2017b); Benz24. (o.J.); Homatherm. (o.J.); vPRESS GmbH. (2017), Deutsche Auftragsagentur GmbH. (o.J.), Korkmanufaktur. (o.J.); Energie Fachberater. (o.J.); Bosch Thermotechnik GmbH. (o.J.))

3.2 Wohngebäude

Bei dem untersuchten MFH handelt es sich um ein 1974 in Blockbauweise errichtetes viergeschossiges MFH der Wohnungsgesellschaft Stadtilm mbH. Das Gebäude hat fünf Aufgänge, ein Satteldach und ist vollunterkellert. Die Wärmeversorgung der 40 Wohneinheiten erfolgt über Gasetagenheizungen in den einzelnen Wohnungen. Anfang der 90er Jahre ist das MFH energetisch bezüglich der Gebäudehülle und der Fenster unter Einhaltung der geltenden Wärmeschutzverordnung 1982 saniert worden.

Tabelle 2: Übersicht der Kennwerte für die Wohngebäudereferenzen und der geforderten U-Werte nach EnEV 2014 für ausgewählte Bauteile bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung

		EFH (nach IWU)*	MFH (in Stadtilm)	Anforderungen U-Wert [W/m²K]
Baujahr		1958 – 1968 (EFH_E)	1974 Sanierung Anfang der 1990er	EnEV 2014
Nettogrundfläche [m²]		140,00	2.500,00	
Grundfläche [m x m]		8 x 10	12 x 60	
Geschosshöhe [m]		2,60	2,60	
Geschosse zzgl. Keller/Wohneinheiten		1,5/1	4/40	
Dach	**U-Wert [W/m²K]**	0,92	0,30 oberste Geschossdecke	**0,24**
	Fläche [m²]	113,20 Spitzdach, 45°	720,00 oberste Geschossdecke	
Außenwand	**U-Wert [W/m²K]**	1,44	0,66	**0,24**
	Fläche [m²]	135,83	1.048,30	
Fenster	**U-Wert [W/m²K]**	2,90	1,60	**1,30**
	Fläche [m²]	58,21 30 % Anteil an der Fassade (Doppelverglasung)	449,30 30 % Anteil an der Fassade (Doppelverglasung)	
Kellerdecke	**U-Wert [W/m²K]**	0,97	0,55	**0,30**
	Fläche [m²]	80,00	720,00	

* Institut Wohnen und Umwelt GmbH
(Quellen: Bundesregierung. (2013). Anlage 3. Tabelle 1; IWU. (2015b); IWU. (2005); Angaben Wohnungsgesellschaft Stadtilm sowie eigene Berechnungen IAB)

Für das EFH wurde kein reales Gebäude untersucht, sondern unter Verwendung der Deutschen Wohngebäudetypologie des Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)[1,2] ein für die Jahre 1958 bis 1968 typisches EFH für die Simulation ausgewählt. Gemäß der vom IWU erstellten Häufigkeitsverteilung wurden je 15 Prozent der aktuell bestehenden EFH zwischen 1958 und 1968 bzw. 1969 und 1978 gebaut. Die Simulation der Klimaanpassungsmaßnahmen erfolgte an einem EFH der Baualtersklasse E (EFH_E). Das Gebäude hat ein Steildach, 1,5 Geschosse und ist voll unterkellert. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einer Gastherme. Eine Übersicht der für die Simulation verwendeten gebäudespezifischen Kennwerte (dabei handelt es sich um Durchschnittswerte für diese Baualtersklasse) sowie die nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 derzeit geforderten U-Werte[3] kann Tabelle 2 entnommen werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die spezifischen Kosten für die Dämmstoffe aufgeführt. Diese beinhalten neben dem schichtdickenabhängigen Materialpreis die Kosten für die Montage, es handelt sich dabei um Richtwerte. Die Kosten für Handwerksbetriebe variieren von Region zu Region und zwischen städtischen und ländlichen Betrieben. Weiterhin sind die zur Erreichung der nach EnEV geforderten U-Werte (siehe Tabelle 2) benötigten Dämmstärken der jeweils verwendeten Dämmstoffe aufgeführt.

Tabelle 3: Verwendete spezifische Kosten (Material inkl. Montage) bei der benötigten Dämmstärke für die simulierten Klimaanpassungsmaßnahmen im Wohngebäude

		EFH	MFH
Dachdämmung (Zellulose)	Dämmstärke	12,5 cm	3,5 cm
	spezifische Kosten	85 €/m²	50 €/m²
Außenwanddämmung (Holzfasern)	Dämmstärke	14,0 cm	11,0 cm
	spezifische Kosten	160 €/m²	150 €/m²
Kellerdeckendämmung (Korkplatten)	Dämmstärke	9,0 cm	6,0 cm
	spezifische Kosten	40 €/m²	35 €/m²
Wärmeschutzisolierverglasung	spezifische Kosten	330 €/m²	330 €/m²

(Quellen: Zimmerei Nattrodt. (o.J.); Frahm, T. (o.J.); Energieheld GmbH. (2017b); vPRESS GmbH. (2017); Deutsche Auftragsagentur GmbH. (o.J.); Homatherm. (o.J.); Benz24. (o.J.); Korkmanufaktur. (o.J.); Energie Fachberater. (o.J.); Bosch Thermotechnik GmbH. (o.J.); Energieheld GmbH. (2017c))

1 IWU. (2005). Deutsche Wohngebäudetypologie – Systematik und Ansätze
2 IWU. (2015b). Deutsche Wohngebäudetypologie – beispielhafte Maßnahmen
3 Der U-Wert oder Wärmedurchgangskoeffizient (früher k-Wert) ist ein Maß für die Wärmedurchlässigkeit eines Bauelements. Er gibt an, wie viel Wärme je Quadratmeter Fläche bei einem Kelvin Temperaturunterschied durch das Bauelement fließt (Paschotta, R. (2017c)).

ERGEBNISSE

Mit dem Simulationsprogramm TOP-Energy® wurden zunächst die bestehenden Gebäude als Referenz angelegt und anschließend die jeweiligen klimaangepassten Einzelmaßnahmen bzw. eine Kombination der simulierbaren Einzelmaßnahmen berechnet. Ausgewählte Ergebnisse für die beiden betrachteten Wohngebäude sind nachfolgend dargelegt.

Eine wesentliche Kenngröße sind die Investitionskosten (siehe Abbildung 5) für die jeweiligen Klimaanpassungsmaßnahmen.

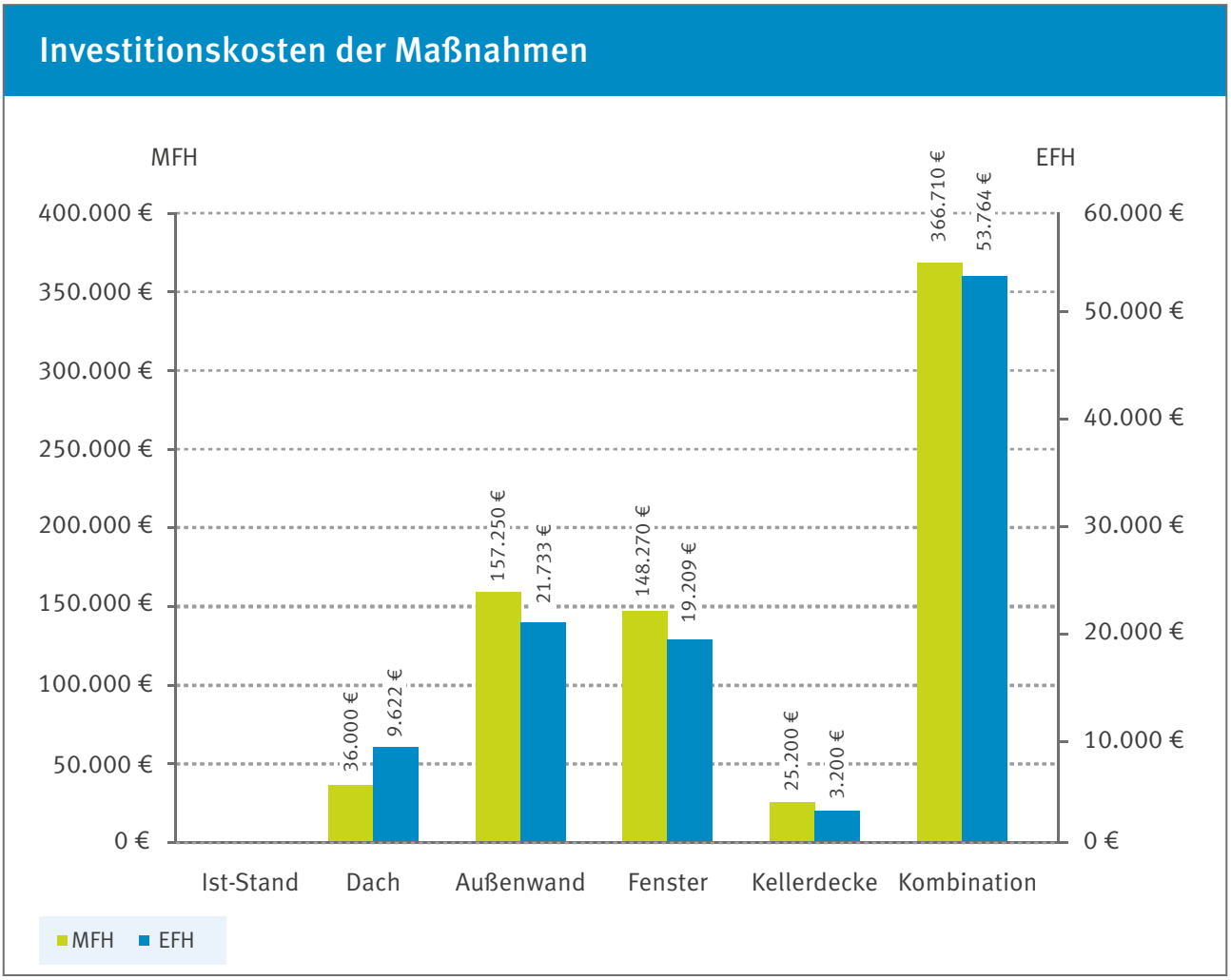


Abbildung 5: Vergleich der Investitionskosten der untersuchten Klimaanpassungsmaßnahmen im MFH und EFH

Am günstigsten ist jeweils die Dämmung der Kellerdecke, gefolgt von Dämmmaßnahmen am Dach bzw. der obersten Geschossdecke. In der Variante Kombination werden die vier Maßnahmen im Paket untersucht. Die Investitionskosten sind durch die Aufsummierung der Einzelkosten entsprechend hoch.

Eine weitere Kenngröße, um die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen beurteilen zu können, sind die Energiebezugskosten (siehe Abbildung 6). Diese beinhalten für die betrachteten Klimaanpassungsmaßnahmen lediglich die Brennstoffbezugskosten, in diesem Fall für Erdgas. Die Strom-

verbräuche und -kosten ändern sich durch die Dämmmaßnahmen oder den Fenstertausch nicht und wurden im Rahmen der Simulation daher nicht betrachtet.

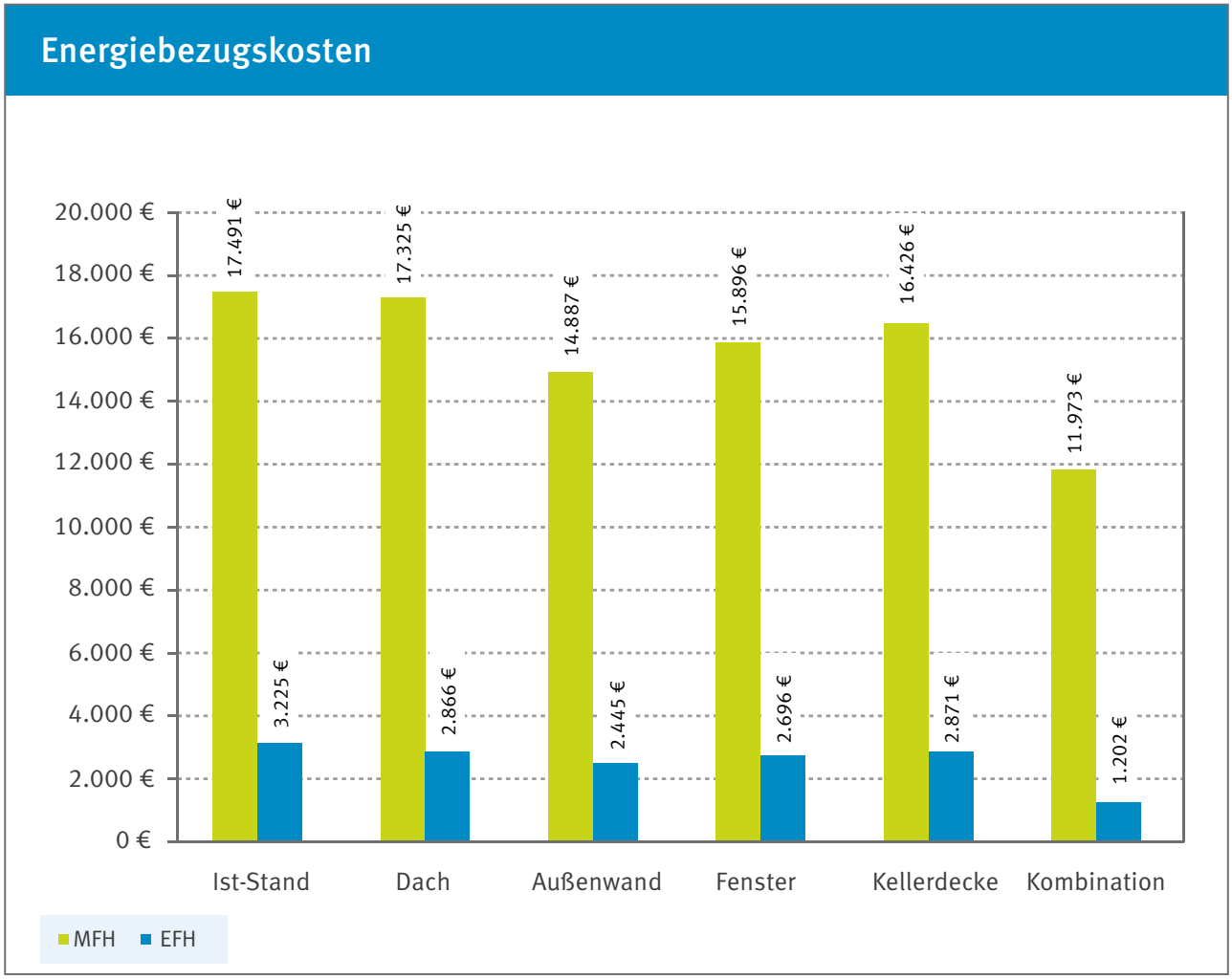


Abbildung 6: Vergleich der Energiebezugskosten der untersuchten Klimaanpassungsmaßnahmen im MFH und EFH

Erwartungsgemäß treten die höchsten Kostenreduktionen bei den Kosten für den Energiebezug bei der Kombination der Maßnahmen auf. Von den Einzelmaßnahmen können durch die Dämmung der Außenwand im EFH ca. 780 € und im MFH ca. 2.600 € jährlich eingespart werden. Die geringste Einsparung bei den Energiebezugskosten wird im MFH durch die Dämmung der obersten Geschossdecke und im EFH durch die Dämmung des Daches bzw. der Kellerdecke erlangt. Allerdings stehen den Einsparungen die Investitionskosten gegenüber. Daher wurden als ein weiterer Kennwert die Amortisationszeiten herangezogen. Diese sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Amortisationszeiten der untersuchten Klimaanpassungsmaßnahmen im MFH und EFH in Jahren (a)

	Dach	Außenwand	Fenster	Kellerdecke	Kombination
MFH	25 a	20 a	23 a	13 a	21 a
EFH	14 a	14 a	16 a	7 a	14 a

Die Amortisationszeit gibt den Zeitraum an, in dem das durch eine Investition gebundene Kapital zurückgeflossen ist[4]. Die geringste Amortisationszeit weist in beiden Fällen die Dämmung der Kellerdecke auf, wohingegen im MFH die Dachdämmung und im EFH der Fenstertausch mit Wärmeisolierverglasung die höchsten Amortisationszeiten aufweisen.

Die U-Wert-Änderung aufgrund einer Außenwanddämmung ist zwar beim MFH nur unwesentlich höher als beim Fenstertausch, aber die betreffende Fläche ist mehr als doppelt so groß. Damit ergibt sich eine höhere Einsparmöglichkeit und somit trotz etwas höherer Investitionskosten eine niedrigere Amortisationszeit.

Neben den wirtschaftlichen Aspekten wurden die ökologischen Auswirkungen der Klimaanpassungsmaßnahmen untersucht. Dafür wurden der Wärmebedarf (siehe Abbildung 7) und die CO_2-Einsparungen der Maßnahmen im Vergleich zum Referenzgebäude (siehe Abbildung 8) berechnet.

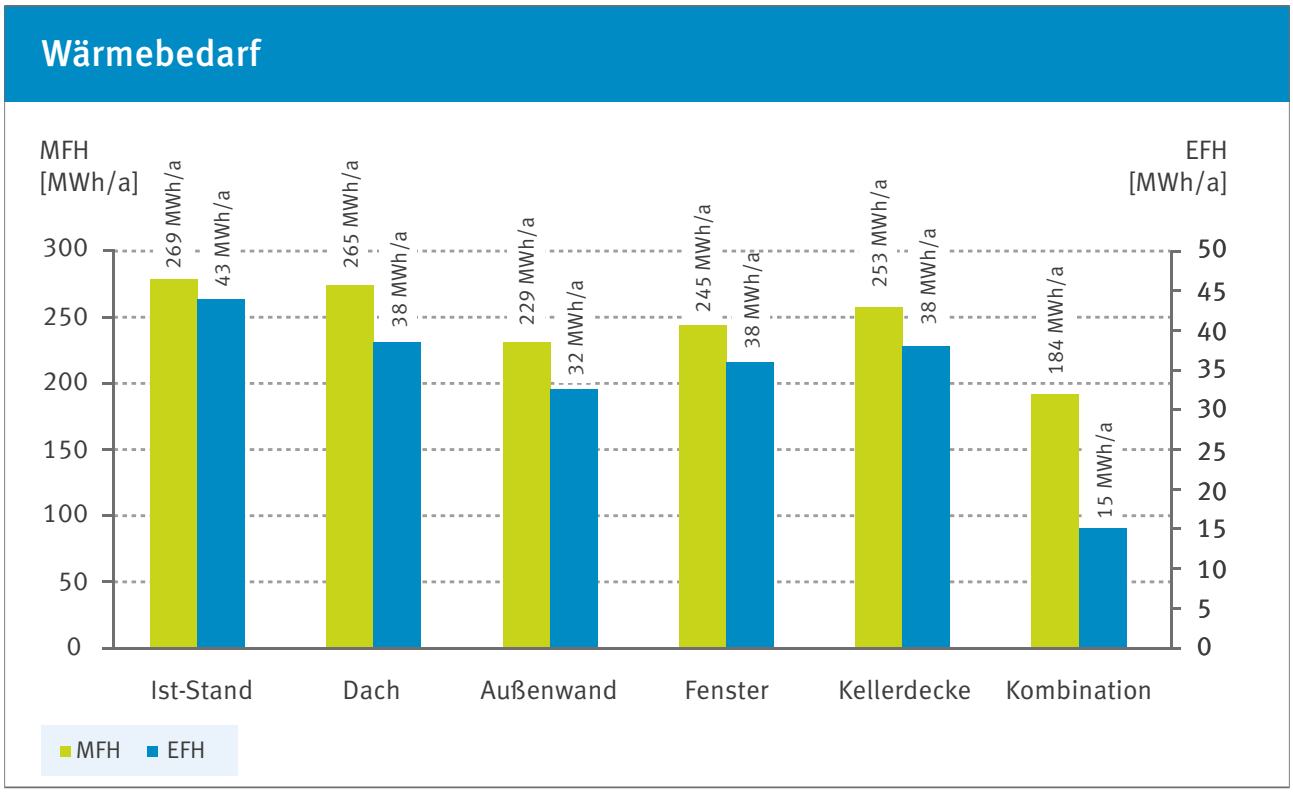


Abbildung 7: Vergleich des Wärmebedarfs der untersuchten Klimaanpassungsmaßnahmen im MFH und EFH

4 Stiller, G. (o.J.). Amortisationszeit

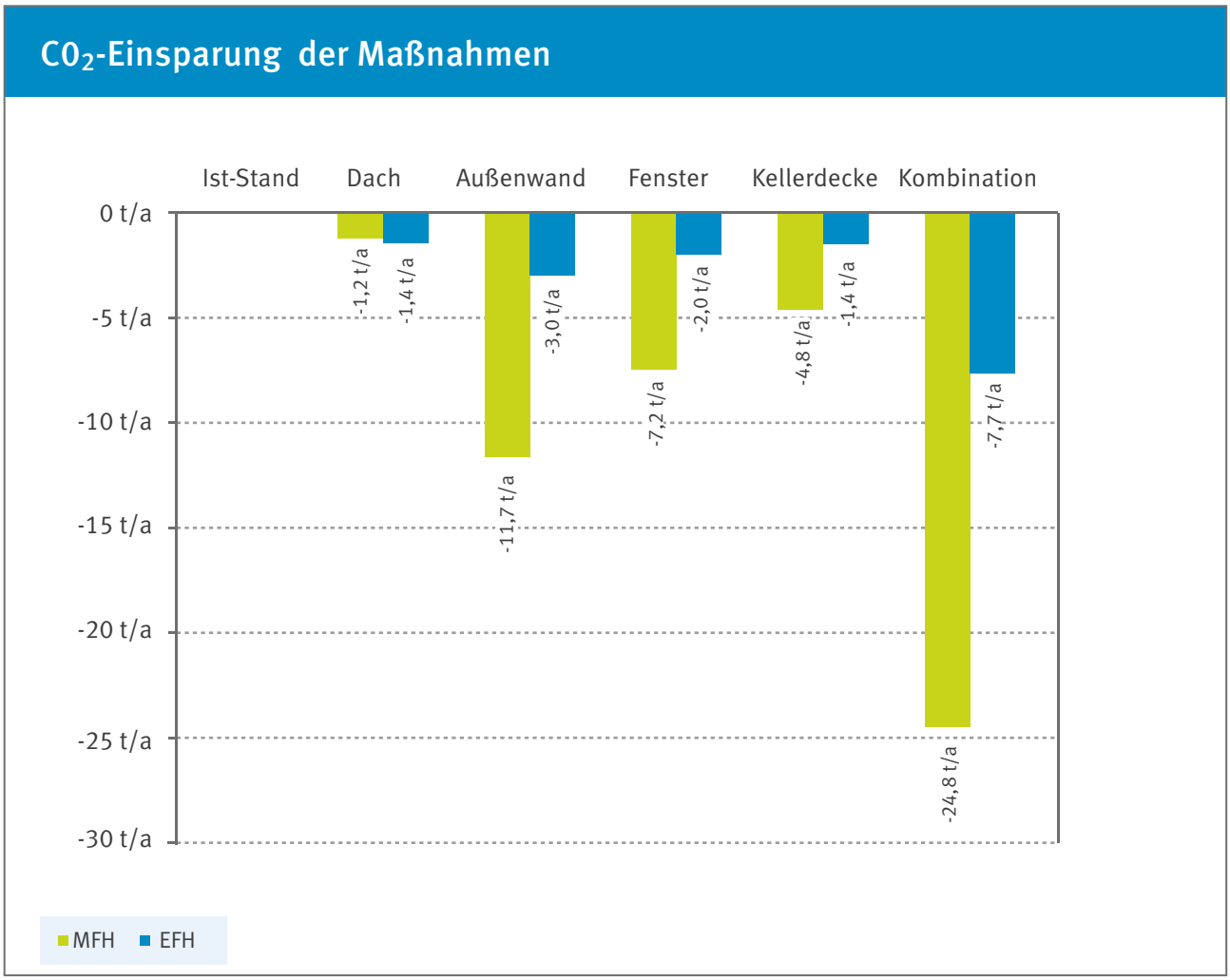


Abbildung 8: Vergleich der CO_2-Einsparungen der untersuchten Klimaanpassungsmaßnahmen im MFH und EFH

Das Referenz-MFH emittiert 78,28 t CO_2 pro Jahr und das Referenz-EFH jährlich 11,80 t. Nach der Kombination der einzelnen Maßnahmen bewirkt die Dämmung der Außenwand mit 15 Prozent beim MFH bzw. 25 Prozent beim EFH die höchste CO_2-Einsparung gegenüber dem Referenzgebäude. In beiden Fällen ist auch der Wärmebedarf am geringsten. Im MFH spart die Dachdämmung mit 1,5 Prozent und im EFH die Dämmung der Kellerdecke mit 11,4 Prozent bzw. die Dachdämmung mit 11,6 Prozent am wenigsten CO_2 ein. Hier ist jeweils der Wärmebedarf neben dem Ist-Stand am größten. Die Kombination der klimaangepassten Maßnahmen spart im MFH rund 32 Prozent und im EFH 65 Prozent der derzeitigen Emissionen ein.

3.3 Nichtwohngebäude

Abbildung 9: Kommunales Nichtwohngebäude am Steinplatz in Erfurt (ThEGA)

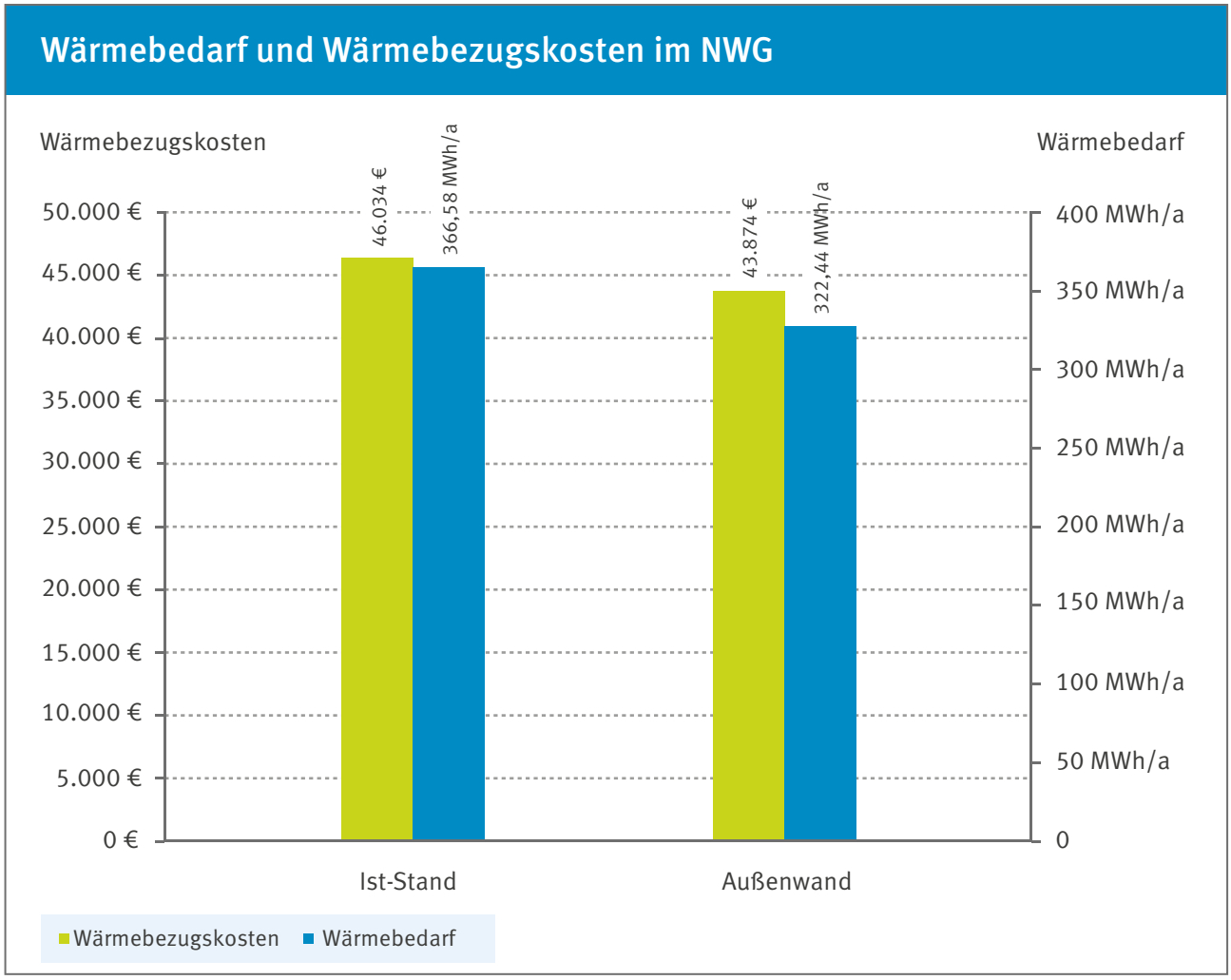
Das betrachtete NWG ist ein 1962 errichtetes Verwaltungsgebäude in Erfurt mit einer Nettogrundfläche von 5.788 m². Es wurde Anfang der 1990er Jahre energetisch saniert und ist fernwärmeversorgt. In der nachfolgenden Tabelle 5 ist eine Übersicht der für die Simulation verwendeten gebäudespezifischen Kennwerte und der nach EnEV 2014 bei Ersatz oder Erneuerung geforderten U-Werte dargestellt. Das Dach und die Fenster halten die geforderten U-Werte bereits ein und für die Kellerdecke sind im Nichtwohngebäudebereich keine Anforderungen formuliert. Demnach wurde nur die Dämmung der Außenwand simuliert.

Tabelle 5: Übersicht der Kennwerte für die Nichtwohngebäudereferenz und der geforderten U-Werte nach EnEV 2014 für ausgewählte Bauteile bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung

		NWG (Erfurt)	Anforderungen U-Wert [W/m²K]
Baujahr		1962 Sanierung Anfang der 1990er	EnEV 2014
Nettogrundfläche [m²]		5.788,00	
Grundfläche [m x m]		14 x 59	
Geschosshöhe [m]		2,60	
Geschosse zzgl. Keller/Wohneinheiten		7/0	
Dach	**U-Wert [W/m²K]**	0,30 oberste Geschossdecke	**0,35**
	Fläche [m²]	826,00 Flachdach	
	Dämmstoff	Zellulosefaserdämmstoff (λ-Wert: 0,04 W/mK)	
Außenwand	**U-Wert [W/m²K]**	0,66	**0,35**
	Fläche [m²]	1.594,30	
	Dämmstoff	Holzfaserplatte Energieplus – Komfort (λ-Wert: 0,04 W/mK)	
Fenster	**U-Wert [W/m²K]**	1,60	**1,90**
	Fläche [m²]	1.062,90 40 % Anteil an der Fassade (Doppelverglasung)	
Kellerdecke	**U-Wert [W/m²K]**	0,55	**Keine Anforderungen**
	Fläche [m²]	826,00	
	Dämmstoff	Korkplatte (λ-Wert: 0,04 W/mK)	

(Quelle: Bundesregierung. (2013). Anlage 3. Tabelle 1; IWU. (2015b); IWU. (2005). Angaben Stadtverwaltung Erfurt (u. a. Energieausweise) sowie eigene Berechnungen IAB)

Mit dem Simulationsprogramm TOP-Energy® wurde zunächst das bestehende Nichtwohngebäude als Referenz angelegt und anschließend die Dämmung der Außenwand berechnet. Die Investitionskosten für die Dämmung betragen 207.260 Euro und die Amortisationszeit beträgt 11 Jahre. Den Wärmebedarf und die Wärmebezugskosten des Referenzgebäudes und des Gebäudes nach erfolgter Dämmung der Außenwand zeigt die nachfolgende Abbildung auf.



Wärmebedarf und Wärmebezugskosten im NWG

Abbildung 10: Vergleich des Wärmebedarfs und der Wärmebezugskosten des Referenz-NWG vor und nach berechneter Außenwanddämmung

Durch die Dämmmaßnahme könnten der Wärmebedarf um ca. 9 Prozent und die Wärmebezugskosten um knapp 5 Prozent gesenkt werden. Die CO_2-Emissionen würden dabei von derzeit rund 120 t/a auf rund 93 t/a sinken, dies entspricht einer Reduzierung um 22,6 Prozent. Die Dämmung der Außenwand ist im Zuge anstehender Sanierungsmaßnahmen an der Fassade empfehlenswert.

3.4 Empfehlungen und Fazit

WOHNGEBÄUDE

Die Kombination der Maßnahmen und die Außenwanddämmung bringen die größten ökologischen Effekte, sind aber in der Durchführung am teuersten. Die ökonomischen und vor allem die ökologischen Auswirkungen sind stark vom Ausgangszustand des betrachteten Gebäudes abhängig. So sind die Einsparmöglichkeiten (Emissionen und Energiebezugskosten) für das energetisch schlechtere EFH höher als für das untersuchte MFH. Für das betrachtete MFH können die Dämmung der Außenwand und der Kellerdecke als Maßnahmen empfohlen werden. Eine Dämmung der obersten Geschossdecke hat ökologisch die geringsten Auswirkungen und bringt nur geringe Einsparungen bei den Energiebezugskosten. Die Maßnahme würde sich erst nach 25 Jahren amortisieren.

Für das untersuchte EFH sind im Prinzip alle Maßnahmen empfehlenswert. Die Einsparmöglichkeiten beim Energiebezug liegen jährlich zwischen ca. 360 € und ca. 780 € je nach Einzelmaßnahme.

NICHTWOHNGEBÄUDE

Die Dämmung der Außenwand ist im Zuge anstehender Sanierungsmaßnahmen an der Fassade empfehlenswert.

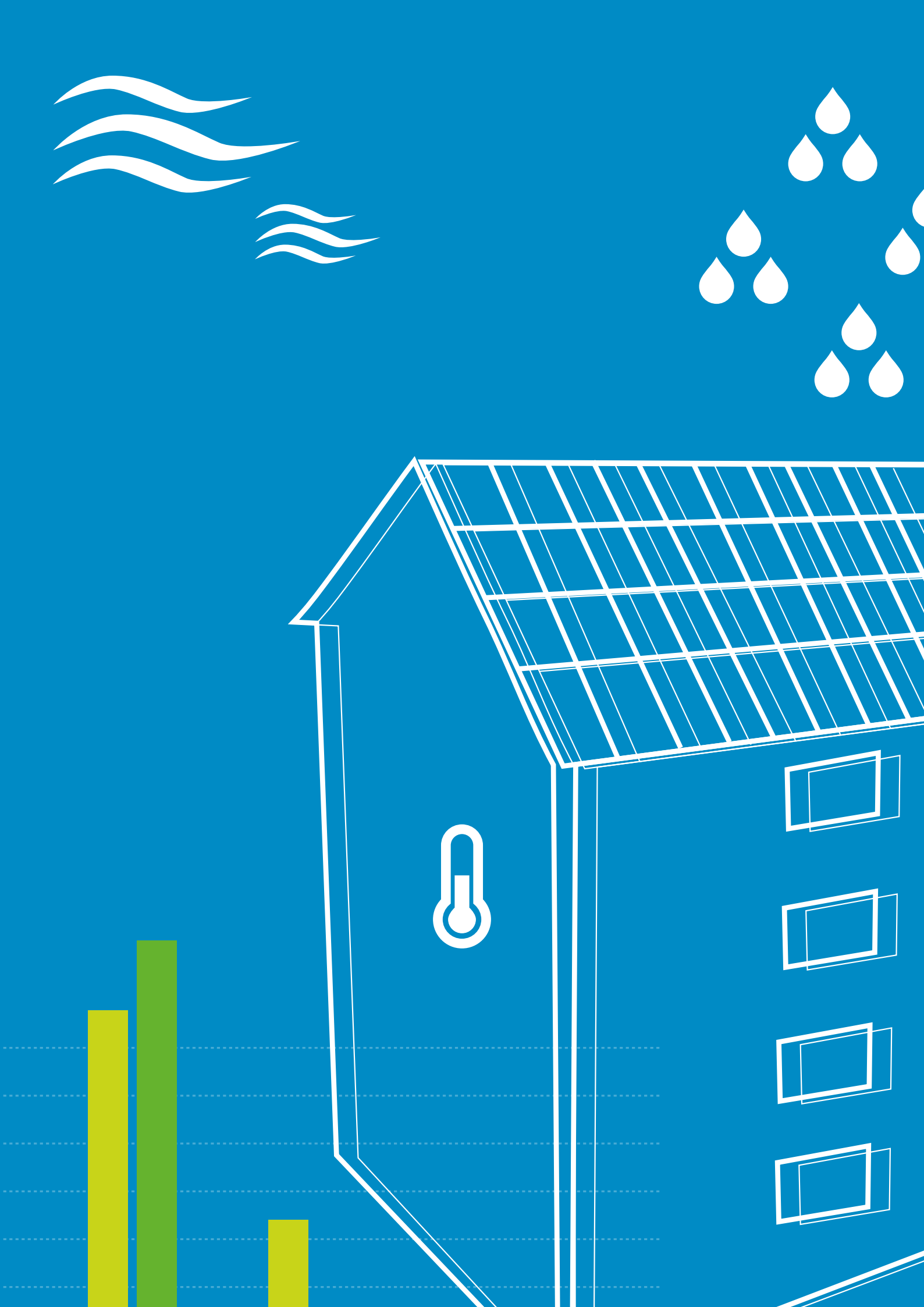
FAZIT

Die simulierten Dämmmaßnahmen und der Fenstertausch stellen nur einen Bereich der möglicher Klimaanpassungsmaßnahmen dar. Der erste Teil dieser Broschüre stellt weitere Maßnahmen vor. Neben der reinen wirtschaftlichen Betrachtung bei der Bewertung spielen viele weitere Faktoren eine Rolle, wie beispielsweise die Einsparung/Reduktion von Emissionen oder eine Verbesserung des Wohnklimas und damit des Wohlfühleffektes (u. a. durch Begrünung, Kühlung). Gerade letztgenannte sind derzeit ökonomisch nicht oder nur sehr schwer bewertbar und auch die Effekte für das Klima, die ökologische Bewertung, sind nur schwer in messbaren Zahlen zu fassen. Nichtsdestotrotz haben die vorgestellten Klimaanpassungsmaßnahmen einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden und den Wohnkomfort der Bürger*innen bzw. tragen zur Schadensminderung/-vermeidung bei. Beispielsweise können die Auswirkungen einer Dachbegrünung mit der verwendeten Software nicht simuliert werden, trotzdem werden in vielen Studien und Untersuchungen die Vorteile aufgeführt. Diese reichen von der Verbesserung des Stadtklimas und der Schadstoffreduktion (abhängig vom Bewuchs) über eine Verbesserung des Gebäudeklimas bis zum Schutz des Daches vor Wettereinflüssen. Insbesondere die Dachabdichtungen und die Dachhaut werden durch den Bewuchs vor der Witterung und Temperaturschwankungen geschützt. Dies erhöht die Lebensdauer eines begrünten Flachdaches gegenüber einer konventionellen Kiesabdeckung. Ferner wird Regenwasser gespeichert und zeitlich versetzt in die Kanalisation abgegeben, wobei ein Teil verdunstet und von den Pflanzen aufgenommen wird. Wer ein Gründach hat, zahlt daher oftmals niedrigere Niederschlags-Wassergebühren[5,6]. Bei den durchgeführten Berechnungen und Bewertungen der einzelnen vorgestellten Maßnahmen wurden keine Vermeidungskosten von Schäden durch Wind, Temperatur oder Niederschlag berücksichtigt.

5 Hamburg. (o.J.). Vorteile von Gründächern
6 BuGG. (o.J.). Wirkungen, Vorteile – Dachbegrünung

Diese können vor dem Hintergrund lang anhaltender Hitzewellen im Sommer, den zunehmenden Starkregenereignissen vor allem im Winter sowie wesentlich stärkeren Stürmen an Bedeutung gewinnen. Generell müssen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen zusammengedacht werden, auch wenn es in Einzelfällen zu Zielkonflikten zwischen den Maßnahmen kommen kann. Ein Beispiel ist eine kompakte Bauweise, die sich durch Flächen- und Energieeinsparungen auszeichnet und damit im Sinne des Klimaschutzes positiv zu bewerten ist. Andererseits zeichnet sich eine hohe städtebauliche Dichte meistens auch durch eine starke Versiegelung sowie wenig Grün- und Freiflächen aus und ist aus Sicht der Klimaanpassung eher negativ zu bewerten. So kann unter Umständen der Regenabfluss erschwert werden. Durch gezielte Steuerung lassen sich negative Effekte vermeiden und ein Kompromiss aus angemessener städtebaulicher Dichte sowie ausreichender Begrünung und Freiflächen finden.

Im Bereich des Klimaschutzes haben sich in den letzten Jahren, vor allem bei der Nutzung von erneuerbaren Energien, diverse Geschäftsmodelle entwickelt. Beispiele sind unterschiedliche Contracting- oder Mieterstrommodelle. Einige Anpassungsmaßnahmen wie Gebäudedämmung bringen den Nutzer*innen/Eigentümer*innen/Mieter*innen neben einem Komfortgewinn auch Einsparungen bei den Energiekosten. Der finanzielle Nutzen für die Investor*innen gestaltet sich wesentlich schwieriger. Einzelne Maßnahmen, beispielsweise Dämmung, sommerlicher Wärmeschutz oder die Erneuerung der Fenster, werden daher über Förderprogramme unterstützt. Die Fördermöglichkeiten unterscheiden sich dabei nach Investor*innen und geplanten Maßnahmen. Für Wohn- und Nichtwohngebäude stehen diverse Förderprogramme für die energetische Sanierung inklusive einzelner Maßnahmen, die der Klimaanpassung dienen, zur Verfügung, u. a. bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) oder dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Weiterhin gibt es diverse Förderprogramme zur Nutzung erneuerbarer Energien inkl. Speicherung, zum Anschluss an ein Wärmenetz oder den Heizungstausch, wie beispielsweise das Marktanreizprogramm (MAP) des Bundes. Kommunen können im Rahmen der energetischen Stadt- und Quartierssanierung einzelne klimaadaptive Maßnahmen gefördert bekommen. Die Kommunalrichtlinie bietet u. a. die Möglichkeit, ein Klimaschutzteilkonzept mit dem Schwerpunkt Anpassung an den Klimawandel erstellen zu lassen. Gerade im Zusammenhang mit bevorstehenden Sanierungsmaßnahmen sollten daher Synergien mit Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.



Quellenverzeichnis

Benz24. (o.J.). Homatherm Holzfaserplatte EnergiePlus massiv. Abgerufen am 19.10.2017 von Benz GmbH & Co. KG Baustoffe: https://benz24.de/homatherm-holzfaserplatte-energieplus-massive.html?emcs0=1&emcs1=alternative-products&emcs2=4527&emcs3=2241

Berschneider GmbH. (o.J.). maxit Solaren Fassadenfarbe. Abgerufen am 15.12.2017 von putz-farbe.kaufen: http://www.putz-farbe.kaufen/maxit-solaren-fassadenfarbe.html.

Bosch Thermotechnik GmbH. (o.J.). Kosten einer Wärmedämmung. Abgerufen am 07.12.2017 von Effizienzhaus-online: https://www.effizienzhaus-online.de/kosten-waermedaemmung

BuGG. (o.J.). Wirkungen, Vorteile – Dachbegrünung. Abgerufen am 11.06.2018 von Bundesverband GebäudeGrün e.V.: https://www.gebaeudegruen.info/gruen/dachbegruenung/wirkungen-vorteile-fakten/wirkungen-vorteile/

Bundesregierung. (2002). Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 02.01.2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 20.07.2017 (BGBl. I S. 2787). Berlin.

Bundesregierung. (2013). Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014. Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. September 2013 (BGBl). I S. 3951). Berlin.

Deutsche Auftragsagentur GmbH – DAA. (o.J.). Außendämmung: Kosten & Preise für Handwerker. Abgerufen am 07.12.2017 von Dämmen und Sanieren: https://www.daemmen-und-sanieren.de/daemmung/kosten/aussendaemmung

E. Sander GmbH. (o.J.) Der Klimabaum-Katalog: Stressresistenz – Gesundheit – Zukunft für Stadt und Land. Abgerufen am 27.09.2017 von: http://www.e-sander.de/wp-content/uploads/2015/11/Klimabaum-Katalog-E.-Sander-Baumschulen.pdf

Energie Fachberater. (2016). Sonnenschutzverglasung und Rollladen halten Hitze im Rahmen. Abgerufen am 12.04.2017 von: http://www.energie-fachberater.de/fassade/fenster/sonnenschutzverglasung-und-rollladen-halten-hitze-im-rahmen.php

Energie Fachberater. (2016a). Dachdämmung. Abgerufen am 14.04.2017 von: http://www.energie-fachberater.de/daemmung/dachdaemmung/

Energie Fachberater. (o.J.). Kellerdeckendämmung. Abgerufen am 13.04.2017 von: http://www.energie-fachberater.de/daemmung/daemmung-keller/kellerdeckendaemmung/

Energieheld GmbH. (2017). Fassadendämmung – Kosten, Förderung und Amortisation. Abgerufen am 04.05.2017 von: https://www.energieheld.de/daemmung/kosten/fassadendaemmung

Energieheld GmbH. (2017b). Oberste Geschossdecke dämmen – Kosten, Förderung und Umsetzung. Abgerufen am 07.12.2017 von: https://www.energieheld.de/dach/dach daemmung/geschossdecke

Energieheld GmbH. (2017c). Preise im Vergleich: Kosten für neue Energiespar-Fenster. Abgerufen am 06.12.2017 von: https://www.energieheld.de/fenster/kosten/energiesparfenster

Frahm, T. (o.J.). Dachdämmung & Dach Wärmedämmung im Überblick. Abgerufen am 07.12.2017 von Dämmen und Sanieren: https://www.daemmen-und-sanieren.de/dach/daemmung

Hamburg. (o.J.). Vorteile von Gründächern. Abgerufen am 11.06.2018 von Gründach: http://www.hamburg.de/gruendach/5714340/vorteile-gruendach/

Homatherm. (o.J.). Preisliste 2017. Abgerufen am 19.10.2017 von: http://www.homatherm.com/wp-content/uploads/downloads/de/Preisliste.pdf

IWU. (2005). Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze. Abgerufen am 25.09.2017 von Institut Wohnen und Umwelt (IWU) GmbH: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf

IWU. (2015b). Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Darmstadt.

Korkmanufaktur. (o.J.). Natürliche Dämmung aus Kork. Abgerufen am 19.10.2017 von Korkdämmplatten: http://www.kork-manufaktur.de/daemm-kork.html

maxit Baustoffwerke GmbH. (2017). maxit Solarfarbe – technisches Merkblatt. Abgerufen am 15.12.2017 von Solaraktive Fassadenfarbe: https://www.maxit-kroelpa.de/lieferprogramm/produkt/maxit-solarfarbe-a-weiss.html

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Referat 10 – Koordination, Kommunikation, Internationales. (2014) Grün im Dorf – Gärten und Freiflächen in Brandenburg. Abgerufen am 27.09.2017 von: http://www.mil.brandenburg.de/media_fast/4055/Gr%C3%BCn-im-Dorf_4.Auflage_2014.pdf

MyHammer AG. (o.J.). Was kostet Fassade streichen? Abgerufen am 15.12.2017 von: https://www.my-hammer.de/preisradar/was-kostet-fassade-streichen/

Optigrün international AG. (2017). Begrünungsarten: extensive und intensive Dachbegrünung. Abgerufen am 17.04.2017 von: https://www.optigruen.de/planerportal/fachthemen/extensivintensiv/

Paschotta, R. (2017c). Wärmedurchgangskoeffizient. Abgerufen am 06.07.2017 von RP-Energie-Lexikon: https://www.energie-lexikon.info/waermedurchgangskoeffizient.html

Schwarzer.de Software + Internet GmbH. (2016). Fassaden streichen: Infos, Kosten & mehr. Abgerufen am 15.12.2017 von Architektur-Welt: http://www.architektur-welt.de/fassade-streichen-infos-kosten-mehr/

Speidel Tank- und Behälterbau. (2017). Komplettset „Haus und Garten Comfort“ 3000 Liter. Abgerufen am 27.09.2017 von: https://shop.speidel-regenwasser.de/de/Komplettsets/Komplettset-Haus-und-Garten-Comfort-3.000-ltr.?action_ms=1.

Statistisches Bundesamt. (2017). Einkommen, Einnahmen & Ausgaben. Abgerufen am 24.07.2017 von Einkommen, Konsum, Lebensbedingungen: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/EinkommenEinnahmenAusgaben/EinkommenEinnahmenAusgaben.html

Stiller, Gudrun. (o.J.). Amortisationszeit. Abgerufen am 01.02.2017 von Wirtschaftslexikon24: http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/amortisationszeit/amortisationszeit.htm

UBA. (2012). Umweltbundesamt. Climate change 10/2012: Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel: Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. Stand Juni 2012. Dessau-Roßlau.

Umweltamt Stadt Nürnberg. (2012). Handbuch Klimaanpassung. Abgerufen am 12.04.2017 von: https://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaanpassung/dokumente/klimaanpassung_handbuch_low.pdf.

Verband Thüringer Wohnungs- und Immobilienwirtschaft e.V. – vtw. (2017). Daten und Fakten 2017 der unternehmerischen Wohnungswirtschaft in Thüringen – Langfassung. Abgerufen am 08.12.2017 von: http://vtw.de/wp-content/uploads/Daten-und-Fakten-2017-Langfassung.pdf

vPRESS. GmbH. (2017). Wärmedämmung: Kosten. Abgerufen am 07.12.2017 von Energiesparen im Haushalt: http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/modernisierung-haus/nachtraegliche-waermedaemmung/waermedaemmung-kosten.html

Zimmerei Nattrodt. (o.J.). Zellulosedämmung, die ökologische Einblasdämmung – Energie sparen. Abgerufen am 19.10.2017 von Dämmung Vollwärmeschutz: http://www.sichtdachstuhl.de/Daemmung.html

Impressum

Herausgeber
Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)
Mainzerhofstraße 10
99084 Erfurt
www.thega.de

Inhaltliche Konzeption
Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e.V.,
IAB - Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH,
Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)

Datenerfassung und inhaltliche Bearbeitung
Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e.V.: Maria Ehrich, Jana Liebe
IAB – Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH: Bianca Jelinek, Dr. Ulrich Palzer, Torsten Schmidt, Florian Zunkel

Design
www.raabendesign.de

Fotos
Titelbild: Haus mit Efeu-Fassadenbegrünung in Erfurt (ThEGA/Michael Günther Photography)
S. 10: Dachbegrünung und Verschattungselemente, Kita in Erfurt (ThEGA)
S. 11: Außenliegende Verschattungselemente am Gebäude (ThEGA)
S. 39: Blockbauweise Mehrfamilienhaus in Stadtilm (ThEGA)
S. 47: Kommunales Nichtwohngebäude am Steinplatz in Erfurt (ThEGA)

Stand
September 2018

WEITERE PUBLIKATIONEN

KlimAdapTiT
Entwicklung von Klima-Adaptionsstrategien und -Technologien in Thüringen

Anpassungen an den Klimawandel
Maßnahmenkatalog der Landeshauptstadt Erfurt

KlimAdapTiT
Entwicklung von Klima-Adaptionsstrategien und -Technologien in Thüringen

Anpassungen an den Klimawandel
Maßnahmenkatalog des Landkreises Ilm-Kreis

www.thega.de

Folgen Sie uns:

www.thega.de/facebook
www.thega.de/twitter
www.thega.de/newsletter

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier, ausgezeichnet mit dem Blauen Umweltengel.