

---

# Leitfaden nachhaltige Low-Tech Gebäude

## Weiterentwicklung eines Beratungsangebotes

---

### **Masterthesis**

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (M. Sc.)  
im Studiengang Ressourceneffizientes Bauen  
an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Johannes Simeon Adler

März 2021

Das Einfache ist nicht immer das Beste, aber das Beste ist immer einfach.

Heinrich Tessenow

Vorgelegt von: **Johannes Simeon Adler**  
Ressourceneffizientes Bauen  
Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Betreut von: **Prof. Dipl.-Ing. Architekt Ludger Dederich**  
Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg  
Schadenweilerhof  
72108 Rottenburg a.N.

**Dipl.-Ing. Architekt Felix Geyer**  
Energie und Umweltzentrum Allgäu gGmbH  
Burgstr. 26  
87435 Kempten

Datum: 28.03.2021

### **Hinweise zur gendergerechten Sprache**

In der vorliegenden Arbeit wird die „*Empfehlungen für eine gendergerechte Sprache an der HFR vom 17.09.2020*“ umgesetzt. Daraus ergibt sich, dass für die Ansprache beider Geschlechter und guter Lesbarkeit möglichst neutrale Begriffe verwendet werden (z.B. wird aus Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner Ansprechpersonen). Ist dies nicht möglich, wird die \*-Schreibweise verwendet (z.B. Nutzer\*innen).

Für weitere Informationen siehe:

<https://www.hs-rottenburg.net/hochschule/einrichtungen-der-hfr/gleichstellungsbuero/>

# Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein Beratungsangebot für die Planung von Low-Tech Gebäuden weiterentwickelt. Dazu wird auf die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „Low-Tech“ eingegangen und diese in einen historischen und aktuellen Kontext eingeordnet. Ausgehend von verschiedenen Auffassungen von dem Begriff „Low-Tech“ wird der Begriff in dieser Arbeit als „Planungsprinzip, das Gebäudetechnik reduziert und gleichzeitig die Nachhaltigkeit des gesamten Gebäudes maximiert“ definiert.

Zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes werden drei Strategien zur Reduktion von Gebäudetechnik unter Auswertung von Literatur entwickelt. Die Strategie „Nutzung passiver Potenziale“ zeigt Möglichkeiten auf, wie der Wärmebedarf während der Heizperiode gesenkt und der sommerliche Wärmeschutz ohne den Einsatz von Gebäudetechnik verbessert werden kann. Die Strategie „Suffizienz in der Gebäudetechnik“ zeigt, dass eine „schlanke“ Gebäudetechnik möglich ist. Dies wird anhand von verschiedenen Lüftungskonzepten vertieft. Die Strategie „Robustheit“ zeigt verschiedene Möglichkeiten zur Beeinflussung der „Performance Gap“. Diese sind zum einen die Wahl der verwendeten Technologien und zum anderen eine Sensibilisierung der Nutzer\*innen.

Die beiden Rahmenbedingungen „Integrale Planung“ und „Suffizienter Bedarf“ begünstigen die Umsetzung der Strategien. „Integrale Planung“ bietet die Chance durch einen gemeinsamen interdisziplinären Kreativprozess zu einem stimmigen Gesamtkonzept zu kommen und ein Gebäude für den gesamten Lebenszyklus zu optimieren. Durch Einbeziehung von Nutzer\*innen in die Planung können auf deren Bedürfnisse und Kompetenzen abgestimmte Gebäudetechniksysteme entwickelt werden. „Suffizienter Bedarf“ führt durch maßvolles Bauen zur Verringerung von Gebäudetechnik. Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine sorgfältige Bedarfsplanung.

Eine Grundvoraussetzung für überzeugende Low-Tech Konzepte sind klar formulierte Ziele. Das ist eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass sich alle Projektbeteiligten, insbesondere auch die Bauherr\*innen, immer wieder auf die Zielformulierungen beziehen können und verbindlich daran halten. Beispiele für Zielformulierungen werden im Rahmen der Darstellung des Beratungsprozesses gegeben.

Angesichts des Klimawandels und der Ressourcenübernutzung ist es keine Frage mehr, ob Nachhaltigkeit im Bauwesen implementiert werden sollte, sondern vor allem wie dies geschehen kann. Low-Tech bietet konkrete Lösungen an. Im Detail sind verschiedene Ziele gegeneinander abzuwägen und Optimierungsaufgaben zu lösen. Aktuelle Beispiele zeigen, dass Low-Tech Konzepte bereits auf Bundesebene von Interesse sind. Noch fehlt es allerdings an entsprechender Gesetzgebung und öffentlicher Förderinstrumente um nicht nur Effizienz und Konsistenz sondern auch Suffizienz und damit Low-Tech zu begünstigen.

# Abstract

This master thesis develops a consultancy service for the planning of low-tech buildings. To do this, it explains the terms “sustainability” and “low-tech” and classifies them in a historical and current context. Based on different concepts this work defines low-tech as “planning principle to reduce building technology while at the same time the sustainability of the building increases”.

To advance the consultancy service, three strategies are developed by evaluating relevant literature. The strategy “use of passive potential” shows possibilities how the heat demand during the heating period can be reduced and how summer thermal protection can be improved without using technology. The strategy “sufficient building technology” shows that slim building technology is possible. This examination is deepened with consideration of different ventilation concepts. The strategy “robustness” shows different possibilities to influence the “performance gap” by choosing the used technology or by increasing user awareness.

The framework conditions “integrated planning” and “sufficient demand” favor the implementation of the strategies. “Integrated planning” offers through an interdisciplinary and participative process the chance to find a coherent overall concept and to optimize the performance of a building across the entire lifecycle. The active involvement of the users leads to building technology systems tailored to the users’ needs and skills. “Sufficient demand” causes reduction of building technology by moderate building and careful demand planning.

Clearly defined goals are the basic requirement for convincing concepts. This is a crucial prerequisite for all involved stakeholders, including the building owners, to refer to and comply with the goals. Examples for clearly defined goals are given under the representation of the consultation process.

Concerning climate change and depletion of resources it is not a question of if, it is a matter of how sustainability can be implemented in construction business. Low-tech offers concrete solutions. In detail different qualitative requirements must be balanced against one another and optimization tasks are to be solved. Current examples show that low-tech is already at the federal level of interest. Public support instruments and legislation promote efficiency and consistency but are still lacking in promoting sufficiency and hence also low-tech.

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Abstract.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Forschungsstand.....	2
1.2 Forschungsfrage.....	4
1.3 Aufbau der Arbeit .....	4
2 Grundlagen.....	5
2.1 Definition von Begriffen.....	5
2.2 Nachhaltigkeit im Gebäudebereich .....	6
2.3 Low-Tech im Gebäudebereich.....	14
3 Analyse des Beratungsangebotes .....	24
3.1 Beschreibung des Energie- und Umweltzentrums Allgäu .....	24
3.2 Bestehendes Beratungsangebot .....	24
3.3 Auswertung zu bisher durchgeführten Beratungen .....	25
3.4 Schlussfolgerungen.....	27
4 Ansätze zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes.....	29
5 Low-Tech Strategien .....	32
5.1 Nutzung passiver Potenziale.....	32
5.2 Suffizienz in der Gebäudetechnik.....	47
5.3 Robustheit.....	52
6 Rahmenbedingungen für die Planung von Low-Tech Gebäuden .....	56
6.1 Integrale Planung.....	56
6.2 Suffizienz im Bedarf.....	61
7 Beratungsprozess für Low-Tech.....	66
7.1 Impulsberatung.....	67
7.2 Grundlagenberatung .....	68
7.3 Konzeptberatung .....	69

7.4	Planungs- und Ausführungsbegleitung .....	70
7.5	Nutzungsberatung.....	70
7.6	Beratung zum Monitoring.....	70
7.7	Abschlussgespräch.....	70
8	Diskussion .....	72
8.1	Definition von Low-Tech .....	72
8.2	Low-Tech Strategien .....	72
8.3	Rahmenbedingungen .....	74
8.4	Beratungsprozess.....	75
9	Fazit und Ausblick.....	76
	Literaturangaben .....	i
	Erklärung.....	viii

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Endenergieverbrauch aller Gebäude in Deutschland.....	7
Abbildung 2: Vorrangmodell der Nachhaltigkeit.....	8
Abbildung 3: Entwicklung von Wohnfläche und Wärmebedarf in Deutschland.....	11
Abbildung 4: Beeinflussung der Kosten im Lebenszyklus .....	12
Abbildung 5: Beispiel für Lebenszykluskosten eines Bürogebäudes .....	13
Abbildung 6: Übersicht über die Bewertungskategorien im DGNB.....	14
Abbildung 7: Das Gutachtäler Schwarzwaldhaus von 1743 .....	15
Abbildung 8: "cube berlin" von 3XN als Beispiel für ein „Smart Building“ .....	17
Abbildung 9: „2226" von Baumschlager Eberle Architekten.....	18
Abbildung 10: Darstellung der Entwicklung der Kosten in KG 300 und KG 400 .....	22
Abbildung 11: Auswertung der Bauprojekte im Beratungsangebot .....	25
Abbildung 12: Maßnahmen, die in den beratenen Projekten umgesetzt werden.....	26
Abbildung 13: Grad der Beeinflussbarkeit von Projekten im Lebenszyklus.....	28
Abbildung 14: Verschiedene Zielebenen des Beratungsangebotes .....	29
Abbildung 15: Grundvoraussetzung, Rahmenbedingungen und Strategien.....	30
Abbildung 16: Vergleich von Wandkonstruktionen mit gleichem U-Wert.....	34
Abbildung 17: Vergleich der grauen Energie .....	35
Abbildung 18: A/V-Verhältnis bei gleichem Volumen und unterschiedlichen Gebäudeformen ...	36
Abbildung 19: Gleiches Gebäude aber unterschiedliche Orientierung.....	38
Abbildung 20: Einfluss der Orientierung auf den Kältebedarf bei Bürogebäuden.....	38
Abbildung 21: Maximaler Fensterflächenanteil bei einem Gebäude ohne maschinelle Kühlung .	40
Abbildung 22: Nutzung der solaren Einstrahlung an einer Südfassade.....	41
Abbildung 23: Innenraumtemperaturen.....	42

Abbildung 24: Innenraumtemperaturen in Abhängigkeit unterschiedlicher Luftwechselraten...	44
Abbildung 25: Tageslichtquotient je Nettofläche bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen	45
Abbildung 26: Mikroklimatisch wirksame Elemente.....	46
Abbildung 27: Klimaaktives Bausystem ohne Lüftungsanlage.....	50
Abbildung 28: Grundidee des robusten Designs.....	52
Abbildung 29: Robustes Design anhand eines Beispiels .....	53
Abbildung 30: Hilfestellung zur Fensterlüftung, der „Klimaspatz Piaf“ .....	54
Abbildung 31: Integraler und traditioneller Planungsansatz im Vergleich.....	57
Abbildung 32: Moderation und Beteiligte im Planungsteam.....	58
Abbildung 33: Vereinfachte Darstellung über die Vergabe von Planungsleistungen.....	60
Abbildung 34: Drei Grundfragen der Bedarfsplanung .....	61
Abbildung 35: Roadmap Beratungsprozess.....	66

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kostenvergleich zwischen dem „2226“ und Büro- und Verwaltungsgebäuden.....	21
Tabelle 2: Anteil der technischen Anlagen (KG 400) an den Bauwerkskosten.....	23
Tabelle 3: Einstrahlung auf unterschiedlich orientierte Flächen.....	37
Tabelle 4: Wärmespeicherzahl verschiedener Baustoffe in logarithmischer Darstellung.....	43
Tabelle 5: Projekte mit reduzierter Gebäudetechnik.....	48
Tabelle 6: Möglichkeiten Suffizienz beim Bauen zu verwirklichen .....	63
Tabelle 7: Mögliche Fragen und Ziele in der Impulsberatung.....	67
Tabelle 8: Mögliche Fragen und Ziele in der Grundlagenberatung.....	68
Tabelle 9: Mögliche Zielformulierungen für die Konzeptberatung.....	69
Tabelle 10: Anzahl der festzulegenden Ziele in den einzelnen Kategorien .....	71
Tabelle 11: Beispiel für eine ausgefüllte „Zieltabelle zur Bewertung“ .....	71

# Abkürzungsverzeichnis

ALD	Außenbauteil-Luftdurchlass
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BIM	Building Information Modeling
BKI	Baukosteninformationszentrum
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
DGNB	Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
eza!	Energie- und Umweltzentrum Allgäu
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IBK	Internationale Bodenseekonferenz
KG	Kostengruppe
KLA	Komfortlüftungsanlage
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanzierung)
LCC	Life Cycle Costing (Lebenszyklusanalyse)
PEI	Primärenergieinhalt
RPW	Richtlinie für Planungswettbewerbe
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TQ	Tageslichtquotient
UVgO	Unterschwelvenvergabeordnung
VgV	Vergabeverordnung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WDVS	Wärmedämmverbundsystem

# 1 Einleitung

Der Klimawandel stellt uns vor große, globale Herausforderungen. Schon jetzt sind die Folgen für Ökosysteme, Wirtschaft und Gesellschaft weltweit spürbar. Mit dem Übereinkommen von Paris wurde von fast allen Staaten der Welt beschlossen, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 °C, besser 1,5 °C zu begrenzen. Dazu muss der Ausstoß an Treibhausgasen drastisch reduziert werden [1]. Laut UN-Bericht steigen jedoch die CO<sub>2</sub>-Emissionen insbesondere im Gebäude- und Bausektor weltweit kontinuierlich an. 2019 war dieser Sektor für 38 % aller weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Dabei betragen die Emissionen der Gebäude durch Strom- und Wärmeverbrauch 28 % und die Emissionen durch die Herstellung von Baumaterialien und Errichtung von Gebäuden 10 %. Allein die Zement- und Stahlindustrie stieß 2019 5,7 % aller weltweiten Emissionen aus [2].

Der Gebäudesektor ist in Deutschland für etwa 27 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich [3]. Dabei sind Emissionen aus der Herstellung von Bauprodukten und der Errichtung von Gebäuden nicht mit inbegriffen, die in Deutschland dem Sektor Industrie zugeordnet werden. Ein Beitrag zu Klimaschutzzielen des Gebäudesektors ist weltweit und in Deutschland zwingend notwendig. Damit bekommt das „nachhaltige Bauen“ essenzielle Relevanz.

In Deutschland liegt der Fokus des nachhaltigen Bauens vor allem auf Effizienz- und auch auf Konsistenzsteigerung, also der Verringerung des Energiebedarfs durch effiziente Technik und erhöhte Dämmung beziehungsweise der Nutzung von erneuerbaren Energien und dem Erreichen einer Kreislaufwirtschaft. Dieser Fokus führt, in Kombination mit einem erhöhten Anspruch an Komfort, vermehrt dazu, dass immer mehr Gebäudetechnik eingesetzt wird. Von 1999 bis 2014 stiegen die Kosten für technische Anlagen in Gebäuden um 20,6 % mehr an als die Kosten für die Baukonstruktion [4].

Der vermehrte Einsatz von Gebäudetechnik führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Reduktion des Energieverbrauches und einem erhöhten Komfort für die Nutzer\*innen. Prominentes Beispiel hierfür ist das „BMUB-Effizienzhaus Plus“ in Berlin, das vor allem durch unerwartetes Nutzer\*innenverhalten deutlich von den prognostizierten Werten abgewichen ist [5]. Auch weitere Studien bestätigen die teilweise erhebliche Abweichung der realen von den prognostizierten Werten, die sogenannte „Performance Gap“, hinsichtlich des Energieverbrauches durch Nutzer\*inneneinflüsse [6 bis 9].

Als Gegenbewegung auf die immer höhere Technisierung von Gebäuden hat sich in den letzten Jahren ein Trend zum „einfachen Bauen“ entwickelt. Der Begriff Low-Tech spielt dabei eine zentrale Rolle. Trotz der häufigen Verwendung dieses Begriffs gibt es bisher keine allgemein anerkannte Definition (siehe Kapitel 2.3.3).

Die hier vorliegende Arbeit wird in Kooperation mit dem „Energie- und Umweltzentrum Allgäu“ (eza!) erstellt. Das eza! hat sich in den letzten fünf Jahren im Rahmen des Forschungs-

projekts „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche “Low-Tech” Gebäude im Bodenseeraum“ mit dem Thema Low-Tech auseinandergesetzt. Daraus ist unter anderem das Beratungsangebot „Low-Tech Gebäude: Energieeffizienz und reduzierte Technik“ entstanden, das in der hier vorliegenden Arbeit weiterentwickelt wird.

## 1.1 Forschungsstand

Zu dem Thema Low-Tech wurden in den letzten Jahren zunehmend Studien und Forschungsprojekte durchgeführt, von denen einige im Folgenden vorgestellt werden.

### 1.1.1 Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „Low-Tech“ Gebäude im Bodenseeraum 2021

Das Forschungsprojekt der Internationalen Bodenseekonferenz (IBK) „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „Low-Tech“ Gebäude im Bodenseeraum“ [10] identifiziert durch Begleitung von Pilotprojekten verschiedene Ansätze für Low-Tech Gebäude. Das Projekt läuft seit 01.12.2015 bis zum 31.03.2021 und wird von fünf Projektpartner\*innen aus Deutschland, Österreich, Schweiz und Liechtenstein durchgeführt. In den jeweiligen Pilotprojekten wird der gesamte Planungsprozess untersucht und Schnittstellen zur Implementierung von Low-Tech herausgearbeitet. Daraus ist ein Leitfaden entstanden, der für die verschiedenen Phasen der Bauplanung Anregungen und Empfehlungen gibt, Low-Tech zu ermöglichen.

### 1.1.2 Einfach Bauen 2018

Im Forschungsprojekt „Einfach Bauen“ [11] wird an der Technischen Universität München das Ziel verfolgt, einen Gegenimpuls zur steigenden Komplexität des modernen Bauens zu setzen. Dazu wird in mehreren tausend dynamisch-thermischen Simulationen die Wechselwirkungen von Raum, Konstruktion und Gebäudetechnik untersucht. Zusammen mit der theoretischen Grundlagenforschung zu diesem Thema, wird eine Strategie für „Einfaches Bauen“ entwickelt, die sich im Wesentlichen aus folgenden Punkten zusammensetzt:

- Geringe Anzahl von Schichten bei Wand- und Deckenkonstruktionen
- Einsatz klimawirksamer Speichermasse
- Angemessene Fensterflächen
- Kein beweglicher Sonnenschutz
- Fensterlüftung durch die Nutzer\*innen
- Durch handwerkliche Methoden wieder lösbare Fügung der Bauteile
- Konsequente Trennung von Baukonstruktion und Gebäudetechnik

### 1.1.3 Low Tech – High Effect! 2017

Die Studie „Low Tech – High Effect!“ [12] untersucht über hundert Gebäude, die in Bezug auf Low-Tech als repräsentativ und innovativ gelten und beschreibt deren Hauptmerkmale. Dadurch entsteht ein Überblick über den derzeitigen Stand der Technik anhand realisierter Beispiele. Dabei werden drei verschiedene Schwerpunkte hinsichtlich einem möglichst geringen Technikeinsatzes herausgearbeitet. Beim Schwerpunkt „Funktion“ werden grundlegende Funktionen eines Gebäudes wie Heizen, Kühlen, Lüften und Belichten mit einem möglichst geringen Technikeinsatz angestrebt. Der Schwerpunkt „Material“ fokussiert sich auf den Einsatz natürlich vorkommender und lokaler Baumaterialien, die spezifische Materialeigenschaften zur Technikvermeidung nutzen. Beim Schwerpunkt „System“ liegt der Fokus auf einem suffizienten Umgang im Gesamtsystem.

### 1.1.4 Parameterstudie Low-Tech Bürogebäude 2017

Die „Parameterstudie Low-Tech Bürogebäude“ [13] der Technischen Universität München simuliert das thermische Verhalten eines typischen Büroraums mit unterschiedlichen Randbedingungen. Untersucht werden passive Gebäudemaßnahmen, wie natürliche Lüftungsstrategien, Einfluss von Raumgeometrien und Belegungsdichten, Fenstergeometrie und -größe sowie thermische Speichermassen zur Klimaregulierung unter Berücksichtigung sowohl des Einsatzes „grauer Energien“ als auch des Nutzer\*innenverhaltens. Die Ergebnisse zeigen, dass allein mit passiven Maßnahmen die Luftqualität und der thermische Komfort im Winter nicht unabhängig voneinander sichergestellt werden können. Die Studie stellt fest, dass zumindest ein Mindestmaß an benötigter aktiver Technik in Bürogebäuden notwendig ist. Außerdem wird festgestellt, dass auch bei einfachen technischen Systemen ein hohes Optimierungspotenzial vorhanden ist und dass durch Optimierung der passiven Systeme eine höhere Robustheit des Gebäudes erreicht wird.

### 1.1.5 Vorstudie Nachhaltiges LowTech Gebäude 2014

Die „Vorstudie Nachhaltiges LowTech Gebäude“ [14] der Universität Liechtenstein von 2014 wertet 22 Autorentexte hinsichtlich der Frage aus „Wie viel Technik braucht das nachhaltige Haus?“. Die Studie wurde von der IBK als Grundlage für das Forschungsprojekt „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „Low-Tech“ Gebäude im Bodenseeraum“ in Auftrag gegeben. In der Studie wird festgestellt, dass mit dem Begriff Low-Tech sehr unterschiedliche Gebäudestandards, Baukonstruktionen und Lebensweisen assoziiert werden. Dies wird hauptsächlich auf unterschiedliche Systemgrenzen bei der Betrachtung zurückgeführt. In dieser Vorstudie werden zudem Planungsansätze aufgezeigt, die das Ziel weniger Technik im Gebäude zu verwenden verfolgen. Die oben genannte Leitfrage kann nicht eindeutig beantwortet werden. Es wird festgestellt, dass sowohl Gebäude mit geringer als auch mit hoher technischer Ausstattung einen geringen Energiebedarf und geringen Ausstoß an Emissionen haben können.

## 1.2 Forschungsfrage

Aufgrund verschiedener Auffassungen des Begriffs „Low-Tech“ stellt sich die Aufgabe der Formulierung einer klaren Definition. Ausgehend von dieser Definition sind Strategien für die Planung von Low-Tech Gebäuden zu entwickeln. Dabei ist es von zentraler Bedeutung Low-Tech begünstigende Rahmenbedingungen zu betrachten. Zusammenfassend lautet die Forschungsfrage: „Wie kann das Beratungsangebot ‹Low-Tech Gebäude: Energieeffizienz und reduzierte Technik› weiterentwickelt werden?“.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit teilt sich im Wesentlichen in vier Teile. Im ersten Teil werden die Grundlagen zu den Begriffen Nachhaltigkeit und Low-Tech beschrieben. Außerdem wird eine eigene Definition für den Begriff Low-Tech entwickelt. Im zweiten Teil wird das bestehende Beratungsangebot des Energie- und Umweltzentrums Allgäu auf der Basis interner Dokumente und Gespräche mit Mitarbeitenden analysiert und Ansätze zu dessen Weiterentwicklung herausgearbeitet. Im dritten Teil werden Strategien und Rahmenbedingungen für die Planung von Low-Tech Gebäuden durch Auswertung von Literatur konkretisiert. Des Weiteren wird ein möglicher Ablauf des Beratungsprozesses dargestellt. Im letzten Teil werden Kernpunkte der vorliegenden Arbeit diskutiert, ein Fazit gezogen und ein Ausblick gewagt.

## 2 Grundlagen

Der Begriff „Low-Tech“ wird im Folgenden in den Kontext der „Nachhaltigkeit“ eingeordnet. Deshalb wird zuerst auf „Nachhaltigkeit“ im Hinblick auf den Gebäudebereich eingegangen. Anschließend wird der in dieser Arbeit zentrale Begriff „Low-Tech“ beleuchtet, dessen Entwicklung aufgezeigt und eine eigene Definition formuliert. Zunächst werden Definitionen von wichtigen Begriffen in dieser Arbeit genannt.

Aus Gründen des Umfangs beschränkt sich der Fokus dieser Arbeit hauptsächlich auf eine Betrachtung des Bauens in Deutschland und im deutschsprachigen Raum.

### 2.1 Definition von Begriffen

#### **Aktive Kühlung**

Die Erzeugung und Verteilung von technisch erzeugter Kälte (z.B. Kompressionskälte) [10].

#### **Baukonstruktion**

Alle Bauteile, die in die Kostengruppe 300 nach DIN 276 fallen [15].

#### **Bedarf**

*„Notwendigkeit von materiellen und immateriellen Ressourcen zur Ermöglichung von Aktivitäten jeglicher Art“ [16, S. 5].*

#### **Behaglichkeit**

*„Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt“ [17, S. 4].*

#### **Gebäude**

*„Überdeckte, allseits oder überwiegend umschlossene Bauwerke, die von Personen betreten werden können“ [18, S. 5].*

#### **Gebäudetechnik, technische Anlagen**

Alle Anlagen, die in die Kostengruppe 400 nach DIN 276 fallen [15].

#### **Graue Energie**

Zur Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport und Entsorgung notwendige Primärenergie [19].

#### **Komfort**

*„Bequemlichkeit durch äußere Gegebenheiten“ [20].*

#### **Konditionierung (von Gebäuden)**

*„Ausbildung bestimmter Bedingungen in Räumen durch Heizung, Kühlung, Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasserversorgung“ [21, S. 12].*

**Low-Tech**

Planungsprinzip, das Gebäudetechnik reduziert und gleichzeitig die Nachhaltigkeit des gesamten Gebäudes maximiert. Siehe auch Kapitel 2.3.3.

**Maschinelle Lüftungsanlage**

Anlage zur Belüftung von Gebäuden unter Zuführung von Energie [10].

**Nachhaltigkeit, Nachhaltiges Handeln**

*„Nachhaltiges Handeln bedeutet, ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte gleichberechtigt zu berücksichtigen, um nachfolgenden Generationen eine intakte Umwelt und gleiche Lebenschancen hinterlassen zu können“* [22, S. 7]. Siehe auch Kapitel 2.2.1.

**Nicht-Wohngebäude**

*„Gebäude, die nicht überwiegend zum Wohnen genutzt werden“* [18, S. 7].

**Passive Kühlung**

Kühlsysteme, *„bei denen Energie ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist“* [23, S. 14].

**Performance Gap**

Abweichung von berechnetem Energiebedarf zu tatsächlichem Energieverbrauch während der Nutzungsphase eines Gebäudes [24].

**Robustheit**

Fähigkeit eines Systems Veränderungen standzuhalten, ohne dabei seine ursprüngliche Struktur anpassen zu müssen, um das gleiche Ergebnis zu erzielen [25, S. 890] (Originaltext: *„ability of a [system] to resist change without adapting its initial stable configuration“*).

**Suffizienz**

*„[...] die freiwillige Beschränkung der materiellen Selbstverwirklichung auf ein Maß, das auf die anderen heute und morgen lebenden Menschen übertragbar ist“* [26, S. 9].

**Technik**

Geräte, die dazu entwickelt wurden durch Nutzung von Energie bestimmte Leistungen zu erbringen [14].

**Wohngebäude**

*„Gebäude, die ganz oder überwiegend zum Wohnen genutzt werden“* [18, S. 10].

## 2.2 Nachhaltigkeit im Gebäudebereich

Der Betrieb von Gebäuden ist weltweit für 28 % und deutschlandweit für 27 % des jeweils gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich [2, 3]. Für die Erstellung von Gebäuden und der Herstellung von Bauprodukten werden zusätzlich weltweit ca. 10 % CO<sub>2</sub> ausgestoßen und 40-50 % (nach Masse) aller Rohstoffe verbraucht [2, 19]. Im Hinblick auf den Klimawandel und

auf knapper werdende Ressourcen hat somit die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Gebäuden einen hohen Stellenwert. Die Klimaziele der Bundesregierung sehen bis 2050 eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 80-95 % gegenüber dem Stand von 1990 vor [22]. Das größte Einsparpotenzial liegt dabei, wie in Abbildung 1 gezeigt, im Bereich der Erzeugung von Raumwärme. Die benötigte Energie für Klimakälte hat bis jetzt nur einen geringen Anteil am Endenergieverbrauch, dieser wird sich aber in den nächsten Jahren, bedingt durch den Klimawandel, deutlich erhöhen [27]. Vor allem in Nicht-Wohngebäuden wird der sommerliche Wärmeschutz in Zukunft eine immer größere Rolle spielen.

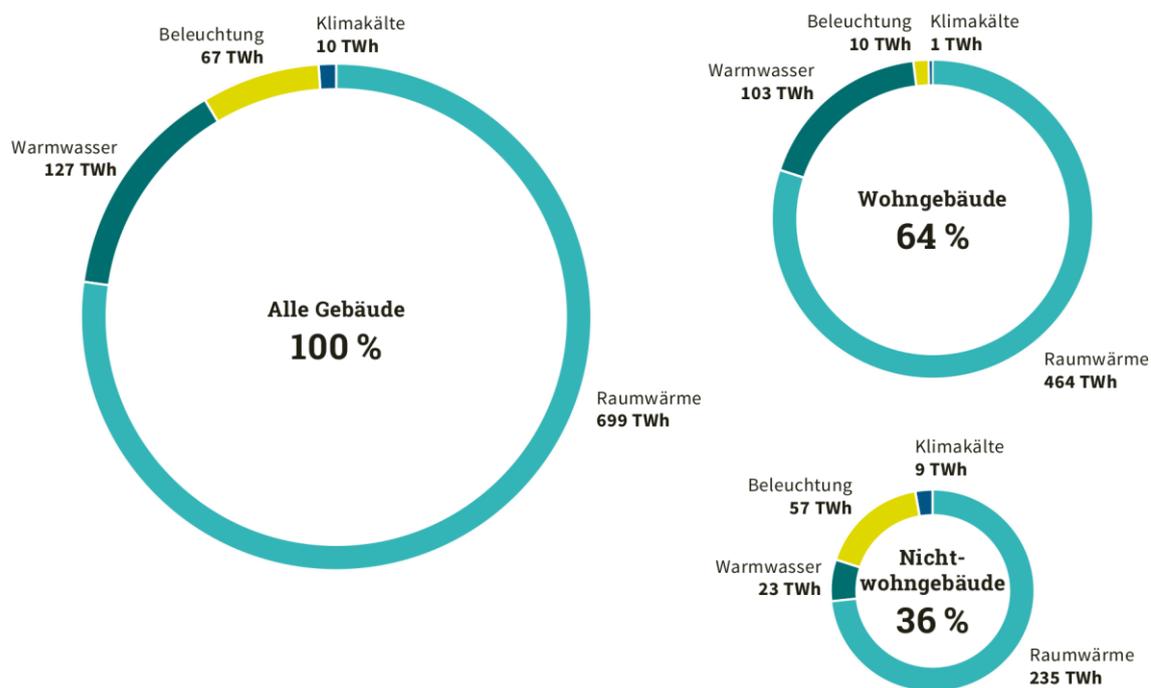


Abbildung 1: Endenergieverbrauch aller Gebäude in Deutschland  
(Quelle: dena, Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand 2019)

### 2.2.1 Hintergrund und Definition von Nachhaltigkeit

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wird erst seit den letzten vier Jahrzehnten im Kontext des Bauens verwendet. 1977 reagierte die damalige Bundesregierung auf die steigenden Energiepreise der sogenannten „Ersten Ölkrise“ mit der „Ersten Wärmeschutzverordnung“ und setzte so zum ersten Mal Vorgaben für die Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor. Diese Vorgaben waren vor allem ökonomisch motiviert. Mit dem „Brundtland-Bericht“ wurden die Maßstäbe um ethische Dimensionen erweitert und der Begriff „Nachhaltigkeit“ prägend definiert. Ausgelöst durch die Konferenz von Rio de Janeiro im Jahr 1992 wurde in Deutschland 2001 der für Bundesgebäude mittlerweile verbindliche „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ [22] und 2002 die „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie“ [28] verabschiedet und bis heute fortgeschrieben. Im „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ wird Nachhaltigkeit wie folgt definiert [22, S. 7]:

*„Nachhaltiges Handeln bedeutet, ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte gleichberechtigt zu berücksichtigen, um nachfolgenden Generationen eine intakte Umwelt und gleiche Lebenschancen hinterlassen zu können.“*

Nachhaltigkeit wird dabei oft, wie zum Beispiel in der „Agenda 2030“, auf die drei Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie bezogen [29]. Im sogenannten Vorrangmodell der Nachhaltigkeit wird Ökologie als oberste Priorität gesehen. Denn ohne intakte Ökologie kann es keine soziale Stabilität geben. Diese ist wiederum die Grundvoraussetzung für eine stabile Ökonomie [30].

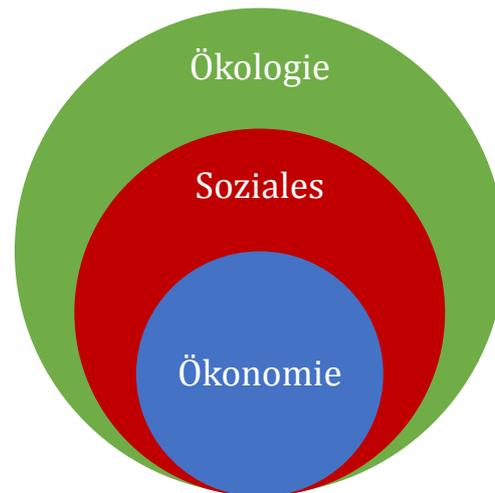


Abbildung 2: Vorrangmodell der Nachhaltigkeit  
(Quelle: Eigene Darstellung nach <https://klimaschutz.neustadt.eu/> [Abgerufen am 20.03.2021])

## 2.2.2 Nachhaltigkeitsstrategien

Es gibt drei Nachhaltigkeitsstrategien, die in Bezug auf nachhaltiges Bauen von Bedeutung sind: Effizienz, Konsistenz und Suffizienz, welche in diesem Kapitel erläutert werden. Die beiden erstgenannten stehen im Gegensatz zur Suffizienz meist nicht in einem Widerspruch zu ökonomischen Wachstumszielen, sind gut messbar und werden durch gegenwärtige Gesetzgebung und Förderprogramme vorangetrieben [31]. Durch den sogenannten „Rebound Effekt“ werden die Errungenschaften dieser beiden Strategien jedoch teilweise wieder aufgehoben [32]. Beispielsweise stagniert der Energieverbrauch im Wohngebäudebereich trotz Effizienzmaßnahmen durch einen wachsenden Pro-Kopf-Wohnflächenverbrauch (siehe Abbildung 3 auf Seite 11). Suffizienzstrategien können Rebound Effekten entgegenwirken. Zudem sind diese gegenüber den anderen beiden Strategien nicht durch eine Änderung von Technologie erreichbar, sondern vielmehr durch eine gesellschaftliche Interaktion mit dieser. Daher scheint Suffizienz in Bezug auf Low-Tech eine besondere Rolle zu spielen.

### 2.2.2.1 Effizienz

Die Effizienzstrategie strebt einen möglichst hohen Ertrag mit einem möglichst geringen Aufwand an. Der absolut eingesetzte Aufwand an Rohstoffen und Energie ist dabei nicht entscheidend, sondern das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag durch den Einsatz von Technologie [31]. Ein Beispiel wäre: Ein Gebäude stellt komfortable Innenraumtemperaturen durch das Verbrennen von fossilem Erdgas in einem Gaskessel her. Durch eine Dämmung der Außenhülle (Technologie) kann der Gasverbrauch (Aufwand) bei gleichen Innenraumtemperaturen (Ertrag) reduziert werden.

Die Mindestanforderungen an die Energieeffizienz bei Gebäuden wurde durch die ab 2002 geltende Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt, die immer wieder verschärft wurde. Seit Anfang 2021 werden die energetischen Effizienzanforderungen im Gebäudeenergiegesetz (GEG) definiert.

Durch Effizienzsteigerungen verringern sich oftmals auch die Kosten. Dies kann zu einem weniger sparsamen Nutzer\*innenverhalten führen und die Einsparungen durch die gesteigerte Effizienz teilweise wieder aufheben (Rebound-Effekt). Im ungünstigsten Fall kann durch den Rebound-Effekt die ursprüngliche Einsparung überkompensiert werden. Der Verbrauch erhöht sich dann durch Effizienzsteigerung [32].

### 2.2.2.2 Konsistenz

Die Konsistenzstrategie ist das Denken in Kreisläufen. Sie *„zielt darauf ab, den bestehenden Bedarf an Ressourcen mittels umweltfreundlicher Erzeugung durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe und Erneuerbarer Ressourcen zu decken“* [33]. Sie strebt also den Ersatz schädlicher Stoffströme durch unschädliche Stoffströme an. Dies ist, wie auch bei der Effizienzstrategie, durch eine Veränderung der Technologie zu erreichen [31]. Beispielsweise wäre die Umstellung von einer fossilen Öl- auf eine Holzpellettheizung eine Konsistenzstrategie.

Für den Gebäudesektor gilt seit 2009 die sogenannte „Nutzungspflicht“ für Erneuerbare Energien bei Neubauten. Sie besagt, dass ein Mindestanteil der eingesetzten Energie im Gebäudebetrieb aus erneuerbaren Quellen stammen muss. Geregelt wurde dies im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Seit 2021 wird die Nutzungspflicht im GEG geregelt.

### 2.2.2.3 Suffizienz

Die Suffizienzstrategie setzt am Pro-Kopf-Konsum an. Sie stellt die Frage nach dem *„Wieviel ist genug?“*, also nach Genügsamkeit und Angemessenheit [34]. Diese Frage kann in dem vorherrschenden Wirtschaftssystem der Marktwirtschaft letztlich nur von den Verbraucher\*innen oder Gebäudenutzer\*innen individuell beantwortet werden. Deshalb befassen sich Suffizienzstrategien unter anderem auch mit wachstumskritischen Wirtschaftsmodellen. Niko Peach, Professor an der Universität Siegen und bekannter „Postwachstumsökonom“, schreibt [26, S. 9]:

*„Suffizienz ist das einfachste und zugleich schwierigste Nachhaltigkeitsprinzip. Es geht hier nicht um besseren Konsum, sondern um Nicht-Konsum, also die freiwillige Beschränkung der materiellen Selbstverwirklichung auf ein Maß, das auf die anderen heute und morgen lebenden Menschen übertragbar ist.“*

Eine Suffizienzstrategie wäre beispielsweise die Reduktion des Pro-Kopf Flächenbedarfs. Dieser kann auf zweierlei Weise reduziert werden: entweder durch Reduktion der Wohnfläche bei gleichbleibender Haushaltsgröße (Umzug in eine kleinere Wohnung, Wohnungsteilung) oder durch Vergrößerung des Haushaltes bei gleich bleibender Wohnfläche (z.B. durch Gründungen von Wohngemeinschaften) [35]. Ein wesentlicher Faktor ist dabei die Freiwilligkeit. Suffizienz wird sich nur etablieren, wenn der vermeintliche materielle Verzicht als Gewinn von Zeit, Geld und Lebensqualität verstanden wird [36]. Das Potenzial der Suffizienzstrategie ist sehr groß. Die Schweizer Studie „Suffizienzpfad Energie“ kommt zu dem Schluss, dass sich selbst in einem effizienten und konsistenten Gebäude, das mit Geräten der besten Effizienzklasse ausgestattet ist, durch moderate Suffizienz der Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen fast halbieren lassen [37].

Im Folgenden wird Suffizienz am Beispiel Wohnfläche erläutert. In Abbildung 3 ist die Entwicklung von Wohnfläche und Wärmebedarf in Deutschland seit 1960 dargestellt (ab 2015 als Prognose). Hieraus wird ersichtlich, dass sich zwar die Effizienz der Gebäude stetig verbessert hat (Raumwärmebedarf pro  $\text{m}^2$  Wohnfläche), der Raumwärmebedarf pro Kopf zwischen 1990 und 2015 aber durch die steigende Wohnfläche pro Kopf kaum gesunken ist. Dadurch wurde der absolute Raumwärmebedarf in Deutschland bisher kaum reduziert. In der aktuellen Nachhaltigkeitsdebatte setzt sich unter anderem aufgrund dessen zunehmend die Meinung durch, dass die Energiewende mit ausschließlich technischen Lösungen nicht gelingen wird und Suffizienzstrategien daher höher gewichtet werden sollten. [36].

Der Anstieg der Pro-Kopf-Wohnfläche hat verschiedene Gründe. Die Anzahl der Ein-Personenhaushalte steigt kontinuierlich. 2019 liegt der Anteil der Ein-Personenhaushalte bei 39,7 % mit einer durchschnittlichen Größe von  $68 \text{ m}^2$ . Im Vergleich dazu liegt der Pro-Kopf-Wohnflächenverbrauch in Zwei-Personenhaushalten bei  $49 \text{ m}^2$ . Leben drei oder mehr Personen in einem Haushalt, sinkt der durchschnittliche Wohnflächenverbrauch auf unter  $33 \text{ m}^2$  pro Person. Hauptgrund dafür ist, dass Küche, Bad und Verkehrsflächen von mehr Personen geteilt werden [38].

Des Weiteren werden Häuser und Wohnungen immer größer. 1989 lag die durchschnittliche Wohnungsgröße bei  $81,8 \text{ m}^2$  und ist innerhalb von 30 Jahren um  $10,1 \text{ m}^2$ , auf  $91,9 \text{ m}^2$  gestiegen. Die Anzahl der Zimmer ist dabei nahezu konstant bei 4,3 (1989) bzw. 4,4 (2019) geblieben. Es können also immer weniger Menschen auf gleicher Fläche untergebracht werden [39].

Viele ältere Menschen leben weiterhin in ihren großen Häusern und Wohnungen, aus denen ihre Kinder bereits ausgezogen sind. Die Altersgruppe über 75 Jahre beansprucht mit  $78 \text{ m}^2$  pro Kopf den größten Wohnraum [38]. Dies geschieht, neben einem geringen Interesse an

einem Umzug, oft auch deshalb, weil keine kleinere Alternative verfügbar ist oder die kleinere Alternative mehr kostet als die aktuelle größere Wohnung [40].

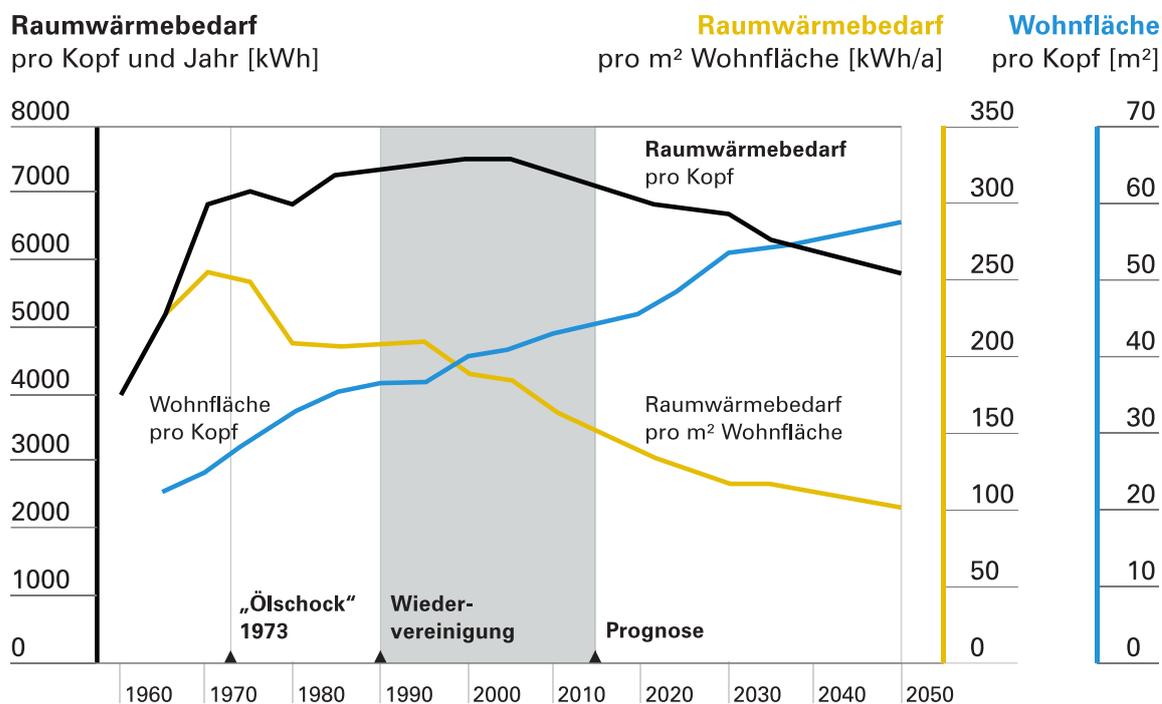


Abbildung 3: Entwicklung von Wohnfläche und Wärmebedarf in Deutschland (Quelle: Wuppertal Institut, 2015 zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

### 2.2.3 Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit in Gebäuden

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit haben sich in den letzten Jahren vor allem zwei Methoden etabliert, auf die nachstehend eingegangen wird.

#### 2.2.3.1 Ökobilanzierung

Eine Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine genormte Methode zur Berechnung des Ressourcen- und Energieverbrauchs eines Gebäudes entlang seines gesamten Lebenszyklus (Errichtung, Nutzung, Entsorgung, Recycling). Aus allen Eingangsgrößen (Rohstoffe und Energie) und Ausgangsgrößen (Abfälle und Emissionen) werden potenzielle Umweltwirkungen abgeleitet. Die Umweltwirkungen können in einer Vielzahl von verschiedenen Indikatoren angegeben werden. Beim deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (DGNB) werden die Indikatoren Treibhauspotenzial, nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt und Gesamtprimärenergieinhalt als besonders wichtig eingeschätzt [41]. Aufgrund der vielfältigen Indikatoren sind Ökobilanzen oftmals schwer miteinander vergleichbar. Laut Hegger et al. kann eine Ökobilanz im Gebäudesektor besonders durch ökologische Baumaterialien, eine kompakte Kubatur und Reduzierung von Massen positiv beeinflusst werden [42].

Der Ablauf einer LCA ist durch die DIN EN ISO 14040 und der DIN EN ISO 14044 festgelegt. In der Praxis bietet sich die Verwendung eines Berechnungsprogramms an. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) stellt dafür das kostenlose Programm „eLCA“ zur Verfügung [43]. Für die Anwendung in Österreich bietet sich das Programm „eco2soft“ an [44].

### 2.2.3.2 Lebenszykluskostenanalyse

Bei einer Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Costing, LCC) handelt es sich um eine ökonomische Betrachtung, die den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfasst [36]. Die LCC umfasst üblicherweise mindestens die Planungs-, Errichtungs-, Bewirtschaftungs- und Abbruchkosten. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, machen die Bewirtschaftungskosten eines Gebäudes oftmals den größten Teil der Gesamtkosten aus. Der Grad der Beeinflussung der Kosten ist zu Beginn eines Projektes am höchsten, während sich die tatsächlich anfallenden Kosten erst langsam entwickeln. Eine möglichst frühe (vorläufige) Durchführung einer LCC ist somit sehr effektiv, um Kosten während der Bewirtschaftungsphase zu sparen. Häufig verursachen Gebäude dadurch zwar höhere Planungs- und Errichtungskosten, aber auf die gesamte Lebensdauer gesehen, amortisiert sich die höhere Investition oft mehrfach [36].

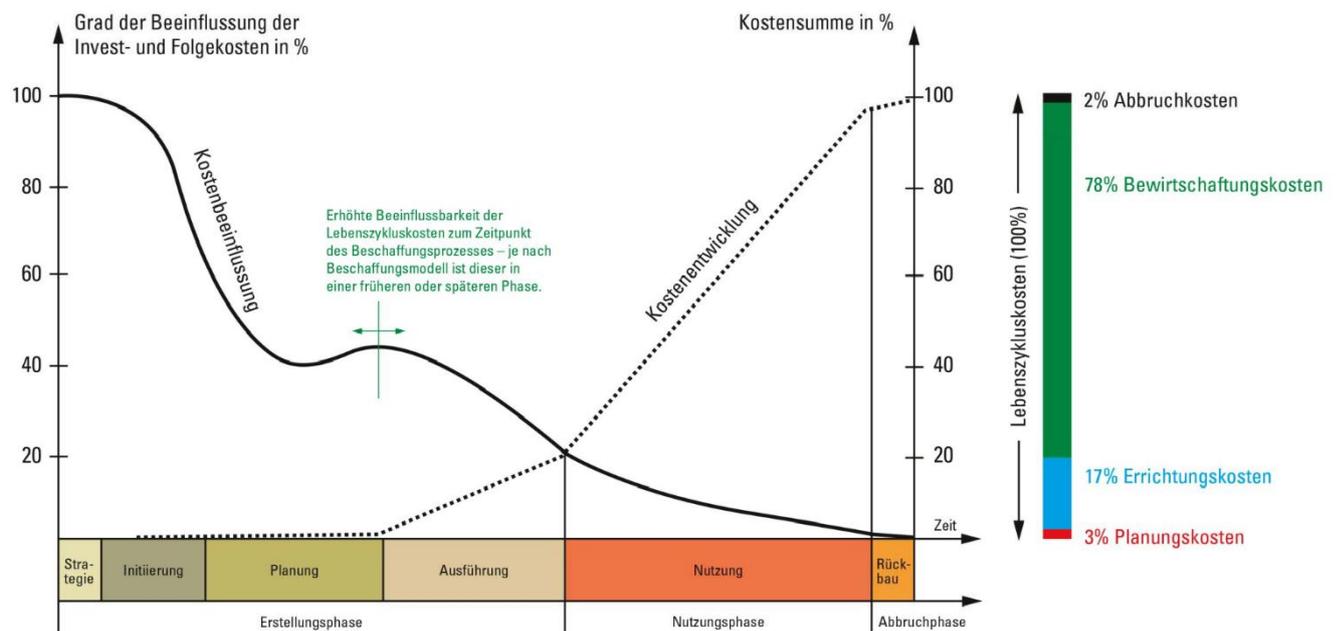


Abbildung 4: Beeinflussung der Kosten im Lebenszyklus  
(Quelle: Achammer, Lebenszyklusorientierte Gebäudeplanung, 2013)

In Abbildung 5 werden die Lebenszykluskosten eines typischen Bürogebäudes dargestellt, die nach Vorschriften aus dem „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ (BNB) berechnet werden. Die Kostengruppen (KG) werden nach DIN 276 angegeben [15]. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre. Die Herstellung der Baukonstruktion (KG 300) ist mit 27 % absolut gesehen der größte Kostenpunkt. Es fällt jedoch auf, dass die Kosten für technische Anlagen

(KG 400) auf die gesamte Lebensdauer 56 % der Gesamtkosten ausmachen (Herstellung + Ersatzinvestitionen + Inspektion und Wartung + regelmäßige Instandsetzung). Die KG 300 kommt dabei „nur“ auf knapp 33 %. Die Optimierung der Lebenszykluskosten der technischen Anlagen bekommt mit dieser Betrachtung einen hohen Stellenwert.

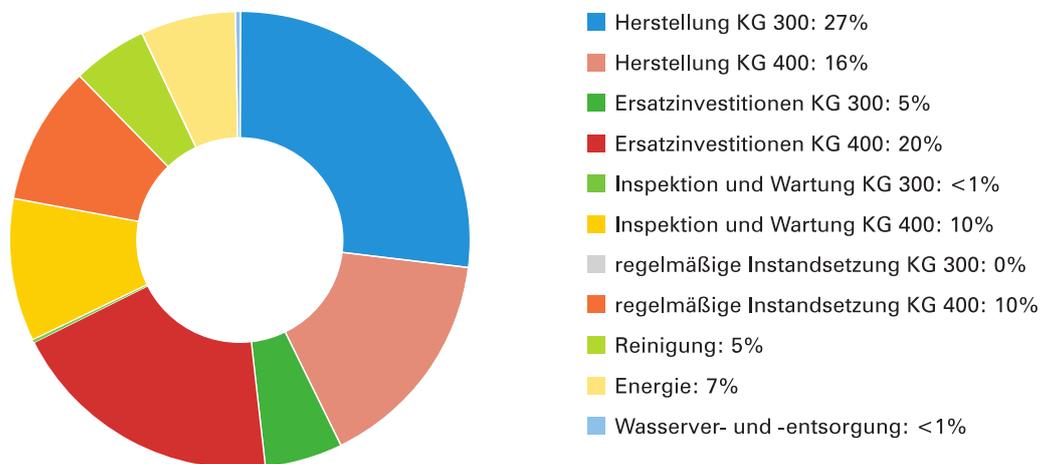


Abbildung 5: Beispiel für Lebenszykluskosten eines Bürogebäudes  
(Quelle: ee concept GmbH nach BNB Kriterium 2.1.1, 2015)

### 2.2.4 Zertifizierungssysteme

Die Nachhaltigkeit von Gebäuden kann durch Zertifizierungssysteme bewertet werden. Dafür werden meist sehr detaillierte Kriterienkataloge erarbeitet, anhand deren ein Gebäude quantitativ erfasst werden kann. Das älteste Zertifizierungssystem für nachhaltige Gebäude, „BREEAM“, wurde 1990 in Großbritannien eingeführt. Seit 2008 existiert in Deutschland das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) von der deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Beim DGNB werden die Bewertungskriterien in sechs verschiedene Kategorien eingeteilt (siehe Abbildung 6). Die meisten anderen Bewertungssysteme sind ähnlich strukturiert. Dem DGNB folgte in Deutschland das „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ (BNB). Dieses ist mittlerweile für Bundesbauten ab einem bestimmten Schwellenwert der Baukosten verpflichtend anzuwenden [45]. Im österreichischen Bundesland Vorarlberg wird seit 2010 die Höhe der Bedarfszuweisungen für Neubauten und Generalsanierungen kommunaler Nicht-Wohngebäude an energetische und bauökologische Kriterien geknüpft. Konkret wird dafür der Kommunalgebäudeausweis (KGA) eingesetzt, mit dem bisher sehr gute Erfahrungen gemacht wurden [46]. In Deutschland sind Bewertungssysteme bisher noch nicht mit Förderinstrumenten verknüpft.

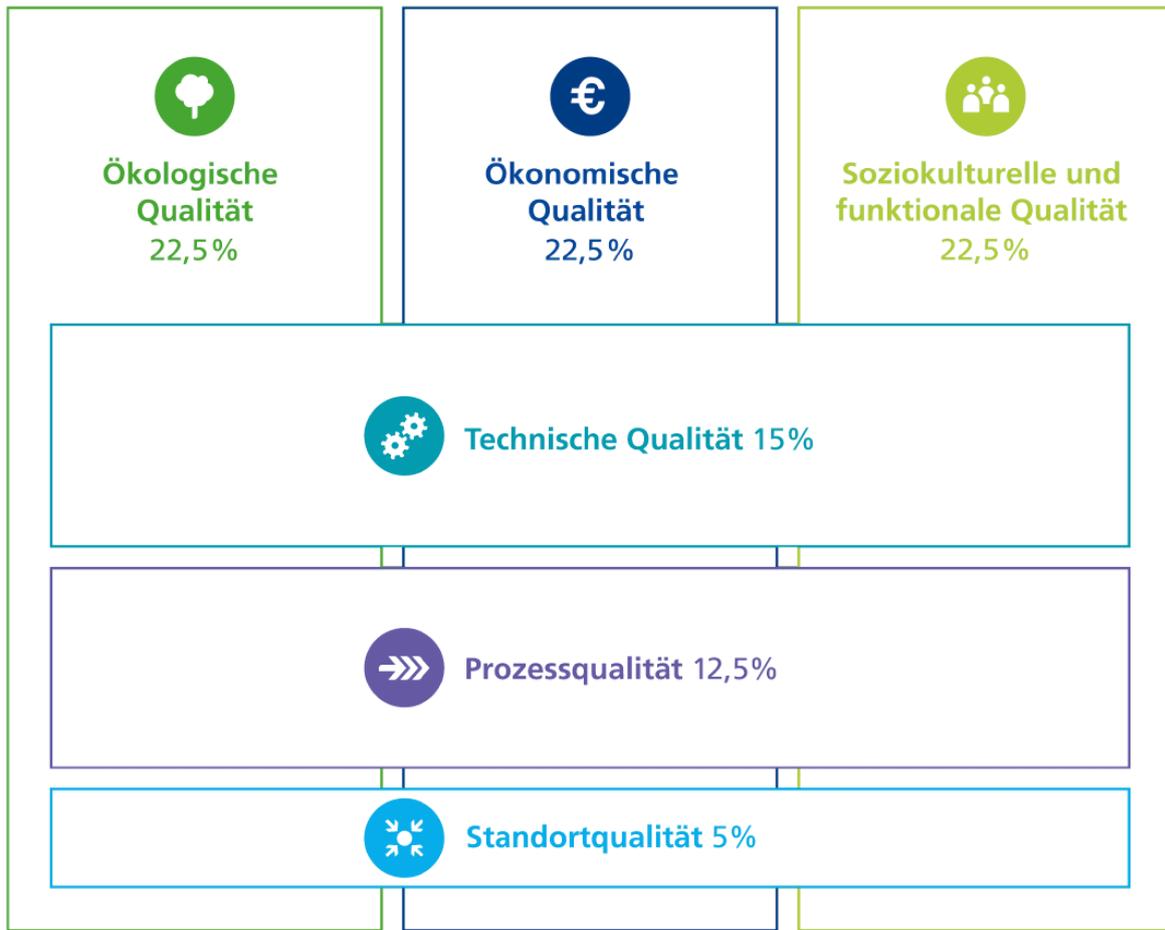


Abbildung 6: Übersicht über die Bewertungskategorien im DGNB  
(Quelle: DGNB, 2018)

## 2.3 Low-Tech im Gebäudebereich

Im Folgenden wird auf den Begriff „Low-Tech“ näher eingegangen. Dabei liegt der Fokus dieser Betrachtung immer auf dem Thema „Bauen“, ohne dass dies jedes Mal explizit erwähnt wird. Zuerst wird der historische Kontext dargestellt und anschließend der aktuelle Diskurs anhand zweier Beispiele erläutert. Danach wird eine eigene Definition des Begriffs vorgenommen sowie mögliche Potenziale beim „Low-Tech Bauen“ aufgezeigt.

### 2.3.1 Historischer Kontext

Schon seit Jahrtausenden konstruieren und bauen Menschen vielfältige Gebäude. Die längste Zeit ist dies mit den vor Ort zur Verfügung stehenden Mitteln und relativ einfacher Technik geschehen. Dabei sind immer wieder komplexe und langlebige Bauten entstanden, die zum Teil heute noch existieren, funktionieren und genutzt werden. Ein Beispiel hierfür liefert das vor knapp 2000 Jahren erbaute Pantheon in Rom. Grundsätzlich musste sich das Bauen stark an die lokalen Bedingungen und Ressourcen anpassen, da Rohstoffe und Energie selten so

weit transportiert werden konnten, wie das heute der Fall ist. Dadurch entstanden weltweit individuelle, regionale und intelligente Bauten und Bauweisen, die sogenannte vernakuläre Architektur. Diese wird von Schittich als „*das Bauen aus dem Ort heraus*“ definiert, da sie mit den lokal zur Verfügung stehenden Materialien und durch die vor Ort lebenden Menschen geschaffen wird [47].

Die vernakuläre Architektur hat sich über lange Zeiträume den vor Ort herrschenden Umwelt- und Lebensbedingungen angepasst und diese mit einfachen Mitteln zu nutzen gelernt. Als Beispiel wird in Abbildung 7 das Schwarzwälder Bauernhaus gezeigt. Auffallend ist vor allem das weit auskragende und tief herabgezogene Krüppelwalmdach, das die Wände an Sommertagen vor Sonneneinstrahlung schützt. Die tieferstehende Wintersonne erreicht die Wände hingegen und kann diese erwärmen. Die Form des Krüppelwalmdaches verringert zudem die Angriffsfläche für Windlasten. Als Heizung wird ein Kachelofen eingesetzt, der auch zum Räuchern von Speisen genutzt wird. Als zusätzliche Wärmequelle dienen Tiere, die im an die Wohnräume angrenzenden Stall untergebracht sind. Im sogenannten „Bergeraum“ direkt über den Wohnräumen und dem Stall wird im Herbst Heu und Stroh eingelagert, das während des Winters als zusätzliche Wärmedämmung fungiert. Der Erdkeller, der meist in der Nähe der Küche untergebracht ist, weist eine ganzjährig relativ konstant kühle Temperatur auf und dient der Lagerung von Lebensmitteln sowie dem Schutz des Wohnraumes vor aufsteigender Feuchtigkeit [48].

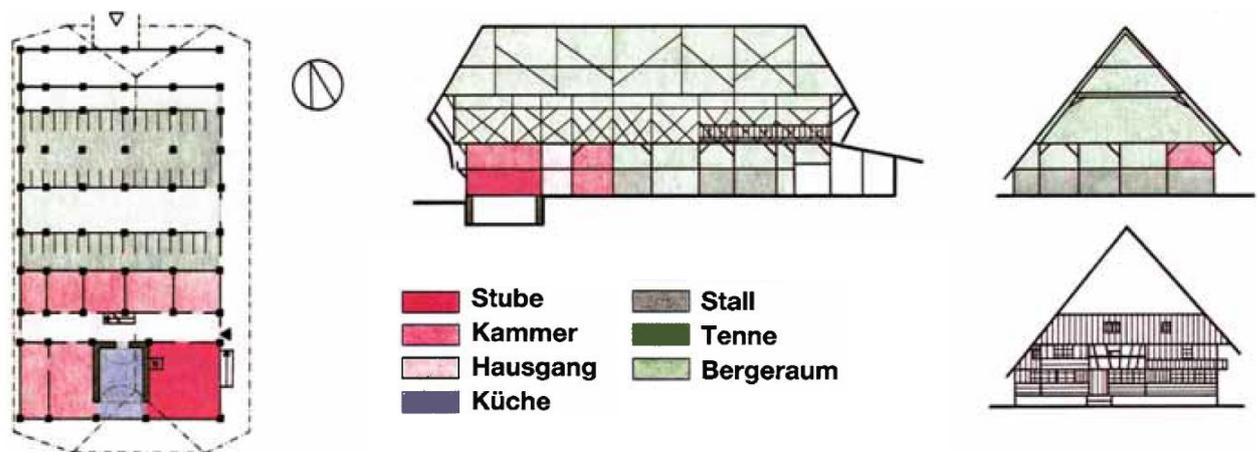


Abbildung 7: Das Gutachtäler Schwarzwaldhaus von 1743 als Beispiel für Vernakuläre Architektur (Quelle: Schnitzer: Schwarzwaldhäuser, 1989)

Durch die Industrialisierung, die Einführung der Elektrizität und die damit einhergehende Technisierung von Gebäuden, wurde die Loslösung der Architektur von den gegebenen Umweltbedingungen stark gefördert. Der Gestaltung der Formen und Fassadenausbildung wurden mittels der Möglichkeiten zur Klimatisierung immer weniger Grenzen gesetzt [24]. Das Bauen an sich entwickelte sich außerdem zu einem Industriezweig. Gegen diese Tendenz formte sich in den 1970er Jahren eine Reformbewegung, die alternativ zur expansiven Bauindustrie ökologisches Bauen forcierte. Sie setzte dies vor allem im Rahmen von Selbstbauinitiativen unter Anwendung natürlicher Materialien und einfacher Technik um. In den

1990er Jahren richtete sich der Fokus des ökologischen Bauens zunehmend auf Effizienzsteigerung durch neu entwickelte technische Lösungen [12].

In Klaus Daniels Buch „Low-Tech Light-Tech High-Tech. Bauen in der Informationsgesellschaft“ taucht der Begriff Low-Tech 1998 wahrscheinlich erstmals im Zusammenhang mit dem Thema Bauen in Deutschland auf. *„Low-Tech steht dafür, Gebäude einfach zu gestalten und so weit wie möglich mit den natürlichen Ressourcen des jeweiligen Außenraumes zu betreiben. Light-Tech weist darauf hin, dass es notwendig ist, nicht nur recyclingfähige Baustoffe einzusetzen, sondern vielmehr Bauten so zu entwickeln, dass sie möglichst ressourcensparend geplant sind. High-Tech symbolisiert, dass der Einfluss der künftigen Informations- und Kommunikationssysteme sich zunehmend auch im Bauen niederschlagen wird“* [49, S. 7].

Der Begriff Low-Tech wurde seitdem mehrmals neu definiert (siehe Kapitel 2.3.3). Mit „High-Tech“ werden heutzutage vor allem „smarte“ Gebäude verbunden. Der Begriff „Light-Tech“ hat sich dagegen nicht durchgesetzt. Allerdings ist das damit gemeinte recyclingfähige und ressourcensparende Bauen im Zuge des allgemeinen Bestrebens um nachhaltiges Bauen aktueller denn je.

### 2.3.2 Aktueller Diskurs: Low-Tech versus High-Tech

Anhand des aktuellen Diskurses über den Technisierungsgrad in Gebäuden lassen sich zwei Strömungen erkennen: *„Low-Tech versus High-Tech“* [24, S. 43]. Das interessante daran ist, dass beide Strömungen im Grunde ein ähnliches Anliegen verfolgen: die Erstellung von ressourcensparenden und komfortablen Gebäuden, die möglichst viel von den natürlichen Ressourcen des jeweiligen Außenraumes nutzen.

Das von Daniels als High-Tech deklarierte Niederschlagen der Informations- und Kommunikationssysteme im Bauen wird heute unter dem Stichwort „Smart“ vermarktet [49]. Neben „Smart Buildings“ wie „Smart Homes“ oder „Smart Offices“ werden inzwischen auch „Smart Gadgets“ (wie zum Beispiel Kaffeemaschinen) angeboten, die mit den Gebäuden via WLAN vernetzt sind. Unter „Smart Buildings“ werden Gebäude verstanden, die durch Integration ihrer digitalen und physikalischen Infrastrukturen eine optimierte „Performance“ und Energieeffizienz aufweisen [50]. In „Smart Buildings“ passt eine künstliche Intelligenz den Betrieb eines Gebäudes laufend auf das sich verändernde Umfeld an.

Als markantes Beispiel für ein „Smart Building“ gilt das „cube berlin“ vom dänischen Architekturbüro 3XN am Berliner Washingtonplatz (Abbildung 8). Von der Presse wird dieses als „intelligentestes Gebäude Europas“ bezeichnet [51]. Im „cube berlin“, einem sogenannten „Smart Commercial Building“ werten Computer die Daten von 3750 im Gebäude installierten Sensoren aus. Des Weiteren fließen zum Beispiel Informationen von den Smartphones der Gebäudenutzer\*innen und Daten von Wetterdiensten in die Steuerung des Gebäudes mit ein. Die Computer lernen so nach und nach das Nutzer\*innen- und Gebäudeverhalten kennen, treffen Vorhersagen und fällen Entscheidungen. Schalter und Taster gibt es in diesem Gebäude kaum noch. Für die Bedienung des Aufzuges über das Öffnen von Türen bis hin zur

Steuerung der Licht und Temperaturverhältnisse wird eine App auf dem Smartphone benötigt [52].



Abbildung 8: "cube berlin" von 3XN als Beispiel für ein „Smart Building“ (Quelle: <https://3xn.com/project/cube-berlin> [Abgerufen am 17.02.2021])

Entgegen dieser „High-Tech-Strömung“ werden im aktuellen fachlichen, öffentlichen und politischen Diskurs zur Energieeffizienz im Gebäudebereich zunehmend technikzentrierte Effizienzstrategien hinterfragt. Auch die Bundesbauverwaltung setzt seit einigen Jahren verstärkt darauf, Energie- und Technikkonzepte der Gebäude zu vereinfachen [53]. Sehr oft zitiertes Beispiel dieser „Low-Tech-Strömung“ ist das Gebäude „2226“ von Baumschlager Eberle Architekten, das ohne den Einsatz von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik komfortable Innenraumverhältnisse (22–26 °C) verspricht und nach mehreren Jahren des Monitorings auch zu gewährleisten scheint. Im Winter reicht die Abwärme von Personen, Geräten und Beleuchtung in Kombination mit passiven solaren Gewinnen aus, um das Gebäude zu beheizen. Im Sommer wird eine Überhitzung durch tief in den Laibungen sitzenden und damit größtenteils verschatteten Fenstern und einer erhöhten Nachtlüftung in Kombination mit einer großen thermischen Speichermasse vermieden. Für eine ausreichende Belüftung sorgen elektrisch betriebene Lüftungsklappen, die auch in diesem Gebäude durch Sensoren (24 Stück) und Computer gesteuert werden. Das Ausmaß dieser Steuer- und Regelungstechnik ist allerdings kaum mit dem „cube berlin“ vergleichbar. Wenn auch das „2226“ im Betrieb wenig Gebäudetechnik benötigt, wurde zur Planung und Optimierung computergestützte Simulationssoftware eingesetzt [54]. Low-Tech im Betrieb muss also nicht einen geringen Technikeinsatz in der Planung bedeuten.

An diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass die Frage „was ist Low-Tech?“ und „was ist nicht Low-Tech?“ nicht leicht zu beantworten ist. Zum einen hängt dies maßgeblich mit dem betrachteten Rahmen, also der Systemgrenze zusammen, zum anderen hat sich bisher noch keine allgemeingültige Definition von Low-Tech durchgesetzt.



Abbildung 9: „2226“ von Baumschlagger Eberle Architekten als Beispiel für ein „Low-Tech Gebäude“ (Quelle: <https://www.baumschlagger-eberle.com> [Abgerufen am 17.02.2021])

### 2.3.3 Definition

Der aus dem Englischen stammende Begriff Low-Tech kann mit „geringe Technik“ übersetzt werden. Im Deutschen wird Low-Tech jedoch in der Regel nicht übersetzt.

Für den Begriff Low-Tech gibt es keine allgemein anerkannte Definition. Im Folgenden wird eine Auswahl von Definitionen verschiedener Autor\*innen vorgestellt und anschließend eine eigene Definition entwickelt.

- (1) Eine der ersten Definitionen des Begriffs Low-Tech im Kontext des Bauens wurde 1998 von Daniels veröffentlicht [49, S. 7]: „*«Low-Tech» steht dafür, Gebäude einfach zu gestalten und so weit wie möglich mit den natürlichen Ressourcen des jeweiligen Außenraumes zu betreiben.*“
- (2) Ritter verbindet mit Low-Tech „*eine Konstruktionsphilosophie [...], die bewusst auf komplizierte Technik verzichtet und auf einfache Wirkprinzipien baut*“ [14, S. 6].
- (3) Haselsteiner et al. erweitern das Verständnis von Low-Tech auf den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. „[...] für „*Nachhaltige Low Tech Gebäude*“ [gilt] die grundlegende

*Zielsetzung eines geringen Einsatzes von Technologie über den gesamten Lebenszeitraum. Dazu zählt der Technikeinsatz in der Planungs- und Bauphase ebenso wie jener in der Betriebs- oder Erneuerungsphase oder der Rückbauphase“ [12, S. 11].*

- (4) Endres betrachtet „*Low-Tech im Sinne der Reduzierung von Komponenten und [...] ihrer Robustheit gegenüber unsicherer Randbedingungen“ [13, S. 12].*
- (5) Beim Erweiterungsbau des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Berlin wurde Low-Tech im Ausschreibungstext wie folgt definiert: „*Das Gebäude soll nach dem Lowtech-Prinzip geplant werden, welches robuste, wartungsarme, bauliche Lösungen gegenüber technischen Lösungen vorzieht“ [55].*
- (6) In der Energieleitlinie der Stadt Kempten wurde folgende Definition gefunden [56, S. 6]: „*Planungskonzepte, die die Gebäudetechnik und deren Steuerung minimieren.“*
- (7) Im Rahmen des Forschungsprojekts „*Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „Low-Tech“ Gebäude im Bodenseeraum“* wurde folgende Definition für Low-Tech Gebäude veröffentlicht [10, S. 11]: „*Low-Tech Gebäude sind energieeffizient, ressourcenschonend und wirtschaftlich. Sie sind robust und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Ihre Baukonstruktion ist entsprechend geplant und ausgeführt und bietet den Nutzenden Behaglichkeit im gesamten Jahresverlauf. Die noch notwendige, reduziert eingesetzte Gebäudetechnik ist einfach in Bedienung und Instandhaltung.“*

### 2.3.3.1 Eigene Definition

Für das in dieser Arbeit untersuchte Beratungsangebot soll eine möglichst kurze und eindeutige Definition gefunden werden. Dies dient einer klaren Kommunikation und dadurch dem Vorbeugen von Missverständnissen. Die Eindeutigkeit kann durch einen klaren Betrachtungsrahmen, also eine klar gezogene Systemgrenze, verbessert werden. Des Weiteren soll Low-Tech kein Selbstzweck sein, sondern der Nachhaltigkeit dienen.

Unter diesen drei Ansprüchen an die Definition – kurz, klare Systemgrenze, Nachhaltigkeit – werden die vorhandenen Definitionen betrachtet und ausgewertet:

- kurz (1) (2) (4) (5) (6)
- klare Systemgrenze (6)
- Nachhaltigkeit (3) (7)

Keine der Definitionen erfüllt damit alle drei Ansprüche. Die einzige Definition die zwei Ansprüchen genügt ist Definition (6) aus der Energieleitlinie der Stadt Kempten. Diese wird im Folgenden mit dem Anspruch der Nachhaltigkeit weiterentwickelt zu:

**Low-Tech ist ein Planungsprinzip, das Gebäudetechnik reduziert und gleichzeitig die Nachhaltigkeit des gesamten Gebäudes maximiert.**

Diese Definition hat drei zentrale Begriffe: Planungsprinzip, Gebäudetechnik und Nachhaltigkeit.

Ein Prinzip kann dabei als *„feste Regel, die jemand zur Richtschnur seines Handelns macht, durch die er sich in seinem Denken und Handeln leiten lässt“* verstanden werden [57]. Diese feste Regel ist in diesem Fall explizit auf die Planung von Gebäuden bezogen.

Unter Gebäudetechnik werden hier alle Anlagen, die in Kostengruppe 400 nach DIN 276 fallen, verstanden [15, S. 41]:

- *„410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen*
- *420 Wärmeversorgungsanlagen*
- *430 Raumluftechnische Anlagen*
- *440 Elektrische Anlagen*
- *450 Kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen*
- *460 Förderanlagen*
- *470 Nutzungsspezifische und verfahrenstechnische Anlagen*
- *480 Gebäude- und Anlagenautomation*
- *490 Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen“*

Die Systemgrenze ist damit klar gezogen. Wie bereits in Kapitel 2.2.1 erläutert, kann Nachhaltigkeit wie folgt definiert werden [22, S. 7]: *„Nachhaltiges Handeln bedeutet, ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte gleichberechtigt zu berücksichtigen, um nachfolgenden Generationen eine intakte Umwelt und gleiche Lebenschancen hinterlassen zu können.“*

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird Low-Tech unter der in diesem Kapitel formulierten Definition verstanden.

## 2.3.4 Potenziale

Im Folgenden werden einige Potenziale von Low-Tech aufgezeigt. Diese werden in die „drei Dimensionen der Nachhaltigkeit“ (siehe Kapitel 2.2.1) gegliedert.

### 2.3.4.1 Ökologie

Im Forschungsprojekt „Ökologische Bewertung der Haustechnik“ werden verschiedene Gebäudetechnikkomponenten mithilfe von Ökobilanzierungen bewertet. Dabei wird festgestellt, dass die Gebäudetechnik, trotz des geringen Stoffmasseanteils von 1 - 4% an der gesamten Stoffmasse des Gebäudes, je nach Indikator 7 – 23 % der Umwelteinträge ausmacht [58]. Dies liegt zum einen an den eingesetzten Materialien mit hohen Umwelteintragskennwerten (vorrangig Metalle und Kunststoffe) und zum anderen an den relativ kurzen Lebenszyklen. Die mittlere Lebensdauer von Gebäudetechnik liegt mit 15 Jahren deutlich unter der mittleren Lebensdauer der Baukonstruktion, je nach Bauteil 40 – 75 Jahre [59].

Des Weiteren wird in der Studie „e% Energieeffizienter Wohnungsbau“ betont, dass eine einfache Anlagentechnik (hier monovalente Wärmeerzeugung und Abluftanlage) gleich geringe Endenergieverbräuche mit geringeren Wartungskosten erzielen kann, wie technisch hochambitionierte Systeme [7].

Durch die Minimierung von Gebäudetechnik, bei gleichbleibendem Energieverbrauch im Gebäudebetrieb, hat damit Low-Tech das Potenzial geringere Umweltwirkungen zu erzielen.

### 2.3.4.2 Soziales

Der steigende Einsatz von Gebäudetechnik und die damit einhergehende Komplexität führt zu einer immer schwieriger werdenden Erfassbarkeit von Wirkung und Funktion. Die Zusammenhänge zwischen der Gebäudekonditionierung, dem Energieverbrauch und den daraus resultierenden Kosten wird intransparenter. Dies kann sowohl für Nutzer\*innen als auch für Planer\*innen und Betreiber\*innen zu Überforderung und Unzufriedenheit führen.

Zudem zeigen aktuelle Forschungsprojekte, dass durch statisch geregelte Innenraumtemperaturen und durch komplexe Lüftungssysteme zwar homogen konditionierte Räume erreicht werden, dies aber von Nutzer\*innen nicht unbedingt als komfortabel empfunden wird [24]. Ein durch Nutzer\*innen geregeltes Raumklima mit Schwankungen der Raumlufttemperatur und einer natürlichen Lüftung hingegen kann die Zufriedenheit steigern [60].

Low-Tech hat damit das Potenzial durch Überschaubarkeit der Prozesse und Funktionen sowie durch transparente Wirkungszusammenhänge und dadurch wirksamen Eingriffsmöglichkeiten zu einer höheren Zufriedenheit von Nutzenden, Planenden und Betreibenden zu führen.

### 2.3.4.3 Ökonomie

Wie in Abbildung 10 dargestellt, stiegen von 1999 bis 2014 die Ausgaben für technische Anlagen (KG 400) in Gebäuden um 45,9 %, während die Ausgaben für die Baukonstruktion (KG 300) lediglich um 25,3 % anstiegen [4]. Der Anteil der KG 400 an den Bauwerkskosten (KG 300 + KG 400) liegt beispielsweise für allgemeinbildende Schulen 2019 bei durchschnittlich 23,1 %, während er 2011 noch bei 19,5 % lag [61, 62].

In Tabelle 1 werden die Kosten des in Kapitel 2.3.2 als Low-Tech Gebäude beschriebene „2226“ gegenüber den Kosten von Büro- und Verwaltungsgebäuden des mittleren Standards nach Baukosteninformationszentrum (BKI) dargestellt. Es fällt auf, dass das „2226“ sowohl in der KG 300 als auch in der KG 400 niedrigere Werte aufweist als durchschnittliche Bürogebäude. Auch der Anteil der KG 400 an den Bauwerkskosten ist um 2,2 % geringer als der Durchschnitt.

Tabelle 1: Kostenvergleich zwischen dem „2226“ und Büro- und Verwaltungsgebäuden nach BKI (Quelle: Eigene Darstellung nach [61, 63])

	<b>KG 300</b> [€/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	<b>KG 400</b> [€/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	<b>KG 300+400</b> [€/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	<b>Anteil KG 400</b> [%]	<b>Quelle</b>
BKI	1.265	401	1.666	23,8	[61]
2226	1.097	302	1.399	21,6	[63]

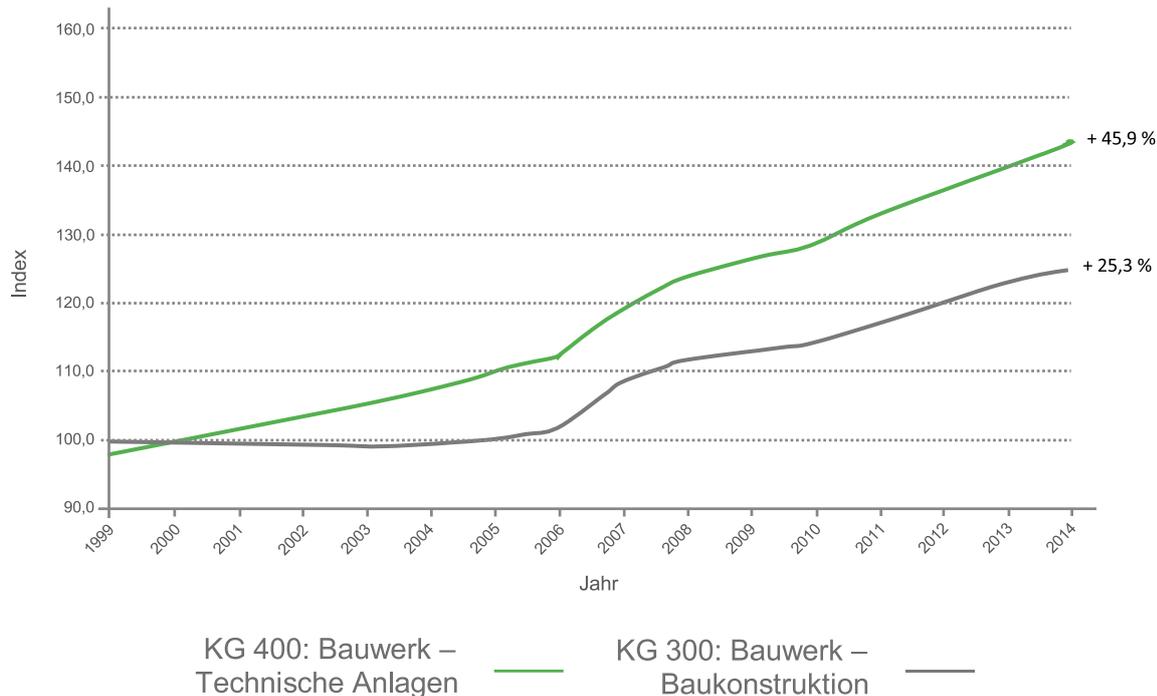


Abbildung 10: Darstellung der Entwicklung der Kosten in KG 300 und KG 400  
(Quelle: Bericht der Baukostensenkungskommission, 2015 zitiert nach Endres, 2020)

Die Baukostensenkungskommission der Bundesregierung bezeichnet die technischen Anlagen als hauptverantwortlich für die Kostensteigerung im Bauwesen [4]. Es zeigt sich in der Praxis häufig, dass komplexe Gebäudetechniksysteme nicht die erwarteten Energieeinsparungen liefern und zudem teurer in der Unterhaltung sind [64]. Eine Studie zum energieeffizienten Wohnungsbau der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, Bau und Verkehr in Kooperation mit der Technischen Universität München zeigt, dass mit steigender Komplexität und Komponentenanzahl der Gebäudetechnik die Abweichung von berechnetem Energiebedarf zu tatsächlichem Energieverbrauch, die Wartungskosten und die Fehleranfälligkeit steigt. Im Gegensatz dazu weisen Gebäude mit geringerer Komplexität deckungsgleiche oder leicht bessere gemessene Werte gegenüber der Prognose auf [7].

Low-Tech hat damit nicht nur das Potenzial, niedrige Investitionskosten sondern auch niedrige Betriebs- und Wartungskosten zu erzielen, also insgesamt niedrige Lebenszykluskosten.

Um die Reduktion technischer Anlagen zu quantifizieren, kann der prozentuale Kostenanteil der technischen Anlagen (KG 400) an den Bauwerkskosten (KG 300 + KG 400) genutzt werden. Referenzwerte für unterschiedliche Gebäudetypen nach BKI sind in Tabelle 2 gegeben. Generell kann bei Nicht-Wohngebäuden mit höheren relativen Kosten für technische Anlagen gerechnet werden.

## 2 Grundlagen

---

Tabelle 2: Anteil der technischen Anlagen (KG 400) an den Bauwerkskosten (KG 300 + KG 400)  
(Quelle: Eigene Darstellung nach [61])

<b>Kategorie</b>	<b>Gebäudetyp</b>	<b>Anteil KG 400</b>
Bildung	Kindergärten	21,4 %
	Allgemeinbildende Schulen	23,1 %
	Sport- und Mehrzweckhallen	23,5 %
	Berufliche Schulen	28,6 %
	Instituts- und Laborgebäude	39,0 %
Gewerbe	Lagergebäude	14,2 %
	Geschäftshäuser	21,1 %
	Industrielle Produktionsgebäude	26,5 %
	Gaststätten, Kantinen und Mensen	27,9 %
Verwaltung	Gemeindezentren	20,3 %
	Büro- und Verwaltungsgebäude	23,8 %
Wohnen	Ein- und Zweifamilienhäuser	17,0 %
	Reihenhäuser	19,7 %
	Mehrfamilienhäuser	20,0 %
	Wohnheime und Internate	23,1 %
	Senior*innenwohnungen	25,0 %

## 3 Analyse des Beratungsangebotes

### 3.1 Beschreibung des Energie- und Umweltzentrums Allgäu

Das Energie- und Umweltzentrum Allgäu (eza!) ist eine 1998 gegründete gemeinnützige GmbH mit Sitz in Kempten. Ziel ist die „*Verbreitung des Einsatzes umweltfreundlicher, ressourcenschonender Techniken und die Aufklärung und Information des Verbrauchers über rationelle Energieverwendung und die Nutzung regenerativer Energien*“ [65]. Dieses Ziel wird hauptsächlich durch Beratungen, Bildungsveranstaltungen, Netzwerkarbeit sowie Organisation und Begleitung von Bauprojekten gefördert. Das Team umfasst aktuell knapp 40 Mitarbeitende.

### 3.2 Bestehendes Beratungsangebot

Das Beratungsangebot „Low-Tech Gebäude: Energieeffizienz und reduzierte Technik“ entstand im Zuge des Forschungsprojekts „Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche Low-Tech Gebäude im Bodenseeraum“ im Juni 2016. Ein Teil des Forschungsprojektes war die Begleitung und Beratung von Low-Tech Pilotprojekten. Daraus ist nach und nach ein eigenständiges Beratungsangebot entstanden.

Im Folgenden wird das Beratungsangebot dargestellt, wie es auf der Website von eza! veröffentlicht wird.

Das Ziel dieses Beratungsangebotes ist „*die langfristige und nachhaltige Reduzierung des Energieverbrauchs bei Neubauten und im Gebäudebestand – bei kritischer Auseinandersetzung mit der Haus- und Anlagentechnik. Es sollen klimaverträgliche Gebäude entwickelt werden, die sich durch möglichst geringen Energieverbrauch, geringe graue Energie und ein niedriges Treibhauspotenzial auszeichnen und die dennoch für den Bewohner angenehm und behaglich sind. Ohne technologiefeindlich zu sein, soll die Konstruktion und die technische Ausstattung von Gebäuden analysiert und hinterfragt werden*“ [66].

Laut eza! müssen für ein Low-Tech Gebäude folgende Kriterien eingehalten werden [66]:

- „1. Klare Zielformulierung durch den Auftraggeber
2. Integrale Planung
3. Energieeffiziente Gebäudehülle
4. Sommerlicher Wärmeschutz
5. Frische Luft für die Nutzer mit reduzierter Lüftung
6. Einsatz Erneuerbarer Energien für die Wärme- und Stromversorgung“

Optional wird angeboten, bei der Auswahl von ökologischen und schadstofffreien Baumaterialien zu unterstützen. Dafür werden Kriterien definiert, die anschließend in Ausschreibungen gefordert werden. Bei der Ausführung wird die Einhaltung der Kriterien stichprobenartig kontrolliert. Ziel ist eine gute Innenraumluftqualität und eine geringe Schadstoffbelastung.

Der Ablauf des Beratungsangebotes wird wie folgt beschrieben [66]: „Wir begleiten und beraten Sie bei der Planung und Umsetzung ihres Bauvorhabens (Neubau und Sanierung). Dabei werden die sechs oben genannten Kriterien, gemeinsam mit dem Planungsteam, bearbeitet und prüfbar dokumentiert. Bei Einhaltung aller 6 Kriterien, vergibt eza! das Siegel 100 % Low-Tech.“

## 3.3 Auswertung zu bisher durchgeführten Beratungen

Bisher wurden insgesamt neun Bauprojekte beraten und begleitet. In den folgenden Kapiteln werden diese Bauprojekte und die Beratungen näher betrachtet und anschließend Schlüsse zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes gezogen.

### 3.3.1 Bauprojekte

In Abbildung 11 werden die neun bisher beratenen Bauprojekte näher spezifiziert. Überwiegend handelt es sich dabei um Neubauprojekte und in einem Fall um eine Sanierung beziehungsweise um einen Neubau in Kombination mit einer Sanierung. Bei sechs Bauprojekten handelt es sich um Gebäude, in denen Kinder betreut werden (drei Kindergärten, zwei Kindertagesstätten und eine Kinderkrippe). Des Weiteren fanden Beratungen für ein Naturerlebniszentrum, ein Mehrfamilienhaus und ein Veranstaltungsgebäude statt. Am häufigsten wurden dabei kommunale Bauherr\*innen beraten. In drei Fällen handelt es sich jeweils um einen Verein, ein Unternehmen und um eine\*n private\*n Bauherr\*in.

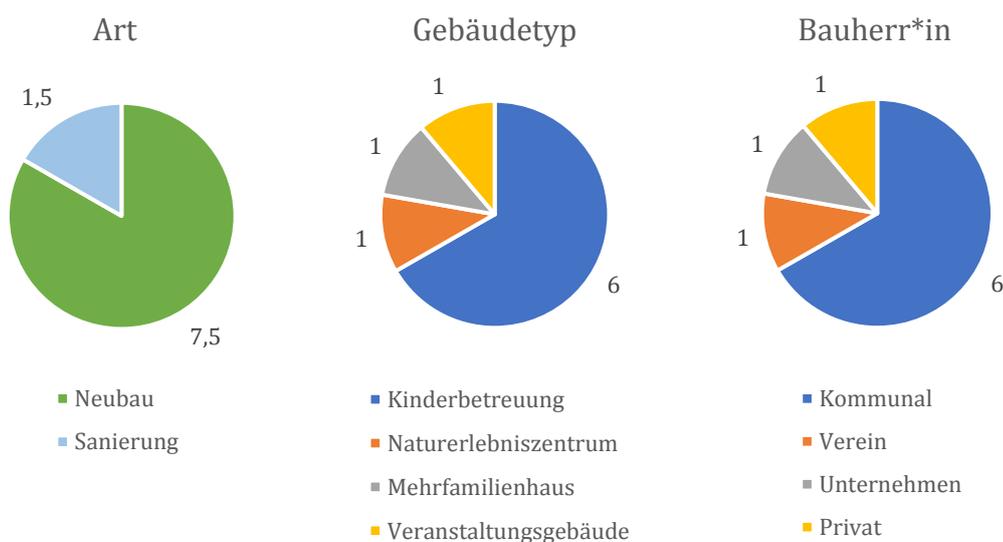


Abbildung 11: Auswertung der Bauprojekte im Beratungsangebot (Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von eza!)

### 3.3.2 Beratungsbeginn, umgesetzte Maßnahmen und Beratungsablauf

In fünf Fällen kam die Initiative für die Beratung von dem\*der Bauherr\*in. In vier Fällen ging die Initiative von eza! aus, um Pilotprojekte für das vorher erwähnte Forschungsprojekt zu gewinnen. Alle beratenen Projekte befanden sich beim Beratungseinstieg entweder in Leistungsphase 2 (Vorplanung) oder in Leistungsphase 3 (Entwurfplanung). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich die Leistungsphase, in der sich ein Projekt befindet, meistens nicht klar definieren lässt. Laut einer weiteren Information von eza! befanden sich die Projekte entweder kurz vor oder kurz nach der Einreichung des Bauantrages und damit in Leistungsphase 4 (Genehmigungsplanung).

In Abbildung 12 wird gezeigt, dass in sieben Projekten Maßnahmen umgesetzt wurden, die in Zusammenhang mit der Beratung stehen. In zwei Fällen gibt es zur Umsetzung der Maßnahmen nur Tendenzen, entweder weil das Projekt nicht intensiv genug begleitet wurde oder die Umsetzung der Maßnahmen nicht klar zu erkennen ist. Zwei Projekte sind noch nicht abgeschlossen und können deshalb noch nicht beurteilt werden. In den fünf Projekten, in denen Maßnahmen umgesetzt wurden, konnte fünfmal das Lüftungssystem und zweimal die Technik zur Wärmeerzeugung reduziert werden.

Insgesamt gestaltet sich der Beratungsablauf laut Aussagen von eza! bei jedem Projekt sehr individuell. Es gibt noch keine Struktur anhand deren sich ein prinzipieller Ablauf ergibt.

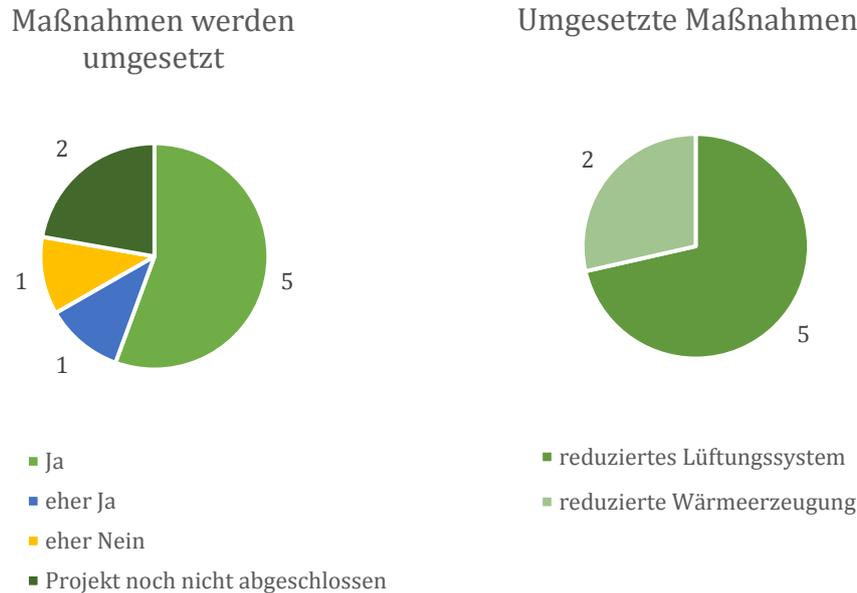


Abbildung 12: Maßnahmen, die in den beratenen Projekten umgesetzt werden  
(Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von eza!)

### 3.4 Schlussfolgerungen

Die begleiteten Projekte sind vorwiegend Neubauten von sogenannten Nicht-Wohngebäuden. Die Anforderungen und die technische Ausstattung bei Nicht-Wohngebäuden ist meistens höher als bei Wohngebäuden (siehe dazu Tabelle 2, Seite 23) Durch eine höhere technische Ausstattung ergibt sich ein höheres „Low-Tech Potenzial“ und damit ein erhöhter Beratungsbedarf.

Die bisher durchgeführten Beratungen spiegeln nicht das volle Potenzial des auf der Website dargestellten Beratungsangebotes wider. Insgesamt wurden sieben Maßnahmen in neun Projekten umgesetzt. Ausgehend von der Vermutung, dass mit einer umgesetzten Maßnahme jeweils ein Kriterium (siehe Kapitel 3.2) erfüllt wird, wurden bisher also fünfmal das Kriterium „5. Frische Luft für die Nutzer mit reduzierter Lüftung“ und zweimal das Kriterium „3. Energieeffiziente Gebäudehülle“ erfüllt. Bei neun Projekten wären jedoch insgesamt 54 Kriterien erfüllbar gewesen.

Als Hauptursache für den geringen Erfüllungsgrad kann der relativ späte Beginn der Beratung gesehen werden. Alle Projekte standen entweder kurz vor oder kurz nach Eingabe des Bauantrags. Damit stand der Entwurf bereits weitgehend fest und alle relevanten Entscheidungen waren bereits getroffen, bevor *eza!* zur Beratung hinzugezogen wurde. Besonders die Kriterien „1. Klare Zielformulierung durch den Auftraggeber“ und „2. integrale Planung“ sind bei so weit fortgeschrittenem Projektstand nicht mehr zu beeinflussen. Auch die weiteren vier Kriterien sind bei diesem Projektstand nur noch schwer beeinflussbar.

Aus Abbildung 13 geht hervor, dass der Grad der Beeinflussbarkeit eines Projekts am Anfang am höchsten ist. Bereits zu Beginn der Planungsphase ist dieser Grad stark abgesunken. Je früher eine Beratung einsetzt, um so effektiver kann diese sein. Besonders die Entscheidungen, die für die Erstellung eines Low-Tech Gebäudes notwendig sind, sollten so früh und so eindeutig wie möglich getroffen und in einer klaren Zielformulierung festgehalten werden. Das ist eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass sich alle Projektbeteiligten, insbesondere auch die Bauherr\*innen, immer wieder auf die Zielformulierungen beziehen können und sich verbindlich daran halten.

Für die Weiterentwicklung des Beratungsangebotes ist es notwendig, die Grundlagen für dessen Inhalt zu präzisieren. Des Weiteren ist es wichtig einen Ablaufplan für den Beratungsprozess zu erarbeiten. Zudem ist festzuhalten, dass das Beratungsangebot so früh wie möglich ansetzen sollte. Bestenfalls noch bevor die Konzeptionsphase beginnt.

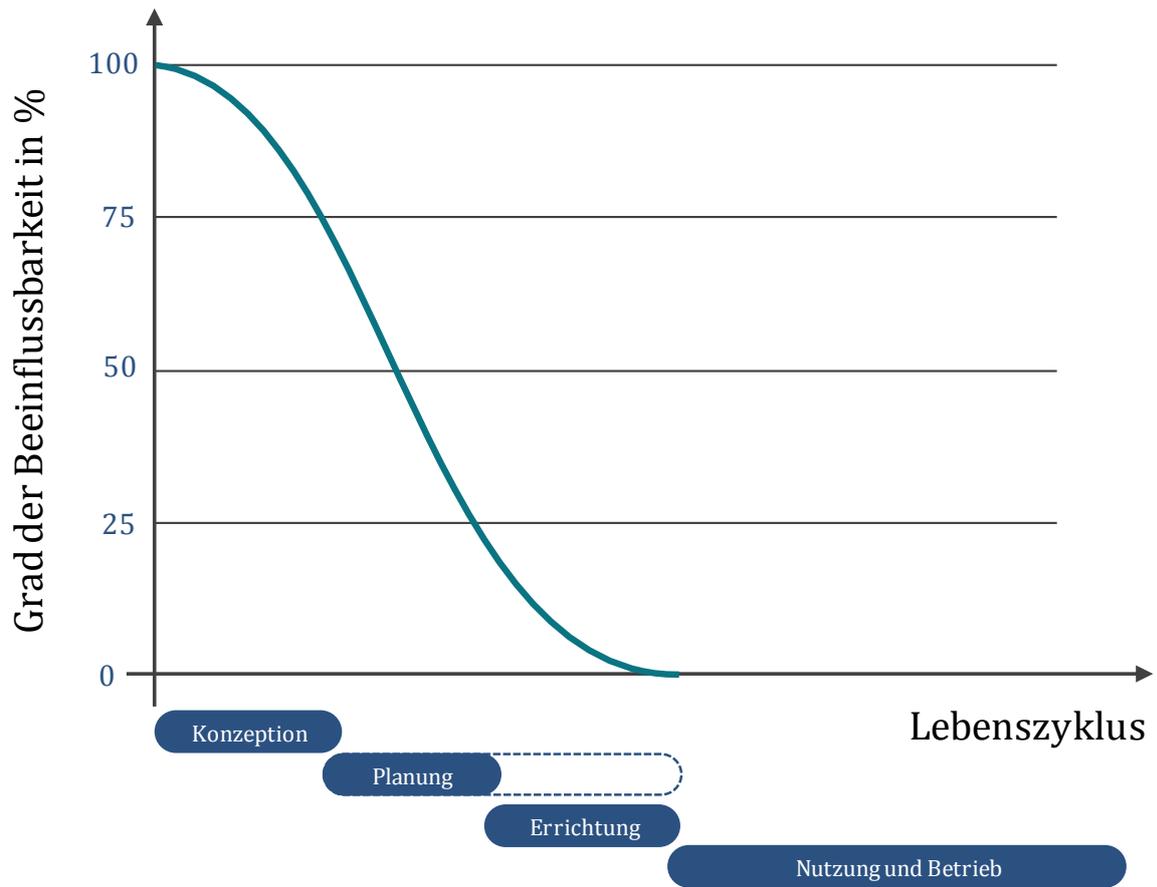


Abbildung 13: Grad der Beeinflussbarkeit von Projekten im Lebenszyklus  
(Quelle: Eigene Darstellung nach Heidemann 2014, S. 30)

## 4 Ansätze zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes

Für die Herausarbeitung von Ansätzen zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes wird zunächst das auf der Website von eza! veröffentlichte Ziel der Beratung (siehe Kapitel 3.2) näher untersucht. Auf das Wesentliche reduziert kann dieses auch so formuliert werden: Das Ziel der Beratung ist eine Steigerung der Nachhaltigkeit durch Reduktion von Gebäudetechnik bei Beachtung von Behaglichkeit und Funktion. Damit deckt sich das Ziel der Beratung mit der in Kapitel 2.3.3.1 entwickelten Definition von Low-Tech. In Abbildung 14 sind die verschiedenen Ebenen des Zieles der Beratung dargestellt.

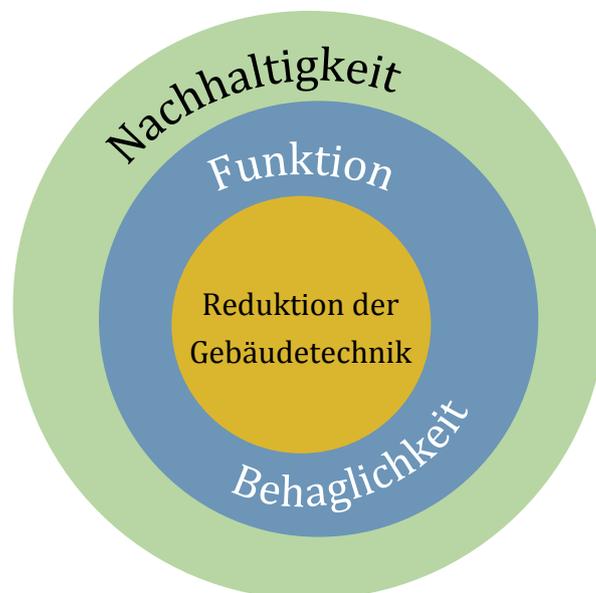


Abbildung 14: Verschiedene Zielebenen des Beratungsangebotes (Quelle: Eigene Darstellung)

In den folgenden Teilen dieser Arbeit wird sich auf den Kern des Beratungsangebotes fokussiert. Es wird demnach der Frage nachgegangen, wie Gebäudetechnik reduziert werden kann. Für die Weiterentwicklung des Beratungsangebotes wird das Beratungsangebot von Grund auf neu strukturiert. Die vorhandenen Kriterien werden im weiterentwickelten Beratungsangebot eingebunden und es werden zusätzlich neue Aspekte betrachtet. Es werden drei Strategien entwickelt, zwei Rahmenbedingungen beschrieben und Beispiele für klare Zielformulierungen gegeben (vgl. Abbildung 15).

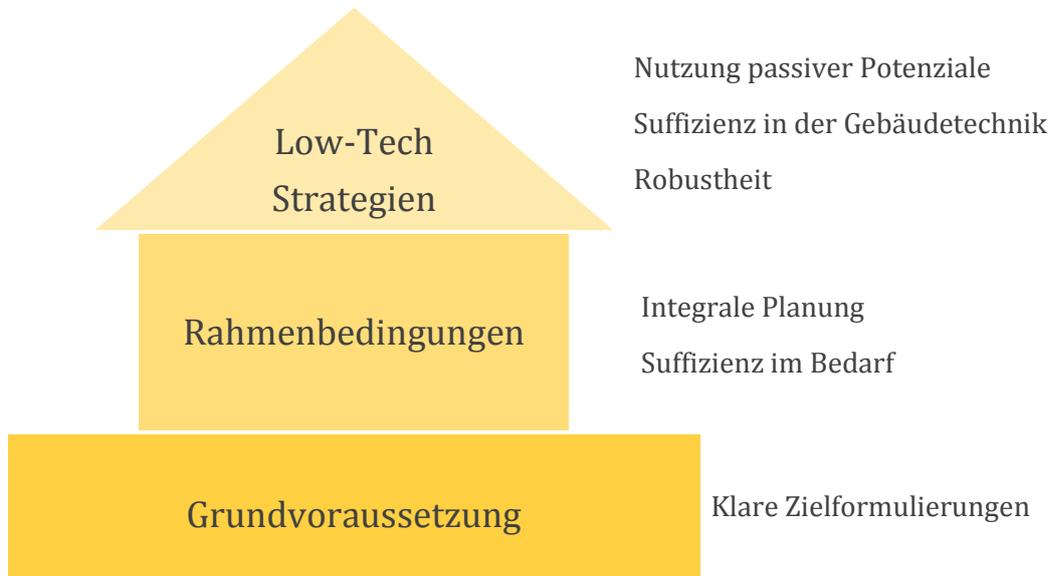


Abbildung 15: Grundvoraussetzung, Rahmenbedingungen und Strategien zur Reduktion von Gebäudetechnik (Quelle: Eigene Darstellung)

Bevor in Kapitel 5 die folgenden drei Low-Tech Strategien behandelt werden, wird zunächst ein kurzer Überblick gegeben:

- **Low-Tech Strategie – Nutzung passiver Potenziale**  
Je mehr Aufgaben für die Konditionierung des Gebäudes durch die Baukonstruktion übernommen werden, desto weniger Gebäudetechnik muss dafür eingesetzt werden.
- **Low-Tech Strategie – Suffizienz in der Gebäudetechnik**  
Kritisches Auseinandersetzen mit der Frage, ob bestimmte Anlagen oder Bauteile tatsächlich notwendig sind, um den Bedarf zu erfüllen.
- **Low-Tech Strategie – Robustheit**  
Möglichst „tolerantes Verhalten“ des Gebäudes gegenüber technischen Mängeln und dem Einfluss des Nutzer\*innenverhaltens sowie Verlängerung der Lebensdauer von Gebäudetechnik, damit im Laufe des Gebäudelebenszyklus weniger Gebäudetechnik eingesetzt werden muss.

In Kapitel 6 werden die folgenden zwei Rahmenbedingungen beleuchtet:

- **Rahmenbedingung – Integrale Planung**  
Durch Integrale Planung wird ein Gebäude unter Zusammenarbeit aller Beteiligten von Anfang an ganzheitlich geplant.
- **Rahmenbedingung – Suffizienz im Bedarf**  
Das „nicht gebaute“ muss weder beheizt, gekühlt noch beleuchtet werden.

Die Grundvoraussetzung zur Umsetzung der Low-Tech Strategien und zur Einhaltung der Rahmenbedingungen ist eine klare Formulierung der Ziele. In Kapitel 7 werden Beispiele für Zielformulierungen genannt und mit dem Beratungsprozess in Verbindung gebracht.

Es wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass Low-Tech für jegliche Gebäudetypen eine Rolle spielen kann. Die Betrachtung der Weiterentwicklung des Beratungsangebotes ist deshalb auf die Planung von Gebäuden im Allgemeinen ausgerichtet. In manchen Aspekten aber wird zwischen Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden unterschieden. Bauen ist immer individuell, daher passen nicht alle besprochenen Themen zu jedem Bauprojekt.

## 5 Low-Tech Strategien

Zur Reduktion von Gebäudetechnik werden im Folgenden drei Strategien vorgestellt: „Passive Gebäudekonzepte“, „Suffizienz in der Gebäudetechnik“ und „Robustheit“.

### 5.1 Nutzung passiver Potenziale

Gebäudetechnik dient zur Konditionierung von Gebäuden sowie zur Versorgung der Nutzer\*innen und technischen Anlagen mit Ressourcen wie Energie, Wasser und Information. Passive Gebäudekonzepte spielen vor allem bei der Gebäudekonditionierung eine Rolle. Durch die Nutzung von den in diesem Kapitel vorgestellten Möglichkeiten kann der Bedarf an aktiver Konditionierung und damit auch der Bedarf an Gebäudetechnik gesenkt werden.

In der Planung von Low-Tech Gebäuden sollte daher der Grundsatz „passiv vor aktiv“ gelten. Dies kann die passive Nutzung von Solarenergie in Form von Wärme und Licht, die Nutzung von Wind zur Belüftung und Kühlung, die Nutzung von Verdunstungskälte von Pflanzen oder offenen Wasserflächen, die Nutzung von Abwärme von Menschen und Geräten oder die Nutzung von Verschattungen bedeuten.

Für die Nutzung von passiven Potenzialen ist es von zentraler Bedeutung einen Bezug zum Bauort aufzubauen. Der Ortsbezug meint *„die Entwurfsidee (das Konzept) nicht als vorgefertigtes Leitbild mitzubringen, sondern sie im Dialog aus den Gegebenheiten des Ortes zu entwickeln.“* [67, S. 173]. Neben der Analyse der äußeren klimatischen Bedingungen wie Temperaturverläufe, Wind- und Feuchteverhältnisse und Verschattungssituationen ist eine Betrachtung des baulichen Umfelds von Bedeutung. Gegebenenfalls können Synergien, zum Beispiel durch die Nutzung von Nahwärmenetzen, geschaffen werden. Die Betrachtung von historischen Gebäuden in der Region sowie die Beschäftigung mit lokalen Bautraditionen können wichtige Impulse für die Nutzung von passiven Potenzialen geben (vgl. Kapitel 2.3.1).

Bei der Optimierung der passiven Konzepte sind hauptsächlich die Belange des Gebäudeverhaltens während der Heizperiode und die Belange des sommerlichen Wärmeschutzes gegeneinander abzuwägen. Gegenwärtig spielt der Energieverbrauch zur Wärmeerzeugung eine deutlich größere Rolle als der Energieverbrauch zur Kälteerzeugung (vgl. Kapitel 2.2). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass durch den Klimawandel der sommerliche Wärmeschutz, vor allem in Nicht-Wohngebäuden, in den nächsten Jahrzehnten eine immer wichtigere Rolle spielen wird [27, 68]. Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes sollte sein, eine geringe Über-temperaturhäufigkeit bei gleichzeitigem Verzicht auf aktive Kühlung zu realisieren. Ziel des Gebäudeverhaltens während der Heizperiode sollte ein möglichst geringer Heizenergieverbrauch sein.

Zur Optimierung der passiven Konzepte (und der aktiven Gebäudetechnik) können je nach Aufgabe mehr oder weniger aufwendige Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden. Für den gesetzlichen Nachweis der energetischen Mindestanforderungen an Gebäude

sind im Gebäudeenergiegesetz (GEG) einheitliche Berechnungsverfahren vorgegeben. Da hierzu die Kennwerte aller energetisch relevanten Materialien und der technischen Komponenten definiert sein müssen, wird die Berechnung in der Regel erst nach Abschluss der Entwurfsphase (spätestens jedoch zum Bauantrag) durchgeführt. Sinnvoll ist die Berechnung jedoch bereits in frühen Planungsphasen mit überschlägigen Annahmen. Dadurch kann die GEG-Berechnung nicht nur zum Nachweis, sondern auch zur Planungsoptimierung eingesetzt werden.

Für Berechnungen nach GEG werden stets das „Normklima Potsdam“ und eine Normnutzung als Randbedingungen vorausgesetzt. Dadurch können erhebliche Abweichungen vom errechneten Energiebedarf zum tatsächlichen Energieverbrauch eines Gebäudes entstehen. Detailliertere und exaktere Ergebnisse lassen sich durch standort- und nutzungsbezogene Randbedingungen erreichen. Im Vergleich zu Berechnungsprogrammen liefern Simulationsprogramme, wie TRNSYS oder IDA Ice, oft präzisere Ergebnisse. Anspruchsvolle Low-Tech Konzepte sollten deshalb, bestenfalls in verschiedenen Varianten, simuliert werden.

Einige Berechnungs- und Simulationsprogramme, die zur Planungsoptimierung eingesetzt werden können, werden im Folgenden aufgelistet.

Berechnungsprogramme (statisch):

- BKI Energieplaner und Energieberater Professional 3D  
sind Berechnungsprogramme zum GEG.
- PHPP  
ist ein vom Passivhausinstitut entwickeltes Berechnungsprogramm zur Planung von Passivhäusern.
- EnerCalc  
ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördertes excel-basiertes Werkzeug zur vereinfachten Energiebedarfsberechnung von Nicht-Wohngebäuden in Anlehnung an DIN V 18599.
- Therm  
ist eine vom Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), USA, entwickelte Software zur Berechnung von Wärmebrücken nach EN ISO 10211 und EN ISO 10077.

Simulationsprogramme (dynamisch):

- TRNSYS  
ist eine flexible, grafisch basierte Softwareumgebung, die es ermöglicht das Verhalten dynamischer Systeme zu simulieren.
- IDA Ice  
ist eine detaillierte und dynamische Simulationsanwendung für die Beurteilung des Innenraumklimas und des Energieverbrauchs ganzer Gebäude.

### 5.1.1 Thermische Qualität

Die Gebäudehülle, als Barriere zwischen Innen- und Außenraum, schützt vor Regen, Wind und Temperaturunterschieden. Je besser die Dämmwirkung einer Gebäudehülle ist, desto geringer sind die Wärmeverluste und damit auch der Aufwand, das Gebäude zu beheizen.

Die thermische Qualität eines Bauteils kann mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) beschrieben werden. Je geringer dieser ist, desto weniger Wärme wird durch die Gebäudehülle geleitet. In Deutschland gibt es bei Neubau oder Sanierung gesetzliche Anforderungen an U-Werte (vgl. §48 GEG 2020). Der Höchstwert für Außenwände und Dachflächen beträgt  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der derzeit höchste freiwillige Standard in Bezug auf den U-Wert ist der „Passivhausstandard“. Für Passivhäuser müssen die U-Werte von opaken Außenbauteilen unter  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  liegen [69]. Der mittlere U-Wert der gesamten Gebäudehülle wird als Spezifischer Transmissionswärmeverlust  $H'_T [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$  bezeichnet. Über diesen Wert lässt sich die thermische Qualität verschiedener Gebäude gut miteinander vergleichen.

Die thermische Qualität sollte dabei in einer sinnvollen Relation zum Materialaufwand und der Flächeneffizienz stehen. In Abbildung 16 werden Wandkonstruktionen mit gleichem U-Wert mit der daraus folgenden Wandstärke und dem Primärenergieaufwand zur Herstellung verglichen. Die geringste Wandstärke wird in diesem Beispiel von einer verputzten und mit Mineralwolle gedämmten Holzwand erreicht. Die notwendigen  $\text{CO}_2$ -Äquivalente zur Herstellung der einzelnen Bauteile wird durch die im Holz gespeicherten  $\text{CO}_2$ -Äquivalente kompensiert. Der höchste Ausstoß an  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten wird bei der Herstellung einer Stahlbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) verursacht.

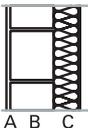
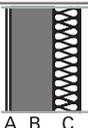
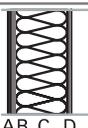
Bauweise	Wandaufbau	U-Wert [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]	Gesamt- stärke [cm]	$\text{CO}_2$ -Äq. [ $\text{kg CO}_2\text{-Äq}/(\text{m}^2_{\text{AW}})$ ]
Hochlochziegel mit Perlite	 <p>A 1 cm Gipsputz B 47 cm Hochlochziegel C 1,5 cm Putz</p>	0,2	52	67
Kalksandstein mit WDVS	 <p>A 1 cm Gipsputz B 15 cm Kalksandstein C 16 cm WDVS, Putz</p>	0,2	31	71
Stahlbetonwand mit WDVS	 <p>A 1 cm Gipsputz B 20 cm Stahlbeton C 16 cm WDVS, Putz</p>	0,2	36	100
Holzwand mit Mineralwolle, verputzt	 <p>A 1,25 cm Gipskarton B 1,9 cm OSB C 18 cm Mineralwolle D 1,9 cm Putz</p>	0,2	30	0

Abbildung 16: Vergleich von Wandkonstruktionen mit gleichem U-Wert  
(Quelle: ee concept GmbH zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

### 5.1.2 Kompaktheit

Die Kompaktheit eines Gebäudes wird durch das Verhältnis von Hüllfläche (A) zu Volumen (V) beschrieben. Je geringer das sogenannte A/V-Verhältnis ist, desto kleiner ist der Energiebedarf pro Kubikmeter beheiztem Raum, bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen. Das A/V-Verhältnis ist von der absoluten Größe und Form eines Körpers abhängig (siehe Abbildung 18). Die Kubatur eines Gebäudes hat somit einen großen Einfluss auf den Energiebedarf pro Fläche. Wenn es in einem Gebäude auch unbeheizte Bereiche gibt, sollte bei der Planung auf eine kompakte interne thermische Hülle geachtet werden. Die Grenze zwischen beheiztem und unbeheiztem Volumen sollte hierbei klar gezogen und die Bereiche entsprechend thermisch getrennt werden [36].

Durch eine kompakte Bauform lässt sich, wie in Abbildung 17 gezeigt, Material und damit „graue Energie“ einsparen. In diesem Zusammenhang steht auch die von „Bündnis 90 / Die Grünen“ geführte Debatte über das „klassische Einfamilienhaus“. In ihrem Beschluss zur „Bauwende“ schreiben sie [70, S. 4]: *„Einfamilienhäuser verbrauchen besonders viele Ressourcen, da im Vergleich zum Mehrfamilienhaus der Außenhautanteil sehr groß ist, zudem verschleißt sie extrem viel Bauland und Infrastruktur. Immer neue Einfamilienhausgebiete auf der grünen Wiese treiben den Flächenverbrauch weiter an und führen vielerorts gleichzeitig zu leerfallenden und öden Ortskernen.“*

Bei der Optimierung der Kompaktheit eines Gebäudes sollte besonders auf die Anforderungen einer ausreichenden Belichtung mit Tageslicht und gegebenenfalls einer natürlichen Belüftung geachtet werden. Diese können im Widerspruch zu großen und kompakten Volumina stehen. Die Empfehlung eines absoluten Zielwerts für das A/V-Verhältnis bestimmter Bauwerksvolumina kann deshalb nicht getroffen werden. Für eine Einordnung der Größenordnung kann jedoch der Vergleich mit Gebäuden gleichen Volumens bzw. gleicher Nutzfläche hilfreich sein [36].

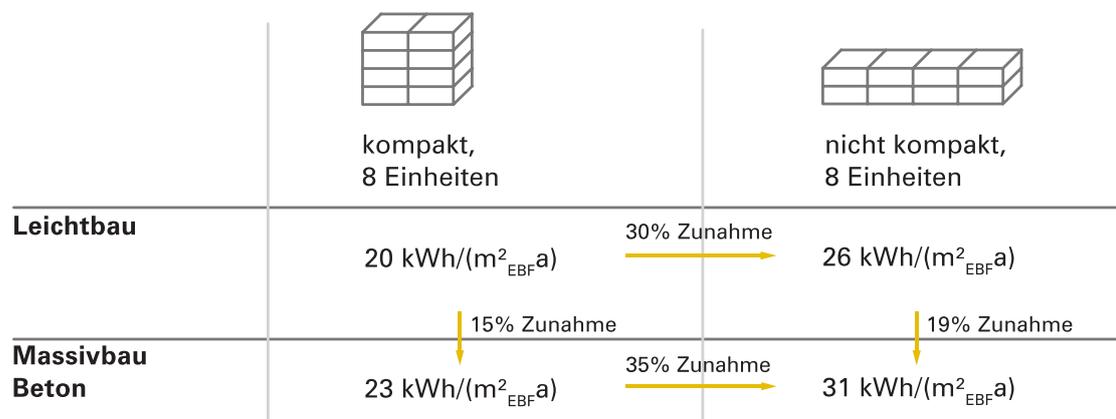


Abbildung 17: Vergleich der grauen Energie von kompakten und nicht kompakten Gebäuden (Quelle: Hegger et al., Energie Atlas, 2008 zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

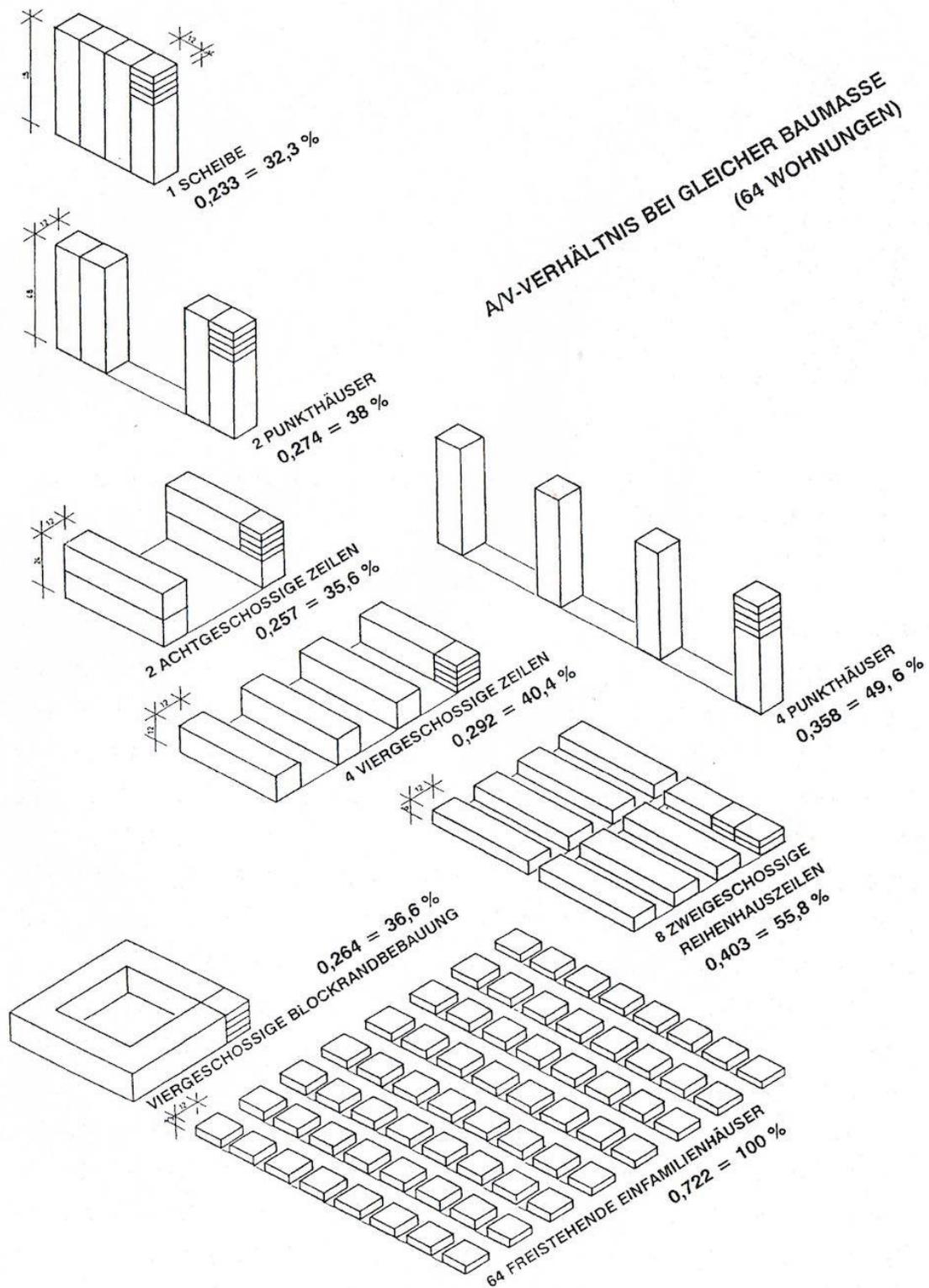


Abbildung 18: A/V-Verhältnis bei gleichem Volumen und unterschiedlichen Gebäudeformen (Quelle: Moewes: Weder Hütten noch Paläste,1995)

### 5.1.3 Passive Solarenergienutzung

In gut gedämmten Gebäuden können solare Einträge einen wesentlichen Anteil der benötigten Wärme bereitstellen. Das dahinterliegende Prinzip ist der Treibhauseffekt: Solarstrahlung dringt durch transparente Bauteile in das Gebäude ein, wird in Wärme umgewandelt und kann in dieser Form nicht so leicht wieder entweichen. Zur Maximierung der Nutzung dieses Effekts gibt es verschiedene Strategien:

- Orientierung des Baukörpers und der Fensterflächen (siehe Kapitel 5.1.4)
- Anpassung des Fensterflächenanteils und der Glasqualität (siehe Kapitel 5.1.5)
- Nutzung transparenter Flächen, die keine Fensterflächen sind:
  - Bau von unbeheizten Glasvorbauten oder Wintergärten
  - Ausbildung von Doppelfassaden
  - Nutzung von Luftkollektoren oder einer sogenannten „Trombewand“
  - Verwendung einer „Transparenten Wärmedämmung“ (TWD)

Die Erhöhung der passiven Solarenergienutzung im Winter steht teilweise im Widerspruch zum sommerlichen Wärmeschutz. Für die beiden Ansprüche sollte deshalb ein bestmöglicher Kompromiss gefunden werden. Während der Heizperiode (Oktober bis März) sollte möglichst viel Solarstrahlung in das Gebäude eindringen können. Im Sommer sollte das Gegenteil der Fall sein.

Ein Überblick über die Größenordnungen der Einstrahlung während der Heizperiode wird in Tabelle 3 gegeben. Vertikale, südorientierte Fensterflächen empfangen während der Heizperiode fast doppelt so viel Solarstrahlung wie gleich große Fensterflächen in Ost- oder Westfassaden. Die Abweichung zu nordorientierten Fensterflächen ist noch signifikanter. Die Abweichung zu horizontalen Flächen ist mit 18 % in dieser Flächenauswahl am geringsten.

Selbst bei kalten Außentemperaturen kann es durch solare Einstrahlung auch zu temporären Überhitzungen kommen. Damit möglichst die gesamte Einstrahlung während der Heizperiode genutzt werden kann, sollte das Gebäude über eine ausreichende wirksame Wärmekapazität verfügen (siehe auch Kapitel 5.1.7). Vor allem die Masse des Fußbodens und der Wände spielt hier eine Rolle, da dort die direkte solare Strahlung hauptsächlich auftrifft.

Tabelle 3: Einstrahlung auf unterschiedlich orientierte Flächen während der Heizperiode (Quelle: Eigene Darstellung nach DIN 4108-6:2003-06)

<b>Orientierung:</b>	Süd	Ost und West	Nord	–
<b>Neigung</b>	90°	90°	90°	0°
<b>Einstrahlung [kWh/m<sup>2</sup>]:</b>	280	160	100	230
<b>Abweichung zu Süd</b>	–	-42 %	-64 %	-18 %

### 5.1.4 Orientierung des Baukörpers und der Fensterflächen

Die passiven Wärmegewinne in einem Gebäude hängen vor allem von der Menge der durch Fensterflächen in das Gebäude gelangenden Sonneneinstrahlungsenergie ab [68]. Mit der Orientierung des Baukörpers und den Fensterflächen lassen sich Wärmegewinne steuern. Im Sommer sind Ost- und Westfassaden in besonderem Maße der tiefer stehenden Sonne an Vor- bzw. Nachmittagen ausgesetzt. So wird „Gebäude 1“ in Abbildung 19 im Sommer mehr Wärmegewinne als „Gebäude 2“ aufweisen. Gleichzeitig wird „Gebäude 2“ im Winter höhere Wärmegewinne als „Gebäude 1“ aufweisen, da im Winter die Sonne im Süden tiefer steht und somit die Fensterflächen der Südfassade besser erreicht. „Gebäude 2“ hat also im Sommer wie im Winter günstigere Einstrahlungsbedingungen.



Abbildung 19: Gleiches Gebäude aber unterschiedliche Orientierung  
(Quelle: Eigene Darstellung)

In Abbildung 20 wird der Zusammenhang zwischen Kältebedarf und Orientierung anhand eines Bürogebäudes verdeutlicht. Bei gleichen Rahmenbedingungen, außer der Orientierung, ist der Kältebedarf in Räumen mit Westorientierung mit etwa  $6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  am höchsten. In Räumen mit Ostorientierung beträgt der Kältebedarf ca.  $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , wohingegen der Kältebedarf in Räumen mit Südorientierung mit ca.  $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  nur etwa die Hälfte der West- oder Ostorientierung beträgt.

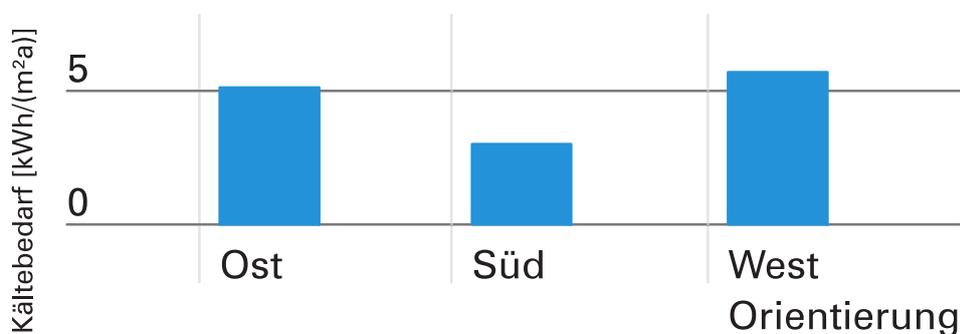


Abbildung 20: Einfluss der Orientierung auf den Kältebedarf bei Bürogebäuden  
(Quelle: Hausladen et al.: Clima Skin, 2006 zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

In der Praxis kommt es allerdings selten vor, dass ein Gebäude frei orientiert werden kann. Grundstück, Gelände, Erschließung, Baufenster und städtebauliche Vorgaben müssen beachtet werden. Durch geschickte Anordnung der Räume und eine geeignete Wahl der Raumgrößen lässt sich ein Gebäude aber dennoch an das Strahlungsangebot anpassen. Dafür sollten Räume mit erhöhten Anforderungen an den thermischen Komfort möglichst südseitig platziert werden. Die Raumgröße hat Einfluss auf das Überhitzungsverhalten. Je kleiner ein Raum (und damit die wirksame Wärmekapazität) im Verhältnis zur Fensterfläche ist, desto schneller kann dieser Raum überhitzen (vgl. Kapitel 5.1.7). Bei der Planung sollte außerdem die Verschattung durch Gelände, andere Gebäude und Pflanzen beachtet werden.

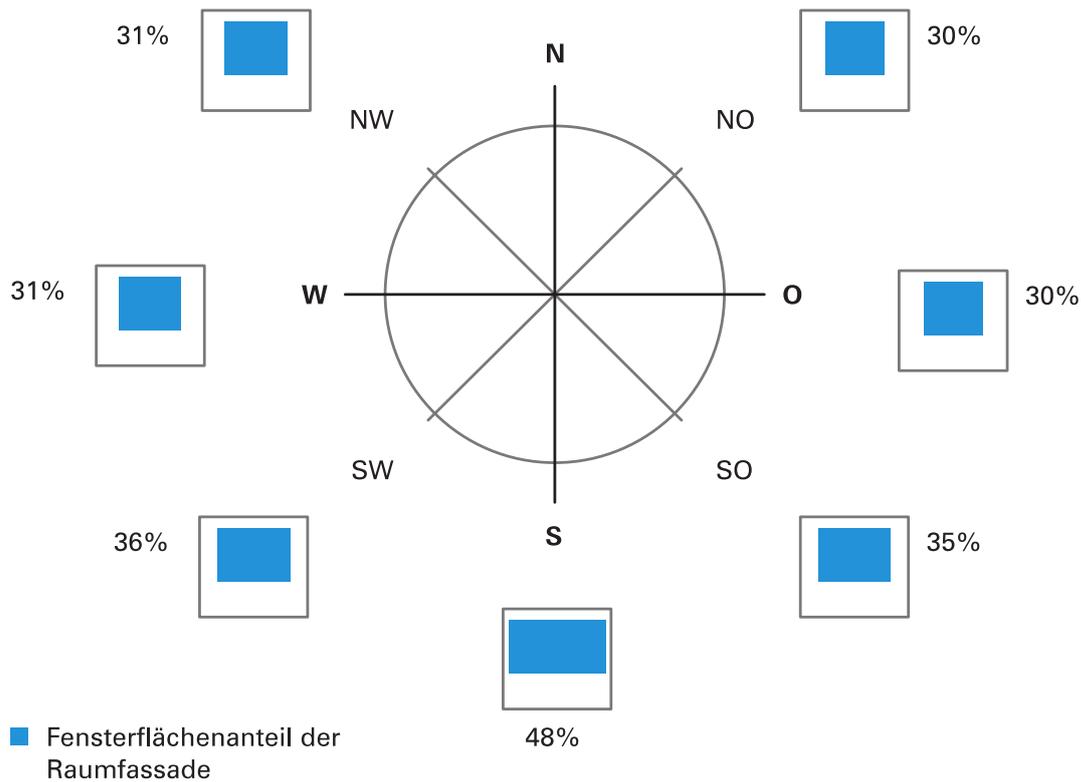
### 5.1.5 Fensterflächenanteil und Glasqualität

Die Wahl des Fensterflächenanteils ist aus energetischer Sicht eine Optimierungsaufgabe zwischen passiver Solarenergienutzung, sommerlichem Wärmeschutz und Wärmedämmung. Während sich ein größerer Fensterflächenanteil positiv auf die passive Solarenergienutzung auswirkt, sind die Auswirkungen auf sommerlichen Wärmeschutz und Wärmedämmung in der Regel konträr.

Die Menge der in das Gebäude gelangenden Solarstrahlung ist aber nicht nur von der Größe der Fensterflächen sondern auch von der Verschattung (siehe Kapitel 5.1.6) und der Glasqualität abhängig. Bei der Glasqualität ist wiederum der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung von hauptsächlicher Bedeutung. Dieser setzt sich aus der direkt durchgelassenen Solarstrahlung und der Wärmeabgabe der inneren Scheibe an die Raumluft zusammen und gibt an, um wieviel die Verglasung die auftreffende Energie abmindert. Die Werte variieren zwischen 0,87 bei einfachem Glas und 0,24 bei dreifachem Sonnenschutzglas mit zwei Beschichtungen [71]. Je geringer dieser Wert ist, desto weniger Strahlung erreicht den Raum. Dies spielt nicht nur bei thermischen Fragen eine Rolle sondern auch bei der Tageslichtplanung.

In einer thermisch-dynamischen Simulation von ee concept GmbH von 2018 wurde der maximal mögliche Fensterflächenanteil bei einem Gebäude ohne maschinelle Kühlung aber mit außenliegendem Sonnenschutz (Lamellen-Raffstore) bestimmt. Der g-Wert der Verglasung beträgt 0,48. Der größte maximal mögliche Fensterflächenanteil liegt, wie in Abbildung 21 gezeigt, bei 48 % im Süden. Es wird deutlich, dass die maximalen Fensterflächenanteile des untersuchten Raumes im Osten und Westen am geringsten sein müssen (max. 30 % bzw. 31 %), damit der Raum ohne maschinelle Kühlung nicht überhitzt. Die Fensterflächen im Süden können demnach gegenüber den Fensterflächen im Osten bis zu 60% größer sein. Für die Ausrichtung nach Norden liegen keine Daten vor [36].

Die vorliegende Simulation kann nur eine Orientierung bieten. In jedem Falle sollten für jedes Bauprojekt zumindest die Berechnungen aus der DIN 4108-2 „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ als Planungshilfe angewendet werden [23]. Für größere Bauprojekte sollte eine thermische Simulation mit Variantenuntersuchungen durchgeführt werden.



Randbedingungen:

Raumgröße = 3 x 5 m, lichte Höhe 2,80 m, Standort Darmstadt (Klimaregion C), Energiedurchlassgrad Fenster  $g = 0,48$ , außenliegender Sonnenschutz Lamellen-Raffstore, erhöhter Tagluftwechsel über öffentbare Fenster (wenn  $t_i > 23^\circ\text{C}$  und über  $t_d$ ), kein erhöhter Nachtluftwechsel

Abbildung 21: Maximaler Fensterflächenanteil bei einem Gebäude ohne maschinelle Kühlung (Quelle: ee concept GmbH, 2018 zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

### 5.1.6 Außenliegender Sonnenschutz

Neben Orientierung und Größe der Fensterflächen kann ein außenliegender Sonnenschutz wesentlich zur Temperatursteuerung beitragen und damit die Überhitzung von Räumen vermeiden. Außenliegender Sonnenschutz ist in der Regel im Vergleich zu innenliegendem Sonnenschutz wesentlich effektiver, deshalb wird innenliegender Sonnenschutz hier nicht näher behandelt [71]. Prinzipiell kann zwischen feststehendem und beweglichem Sonnenschutz unterschieden werden. Die Wartung von feststehendem außenliegendem Sonnenschutz ist im Vergleich zum beweglichen außenliegenden Sonnenschutz deutlich reduziert. Dafür ist dieser aber deutlich unflexibler und kann meist nur bei bestimmten Sonnenständen seine Wirkung voll entfalten. Um Gebäudetechnik zu sparen, kann bei beweglichem Sonnenschutz auf rein mechanische Systeme wie Klapp- oder Schiebeläden zurückgegriffen werden. Doch auch elektrisch betriebene Sonnenschutzsysteme können gerechtfertigt sein, wenn dadurch auf eine aktive mechanische Kühlung verzichtet werden kann.

Feststehender außenliegender Sonnenschutz kann unter anderem aus folgenden Elementen bestehen:

- Auskragungen
- Brise Soleils
- Gesimse
- Balkone
- Dachüberstände
- Lamellen, horizontal (Südausrichtung), vertikal (Ost-/ Westausrichtung)
- Gewebevorhänge
- Lochbleche
- Pflanzen
- Verschattung durch Elemente in der Umgebung

Da diese Elemente einen großen Einfluss auf die Architektur und Gestaltung eines Gebäudes haben, sollten diese schon früh im Entwurfsprozess berücksichtigt werden.

In Abbildung 22 wird die Funktion von feststehendem Sonnenschutz anhand eines weit auskragenden Daches bzw. eines Balkons erläutert. Während im Sommer die Fensterflächen verschattet werden, kann im Winter die Sonne in das Gebäude eindringen. Zu Beachten ist hierbei, dass dieses Beispiel nur zu einer bestimmten Tageszeit (hier am Mittag) gilt.

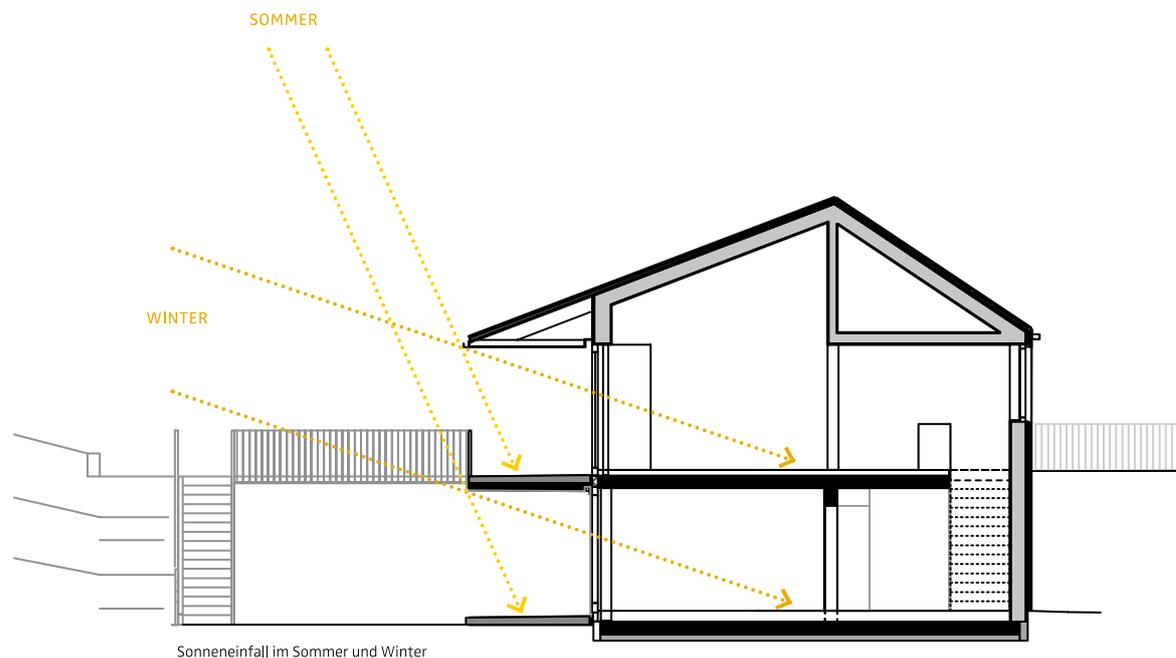


Abbildung 22: Nutzung der solaren Einstrahlung an einer Südfassade  
(Quelle: Interreg, Low-Tech Gebäude, 2021)

In einem Versuch der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) wurden verschiedene bewegliche Sonnenschutzsysteme getestet. Die Fenstergröße beträgt 20% der Grundfläche des Raumes und ist nach Osten ausgerichtet. Dabei konnte eine maximale Temperaturdifferenz von ca. 3 K zwischen einem mit Rafflamellenstoren verschatteten Raum und einem Raum ohne Sonnenschutz ermittelt werden. Dies wird durch die blauen

Pfeile in Abbildung 23 verdeutlicht (Empa Bericht Nr.444'383d zitiert nach [68]). Außenliegender Sonnenschutz kann damit ein wirksames Mittel gegen Überhitzung sein.

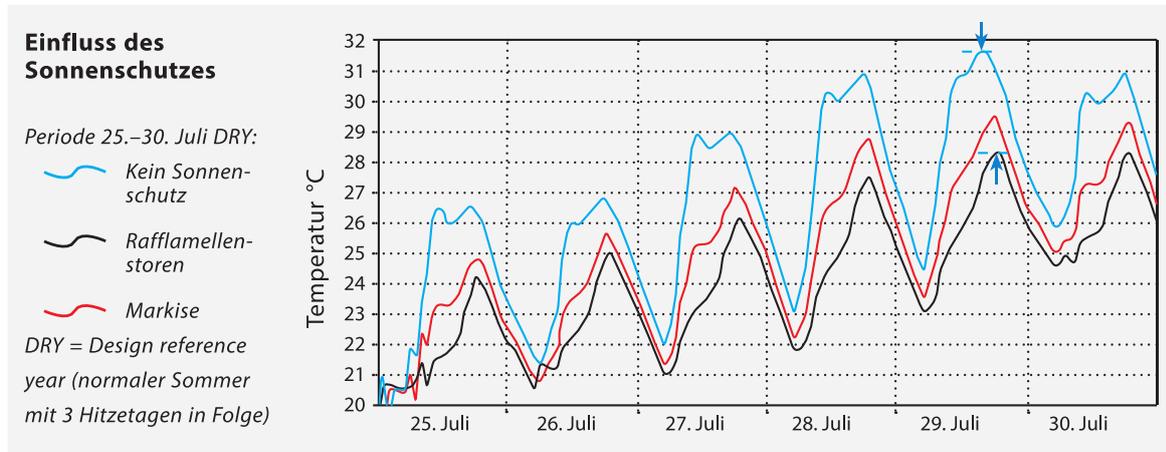


Abbildung 23: Innenraumtemperaturen in Abhängigkeit unterschiedlicher Sonnenschutzsystemen (Quelle: Empa Bericht Nr.444'383d zitiert nach Gebäudehülle Schweiz, 2012)

### 5.1.7 Wirksame Wärmekapazität

Als wirksame Wärmekapazität wird die nutzbare thermische Speichermasse eines Gebäudes bezeichnet. Je größer die Wärmekapazität der mit der Raumluft in Verbindung stehenden Bauteile, desto größer ist die „Pufferwirkung“ gegenüber Temperaturschwankungen. Für den sommerlichen Wärmeschutz bedeutet dies, dass Wärme tagsüber in Bauteilen eingespeichert und nachts über eine erhöhte Nachtlüftung (siehe 5.1.8) wieder abgeführt werden kann. Je höher die wirksame Wärmekapazität dabei ist, desto kleiner fallen die Temperaturspitzen der Raumtemperatur aus.

Die Erhöhung der wirksamen Wärmekapazität kann einerseits durch eine Vergrößerung der Oberflächen im Raum und andererseits durch die Materialwahl der an die Raumluft grenzenden Bauteile erfolgen. Bauteile mit einer hohen Wärmespeicherzahl (auf das Volumen bezogene Wärmekapazität) sind beispielsweise Stampflehmwände, Mauerwerk oder (nicht abgehängte) Betondecken. In Tabelle 4 wird die Wärmespeicherzahl verschiedener Baustoffe dargestellt. Ein planerischer Aspekt ist, dass Baustoffe mit hoher Wärmespeicherzahl zur Entfaltung ihrer Wirkung möglichst direkt an die Innenraumluft grenzen sollten. Prinzipiell gilt, dass die Wärmespeicherzahl abhängig von der Dichte der Materialien ist.

Die DIN 13786 beschreibt mehrere Verfahren zur Bestimmung der wirksamen Wärmekapazität [72]. Dabei spielt neben der Wärmespeicherzahl der Baustoffe auch die wirksame Dicke eine Rolle. Die wirksame Dicke ist von der Periodendauer der Temperaturschwankungen abhängig und gibt an, bis zu welcher Bauteiltiefe die Wärmekapazität noch wirkt. Im vereinfach-

ten Verfahren können für die wirksame Dicke 10 cm angesetzt werden. In der Norm wird darauf verwiesen, dass dies nur ein sehr stark angenäherter Wert ist. Die tatsächliche wirksame Dicke kann je nach Baustoff zwischen 4 cm und 12 cm betragen [72]. Die absolute Dicke einer Wand, Decke oder eines Bodens hat deshalb nur einen begrenzten Einfluss auf die Pufferfunktion der Temperaturveränderungen. Je dicker zum Beispiel eine Wand wird, desto geringer wird die wirksame Wärmekapazität bezogen auf die eingesetzte Masse.

Prinzipiell verschlechtern sich mit einer Erhöhung der Masse die Ergebnisse einer Ökobilanz (siehe dazu auch Kapitel 2.2.3). Für eine effiziente Nutzung der Massen können folgende Punkte empfohlen werden:

- Bauteile mit hoher Wärmespeicherzahl sollten direkt an den Innenraum grenzen (ggf. Maßnahmen zur Verringerung der Nachhallzeit ergreifen, z.B. vorgehängte Akustikelemente, die von Luft umströmt werden können)
- Die wirksame Dicke sollte beachtet werden
- Besser massivere Fläche als dickere Bauteile
- Innenwände haben im Gegensatz zu Außenwänden zwei wirksame Flächen

Tabelle 4: Wärmespeicherzahl verschiedener Baustoffe in logarithmischer Darstellung (Quelle: Eigene Darstellung nach [73 bis 75])

Material	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmespeicherzahl [Wh/m <sup>3</sup> K]
Stahl	7800	988
Stahlbeton	2500	694
Aluminium	2700	675
Vollziegel	1850	460
Stampflehm	1600	444
Kalksandstein	1800	440
Holz (Fichte)	460	179
Porenbeton	500	125
Stroh	110	56
Zellulose	55	29
EPS	18	10
Mineralfaser	27	6

### 5.1.8 Nachtlüftungskonzept

In Gebäuden fallen tagsüber solare Wärmeeinträge und interne Lasten durch elektrische Geräte und Menschen an. Diese Wärme führt zu einer Temperaturerhöhung der Raumluft, der Baumasse und des Mobiliars. In den kühleren Nacht- und Morgenstunden kann diese Wärme

durch einen erhöhten Luftaustausch, die sogenannte erhöhte Nachtlüftung, abgeführt werden. Die erhöhte Nachtlüftung kann umso effektiver sein, je größer der Luftwechsel und die wirksame Wärmekapazität, der mit der Raumluft in Verbindung stehenden Bauteile ist (siehe Kapitel 5.1.7). Zur Ermöglichung des Luftaustausches eignen sich je nach Anforderung öffnungsfähige Fenster, einbruchsichere und/oder witterungsgeschützte Lüftungsklappen oder raumluftechnische Anlagen mit der entsprechenden Funktion. Je höher der nächtliche Luftwechsel ist, desto niedrigere Temperaturen können erreicht werden. Bei einem Versuch der Empa konnte bei einem Luftwechsel von 3/h ( $150 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einem Raumvolumen von  $450 \text{ m}^3$ ) in den Morgenstunden des 29. Juli bis zu 4,5 K niedrigere Temperaturen gemessen werden als bei einem Luftwechsel von 0/h (siehe blaue Pfeile in Abbildung 24). Am Nachmittag des selben Tages beträgt die Temperaturdifferenz noch 2 K (Empa Bericht Nr.444'383d zitiert nach [68]).

Die Wirksamkeit einer erhöhten Nachtlüftung hängt von den klimatischen Bedingungen der Umgebung ab. Je kühler die Lufttemperatur und je größer die Windgeschwindigkeit am Gebäude, desto effektiver kann eine Nachtlüftung sein. Soll das Gebäude z.B. in einem Stadtzentrum errichtet werden, herrschen dort andere Bedingungen als in ländlichen Gebieten. Dies muss bei der Planung berücksichtigt werden.

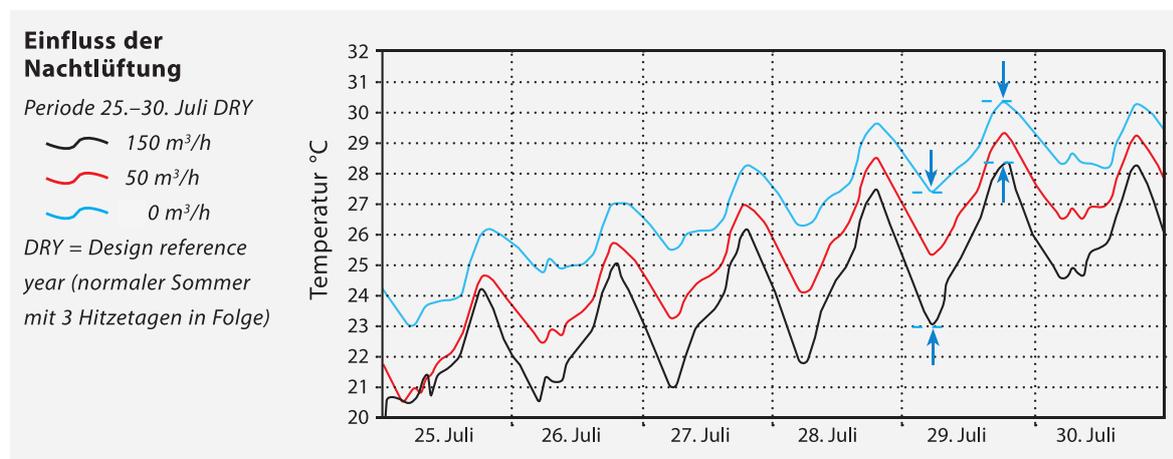


Abbildung 24: Innenraumtemperaturen in Abhängigkeit unterschiedlicher Luftwechselraten (Quelle: Empa Bericht Nr.444'383d zitiert nach Gebäudehülle Schweiz, 2012)

### 5.1.9 Passive Kühlung mit vorhandener Infrastruktur

Unter passiver Kühlung werden laut DIN 4108-2 Kühlsysteme, „bei denen Energie ausschließlich zur Förderung des Kühlmediums erforderlich ist“, verstanden [23, S. 14]. Dies kann beispielsweise eine geothermische Kühlung mit Nutzung eines Erdwärmetauschers oder Systeme, die durch indirekte Verdunstung kühlen, sein. Auch im Erdreich verlegte Lüftungsröhre, welche die Außenluft vorkühlen, können als passive Kühlung verstanden werden.

In Bezug auf Low-Tech kann eine passive Kühlung dann von Vorteil sein, wenn dadurch ohnehin vorhandene Systeme genutzt werden und keine weiteren wesentlichen Bauteile eingebaut werden müssen.

### 5.1.10 Tageslichtnutzung

Je besser und länger Räume mit Tageslicht versorgt werden, desto mehr kann künstlich erzeugtes Licht und damit Energie eingespart werden. Tageslicht hat zudem positive Auswirkungen auf die Aufenthaltsqualität. Durch ausreichend große Fenster mit einer sinnvollen Positionierung und dazu passenden Raumtiefen kann eine hohe Tageslichtverfügbarkeit erreicht werden. Gemessen wird diese als Tageslichtquotient (TQ). Die höchste Qualitätsstufe erreichen Bürogebäude beim BNB mit einem TQ von mindestens 2 % auf mindestens 50 % der Nutzfläche [45].

In Abbildung 25 wird eine Tageslichtsimulation nach DIN 5034-3 gezeigt. Der TQ wird dort für verschiedene Fenstersituationen ermittelt. Außerdem wird angegeben, auf wie viel Prozent der Nettofläche welcher TQ wirksam ist. Der TQ verbessert sich mit einem zunehmend höheren Fenstersturz und Glasanteil der Fassade. Durch Teilung eines Fensters in einen Sichtbereich und in einen Tageslichtlenkbereich im oberen Teil kann der TQ noch gesteigert werden. Der Tageslichtlenkbereich reflektiert Tageslicht an die Decke und ermöglicht dem Licht damit tiefer in den Raum einzudringen. Auch Wand-, Decken- und Bodenfarben spielen bei der Tageslichtnutzung eine Rolle. Durch helle Oberflächen verbessert sich die Lichtverteilung und der TQ. Für eine gute Tageslichtnutzung an Arbeitsplätzen empfiehlt sich ein einstellbarer Blendschutz.

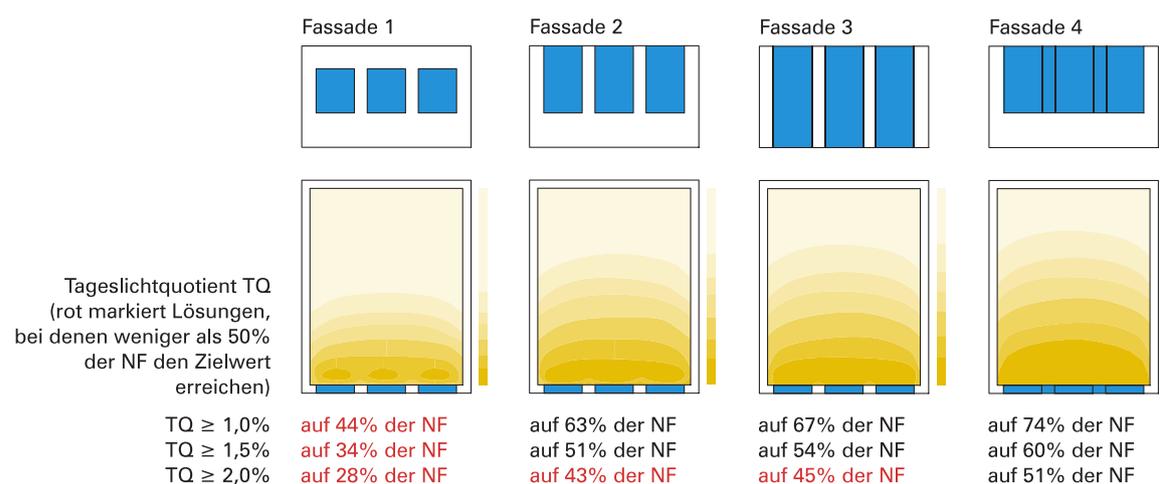


Abbildung 25: Tageslichtquotient je Nettofläche bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen  
(Quelle: ee concept GmbH, Darmstadt 2016 zitiert nach Badr et al.: Nachhaltigkeit gestalten, 2018)

### 5.1.11 Energetische Nutzung des Umfelds

Bei der Planung von Gebäuden sollte auch der jeweilige Außenraum untersucht werden. Möglicherweise können vorhandene oder geschaffene Potenziale in die Funktionen eines Gebäudes integriert werden. Beispielsweise kann gezielte Bepflanzung Wind bremsen und so aktiv zur Verringerung des Heizenergieverbrauchs beitragen. Pflanzen und offene Wasserflächen können durch Verdunstung, Verschattung und Reflexion einem Wärmeinseleffekt entgegenwirken und damit beispielsweise die Kühllast im Gebäude verringern (siehe Abbildung 26).

Des Weiteren sollte untersucht werden, inwieweit Synergieeffekte über Quartiers- oder Verbundlösungen genutzt werden können. Dies können beispielsweise Nahwärmenetze sein, die Abwärme aus der Industrie oder Biogasanlagen verteilen, solarthermische Großanlagen mit saisonaler Speicherung oder Hackschnitzelanlagen, die das Quartier mit Wärme und elektrischer Energie versorgen. Durch Nutzung dieser Potenziale kann im eigenen Gebäude Technik eingespart werden. Natürlich wird die benötigte Technik dadurch nur „ausgelagert“, aber insgesamt betrachtet, können diese Möglichkeiten eine Reduktion von Technik bieten. Denn generell gilt, dass mit steigender Anlagengröße die energetische und materielle Effizienz steigt.

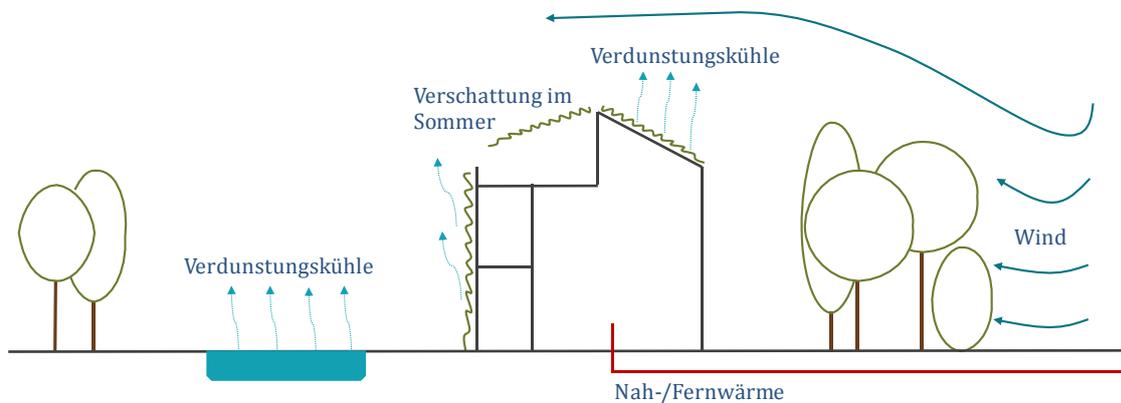


Abbildung 26: Mikroklimatisch wirksame Elemente  
(Quelle: Eigene Darstellung)

### 5.2 Suffizienz in der Gebäudetechnik

Bei Suffizienz geht es um die kritische Auseinandersetzung mit der Frage, ob bestimmte Anlagen oder Bauteile tatsächlich notwendig sind. Denn alles, was nicht gebaut ist, benötigt keine Investitionen, Wartung und verbraucht auch keine Ressourcen und Energie. Diese Auseinandersetzung kann sowohl auf einer „gebäudetechnischen Ebene“ als auch auf einer „entwurflichen Ebene“ geführt werden. Dieses Kapitel behandelt die Auseinandersetzung auf „gebäudetechnischer Ebene“. Im Kapitel 6.1.3 wird hingegen die „entwurfliche Ebene“ betrachtet.

Für die Konzeption von Low-Tech Gebäuden sollte generell dem Grundsatz „passiv vor aktiv“ gefolgt werden. Doch allein mit passiven Maßnahmen sind Gebäude im mitteleuropäischen Klima, auch mit reduzierten Komfortansprüchen, in der Regel nicht zu betreiben [13]. Ein gewisses Maß an Gebäudetechnik ist also notwendig. Bei der Frage nach der Suffizienz geht es nun darum, die geforderten Funktionen mit dem geringsten Maß an Gebäudetechnik zu erfüllen und darum Überdimensionierungen und nicht notwendige Redundanzen zu vermeiden.

Die Umsetzung kann dabei sehr vielfältig sein und von kleineren Maßnahmen bis zu ambitionierten Vorhaben reichen. Beispiele von ambitionierten und bereits realisierten Projekten finden sich in Tabelle 5. Auf das Projekt „2226“ in Lustenau wurde bereits in Kapitel 2.3.2 eingegangen.

Das Wohngebäude „einsB“ in Weimar wurde aus Jumbostrohballen gebaut (240 x 120 x 70 cm) und erreicht damit sehr niedrige U-Werte bei einer guten Ökobilanz. Im Gebäude ist keine klassische Heizungsanlage eingebaut. Der sehr geringe Heizbedarf wird durch einen Kaminofen gedeckt. Die Anlagentechnik ist generell schlank gehalten. Das Gebäude erreicht mit dem sehr guten Dämmstandard, optimierten solaren Gewinnen und einer Photovoltaikanlage auch ohne maschinelle Lüftungsanlage den „EH 55 Standard“. Die Warmwasserbereitung erfolgt über elektrische Heizstäbe in den Pufferspeichern, die über die Photovoltaikanlage mit Energie versorgt werden, wenn „überschüssiger“ Strom vorhanden ist [76].

Das Landwirtschaftliche Zentrum in Salez verfügt über eine Hackschnitzelheizung, eine Photovoltaikanlage sowie über ein Schachtlüftungssystem, das ohne elektrische Bauteile, allein durch natürliche Konvektion funktioniert. Das Lüftungskonzept findet Akzeptanz, da die Nutzenden durch ihre tägliche Arbeit im Stall und im Freien an Temperaturschwankungen und Luftbewegungen gewöhnt sind. *„Durch ein Hinterfragen der sonst üblichen Herangehensweisen und eine Berücksichtigung der Bedürfnisse der Nutzenden konnte hier eine überzeugende Low-Tech Lösung gefunden werden“* [10, S. 60].

Als etwas kleinere Maßnahme wird in einem Positionspapier der Bayerischen Architektenkammer vorgeschlagen, Heizkosten innerhalb von Wohnanlagen allein über die Fläche abzurechnen [77]. Die gesamten Heizkosten des Gebäudes werden durch die Gesamtfläche geteilt und daraus je nach Wohnungsfläche der zu bezahlende Betrag errechnet. Dadurch könnte auf eine große Anzahl von Messinstrumenten und den damit verbundenen Wartungsaufwand

(Eichung und Austausch) verzichtet werden. Kritisch zu sehen ist, dass durch diese Methode auch der monetäre Nutzen für sparsames Verhalten auf die gesamte Gebäudefläche umgelegt wird, also der „Geldspareffekt“ durch sparsames Heizen für die einzelnen Mieter\*innen kaum mehr spürbar wird. Es könnte dadurch zu einem „Rebound-Effekt“ kommen.

Tabelle 5: Projekte mit reduzierter Gebäudetechnik (Quelle: Eigene Darstellung nach [54, 76, 78])

Besonderheit	Projekt (Ort)	Architekturbüro	Quelle
Keine Heizungs- und keine maschinelle Lüftungsanlage	2226 (Lustenau)	Baumschlager Eberle Architekten, Österreich	[54, 54]
Keine Heizungs- und keine maschinelle Lüftungsanlage	einsB (Weimar)	Alexandra Schenker-Primus mit Hoppe Arcitur GbR, Deutschland	[76]
Keine maschinelle Lüftungsanlage	Landwirtschaftliches Zentrum (Salez)	Andy Senn, Schweiz	[78]

Da Suffizienz in der Gebäudetechnik viele unterschiedliche Ausprägungen haben kann, wird sich im Folgenden beispielhaft auf die Darstellung von verschiedenen Lüftungskonzepten beschränkt.

### 5.2.1 Angepasste Lüftungskonzepte

Die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Produktivität von Gebäudenutzer\*innen werden maßgeblich von der Raumluftqualität der gebauten Umwelt beeinflusst [24]. Zur Reduktion von Lüftungswärmeverlusten müssen Gebäude nach dem Gebäudeenergiegesetz mit luftundurchlässigen Gebäudehüllen gebaut werden (vgl. §13 GEG). Dadurch können sich, ohne ausreichende Lüftung, Probleme durch erhöhte relative Luftfeuchtigkeit und Schadstoffkonzentration ergeben. Dies kann zu Schimmelbildung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Gebäudenutzer\*innen führen. Die Hauptanforderungen für die Gebäudebelüftung sind laut Klinge [79]:

- Reduktion der Raumluftfeuchte im Winter zur Vermeidung von Kondensat und Schimmelbildung
- Reduktion von Schadstoffen in der Raumluft
- Reduktion des CO<sub>2</sub> Gehaltes in der Raumluft

Zur Erreichung dieser Ziele wird während der Gebäudeplanung ein Lüftungskonzept erarbeitet. Bei der Planung von Wohngebäuden geschieht dies in den meisten Fällen auf Grundlage der DIN 1946-6 [80]. Für Nicht-Wohngebäude gibt es verschiedene Regelwerke wie zum Beispiel die technischen Regeln für Arbeitsstätten, die je nach Projekt eingehalten werden müssen. Wird eine maschinelle Lüftungsanlage eingebaut, werden die Anforderungen für diese in der DIN 16798-3 geregelt [81].

In den folgenden Kapiteln werden Möglichkeiten vorgestellt, wie auf den Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage verzichtet werden kann. Anschließend werden Wege aufgezeigt, wie maschinelle Lüftungsanlagen verkleinert werden können.

### 5.2.1.1 Freie Lüftung nach DIN 1946-6

Die DIN 1946-6 beschreibt unter „Freier Lüftung“ zwei Systeme, die ohne die Zuführung von elektrischer Energie funktionieren: die Quer- und die Schachtlüftung [80].

Die Querlüftung funktioniert durch Druckunterschiede aufgrund von Wind. Bei der Querlüftung werden sogenannte Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) an gegenüberliegenden Fassaden installiert. Damit die Luft durch das Gebäude strömen kann, wird das Luftvolumen innerhalb des Gebäudes mit Überström-Luftdurchlässen (ÜLD) miteinander verbunden. So gelangt Luft durch die ALD auf der dem Wind zugewandten Seite in das Gebäude und kann auf der dem Wind abgewandten Seite durch die dortigen ALD wieder hinausströmen.

Die Schachtlüftung funktioniert ähnlich wie die Querlüftung. Nur wird hier die Abluft über Schächte zum Dach geführt und dort über Fortluftdurchlässe abgeführt. Dies hat zum Vorteil, dass neben Druckunterschieden durch Wind auch Auftriebskräfte genutzt werden können. Diese entstehen durch Dichteunterschiede unterschiedlich temperierter Luft in den senkrechten Lüftungsschächten.

### 5.2.1.2 Einsatz klimasteuernder Naturbaustoffe

Lüftungstechnik soll unter anderem die Raumluftfeuchte im Winter zur Vermeidung von Kondensat und Schimmelbildung reduzieren. Diese Aufgabe kann teilweise auch von den raumbildenden Baustoffen übernommen werden. Vor allem traditionelle Naturbaustoffe wie Holz und Lehm, aber auch Naturfasern wie Stroh, Hanf etc. können Feuchte aufnehmen und abgeben und damit das Innenraumklima steuern [79].

Im EU-Forschungsvorhaben „[H]House“ wurden verschiedene Wandaufbauten mit konventionellen und natürlichen Baustoffen untersucht. Daraus geht hervor, dass beispielsweise ein Aufbau aus Lehmcelluloseplatten, Spachtel und Holzweichfaserdämmung eine mehr als vierfach höhere Wasserdampfsorption, als ein Aufbau aus Gipskartonplatte und Mineralwolle hat. Die Wahl der Baustoffe, insbesondere der oberflächenbildenden Schichten, kann damit direkt Auswirkungen auf den Lüftungsbedarf haben [79]. „ZRS Architekten Ingenieure“ haben ein „Klimaaktives Bausystem ohne Lüftungsanlage“ für Wohngebäude entwickelt (siehe Abbildung 27). Mit Nutzung von Naturbaustoffen in Kombination mit einer diffusionsoffenen Gebäudehülle und einem angemessenen Glasanteil können die Gebäude allein mit Fensterlüftung ausreichend belüftet werden [24].

Hinweis: Das aktive Öffnen der Fenster durch Gebäudenutzer\*innen stellt ausdrücklich keine Lüftungstechnische Maßnahme im Sinne der DIN1946-6 dar. Im Vorwort der Norm wird allerdings erwähnt, dass mit „*geeigneten ingenieurmäßigen Methoden [...] auch andere Verfah-*

ren im Rahmen der planerischen Verantwortung verwendet werden“ können [80, S. 4]. Eine geeignete ingenieurmäßige Methode könnte zum Beispiel eine hygrothermische Simulation sein. Dies kann ein rechtlicher Ausgangspunkt für innovative Lösungen sein.

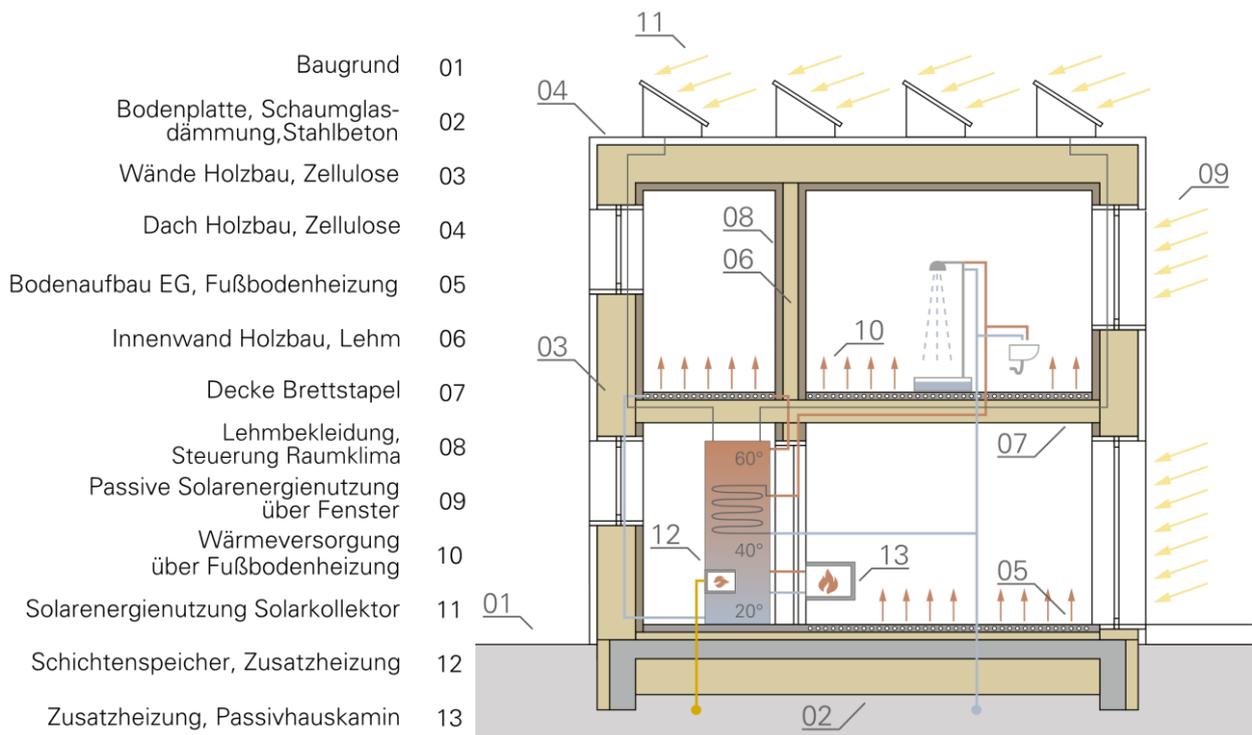


Abbildung 27: Klimaaktives Bausystem ohne Lüftungsanlage (Quelle: ZRS Architekten Ingenieure, 2020)

### 5.2.1.3 Auslegung Luftvolumenströme

In der Praxis ergeben sich regelmäßig Probleme oder Unzufriedenheiten durch zu groß ausgelegte oder eingestellte Luftvolumenströme [10]. Durch zu hohe Außenluftvolumenströme kann die Raumluft im Winter zu trocken (unter 40% rel. Luftfeuchte) werden. Dies kann unter anderem gesundheitliche Probleme hervorrufen [24].

Der Energieverbrauch von mechanischen Lüftungsanlagen steht in direktem Zusammenhang mit der transportierten Luftmenge. Prinzipiell kann es daher sinnvoll sein, eine maschinelle Lüftungsanlage nach  $\text{CO}_2$ -Gehalt und relativer Raumluftfeuchte zu steuern. Dies hat aber keinen Einfluss auf die Größe der Lüftungsanlage. Diese hängt maßgeblich von der Größe des maximalen Luftvolumenstroms ab. Durch eine Reduktion des maximalen Luftvolumenstroms kann also auch die Größe einer mechanischen Lüftungsanlage reduziert werden. Des Weiteren kann durch geringere Volumenströme in vielen Fällen auf eine Nachheizung der Luft verzichtet werden, da sich die Strömungsgeschwindigkeiten verringern und sich Temperaturunterschiede dadurch weniger stark auswirken.

Die DIN 1946-6 empfiehlt maschinelle Lüftungsanlagen für Wohngebäude auf Nennlüftung auszulegen. Für eine  $90 \text{ m}^2$  große Nutzungseinheit würde dies nach Norm  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  Frischluft bedeuten. Begründet wird dies damit, dass von Nutzer\*innen nicht erwartet werden

kann, im Nennbetrieb aktiv das Fenster zu öffnen, wenn eine maschinelle Lüftungsanlage vorhanden ist. Dieser Anspruch ist allerdings projektbezogen zu hinterfragen und eng mit den Bauherr\*innen und Nutzer\*innen abzustimmen. Denn durch Einbeziehung von zusätzlich aktivem moderatem Fensterlüften können gegebenenfalls die Luftvolumenströme und damit die gesamte maschinelle Lüftungsanlage in Wohngebäuden kleiner ausgelegt werden. Dieser Grundsatz gilt entsprechend auch für die Planung von mechanischen Lüftungsanlagen in Nicht-Wohngebäuden.

In der „Energieleitlinie der Stadt Kempten“ wird für kommunale Neubauten generell vorgegeben [56, S. 15]: *„Die Luftmenge und der Außenluftanteil sind auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken (i.d.R. IDA 4 nach DIN EN 13779, d.h. 20 m<sup>3</sup>/h pro Person). [...] Zeitlich beschränkte Spitzenbelegungen/ Zusatzemissionen sind durch Fensterlüftung abzufangen.“*

Hinweis: Die DIN EN 13779 wurde 2017 durch die DIN 16798-3 ersetzt [81]. Die Auslegung der Lüftungsanlagen erfolgt in der DIN 16798-3 nach Personenanzahl, Schadstoffqualität des Gebäudes und gewünschter Raumluftqualität in 4 Kategorien. Analog der „Energieleitlinie der Stadt Kempten“ wäre das *„unbedingt notwendige Maß“* die entsprechend niedrigste Kategorie der DIN 16798-3.

### 5.2.1.4 Reduzierung Kanalnetz

Maschinelle Zu-/Abluftanlagen (mit Wärmerückgewinnung auch Komfortlüftungsanlagen genannt) führen Luft durch Kanäle zu und ab. Bei der raumweisen Lüftung befindet sich in jedem Raum sowohl ein Zu- als auch ein Abluftkanal.

Durch die sogenannte „normale Kaskadenlüftung“ können Leitungslängen signifikant verringert werden. Die Zuluft wird nur in Räumen mit erhöhtem Frischluftbedarf, wie Schlafzimmer oder Büro, eingeblasen und gelangt durch Überströmöffnungen oder geplante Türspalte in Korridore und Flure. In Ablufträumen, wie Toiletten oder Küchen, wird die Abluft wieder abgeführt. So dienen Korridore und Flure als Lüftungsleitung. Zusätzlich wird durch dieses System die Luft sowohl in Zu- als auch in Ablufträumen genutzt und reduziert damit den notwendigen Außenluftvolumenstrom um bis zu 50 %. Dieses System hat sich schon weitgehend bewährt und etabliert [82].

Die Weiterentwicklung der „normalen Kaskadenlüftung“ ist die „erweiterte Kaskadenlüftung“. Dabei wird die Luft nur noch in einem Raum eingeblasen und in einem anderen Raum wieder abgeführt. Dazwischen wird die Luft durch Überströmöffnungen und Türspalte so geschickt gelenkt, dass jeder Raum ausreichend belüftet wird. Beispiele für die Luftverteilung in verschiedenen Grundrissituationen finden sich in den Studien der Universität Innsbruck von 2013 und 2015 [82, 83].

### 5.3 Robustheit

Die Strategie „Robustheit“ zielt darauf ab, ein Gebäudetechnikkonzept zu finden, das möglichst tolerant gegenüber Nutzer\*inneneinflüssen und technischen Mängeln ist. Außerdem soll die Gebäudetechnik möglichst robust gegenüber zeitlicher Einwirkung sein. Denn eine langlebige Gebäudetechnik führt im Laufe des gesamten Gebäudelebenszyklus insgesamt zu einem sparsamen Einsatz von Gebäudetechnik.

Als Robustheit wird die Fähigkeit eines Systems bezeichnet, Veränderungen standzuhalten ohne seine ursprüngliche Struktur ändern zu müssen, um das gleiche Ergebnis zu erzielen [25, S. 890]. Noch einmal anders auf den Punkt gebracht, kann ein System als robust bezeichnet werden, wenn die Ausgangsgröße unempfindlich gegenüber den Schwankungen der Eingangsgröße ist [84, S. 58].

In Abbildung 28 wird dieser Zusammenhang grafisch dargestellt. Bei gleicher Schwankung der Eingangsgröße werden unterschiedliche Schwankungen der Ausgangsgröße erzielt. Das „Globale Optimum“ erreicht insgesamt den niedrigsten Wert der Ausgangsgröße, allerdings sind die Schwankungen der Ausgangsgröße größer als beim „Robusten Optimum“.

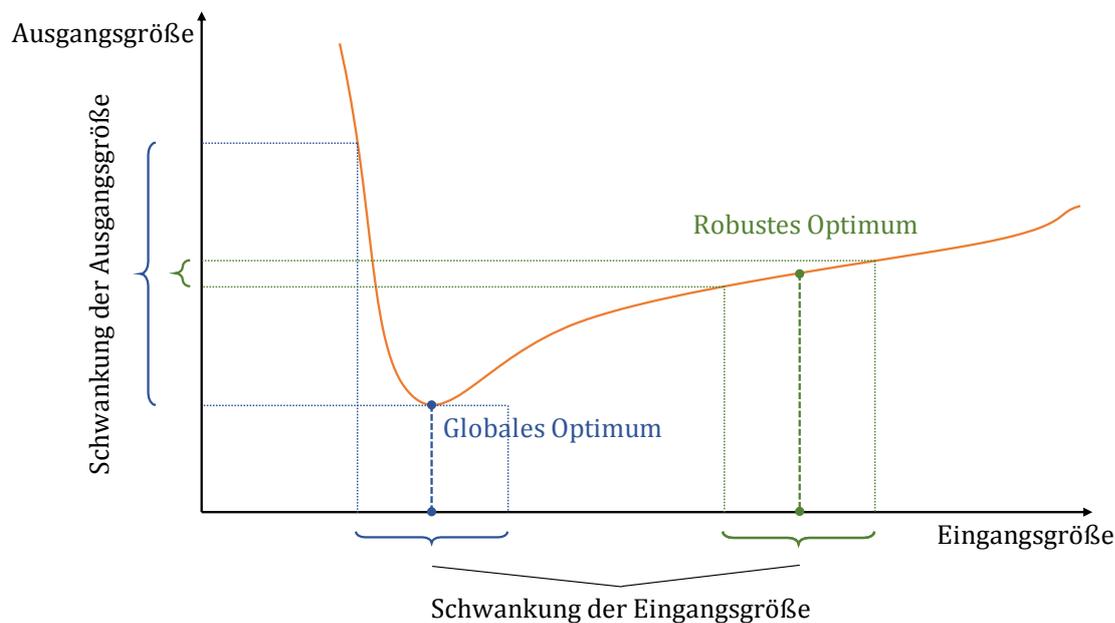


Abbildung 28: Grundidee des robusten Designs  
(Quelle: Eigene Darstellung nach Rhein 2014 und Auer 2020)

Zum besseren Verständnis wird im Folgenden ein konkretes Beispiel gegeben. Dieses nimmt Bezug auf eine Studie, in der der Energieverbrauch von zehn baugleichen mit Komfortlüftungsanlagen (KLA) ausgestatteten Wohnungen untersucht wird. Die Energieverbräuche der Wohnungen weichen bis zum 10-fachen voneinander ab (geringster Wert 8 kWh/m<sup>2</sup>a, höchst-

ter Wert  $79,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ). Dies wird hauptsächlich dem Lüftungs- und Heizverhalten der Nutzer\*innen zugeschrieben [85]. Im Folgenden werden die Erkenntnisse der Studie mit dem Begriff der Robustheit verknüpft. Abbildung 29 zeigt den Energieverbrauch der beiden Lüftungskonzepte „Fensterlüftung“ und „Komfortlüftungsanlage“ in Abhängigkeit des Nutzer\*innenverhaltens. Das Nutzer\*innenverhalten beschreibt die Intensität der Nutzung der KLA, die Intensität der Fensterlüftung sowie die Mischung der beiden Lüftungskonzepte. Der absolut niedrigste Energieverbrauch des Gebäudes wird von der Variante KLA bei optimaler Nutzung erzielt, da durch Wärmerückgewinnung Lüftungswärmeverluste minimiert werden. Wird die KLA nun intensiver genutzt (Bewegung nach rechts auf dem Graph von Punkt Komfortlüftungsanlage), steigt der Energieverbrauch an. Auch in Gebäuden mit KLA ist es in der Regel möglich die Fenster zu öffnen. Wird zusätzlich zur KLA durch Fenster gelüftet (Bewegung nach links auf dem Graph von Punkt Komfortlüftungsanlage) steigt der Energieverbrauch stark an, da zum Energieverbrauch der KLA zusätzlich Lüftungswärmeverluste durch die Fensterlüftung hinzukommen. Der Energieverbrauch kann nun höher sein als bei der Variante mit reiner Fensterlüftung. Die reine Fensterlüftungsvariante erreicht nicht den geringsten Energieverbrauch, dafür hat aber der Nutzer\*inneneinfluss geringere Auswirkungen auf den Energieverbrauch. Die Variante der reinen Fensterlüftung ist damit robuster in Bezug auf den Energieverbrauch des Gebäudes. Eine Aussage über die Robustheit in Bezug auf andere Ausgangsgrößen muss jeweils einzeln betrachtet werden. Zur Steigerung der Robustheit können aus diesem Beispiel zwei Vorgehensweisen abgeleitet werden, nämlich zum einen die Änderung der eingesetzten Technologie und zum anderen eine Sensibilisierung der Nutzer\*innen.

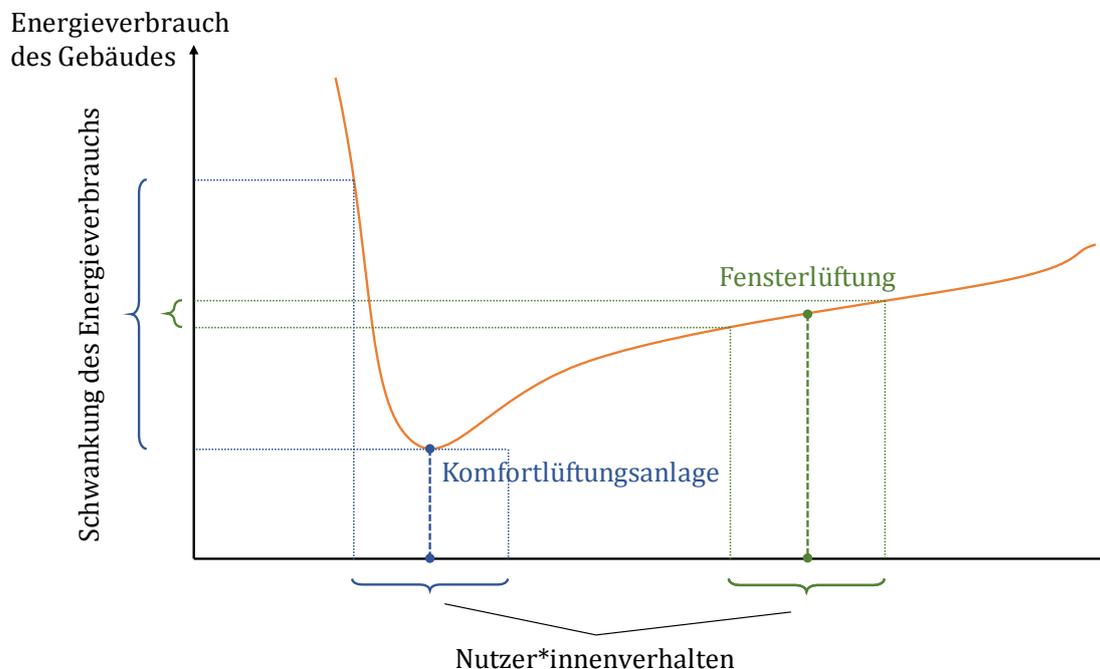


Abbildung 29: Robustes Design anhand eines Beispiels  
(Quelle: Eigene Darstellung nach Rhein 2014 und Auer 2020)

Im Forschungsprojekt „Parameterstudie Low-Tech Bürogebäude“ werden passive Maßnahmen zur Gebäudekonditionierung im Hinblick auf verschiedene Aspekte untersucht. Die betrachteten Aspekte sind unter anderem natürliche und maschinelle Lüftungsstrategien, thermische Speichermassen, Einfluss von Raumgeometrien und Belegungsdichten, Orientierung und Fensterflächenanteil. Daneben werden auch Auswirkungen durch das Nutzer\*innenverhalten miteinbezogen. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass eine passive Optimierung des Gebäudes dessen Robustheit erhöht. Eine generelle Aussage über die Robustheit verschiedener Systeme lässt sich jedoch aus der Studie nicht ableiten [13].

### 5.3.1 Einfache und verständliche Bedienung

Wie bereits erwähnt, haben Nutzer\*innen einen großen Einfluss auf das Gebäudeverhalten. Des Weiteren spielt neben den Nutzer\*innen das Facilitymanagement beim Gebäudebetrieb eine zentrale Rolle. Neben einer Sensibilisierung aller Akteur\*innen durch Beratung und Schulung kann eine möglichst einfache und verständliche Bedienung der Gebäudetechnik zu einem robusteren Gebäudeverhalten beitragen. Dazu ist es notwendig, sich im Planungsprozess eines Gebäudes intensiv damit auseinanderzusetzen, wer das Gebäude im gesamten Lebenszyklus (potenziell) nutzen und betreiben wird und welche Kompetenzen diese Personen haben. Darauf aufbauend sollte ein Konzept für die Bedienung des Gebäudes erstellt werden. Durch einen intensiven Dialog mit allen Beteiligten können bereits früh Bedürfnisse aufgegriffen und in die Planung einbezogen werden. Das Ziel sollte dabei sein, die Komplexität der Gebäudefunktionen möglichst gering zu halten.

Zur verständlichen Bedienung eines Gebäudes können graphisch ansprechende und übersichtlich gestaltete Informationen wesentlich beitragen. Dafür kann es hilfreich sein, Kommunikationsdesigner\*innen in den Planungsprozess mit einzubeziehen. Diese sollten die Funktionen des Gebäudes möglichst transparent darstellen. Das Wuppertal Institut hat in solch einem Prozess den „Klimaspatz Piaf“ entwickelt (siehe Abbildung 30). Das Messinstrument in Vogelform misst CO<sub>2</sub>-Gehalt, Temperatur und relative Feuchte der Luft und gibt durch visuelle und akustische Signale Empfehlungen zum Lüftungsverhalten [86].



Abbildung 30: Hilfestellung zur Fensterlüftung, der „Klimaspatz Piaf“  
(Quelle: Wuppertal Institut, 2019)

### 5.3.2 Langlebigkeit

Die Gebäudetechnik hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Für die Lebensdauer von Gebäudetechnik gibt es deshalb wenig belastbare Daten. Als Orientierung wird von Andrea Pelzeter eine durchschnittliche Lebenserwartung von 25 Jahren für Gebäudetechnik angenommen. Die Lebensdauer von Lüftungsanlagen schätzt sie deutlich kürzer und die von Sanitärinstallationen in der Regel länger ein. Steuerungen haben laut ihrer Einschätzung mit 10 Jahren die kürzeste Lebensdauer [63].

Prinzipiell ist Gebäudetechnik deutlich kurzlebiger als die Gebäudekonstruktion. Dies sollte bei der Gebäudeplanung berücksichtigt werden. Für Wartung und zukünftige Veränderungen sollte deshalb eine leichte Zugänglichkeit zu Installationen und genügend Platzreserven vorhanden sein. In der Studie „Einfach Bauen“ wird für eine konsequente Trennung von Baukonstruktion und Gebäudetechnik plädiert [11].

Nicht immer ist das Ende der Lebensdauer durch die physische Altersgrenze bedingt. Manchmal sind es auch funktionale oder wirtschaftliche Gründe, die zu einem Austausch des Gerätes oder Bauteils führen. Des Weiteren können auch Nutzungsänderungen, gestiegene Effizienzerwartungen, das Fehlen von Ersatzteilen oder auch schlicht eine geänderte Mode zum Lebensende eines Bauteils beitragen [63].

Bei der Auswahl von Gebäudetechnik sollte deshalb zur Erreichung einer möglichst hohen Robustheit auf folgende Punkte geachtet werden:

- Hohe Qualität
- Möglichst einfache Steuerungen
- Gute Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Möglichkeiten/Schnittstellen zur Nachrüstung
- Einfache Wartung und Pflege

## 6 Rahmenbedingungen für die Planung von Low-Tech Gebäuden

Die Planung von funktionierenden und behaglichen Gebäuden, die mit einem Minimum an Gebäudetechnik auskommen, kann mit Integraler Planung wesentlich verbessert werden. Ebenso kann durch einen „suffizienten Bedarf“ effektiv Gebäudetechnik vermieden werden. Denn das „nicht gebaute“ muss weder beheizt, gekühlt noch beleuchtet werden. Diese beiden Themen bilden einen begünstigenden Rahmen zur Umsetzung der in Kapitel 5 beschriebenen Low-Tech Strategien.

### 6.1 Integrale Planung

Beim Bauen treffen viele verschiedene Vorstellungen und Ziele aufeinander. Die Minimierung der Gebäudetechnik kann besonders bei Planer\*innen der technischen Disziplinen zu Zielkonflikten führen, denn ihr Honorar bemisst sich im Allgemeinen an den anrechenbaren Kosten der technischen Anlagen. Der Anspruch generell suffizient zu bauen, kann auch den Vorstellungen von Architekt\*innen widersprechen, deren Honorar von den anrechenbaren Baukosten abhängt. Bauherr\*innen dagegen wünschen sich oft ein Maximum mit möglichst geringen Kosten. Die Lösung dieser Zielkonflikte kann nach Meinung von Gasser gelingen, *„wenn ein außerordentlich hohes Niveau an interdisziplinärer Qualifikation, Kommunikation und Konsensfähigkeit gegeben ist“* [14, S. 60]. Die geeignete Auswahl der Teammitglieder hat daher einen großen Einfluss auf das bauliche Ergebnis. Die Planungshonorare sollten dabei die Grundlage für eine faire Zusammenarbeit und kein möglichst zu minimierender Kostenpunkt sein. Die besten Erfahrungen hat Gasser mit *„Planungsteams, die sich bereits im Architekturwettbewerb als Generalplanerteam gefunden haben und [deren] einzelne Mitglieder sich bereits vorgängig in komplexen Prozessen gemeinsam bewähren konnten“* gemacht [14, S. 60].

Um die vielfältigen Belange und Ziele einer Bauaufgabe, wie zum Beispiel Funktion, Behaglichkeit, Energieeffizienz, Integration von Erneuerbaren Energien, Bedürfnisse von Nutzer\*innen, Design, Ästhetik, Ansprüche von Planer\*innen und Bauherr\*innen sowie Low-Tech und Nachhaltigkeit in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander zu bringen, bietet sich die Methode der Integralen Planung an.

Integrale Planung (lat. integer: ein Ganzes bildend, vollständig) bedeutet, den Planungsprozess auf eine ganzheitliche Betrachtung auszurichten [36]. Dabei soll eine Bauaufgabe von einer Gruppe von Expert\*innen unterschiedlicher Fachdisziplinen in einem zielgerichteten Kreativprozess gemeinsam gelöst werden [87]. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des zu planenden Gebäudes ist dabei ein zentraler Aspekt. Das Planungsbüro „ATP architekten ingenieure“, die laut eigenen Angaben schon seit 1976 integrale Planung „leben“ und damit zu einem der ersten Büros im deutschsprachigen Raum mit diesem Fokus gehören, schreiben [88]:

„Unter Integraler Planung verstehen wir das simultane und interdisziplinäre Zusammenspiel kreativer Leistungen aller am Planungsprozess Beteiligten, mit dem Anspruch, die optimale Zielerreichung des Bauvorhabens zu sichern.“

In Abbildung 31 wird der „Integrale Planungsansatz“ im Vergleich zum „Traditionellen Planungsansatz“ dargestellt. Beim heutzutage immer noch überwiegend üblichen „Traditionellen Planungsansatz“ erarbeitet ein\*e Architekt\*in zunächst allein ein Entwurfskonzept und zieht dann nach und nach weitere Fachplaner\*innen hinzu. Bei Integraler Planung sind alle Beteiligten von Anfang an in den Planungsprozess eingebunden. So kann unter vielen anderen Vorteilen potenziell auch Zeit gespart werden [87].

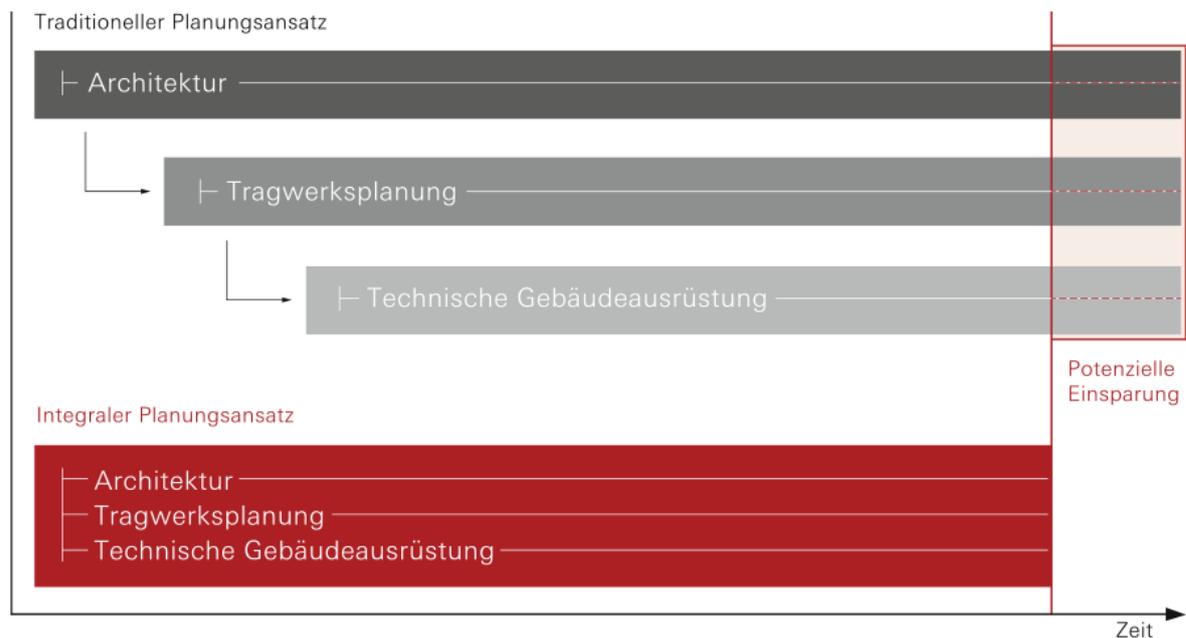


Abbildung 31: Integraler und traditioneller Planungsansatz im Vergleich  
(Quelle: <https://www.atp.ag/integrale-planung/> [Abgerufen am: 22.01.2021])

Eine Grundvoraussetzung ist also die möglichst frühe Bildung eines vollständigen interdisziplinären Planungsteams [87]. Nach den Kriterien des BNB besteht ein interdisziplinäres Planungsteam aus mindestens drei qualifizierten Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen. Je nach Aufgabenstellung und Zielsetzung müssen die drei wichtigsten Disziplinen des Projektes vertreten sein [45]. Gleichermäßen sollten aber auch die Bauherr\*innen, Nutzer\*innen und der\*die Low-Tech Berater\*in dem Planungsteam angehören (siehe Abbildung 32).

### 6.1.1 Integraler Planungsprozess

Beim integralen Planungsprozess geht es um ein „*Miteinander statt Gegeneinander*“ [89, S. 5]. Für diesen Prozess gibt es keinen idealen Ablauf. Vielmehr bedarf es immer eines Prozessdesigns, das individuell auf die Situation abgestimmt ist.

Folgende Hilfsmittel werden im „Leitfaden Integrale Planung“ vorgeschlagen [89]:

- **Auswahl des Planungsteams:**  
Auf die Zusammenstellung des Planungsteams sollte von den Bauherr\*innen besonderen Wert gelegt werden. Dabei sollte neben der fachlichen Kompetenz auch die soziale Kompetenz Beachtung finden. Dazu wird im „Leitfaden Integrale Planung“ ein Auswahlverfahren in drei Phasen vorgeschlagen.  
Öffentliche Auftraggeber\*innen sind in der Regel an bestimmte Vergabearten für Planungsleistungen gebunden, was die Teamzusammensetzung wesentlich beeinflusst. Darauf wird in Kapitel 6.1.3 näher eingegangen.
- **Moderierte Kommunikation:**  
Durch eine gute Moderation kann die Effektivität bei Meetings, Jour-Fixe und Workshops gesteigert werden. Die Moderation sollte von einer außenstehenden und unabhängigen Person durchgeführt werden, die Erfahrungen mit Bauprozessen hat. Die Aufgabe besteht darin, alle Akteur\*innen rechtzeitig zusammenzubringen und zu lösungsorientiertem Handeln zu bewegen.

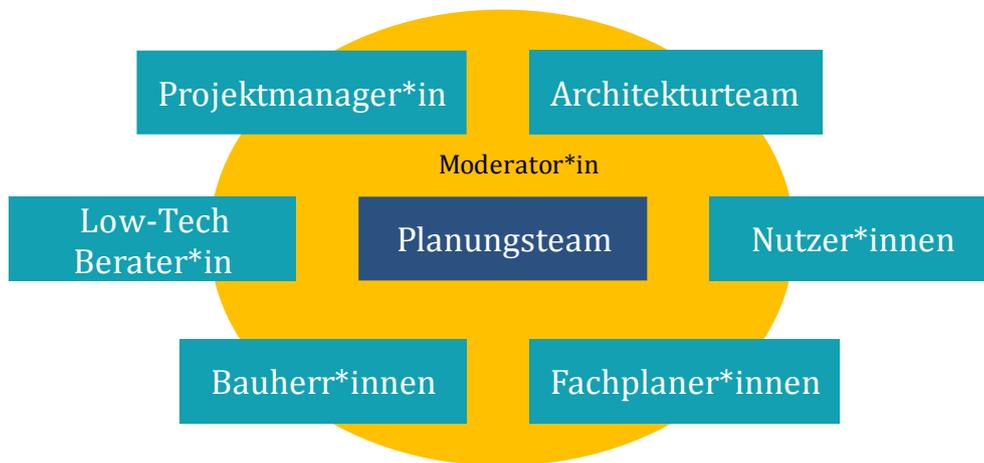


Abbildung 32: Moderation und Beteiligte im Planungsteam (Quelle: Eigene Darstellung)

- **Team-Building:**  
Nach Wiegand ist der „ideal-reife Zustand“ einer Gruppe erreicht, wenn es keine Vorurteile mehr gibt und wenn jede Person in der Gruppe als unverwechselbare Persönlichkeit wahrgenommen wird [90]. Durch ein geeignetes methodisches Vorgehen in Kombination mit einer guten Moderation kann eine Gruppe schnell reifen. Um gut als Team arbeiten zu können, bedarf es flacher Hierarchien. Wenn sich alle Beteiligten als

gleichberechtigt ansehen, kann es zu einem guten Informationsaustausch und einer höheren Planungsqualität kommen.

### 6.1.2 Building Information Modeling

Für eine gemeinsame Planung ist es vorteilhaft, an einem gemeinsamen Modell zu arbeiten. Für die praktische Umsetzung eignet sich das „Building Information Modeling“ (BIM). Dieses arbeitet mit einem digitalen Datenmodell (BIM-Modell), das für alle Akteur\*innen im Idealfall während des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes die jeweils benötigten Informationen bereithält. Das BIM-Modell wird dafür von allen Beteiligten gemeinsam erarbeitet und mit umfassenden Informationen ausgestattet. Neben den räumlichen Dimensionen werden Informationen zu Material, Kosten, Bauzeit und gegebenenfalls auch zu Lebensdauer, Reinigungshinweisen und Wartungsvorschriften eingegeben. Das BIM-Modell ist nicht an eine bestimmte Software gebunden [63].

Durch die Zusammenführung aller Planungen in einem einzigen Modell können Konflikte, wie sie zum Beispiel bei der Leitungsführung der verschiedenen Gewerke oft auftreten, schon früh erkannt und gelöst werden. Auf diese Weise kann BIM, besonders bei Großprojekten, Zeit- und Kostenrisiken reduzieren [91].

Während der Nutzungsphase kann weiterhin durch das BIM-Modell profitiert werden. Durch die vorhandenen Daten über Flächen, Nutzungstypen, Reinigungserfordernissen und Wartungsvorschriften können beispielsweise Ausschreibungen für Reinigung, Wartung und Instandsetzung sehr schnell erzeugt werden. Auch für Umnutzungen und Um- und Anbauten liefert das BIM-Modell wichtige Details.

Für das spätere Recycling des Gebäudes kann das BIM-Modell wichtige Daten über verbaute Massen, Baustoffe und technische Elemente bereit stellen und vereinfacht damit den Rückbauprozess. Voraussetzung dafür ist, dass das BIM-Modell auch über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes gepflegt und aktualisiert wird [63].

### 6.1.3 Vergabe von Planungsleistungen

Es wird im Folgenden auf mögliche Vergabeformen von Planungsleistungen eingegangen. Dies ist für eine Integrale Planung von Bedeutung, da die Vergabe von Planungsleistungen über die Zusammenstellung des Planungsteams entscheidet.

In Abbildung 33 ist die Struktur zur Vergabe von Planungsleistungen vereinfacht dargestellt. Private Auftraggeber\*innen können ihre Vertragspartner\*innen grundsätzlich frei wählen (Ausnahmen siehe Teil 4 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen). Öffentliche Auftraggeber\*innen hingegen müssen bei der Vergabe von Planungsleistungen unterhalb des Schwellenwerts von aktuell 214.000€ die Unterschwellenvergabeordnung (UVgO) anwenden. Für Planungsleistungen oberhalb des Schwellenwerts ist die Vergabeverordnung (VgV) und damit auch die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB/A) anzuwenden.

Die VgV sieht für die Vergabe von Architekturleistungen in der Regel zwei gleichberechtigte Verfahrensarten vor: das Verhandlungsverfahren und den wettbewerblichen Dialog. Letztgenanntes Verfahren eignet sich aufgrund der komplexen und zeitintensiven Abläufe allerdings nur bedingt für die Vergabe von Architekturleistungen und wird deshalb in Abbildung 33 nicht dargestellt [92]. In den meisten Fällen wird das Verhandlungsverfahren angewendet. Dieses kann mit oder ohne einem vorgelagerten Planungswettbewerb durchgeführt werden. Der\*die Auftraggebende hat grundsätzlich die Möglichkeit in allen Verfahrensarten Integrale Planung als Zielvorgabe zu fordern. Im folgenden Kapitel wird die Umsetzung dieser Möglichkeit anhand des Beispiels eines Auslobungstextes für einen Planungswettbewerb aufgezeigt.

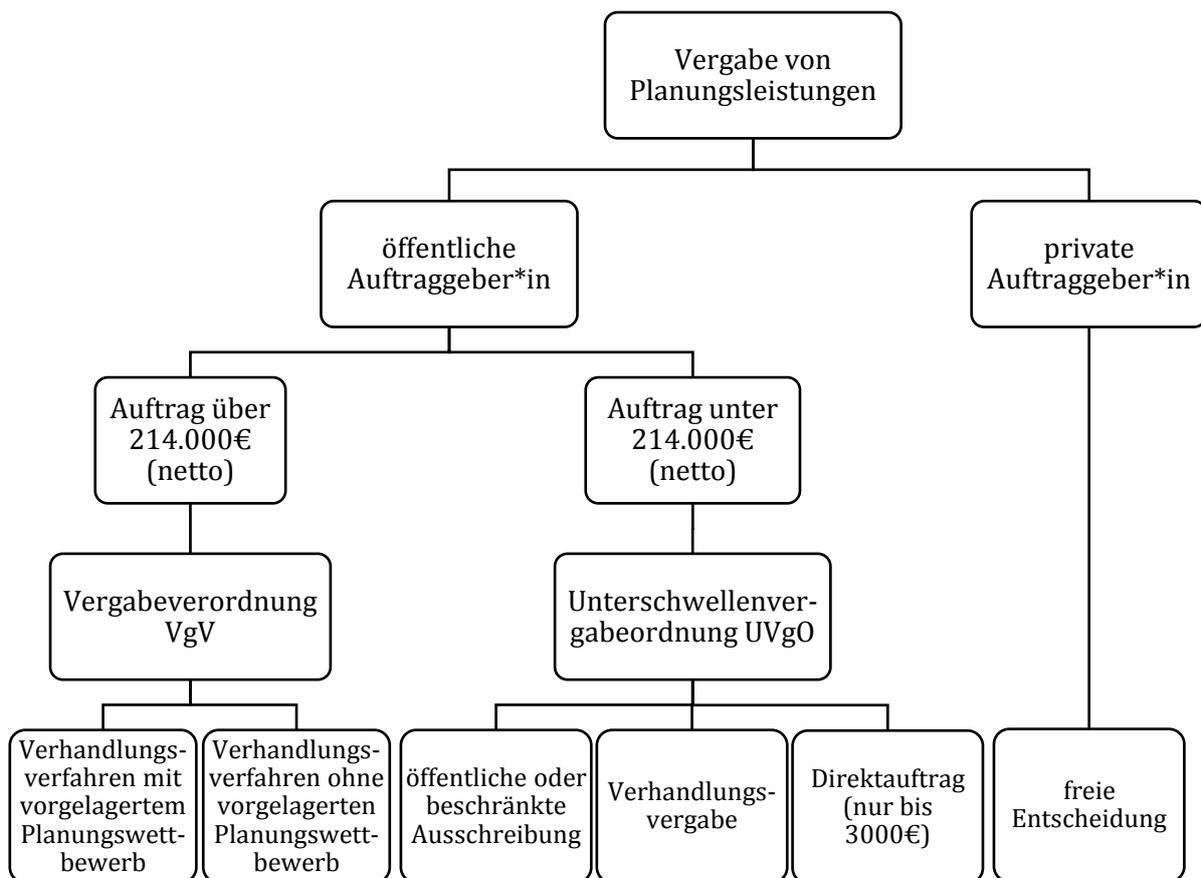


Abbildung 33: Vereinfachte Darstellung über die Vergabe von Planungsleistungen (Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der VgV und UVgO)

#### 6.1.4 Low-Tech Ziele in Planungswettbewerben

Planungswettbewerbe sind ein geeignetes Mittel, um gute Lösungen für eine Bauaufgabe zu finden (vgl. §78 Abs. 1 VgV). Öffentliche Auftraggebende müssen sich (in fast allen Bundesländern) nach §78 Abs. 2 VgV an die Richtlinie für Planungswettbewerbe (RPW 2013) halten. Für private Auftraggebende, die einen Planungswettbewerb durchführen wollen, ist die RPW

2013 nicht bindend, es wird aber von der Architektenkammer empfohlen die Richtlinie anzuwenden, um einen rechtssicheren und fairen Wettbewerb zu garantieren.

Durch die Auslobungsunterlagen können schon sehr früh und wirksam Low-Tech Rahmenbedingungen und Ziele festgelegt werden, die für die Wettbewerbsteilnehmenden verbindlich sind. Für die Erweiterung des Dienstgebäudes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Berlin-Mitte wurde bei der Auslobung beispielsweise folgender Text verwendet [55]:

*„Das Gebäude soll nach dem Lowtech-Prinzip geplant werden, welches robuste, wartungsarme, bauliche Lösungen gegenüber technischen Lösungen vorzieht. Auf den Lebenszyklus des Gebäudes bezogen sollen die Planungsansätze wirtschaftlich tragfähig sein, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Verringerung der Nutzungskosten der Liegenschaft zu legen ist. [...] Wünschenswert ist, dass sich das im Wettbewerb gefundene Planungsteam mit den übrigen am Bauvorhaben Beteiligten zu einer partnerschaftlichen Projektabwicklung bekennt. In Hinblick auf die Planungsziele der Nachhaltigkeit und die Umsetzung der Lowtech-Strategie wird eine enge und kooperative Zusammenarbeit angestrebt.“*

## 6.2 Suffizienz im Bedarf

Um Suffizienz im Bedarf zu implementieren wird in diesem Kapitel zuerst analysiert, wie Bedarfe im Bauwesen ermittelt werden können. Danach werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie eine Steigerung der Suffizienz erreicht werden kann.

### 6.2.1 Bedarfsplanung

Jedes Bauprojekt beginnt mit Bedürfnissen, Wünschen, Visionen oder Ideen von Bauherr\*innen und ggf. Nutzer\*innen. Diese Motive in bauliche Anforderungen zu übersetzen ist Aufgabe der „Bedarfsplanung im Bauwesen“ nach DIN 18205 [16]. Das Ziel der Bedarfsplanung ist es, Antworten auf die drei Grundfragen zu finden, die in Abbildung 34 dargestellt sind.

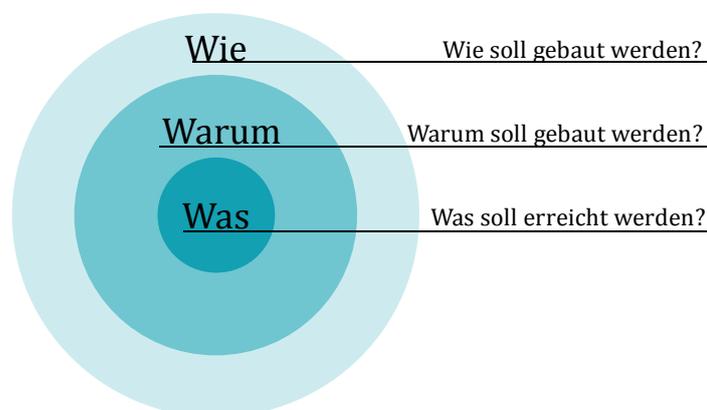


Abbildung 34: Drei Grundfragen der Bedarfsplanung (Quelle: Eigene Darstellung nach Kovacic, 2012)

Die „Reformkommission Bau von Großprojekten“ betont die Wichtigkeit der Erfassung der Bedarfe wie folgt [93, S. 18]:

*„Schon in der Phase der Bedarfsanalyse, noch bevor ein Projekt überhaupt konzipiert wurde, kann es zu fatalen Fehlentscheidungen kommen. Ohne genaue Ermittlung der Bauherrenwünsche sind Fehlplanungen, die später zu hohen Kosten revidiert werden müssen, vorprogrammiert. Der Bauherr muss als ersten Schritt vor Beginn der konkreten Projektplanung detailliert erfassen, welche Ziele und Anforderungen das Projekt erfüllen muss (Bedarfsanalyse). Zu spät eingebrachte Bauherrenwünsche, die nur durch Umplanungen oder gar Umbauten umgesetzt werden können, bewirken regelmäßig erhebliche Zusatzkosten.“*

Im ersten Schritt der Bedarfsplanung, wird zunächst der Projektkontext geklärt: Was soll erreicht werden und warum? Nach Klärung des Kontexts folgt die grobe Festlegung von Projektzielen. Dafür kann ein „Zieleworkshop“ durchgeführt werden, wie er bei Hodulak und Schramm beschrieben ist [94, S. 98]. Sie betonen darin: *„Der Zieleworkshop ist ein kleiner Arbeitsschritt in einem Bedarfsplanungsprojekt, er hat jedoch weitreichende Bedeutung für alle nachfolgenden Arbeitsschritte, da diese auf den darin erarbeiteten strategischen Informationen basieren.“* Als nächstes werden Informationen über qualitative und quantitative Rahmenbedingungen des Projekts gesammelt. Dies kann durch Auswertungen von Unterlagen, Begehungen, Beobachtungen, Befragungen oder weiteren Methoden geschehen. Anhand dieser Informationen wird der sogenannte „Bedarfsplan“ entwickelt. In diesem werden Rahmenbedingungen, Ziele und Anforderungen in einem Dokument zusammengefasst, überprüft und kommuniziert. Der Bedarfsplan sollte dabei so allgemein verständlich wie möglich sein. Zum Beispiel können qualitative Anforderungen in Form eines Funktionsprogramms und quantitative Anforderungen mittels eines Flächen- oder Raumprogramms veranschaulicht werden.

Der Bedarfsplan ist Arbeitsgrundlage für alle weiteren Planungen. Allerdings ist immer wieder festzustellen, dass Bedarfsplanungen in der Praxis nicht ausreichend durchgeführt werden und viele Bauaufgaben deshalb nicht hinreichend definiert sind. Insbesondere bei Großprojekten ist dies einer der Gründe für massive Kosten- und Terminabweichungen [93]. Auch wurde die Bedarfsplanung erst 2013 in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) zum ersten Mal aufgeführt [87]. Laut der HOAI liegt die Beauftragung einer Bedarfsplanung als „besondere Leistung“ im Verantwortungsbereich der Bauherr\*innen und ist keine Grundleistung der Architekt\*innen. Jedoch wird die Bedarfsplanung nur selten eigens beauftragt und damit vernachlässigt.

### 6.2.2 Suffizienzziele

Wie in Abbildung 13 auf Seite 28 bereits erläutert, ist die Beeinflussbarkeit eines Projektes zu Beginn am größten. Um Suffizienzziele wirksam im Planungsprozess zu etablieren, sollten diese schon in den Bedarfsplan einfließen. Dazu sollten konsequent folgende Fragen gestellt

werden: Wie viel ist genug? Was wird wirklich gebraucht? Welche Bedürfnisse stecken (tatsächlich) hinter bestimmten Anforderungen oder Zielen? Welcher Bedarf könnte auch auf „nichtbaulichem“ Wege befriedigt werden?

Als Impulse zur Beantwortung dieser Fragen werden in Tabelle 6 Möglichkeiten aufgezeigt, wie Suffizienz beim Bauen verwirklicht werden kann. Anschließend werden drei Beispiele vertiefend besprochen.

Tabelle 6: Möglichkeiten Suffizienz beim Bauen zu verwirklichen  
(Quelle: Eigene Darstellung nach Steffen, Fuchs: Weniger ist weniger – und anders, db 06/2015)

Ziel	Suffizienz Kriterium	Erläuterung/Beispiel
gut erschlossener Standort	Nähe nutzungsrelevanter Objekte	kurze Wege im Alltag und „Externalisierung“ von Wohnfunktionen (z. B. Sauna in öffentlichen Bädern)
	Verkehrsanbindung	z. B. Reduktion von motorisiertem Individualverkehr und Entfall von Pkw-Stellplätzen
reduzierter Gebäudeimpact	Bedarfsplanung und Hinterfragung	z. B. Berücksichtigung von „kleiner-leichter Bauen“ bzw. „nicht Bauen“ während der Bedarfsplanung
hohe Nutzerakzeptanz	Partizipation	z. B. Entwicklung nutzer- und projektspezifischer Lösungen mit den Beteiligten sowie Einbeziehung der Nutzer bei der Entwicklung von individuell bzw. gemeinschaftlich nutzbaren Räumen
flexibles Flächenmanagement	Eigentumsstruktur	z. B. Genossenschaften erleichtern Veränderungen bei der Nutz- und Wohnflächenaufteilung
geringer Flächenbedarf	Reduktion der relativen Größe	Reduktion der relativen Größe z. B. Wohnflächen pro Kopf $\leq 35 \text{ m}^2$
	Flexibilität	z. B. schaltbare Räume (Wachsen und Schrumpfen)
hohe und langfristige Nutzungsdichte	Umnutzungsfähigkeit	anpassungsfähige Grundrisse und Gebäudestrukturen (z. B. Büro wird zu Wohnen)
	Mehrfachnutzen	unterschiedliche Funktionen im Tagesverlauf (z. B. durch Multifunktionsmöbel, Schiebewände etc.)
	Gemeinschaftsnutzen	z. B. Waschküche, Mietergärten oder Anmietbarkeiten von Räumen (auch durch Externe / Dritte)
soziale Kontakte und Austausch befördern	kommunikationsfördernde Flächen und Räume	halböffentliche Räume, Lobby, Flure (auch Intranet) ermöglichen Gemeinschaft sowie Absprachen für Sharing, Tausch und Hilfe
anpassbares Komfortniveau	Regelbarkeit der Gebäudetechnik	individuelle „suffiziente“ Einflussmöglichkeit hinsichtlich: Wärme, Kälte, Licht, Luft, Strom
	Behaglichkeits-Standards	z. B. Höhe der Schallschutzanforderungen oder Luftwechselraten, Technisierungsgrad
umweltgerechte Mobilität	Fahrradkomfort Sharing-Mobilitätsangebote	Lage, Anzahl, Anordnung und Ausstattung von Fahrradstellplätzen z. B. Stellplatz für Carsharing

### 6.2.2.1 Reduktion der Wohnfläche

Laut Umweltbundesamt liegt die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf in Ein-Personenhaushalten bei  $68 \text{ m}^2$ , in Zwei-Personenhaushalten bei  $49 \text{ m}^2$  und in Haushalten mit drei oder

mehr Personen bei 33 m<sup>2</sup> [38]. Maßgeblich für diese Differenz ist, dass in Mehr-Personenhaushalten Küche, Bad und Flur gemeinsam genutzt werden (siehe dazu auch Kapitel 2.2.2). Wohnraum mit mehr Menschen zu teilen kann demnach zu einer Reduktion der Pro-Kopf-Wohnfläche führen. Im Folgenden werden beispielhaft Konzepte zur potenziellen Minimierung der Pro-Kopf-Wohnfläche gegeben.

### **Individuelle Reduktion**

Generell sollte bei der Gebäudeplanung auf einen bewusst sparsamen Umgang mit Flächen geachtet werden. In den letzten Jahren haben sich in Bezug auf sparsamen Flächeneinsatz besonders zwei Wohnformen hervorgetan:

- **Tiny Houses**  
Transportable, meist auf Fahrgestellen aufgebaute Wohneinheiten mit Wohnflächen zwischen 15 und 40 m<sup>2</sup>. Bekannt für nachhaltige und autarke Tiny-Houses aus Österreich ist die Firma WW Wohnwagen GmbH [95].
- **Mikroappartements**  
Sehr kleine Einzimmerwohnungen mit Küchenzeile und Bad. Typischerweise mit einer Fläche zwischen 18 und 35 m<sup>2</sup> [96].

### **Gemeinschaftliches Wohnen**

Gemeinschaftliches Wohnen kann auf vielerlei Weise erfolgen. In der Regel leben Menschen zusammen, die sich bewusst für die gegenseitige Unterstützung und das gemeinschaftliche Leben entschieden haben [97]. Beispiele für gemeinschaftliches Wohnen sind:

- **Wohngemeinschaften**
  - **Klassisch:** Jede\*r Mitbewohner\*in bewohnt einen Individualraum. Küche, Bad und ggf. Wohnzimmer werden gemeinschaftlich genutzt.
  - **Funktional:** Statt Individualräumen sind Räume bestimmten Nutzungen zugeteilt, die von allen Mitbewohnenden gemeinsam und gleichzeitig benutzt werden. Gegenüber einer klassischen Wohngemeinschaft können hier theoretisch mehr Menschen auf gleicher Fläche leben, da die Personenzahl relativ unabhängig von der verfügbaren Zimmeranzahl ist [98].
- **Wohnprojekte**
  - **Allgemein:** Wohngemeinschaften, die gemeinsam ein Haus bewohnen, verwalten und manchmal besitzen. Oftmals sind diese als Genossenschaft oder als GmbH organisiert. Zur Förderung dieser Wohnform hat sich 1999 das „Mietshäuser Syndikat“ gegründet, dessen Ziel es ist, Wohnfläche dem Immobilienmarkt zu entziehen um damit langfristig günstigen Wohnraum zur Verfügung stellen zu können [99].

- Clusterwohnungen: Möglichst kleine Individualeinheiten für eine oder mehrere Personen mit mindestens einem Aufenthaltsraum, einem Bad und manchmal auch kleiner Küche. Daneben gibt es mindestens eine gemeinschaftliche Küche und Wohn- und Essbereiche. Je nach Projekt gibt es weitere gemeinschaftlich genutzte Flächen, wie Gästezimmer, Arbeitsbereiche oder Waschküchen. Bekannt für diese Wohnform ist die „Kalkbreite“ in Zürich [100].

### 6.2.2.2 Mehrfachnutzen

Ziel ist es, die Ausnutzung von Räumen zu optimieren, um Flächen reduzieren zu können. In manchen Fällen lassen sich Räume so gestalten, dass sie auf verschiedene Weisen genutzt und somit besser ausgenutzt werden können. Beispielsweise können Aufenthaltsräume oder Speisesäle außerhalb der Essenszeiten für Schulungen oder Besprechungen genutzt werden. Oder sporadisch benötigte Räume wie Gästezimmer oder Pausenräume können mehreren Nutzer\*innen zur Verfügung stehen. So können sich z.B. mehrere Mietparteien ein Gästezimmer teilen oder unabhängige Büros in einem Gebäude den gleichen Pausenraum zu unterschiedlichen Zeiten nutzen.

### 6.2.2.3 Umnutzungsfähigkeit

Durch eine hohe Umnutzungsfähigkeit kann die Auslastung und Lebensdauer eines Gebäudes erhöht werden. Beispielsweise erfreuen sich Bauten aus der Gründerzeit (ca. zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts) heute immer noch großer Beliebtheit. In diesen Wohnungen wird heute noch gerne gelebt, aber zum Beispiel auch Praxen, Büros oder Yogastudios betrieben [14].

Eine hohe Umnutzungsfähigkeit wird durch möglichst anpassungsfähige und flexible Grundrisse und Gebäudestrukturen erreicht, die Nutzungsänderungen ohne größere Baumaßnahmen zulassen. Mögliche Maßnahmen können sein:

- Nichttragende und möglichst installationsfreie Innenwände
- Offene Leitungsführungen
- Gleichwertige, gut belichtete Räume ähnlicher Größe
- Einfache Teilbarkeit
  - Günstig gelegene Erschließungskerne, sodass Geschossflächen gut in kleinere Einheiten unterteilt werden können
  - Einfamilienhäuser von Anfang an in mehreren Nutzungseinheiten denken
- Barrierefreiheit
- Nutzlastreserven für spätere Erweiterungen

Die Maßnahmen können sich prinzipiell auch negativ auf andere Bereiche auswirken (z.B. Nutzlastreserven auf die Ökobilanz). Deshalb sollte der Mehrwert der Maßnahmen stets mit der Wahrscheinlichkeit des Eintretens abgewogen werden.

# 7 Beratungsprozess für Low-Tech

## Roadmap Beratungsprozess



Abbildung 35: Roadmap Beratungsprozess  
 (Quelle: Eigene Darstellung. Bezeichnung der Phasen nach Hodulak, 2019)

In Abbildung 35 ist ein möglicher Beratungsprozess für die Planung und Erstellung von Low-Tech Gebäuden in Form einer „Roadmap“ dargestellt. Der zeitliche Ablauf richtet sich nach den Leistungsphasen (LP) gemäß HOAI. Der Beratungsprozess kann in sechs Beratungen und eine Planungs- und Ausführungsbegleitung unterteilt werden. Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben. Die einzelnen Beratungen müssen nicht an einem einzigen Termin durchgeführt werden, sondern können auch in kleinere Einheiten aufgliedert werden.

## 7.1 Impulsberatung

Die Impulsberatung stellt den Beginn des Beratungsprozesses dar. Diese Beratung sollte so früh wie möglich stattfinden, am besten noch bevor irgendeine Planungsleistung in Auftrag gegeben wurde, also noch vor LP1. Sie richtet sich speziell an werdende Bauherr\*innen. Sie eignet sich zudem für generell an Low-Tech interessierte Menschen und muss nicht unbedingt in Zusammenhang mit einem konkreten Bauprojekt stehen.

Ziel der Impulsberatung ist es, einen Überblick über die Vorteile von Low-Tech sowie deren Möglichkeiten zur Implementierung in der Planung und den unterstützenden Rahmenbedingungen zu geben. Für einen Einstieg eignet sich das erste Kapitel dieser Arbeit. Wichtig erscheint zudem eine Eingrenzung und Definition des Begriffs Low-Tech. Hierfür eignet sich Kapitel 2.3.3. Um Möglichkeiten zur Implementierung von Low-Tech aufzuzeigen, können anschließend die in Kapitel 5 vorgestellten Low-Tech Strategien kurz angerissen werden. Ein Schwerpunkt dieser ersten Beratung sollte auf der Erläuterung der Integralen Planung (Kapitel 6.1) und der Bedarfsplanung (Kapitel 6.2.1) liegen. Denn die Entscheidung, integral zu planen und eine Bedarfsplanung durchzuführen, muss sehr früh gefällt werden.

In Tabelle 7 werden Anregungen für Fragen gegeben, die in der Impulsberatung gestellt werden können, sowie mögliche Ziele vorgestellt. Durch die Antworten auf diese Fragen können Ziele formuliert werden, auf denen das weitere Vorgehen aufbaut.

Tabelle 7: Mögliche Fragen und Ziele in der Impulsberatung (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Thema</b>	<b>Fragen</b>
Allgemein	Soll ein Low-Tech Gebäude gebaut werden?
	Welche Schwerpunkte hat das Projekt in Bezug auf Low-Tech?
Integrale Planung (Kap. 6.1)	Wird eine Integrale Planung angestrebt?
	Welche rechtlichen Rahmenbedingungen gibt es (z.B. VgV)?
	Welche Teampartner*innen kommen in Frage?
	Wer ist geeignet, die Moderation zu übernehmen?
Bedarfsplanung (Kap. 6.2.1)	Soll eine Bedarfsplanung in Auftrag gegeben werden?
	Wer ist geeignet, die Bedarfsplanung zu übernehmen?
<b>Ziele (Beispielhaft)</b>	
	Es wird ein Low-Tech Gebäude gebaut.
	Das Gebäude wird durch ein Planungsteam integral geplant.
	Es wird eine Bedarfsplanung durchgeführt.

## 7.2 Grundlagenberatung

Die Grundlagenberatung ist zeitlich am Anfang der LP1 einzuordnen. Mindestens findet die Beratung mit den Bauherr\*innen statt. Bestenfalls wird sie jedoch mit dem gesamten integralen Planungsteam (siehe Kapitel 6.1) durchgeführt, falls dieses schon besteht.

Ziel der Grundlagenberatung ist es Suffizienzziele festzulegen. Hierfür kann zur Vertiefung auf den Inhalt des Kapitels 6.2.2 eingegangen werden. Des Weiteren sollen schon erste Ansätze der möglichen Low-Tech Strategien (Kapitel 5) mit konkretem Bezug auf das zu planende Gebäude diskutiert werden.

In Tabelle 8 stehen Anregungen für Fragen, die in der Grundlagenberatung gestellt werden können. Die Antworten auf diese Fragen können zur Zielfindung genutzt werden. Die in der Tabelle angegebenen Ziele dienen hier lediglich als Beispiele. Es sollte darauf geachtet werden, möglichst konkrete Zielformulierungen zu finden.

Tabelle 8: Mögliche Fragen und Ziele in der Grundlagenberatung (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Thema</b>	<b>Fragen</b>
Suffizienz im Bedarf (Kap. 6.1.3)	Welche Suffizienzziele sind für dieses Projekt von Bedeutung?
	Wie viel ist genug?
	Was wird wirklich gebraucht?
	Welcher Bedarf kann auf „nichtbaulichem“ Wege befriedigt werden?
<b>Suffizienzziele (Beispielhaft)</b>	
	Die Fläche des Gebäudes beträgt maximal 35 m <sup>2</sup> pro Person. Für die unterschiedlichen Büros in diesem Gebäude gibt es nur einen gemeinsamen Pausenraum. Das Gebäude ist auf einen Erweiterungsbau an der Ostseite vorbereitet.
<b>Weitere Fragen</b>	
Nutzung passiver Potenziale (Kap. 5.1)	Welche passiven Potenziale sind für dieses Gebäude mit dem geringsten Aufwand zu nutzen?
	Welche passiven Potenziale bietet das Umfeld des zu errichtenden Gebäudes?
Suffizienz in der Gebäudetechnik. (Kap. 5.2)	Welche Technik ist minimal notwendig?
	Welcher Komfortstandard soll erreicht werden?
	Auf welche Technik soll verzichtet werden?
Robustheit (Kap. 5.3)	Welche Kompetenzen sind bei künftigen Nutzer*innen zu erwarten?
	Welches Gebäudetechnikkonzept ist in diesem speziellen Fall robust?

## 7.3 Konzeptberatung

Die Konzeptberatung ist zeitlich in LP2 bis LP3 angesiedelt. Wer bei dieser Beratung dabei ist, hängt nun zunehmend vom Projektverlauf ab. Idealerweise sollte hier das gesamte integrale Planungsteam vertreten sein.

Das Ziel der Konzeptberatung ist es, ein „Low-Tech Gesamtkonzept“ zu finden. Dazu werden die in Kapitel 5 beschriebenen Low-Tech Strategien in der Beratung vertiefend besprochen.

In Tabelle 9 finden sich Anregungen für Ziele, wie sie in der Konzeptberatung formuliert werden können.

Tabelle 9: Mögliche Zielformulierungen für die Konzeptberatung (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Thema</b>	<b>Ziele (Beispielhaft)</b>
Thermische Qualität (Kap. 5.1.1)	Der Heizwärmebedarf beträgt höchstens 15 kWh/m <sup>2</sup> a (Passivhausstandard). Der spezifische Transmissionswärmeverlust $H_T'$ ist kleiner als 0,15 W/m <sup>2</sup> K.
Kompaktheit (Kap. 5.1.2)	Das Gebäude hat ein A/V-Verhältnis von 0,3.
Orientierung (Kap. 5.1.4) Fensterflächen (Kap. 5.1.5)	Die Ausrichtung der Fensterflächen und deren Größe sind durch Simulation und Variantenvergleiche für passive Solarenergienutzung und für den sommerlichen Wärmeschutz optimiert.
Sonnenschutz (Kap. 5.1.6)	Für relevante Fensterflächen ist ein feststehender außenliegender Sonnenschutz realisiert.
Wärmekapazität (Kap. 5.1.7)	Bauteile mit hoher wirksamer Wärmekapazität grenzen direkt an die Innenraumluft.
Nachtlüftungskonzept (Kap. 5.1.8)	Zur Ermöglichung einer erhöhten Nachtlüftung sind einbruchssichere und wettergeschützte Lüftungsklappen eingebaut.
Passive Kühlung (Kap. 5.1.9)	Die Wärmepumpe mit Erdwärmetauscher ermöglicht eine passive Kühlung.
Tageslichtnutzung (Kap. 5.1.10)	Der Tageslichtquotient beträgt über 2 % auf mindestens 50 % der Nutzfläche.
Angepasste Lüftungskonzepte (Kap. 5.2.1)	Auf 80 % der Innenraumflächen sind klimasteuernde Naturbaustoffe verbaut. Die Volumenströme sind dem tatsächlichen Bedarf angepasst. Es ist eine erweiterte Kaskadenlüftung realisiert.
Bedienung (Kap. 5.3.1)	Es gibt eine anschauliche, benutzer*innenfreundliche Bedienungsanleitung für das Gebäude.
Langlebigkeit (Kap. 5.3.2)	Die Elektroleitungen werden offen verlegt und bieten damit einfache Möglichkeiten zur Nachrüstung.

## 7.4 Planungs- und Ausführungsbegleitung

In der Planungs- und Ausführungsphase geht es darum, die zuvor gesteckten Ziele umzusetzen. Der\*die Low-Tech Berater\*in überprüft gemeinsam mit den Bauherr\*innen in festgelegten Zeitabständen die Einhaltung der Umsetzung der Ziele. Bei Beratungsbedarf durch aufkommende Fragestellungen bezüglich Low-Tech wird der\*die Low-Tech Berater\*in hinzugezogen.

## 7.5 Nutzungsberatung

Die Nutzungsberatung findet statt, wenn die Nutzer\*innen das Gebäude bezogen haben. Die Beratung richtet sich an die Beteiligten der Nutzungsphase, wie die Gebäudenutzer\*innen, Hausmeister\*innen, Bauherr\*innen und das Facilitymanagement.

Das Ziel dieser Beratung ist, die Beteiligten in der Betriebsphase für die korrekte Benutzung des Gebäudes zu sensibilisieren. Hierbei wird auf das Funktionskonzept des Gebäudes und auf Zusammenhänge, wie zum Beispiel zwischen Energieverbrauch und Lüftung, eingegangen. Danach folgt eine konkrete Einweisung in die Bedienung der Gebäudetechnik auf Nutzer\*innenebene. Die dafür notwendigen Informationen sind in geeigneter Darstellung zusammengefasst und jederzeit verfügbar.

Dem Betriebspersonal, wie z.B. Hausmeister\*innen, wird die Gebäudetechnik vertiefend erläutert. Dabei geht es vor allem um die Einstellungen, die Steuerung und die Wartung der Anlagen.

## 7.6 Beratung zum Monitoring

Das Monitoring ist besonders für die sogenannte „Einregulierungsphase“ von Bedeutung. Diese beginnt mit der Inbetriebnahme der technischen Anlagen und kann noch bis in die ersten Betriebsjahre hinein andauern. Ein solches Monitoring findet in den meisten Gebäuden bisher nicht statt. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass bei vielen Anlagen deutliches Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz im Betrieb durch eine angepasste Steuerung besteht [10, 24]. Ein Ziel der Low-Tech Beratung ist somit, Monitoring zur Anpassung der Steuerung anzuregen. Je nach Kompetenz des\*der Low-Tech Berater\*in kann er\*sie dieses Monitoring auch selbst durchführen.

## 7.7 Abschlussgespräch

Das Abschlussgespräch findet nach der Fertigstellung des Gebäudes mit den Bauherr\*innen statt. Die Einregulierungsphase mit Monitoring muss dafür noch nicht abgeschlossen sein. Im Abschlussgespräch wird evaluiert, ob die gesteckten Ziele erreicht wurden. Ist dies überwiegend der Fall, kann dafür eine Auszeichnung vergeben werden wie zum Beispiel ein „eza! Low-Tech Siegel“.

Für die Vergabe einer Auszeichnung bedarf es eines nachvollziehbaren Bewertungsschemas. Nachfolgend wird ein mögliches Schema aufgezeigt.

In der Impuls-, Grundlagen- und Konzeptberatung werden Ziele formuliert. Für die Erreichung der Auszeichnung sind mindestens zehn Ziele in fünf Kategorien zu formulieren. In Tabelle 10 ist angegeben, wie viele Ziele in welcher Kategorie zu formulieren sind.

Tabelle 10: Anzahl der festzulegenden Ziele in den einzelnen Kategorien (Quelle: Eigene Darstellung)

	<b>Kategorie</b>	<b>Anzahl der Ziele</b>
Rahmenbedingungen	Integrale Planung	1
	Suffizienz im Bedarf	2
Strategien	Nutzung passiver Potenziale	3
	Suffizienz in der Gebäudetechnik	3
	Robustheit	1

Die Ziele werden während der Konzeptberatung in der „Zieltabelle zur Bewertung“ festgehalten. In Tabelle 11 finden sich Beispiele für relevante Zielformulierungen. Werden im Projekt mehr als zehn Ziele formuliert, werden nur die wichtigsten zehn in die Tabelle aufgenommen. Die „Zieltabelle zur Bewertung“ wird während des Abschlussgesprächs des Beratungsprozesses evaluiert. Wurden mindestens acht Ziele erreicht, so kann das „eza! Low-Tech Siegel“ vergeben werden.

Tabelle 11: Beispiel für eine ausgefüllte „Zieltabelle zur Bewertung“ (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Kategorie</b>	<b>Ziele</b>
Integrale Planung	<b>1</b> Architekturteam und Fachplaner*innen wurden zeitgleich beauftragt.
	<b>2</b> Es wurde eine Bedarfsplanung durchgeführt.
Suffizienz im Bedarf	<b>3</b> Die Gebäudefläche beträgt <30 m <sup>2</sup> pro Nutzer*in.
	<b>4</b> Der Heizwärmebedarf liegt unter < 30 kWh/m <sup>2</sup> a.
Nutzung passiver Potenziale	<b>5</b> Zur erhöhten Nachtlüftung sind einbruchssichere und wettergeschützte Lüftungsklappen eingebaut.
	<b>6</b> Für relevante Fensterflächen ist ein feststehender außenliegender Sonnenschutz realisiert.
Suffizienz in der Gebäudetechnik	<b>7</b> Es ist keine wassergeführte Heizungsanlage eingebaut.
	<b>8</b> Es ist keine aktive Kühlung eingebaut.
	<b>9</b> Es ist eine erweiterte Kaskadenlüftung realisiert.
Robustheit	<b>10</b> Es hat eine Nutzungsberatung stattgefunden.

## 8 Diskussion

Im Folgenden werden einige ausgewählte, zentrale Punkte dieser Arbeit diskutiert.

### 8.1 Definition von Low-Tech

Die in Kapitel 2.3.3.1 entwickelte Definition für den Begriff Low-Tech fokussiert Low-Tech auf eine Reduktion von Gebäudetechnik. Damit sind die direkt im Gebäude verbauten Anlagen in die Betrachtung einbezogen, nicht aber jene technischen Anlagen, die außerhalb des Gebäudes für die Versorgung des Gebäudes notwendig sind. Wird das Gebäude beispielsweise durch ein Nahwärmenetz mit Wärme versorgt, bedarf es dafür einen Wärmeerzeuger und ein Leitungsnetz, im Gebäude selbst ist dafür aber nur wenig Gebäudetechnik notwendig. Die Definition klammert damit gegebenenfalls wichtige Komponenten aus. Dies wird aber für eine klare Systemgrenze in Kauf genommen.

Eine Unschärfe ergibt sich bei den Bezeichnungen „reduziert“ beziehungsweise „maximiert“. Um zu reduzieren oder zu maximieren bedarf es eines Startwertes, also einer Referenz. Bei Sanierungen kann die vor der Sanierung vorhandene Gebäudetechnik diese Referenz sein. Bei Neubauten fehlt eine Referenz in diesem Sinne. Eine Möglichkeit diese Referenz zu setzen wäre ein Vergleich mit ähnlichen Gebäuden. Eine andere Betrachtungsweise ist, mit einer Idee zu starten und dann den jeweils aktuellen Stand als Referenz für den nächsten Planungsschritt zu nehmen. So kann jede Überlegung in der Planungsphase dahingehend überprüft werden, ob die Gebäudetechnik reduziert und gleichzeitig die Nachhaltigkeit maximiert wird. Nur wenn beides zutrifft, wird die Entscheidung getroffen, den überprüften Schritt zu gehen.

### 8.2 Low-Tech Strategien

Bezugnehmend auf die drei in Kapitel 5 vorgestellten Low-Tech Strategien wird nachfolgend je Strategie ein Thema diskutiert.

#### 8.2.1 Komplexe Wirkungszusammenhänge bei Nutzung passiver Potenziale

Bei der Optimierung der Nutzung von passiven Potenzialen ergeben sich immer wieder Zielkonflikte zwischen den verschiedenen Ansätzen. So verfolgen beispielsweise die passive Solarenergienutzung und der sommerliche Wärmeschutz prinzipiell konträre Ziele. Ein weiterer Zielkonflikt besteht bei der Tageslichtnutzung und der Kompaktheit. So kann beispielsweise durch große Raumtiefen eine hohe Kompaktheit erreicht werden, dadurch aber die Tageslichtnutzung verschlechtert werden. Ähnlich verhält es sich bei feststehendem außenliegendem Sonnenschutz und der Tageslichtnutzung. Ein Zielkonflikt kann auch durch die Steigerung der wirksamen Wärmekapazität entstehen, wenn sie sich auf die Raumakustik auswirkt. Materialien mit hoher wirksamen Wärmekapazität haben oft eine höhere Schallhärte

und können damit die Nachhallzeit erhöhen, was wiederum die Raumakustik negativ beeinträchtigen kann.

Wird der Betrachtungsrahmen erweitert und beispielsweise Kosten, Ästhetik und Komfort miteinbezogen, ergeben sich viele weitere Gegenpole. Letztlich muss in Low-Tech Gebäuden alles dem Anspruch auf Nachhaltigkeit genügen.

Die Wirkungszusammenhänge sind komplex und vielschichtig. Die Optimierung der Nutzung passiver Potenziale erfordert daher große Kompetenz, Offenheit und Flexibilität bei den Planenden.

### 8.2.2 Maschinelle Lüftungsanlagen

Die Frage, ob zur Belüftung von Gebäuden maschinelle Lüftungsanlagen sinnvoll sind, führt regelmäßig zu kontroversen Diskussionen [24]. Auf der einen Seite werden maschinelle Lüftungsanlagen zur Energieeinsparung und Verbesserung von Luftqualität beworben und gefördert. Auf der anderen Seite werden immer mehr Studien publiziert, die diese Vorteile von Lüftungsanlagen in Frage stellen [6 bis 9].

Die Anforderungen an Gebäude und deren Belüftung sind sehr unterschiedlich. Die Qualität eines Gebäudes hängt nicht von der Frage ab, ob eine maschinelle Lüftungsanlage eingebaut wird oder nicht, sondern ob das Gebäude gut und dauerhaft funktioniert und wie zufrieden die Nutzer\*innen mit der Raumluftqualität sind. Das Lüftungskonzept sollte deshalb in besonderem Maße an die jeweilige Bauaufgabe angepasst werden und sich stark an den Bedürfnissen der Nutzer\*innen orientieren. Im Hinblick auf Low-Tech sollte der Einsatz von Gebäudetechnik kritisch hinterfragt werden. Dies darf jedoch nicht dazu führen, dass Gebäude nicht funktionieren oder unbehaglich werden. Beispiele wie in Kapitel 5.2 zeigen, dass es auch in luftdicht gebauten Gebäuden nicht zwingend erforderlich ist, eine maschinelle Lüftungsanlage einzubauen. Eine Lüftungsanlage darf aber nicht einfach weggelassen werden, sondern es muss immer ein für die Situation passendes Lüftungskonzept gefunden werden.

### 8.2.3 Bewertung von Robustheit

Zur Verringerung der Abweichung von berechnetem Energiebedarf zu tatsächlichem Energieverbrauch (Performance Gap) muss die Robustheit der Gebäude gesteigert werden. Dies ist ein relevantes Thema, denn die aktuelle Gesetzgebung zielt auf eine Verringerung des berechneten Energiebedarfs ab. Für die verursachten Umweltschäden ist dagegen aber nur der tatsächliche Energieverbrauch von Bedeutung.

Die Bewertung von Robustheit ist abhängig von der betrachteten Ausgangsgröße. So kann ein System beispielsweise auf den Energieverbrauch bezogen robust sein, in Bezug auf Behaglichkeit aber nicht robust. Die Bewertung von Robustheit darf daher nicht eindimensional erfolgen.

Es gibt bereits Forschung zum Thema Robustheit [11, 13], aber zur Anwendung in Gesetzgebung und auf breiter Basis besteht weiterhin Forschungsbedarf.

## 8.3 Rahmenbedingungen

In Bezug auf die in Kapitel 6 vorgestellten Themen wird im Folgenden die Frage beleuchtet, warum Integrale Planung bisher nicht häufiger angewendet wird und warum Suffizienz ein provokanter Begriff sein kann.

### 8.3.1 Anwendung von Integraler Planung

Investor\*innen und Bauherr\*innen verlangen zunehmend nachhaltige Gebäude, sind aber selten bereit, höhere Planungshonorare zu bezahlen. Planungsprozesse für nachhaltige Gebäude sind jedoch in der Regel zeit- und arbeitsintensiver als Planungsprozesse für konventionelle Gebäude [89]. Die Tatsache, dass durch Integrale Planung regelmäßig eine Minimierung der Lebenszykluskosten erreichbar ist, wird noch nicht genug in Betracht gezogen.

Außerdem fehlt an entscheidenden Stellen Wissen über Modelle zur Verantwortungsverteilung sowie Kenntnis über Mechanismen zur Gestaltung der Kommunikation und des Prozessablaufes. Im deutschsprachigen Raum sind bisher kaum Erfahrungen mit der Methodik der Integralen Planung vorhanden [89]. Des Weiteren ist die Struktur der HOAI 2013 nicht für eine Integrale Planung ausgelegt. Bei Integraler Planung werden die Beteiligten früh einbezogen, für die Startphase eines Planungsprozesses werden aber laut HOAI 2013 nur wenig Mittel veranschlagt.

Seit 2021 sind Planungsleistungen laut HOAI 2021 frei verhandelbar. Durch diese Reform bietet sich die Möglichkeit einer besseren Finanzierung für Integrale Planungsleistungen. Es besteht die Hoffnung, dass sich diese Chance positiv auf die Planungspraxis auswirkt.

### 8.3.2 Suffizienz in Gesetzgebung und Förderung

Der Begriff Suffizienz wird in dieser Arbeit auf zwei verschiedenen Ebenen betrachtet. Auf der „gebäudetechnischen Ebene“ wird der Begriff speziell darauf bezogen, welche technischen Anlagen mindestens für den Gebäudebetrieb notwendig sind. Auf der „entwurflichen Ebene“ impliziert der Ausdruck „Suffizienz im Bedarf“, dass ein Bedarf suffizienter werden kann und soll. Wenn Bedarf als etwas „Notwendiges“ (siehe Kapitel 2.1) verstanden wird, ist die Verbindung mit dem Begriff Suffizienz durchaus provozierend zu werten. In dieser Arbeit ist dies bewusst gewählt, um die Dringlichkeit eines generellen Umdenkens hervorzuheben. Für die Erreichung des Ziels, die Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, ist es notwendig aktuelle Konsummuster zu ändern und zwischen „tatsächlich Notwendigem“ und „vermeintlich Notwendigem“ unterscheiden zu lernen. Dies kann gelingen, wenn Suffizienz nicht als Verzicht erlebt wird, sondern als Steigerung der Lebensqualität. Im vorherrschenden, auf

Wachstum ausgelegten Marktwirtschaftssystem, in dem Besitz zumeist (immer noch) ein Statussymbol darstellt, ist hier noch ein weiter Weg zu gehen.

Bei konkreten Förderprogrammen für nachhaltige Gebäude, wie etwa der „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) und in der Gesetzgebung (z.B. GEG) spielt Suffizienz bisher keine Rolle [101]. Dies lässt sich einerseits damit begründen, dass Suffizienz schlecht messbar ist. Effizienz drückt sich zum Beispiel in Raumwärmebedarf pro Fläche und Konsistenz in CO<sub>2</sub>-Emission pro Energieeinheit aus. Suffizienz muss dagegen in Relationen gesetzt werden, etwa in Wohnfläche pro Kopf und ist daher schwieriger zu bewerten.

Staatliche Förderung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien ist ein wichtiger Beitrag zur Erreichung der Klimaziele. Durch die aktuelle Praxis profitieren dadurch effizienzoptimierte Bauvorhaben unabhängig davon, womit und wie groß gebaut wird. Um aus solcher Eindimensionalität herauszukommen, ist es unerlässlich Maßstäbe zur Bewertung von Suffizienz zu entwickeln und anzuwenden. Arne Steffen schlägt vor, sich bei Förderungen und Forderungen auch auf Personen zu beziehen und graue Energien zu berücksichtigen sowie „Suffizienzberatungen“ zu fördern [102].

### 8.4 Beratungsprozess

Der in Kapitel 7 dargestellte Beratungsprozess kann nur als idealisierter Ablauf gewertet werden. In der Praxis muss der Beratungsablauf selbstverständlich immer angepasst werden, denn Bauprojekte sind sehr individuell. Im Wesentlichen werden mit diesem Kapitel drei zentrale Aspekte transportiert. Eine Low-Tech Beratung sollte so früh wie möglich beginnen, Ziele sollten klar formuliert und von allen Beteiligten konsequent verfolgt werden.

Es wird bewusst die Planung von Gebäuden im Allgemeinen behandelt. Die Beratung ist auf alle möglichen Gebäudetypen, Planungsformen und Projektgrößen anwendbar. Gleichzeitig wird in dieser Arbeit durch die Darstellung von Beispielen versucht, so konkret wie möglich zu sein.

In der Umsetzung von Low-Tech besteht bei Neubauten ein wesentlich größerer Handlungsspielraum als bei der Sanierung von Altbauten. Die Erhaltung dieser ist jedoch unter anderem wegen der verbauten „grauen Energie“ im Blick auf Nachhaltigkeit von Bedeutung. In der Regel sollte der Erhalt von vorhandener Bausubstanz in der Beratung priorisiert und die Implementierung von Low-Tech als Herausforderung verstanden werden.

## 9 Fazit und Ausblick

In Anbetracht der essenziellen Notwendigkeit, weltweit Ressourcen zu schonen und des hohen Anteils der Baubranche an der Ressourcennutzung, stellt sich nicht mehr die Frage, ob Nachhaltigkeit im Bauwesen implementiert werden sollte, sondern vor allem wie dies geschehen kann. So ist der Inhalt dieser Arbeit im Gesamten als Beitrag zur Beantwortung der eingangs gestellten Forschungsfrage: „Wie kann das Beratungsangebot ‹Low-Tech Gebäude: Energieeffizienz und reduzierte Technik› weiterentwickelt werden?“ als ein Schritt auf dem Weg zur Implementierung von Nachhaltigkeit im Bauwesen zu verstehen. Low-Tech Beratung beinhaltet das Hinterfragen von herkömmlichen Wegen. Sie zeigt Alternativen auf, schärft den Blick für Suffizienz und behält während der gesamten Planungsphase die gesteckten Ziele im Fokus. Low-Tech im Sinne dieser Arbeit bietet realistische Möglichkeiten zur konkreten Umsetzung von Nachhaltigkeit. Reduzierung von Gebäudetechnik kann sowohl steigenden Bau- und Wartungskosten als auch Überforderung und Unzufriedenheit durch unüberschaubar komplexe technische Systeme entgegenwirken. Diese Arbeit zeigt, dass Low-Tech auf vielen verschiedenen Ebenen gedacht werden kann. Im Detail sind viele Optimierungsaufgaben zu lösen und verschiedene Ziele gegeneinander abzuwägen. Low-Tech ist ein Planungsprinzip, das durch die Reduktion von Gebäudetechnik Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie erhöht.

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Ideen zur Weiterentwicklung des Beratungsangebotes müssen durch Anwendung weiter geschärft werden. Ebenso ist es zur Implementierung des Low-Tech Gedankens im Bauwesen erforderlich, dass sich solche Beratungsangebote in der Praxis bewähren und durch überzeugende Low-Tech Gebäude in einer breiteren Öffentlichkeit Beachtung finden. Ein Beispiel dafür, dass der Low-Tech Gedanke bereits bis auf Bundesebene vorgedrungen ist, sind die beiden BBSR-Studien „Nutzerkomfort durch Lowtech-Konzepte in Gebäuden“ und „Robuste, nutzerfreundliche und kostengünstige TGA in Gebäuden“, deren Ergebnisse im Frühjahr 2021 erwartet werden [53]. Ebenso liefert die Ausschreibung für den Erweiterungsbau des Dienstgebäudes eines Bundesministeriums in Berlin einen Hinweis auf einen sich langsam abzeichnenden Paradigmenwechsel [55]. Die generelle Vorbildfunktion von Bundesbauten lässt hoffen, dass Gesetzgebung und öffentliche Förderinstrumente nachfolgen und neben Effizienz und Konsistenz auch Suffizienz und damit Low-Tech begünstigt wird.

## Literaturangaben

- [1] IPCC: Global Warming of 1.5 °C. Special Report on the impacts of global warming, 2018
- [2] United Nations Environment Programme: 2020 Global Status Report for Buildings and Construction, Nairobi 2020
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Klimaschutzbericht 2019 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung, Berlin 2020
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bericht der Baukostenenkungskommission, 2015
- [5] Baer, O.: BMUB-Effizienzhaus Plus in Berlin - eine Analyse, Dresden 2014
- [6] Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A. u. Zhou, Y.: The impact of occupants' behaviours on building energy analysis. A research review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 80 (2017), S. 1061–1071
- [7] Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr: e% - Energieeffizienter Wohnungsbau. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitung des Modellvorhabens, München 2017
- [8] Education Funding Agency: Property data survey programme. Summary report, 2015
- [9] Cali, D., Heesen, F., Osterhage, T., Streblov, R., Madlener, R. u. Müller, D.: Energieeinsparpotenzial sanierter Wohngebäude unter Berücksichtigung realer Nutzungsbedingungen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2016
- [10] Partner des Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein Projekts "Konzepte für energieeffiziente, klimaverträgliche „LOW TECH“-Gebäude" im Bodenseeraum: Low-Tech Gebäude, Prozess Planung Umsetzung, Dornbirn 2021
- [11] Nagler, F., Jarmer, T. u. Niemann, A.: Endbericht für das Forschungsvorhaben: Einfach Bauen. Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion, Technische Universität München, 2018
- [12] Haselsteiner et al.: Low Tech - High Effect! Eine Übersicht über nachhaltige Low Tech Gebäude, Projektbericht, Wien 2016
- [13] Endres, E.: Parameterstudie Low-Tech Bürogebäude. Endbericht, Technische Universität München Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen, München 2017
- [14] Ritter, V.: Vorstudie Nachhaltiges LowTech Gebäude, Universität Liechtenstein 2014
- [15] DIN 276:2018-12, Kosten im Bauwesen, Deutsches Institut für Normung e. V. 2018
- [16] DIN 18025:2016-11, Bedarfsplanung im Bauwesen, Deutsches Institut für Normung e. V. 2016
- [17] Dentel, A. u. Dietrich, U.: Thermische Behaglichkeit – Komfort in Gebäuden, Hamburg 2006

- [18] OIB-330-014/15, Begriffsbestimmungen, Österreichisches Institut für Bautechnik 2015
- [19] Bauer, M., Möhle, P. u. Schwarz, M.: Green Building. Leitfaden für nachhaltiges Bauen. Berlin: Springer Vieweg 2013
- [20] Wikiwörterbuch: Komfort. <https://de.wiktionary.org/wiki/Komfort>, abgerufen am: 17.03.2021
- [21] DIN V 18599-1:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger, Deutsches Institut für Normung e. V. 2018
- [22] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden, Berlin 2019
- [23] DIN 4108-2:2013-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Deutsches Institut für Normung e. V. 2013
- [24] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.): Lowtech im Gebäudebereich. Dokumentation des Symposiums am 17. Mai 2019 in Berlin. ZUKUNFT BAU – Forschung für die Praxis 2020
- [25] Wieland, A. u. Marcus Wallenburg, C.: Dealing with supply chain risks. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 42 (2012) 10, S. 887–905
- [26] Paech, N.: Effizienz und Suffizienz. Movum, Ausgabe 10 (2016)
- [27] Deutsche Energie-Agentur: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, Berlin 2019
- [28] Die Bundesregierung: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Berlin 2016
- [29] BMZ: Der Zukunftsvertrag für die Welt. Die Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung, Berlin 2017
- [30] Schwill, M.: Nachhaltigkeitsmodelle. <https://klimaschutz.neustadt.eu/Ziele-Umsetzung/Klimawandel-Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsmodelle>, abgerufen am: 20.03.2021
- [31] Hartard, S., Schaffer, A. u. Giegrich, J.: Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte. Baden-Baden: Nomos 2008
- [32] Umweltbundesamt: Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden?, Dessau-Roßlau 2016
- [33] Schweizer-Ries, P.: Konsistenz-Strategie. <https://ene.cvh-server.de/wiki/index.php/Konsistenz-Strategie>, abgerufen am: 16.03.2021
- [34] Fritz, P., Huber, J. u. Levi, H. W. (Hrsg.): Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive. Eine Publikation der Karl-Heinz-Beckurts-Stiftung. Edition Universitas. Stuttgart: Hirzel 1995
- [35] Kenkmann, T., Cludius, J. u. Fischer, C.: Flächensparend Wohnen. Energieeinsparung durch Suffizienzpolitiken im Handlungsfeld „Wohnfläche“, Dessau-Roßlau 2019

- [36] Badr, A., Fuchs, M., Stark, T. u. Zeumer, M.: Nachhaltigkeit gestalten, München 2018
- [37] Pfäffli, K., Nipkow, J., Schneider, S. u. Hänger, M.: Grundlagen zu einem Suffizienzpfad Energie, Zürich 2012
- [38] Umweltbundesamt: Wohnfläche. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#altere-haushalte-belegen-viel-wohnraum>, abgerufen am: 27.11.2020
- [39] Statistisches Bundesamt: Gebäude und Wohnungen. Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden Lange Reihen, 2020
- [40] Kühn, C.: Suffizienz. E-mail Kontakt am 26.01.2021
- [41] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.: DGNB System. Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Stuttgart 2018
- [42] Hegger, M.: Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. Edition Detail. Basel, München: De Gruyter; Inst. für Internationale Architektur-Dokumentation 2012
- [43] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: eLCA. <https://www.bauteileditor.de/>, abgerufen am: 25.02.2021
- [44] baubook GmbH: eco2soft. <https://www.baubook.info/eco2soft/>, abgerufen am: 25.02.2021
- [45] Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, Steckbriefe BNB-BN - Neubau,, 2015
- [46] Energieinstitut Vorarlberg: Kommunalgebäudeausweis – KGA. <https://www.energieinstitut.at/unternehmen/bauen-und-sanieren-fuer-profis/gebaeudezertifizierung-und-evaluierung/der-kommunalgebaeudeausweis/>, abgerufen am: 17.09.2020
- [47] Schittich, C.: Traditionelle Bauweisen. Ein Atlas zum Wohnen auf fünf Kontinenten. 2019
- [48] Schnitzer, U. u. Meckes, F.: Schwarzwaldhäuser von gestern für die Landwirtschaft von morgen. Arbeitsheft / Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Bd. 2. Stuttgart: Theiss 1989
- [49] Daniels, K.: Low-Tech, Light-Tech, High-Tech. Bauen in der Informationsgesellschaft. Basel: Birkhäuser 1998
- [50] Cody, B.: Technology, Architecture and Sustainability. Theorie der Technik in Architektur und Städtebau. Wolkenkuckucksheim - Internationale Zeitschrift für Theorie der Architektur 33 (2014) 19, S. 237–247
- [51] Moderne Gebäudetechnik: Intelligentestes Bürogebäude Europas eröffnet. <https://www.tga-praxis.de/intelligentestes-buerogebaeude-europas-eroeffnet>, abgerufen am: 05.03.2021
- [52] Sweet, R.: Buildings that think. A snapshot of the technology in cube berlin. Construction Research and Innovation 9 (2018) 3, S. 83–84
- [53] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Forschung im Blick 2019/2020, Bonn 2020

- [54] Steiner, D., Eberle, D., Hueber, E., Aicher, F., Feireiss, K., Junghans, L., Rüdissler, L., Widerin, P. u. Hugentobler, W. (Hrsg.): Die Temperatur der Architektur. Portrait eines energieoptimierten Hauses = The Temperature of Architecture; Portrait of an Energy-Optimized House. Basel: Birkhäuser 2016
- [55] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Erweiterung des Dienstgebäudes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Berlin-Mitte. [https://www.bbr.bund.de/BBR/DE/Bauprojekte/Berlin/Politik/BMU/Wettbewerb/WBW\\_Erweiterung/Wettbewerb\\_BMU.html](https://www.bbr.bund.de/BBR/DE/Bauprojekte/Berlin/Politik/BMU/Wettbewerb/WBW_Erweiterung/Wettbewerb_BMU.html), abgerufen am: 18.01.2021
- [56] Hochbauamt der Stadt Kempten: Energieleitlinie Kempten 2016 – Teil 1 Planungsvorgaben, 2016
- [57] Bibliographisches Institut: Prinzip, das. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Prinzip>, abgerufen am: 21.03.2021
- [58] Stoffregen, A., Kreißig, J. u. König, H.: Ökologische Bewertung der Haustechnik. Endbericht Forschungsprojekt (Projekt- Nr. 10.08.17.7 – 07.30), Leinfelden-Echterdingen 2010
- [59] Fouad, N. A.: Bauphysik-Kalender 2010. Berlin, Germany: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG 2010
- [60] Rupp, R. F., Vásquez, N. G. u. Lamberts, R.: A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings* 105 (2015), S. 178–205
- [61] Kalusche, W. u. Herkel, S.: BKI Baukosten 2019 Neubau Teil 1. Statistische Kostenkennwerte für Gebäude. Stuttgart: BKI Baukosteninformationszentrum 2019
- [62] Blank, M.: BKI Baukosten 2011 Teil 1. Statistische Kostenkennwerte für Gebäude. Stuttgart: BKI Baukosteninformationszentrum 2011
- [63] Pelzeter, A.: Lebenszyklus-Management von Immobilien. Ressourcen- und Umweltschonung in Gebäudekonzeption und -betrieb. Beuth Praxis. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH 2017
- [64] GEWOFAG: Forschungsprojekt Riem, München 2015
- [65] eza!: Auszüge aus der Satzung. <https://www.eza-allgaeu.de/ueber-eza/auszuege-aus-der-satzung/>, abgerufen am: 01.03.2021
- [66] eza!: Low-Tech Gebäude: Energieeffizienz und reduzierte Technik. <https://www.eza-allgaeu.de/kommunen-unternehmen/low-tech-gebaeude/>, abgerufen am: 01.03.2021
- [67] Valena, T.: Beziehungen. Über den Ortsbezug in der Architektur. Aachen: Geymüller Verlag für Architektur 2014
- [68] Verband Schweizer Gebäudehüllenunternehmungen: Merkblatt Sommerlicher Wärmeschutz, Uzwil 2012
- [69] Passivhaus Institut: Qualitätsanforderungen an Passivhäuser. [https://passiv.de/de/02\\_informationen/02\\_qualitaetsanforderungen/02\\_qualitaetsanforderungen.htm](https://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm), abgerufen am: 28.01.2021

- [70] Bündnis 90/Die Grünen: Beschluss: Bauwende – Nachhaltiges ressourcenschonendes Bauen! <https://cms.gruene.de/uploads/documents/Wohnen-Bauwende-Nachhaltiges-ressourcenschonendes-Bauen-Beschluss-BDK-11-2019.pdf>
- [71] Duzia, T. u. Mucha, R.: Energetisch optimiertes Bauen. Technische Vereinfachung, nachhaltige Materialien, wirtschaftliche Bauweisen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2016
- [72] DIN EN ISO 13786:2018-04, Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2017), Deutsches Institut für Normung e. V. 2018
- [73] Minke, G. u. Krick, B.: Handbuch Strohballenbau. Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. Staufen bei Freiburg: Ökobuch 2014
- [74] Schroeder, H.: Lehm- und Strohbautechnik. Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2019
- [75] Neroth, G. u. Vollenschaar, D. (Hrsg.): Wendehorst Baustoffkunde : Grundlagen – Baustoffe – Oberflächenschutz. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2011
- [76] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN: Strohballen-Lego. <https://baubiologie-magazin.de/strohballen-lego/>, abgerufen am: 16.03.2021
- [77] Bayerische Architektenkammer: Positionspapier Bezahlbarer Wohnungsbau für alle, München 2020
- [78] Kanton St.Gallen: Landwirtschaftliches Zentrum in Salez gewinnt Architekturpreis. [https://www.sg.ch/news/sgch\\_allgemein/2020/11/landwirtschaftliches-zentrum-in-salez-gewinnt-architekturpreis.html](https://www.sg.ch/news/sgch_allgemein/2020/11/landwirtschaftliches-zentrum-in-salez-gewinnt-architekturpreis.html)
- [79] Klinge, A., Roswag-Klinge, E., Fontana, P., Johannes, Hoppe, Richter, M. u. Sjöström, C.: Reduktion von Lüftungstechnik durch den Einsatz klimasteuernder Naturbaustoffe – Ergebnisse aus dem EU Forschungsvorhaben H-House und der Baupraxis, 2016
- [80] DIN 1946-6:2019-12, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung, Deutsches Institut für Normung e. V. 2019
- [81] DIN EN 16798-3:2017-11, Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme, Deutsches Institut für Normung e. V. 2017
- [82] Sibille, E., Rojas-Kopeinig, G. u. Pfluger, R.: - low\_vent.com - Konzepte für die „low-tech“ Komfortlüftung in großvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort, Innsbruck 2015
- [83] Pfluger, R., Sibille, E., Rojas, G., Kopeinig, Rothbacher, M. u. Malzer, H.: Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für energieeffiziente Wohnbauten „Doppelnutzen“ - Vorteile und Grenzen der erweiterten Kaskadenlüftung, Innsbruck 2013

- [84] Rhein, B.: Robuste Optimierung mit Quantilmaßen auf globalen Metamodellen, Universität zu Köln Dissertation 2014
- [85] BINE: Nutzerverhalten bei Sanierungen berücksichtigen. Projektinfo 02/2015. Energieforschung konkret, Aachen 2015
- [86] Wuppertal Institut: Klimaspatz "Piaf" signalisiert, ob die Luft rein ist. <https://wuppertalinst.org/a/wi/a/s/ad/4629/>, abgerufen am: 18.03.2021
- [87] Heidemann, A., Kistemann, T., Stolbrink, M., Kasperkowiak, F. u. Heikrodt, K.: Integrale Planung der Gebäudetechnik. Erhalt der Trinkwassergüte - Vorbeugender Brandschutz - Energieeffizienz. VDI-Buch. Berlin: Springer Vieweg 2014
- [88] ATP architekten ingenieure: Kernkompetenz Integrale Planung. <https://www.atp.ag/integrale-planung/leistungen/integrale-planung>, abgerufen am: 22.01.2021
- [89] Kovacic, I.: Integrale Planung. Leitfaden für Public Policy, Planer und Bauherrn. Wien 2012
- [90] Wiegand, J.: Handbuch Planungserfolg. Methoden, Zusammenarbeit und Management als integraler Prozess. vdf Wirtschaft. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH 2005
- [91] Nünemann, C.: Die Kunst beim Bau. JUVE Rechtsmarkt 18 (2016) 01, S. 68–73
- [92] Bundesarchitektenkammer: Vergabe von Architektenleistungen, Leitfaden zur Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge, Berlin 2016
- [93] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Reformkommission Bau von Großprojekten, Endbericht. Komplexität beherrschen – kostengerecht, termintreu und effizient, 2015
- [94] Hodulak, M. u. Schramm, U.: Nutzerorientierte Bedarfsplanung. Prozessqualität für nachhaltige Gebäude. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2019
- [95] WW Wohnwagon GmbH: Was brauchst du für ein gutes Leben. <https://www.wohnwagon.at/>, abgerufen am: 19.03.2021
- [96] BelForm GmbH: Immobilienlexikon Mikroapartment. <https://belform.de/immobilienlexikon/mikroapartment/>, abgerufen am: 19.03.2021
- [97] Fedrowitz, M.: Gemeinschaftliches Wohnen – Stand und Entwicklung in Deutschland, 2016
- [98] Deutschlandfunk Nova: Funktionales Wohnen. <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/funktionales-wohnen-wg-mit-gemeinsamem-schlafzimmer>, abgerufen am: 19.03.2021
- [99] Mietshäuser Syndikat: Selbstorganisiert wohnen – solidarisch wirtschaften! <https://www.syndikat.org/de/>, abgerufen am: 19.03.2021
- [100] Genossenschaft Kalkbreite: Willkommen. <https://www.kalkbreite.net/>
- [101] Deutsche Bauzeitung: Weniger! <https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/energie/weniger/#slider-intro-5>, abgerufen am: 25.02.2021
- [102] Steffen, A.: Suffizienz findet nicht statt: EnEV und KfW. <https://weniger-ist-anders.de/2016/05/suffizienz-findet-nicht-statt-enev-und-kfw/>, abgerufen am: 27.03.2021