

Nicolei Beckmann

Energieeffizientes Bauen und wie es sich lohnt

Ein Ratgeber
für Bauherren

SACHBUCH

EBOOK INSIDE



Springer

Energieeffizientes Bauen und wie es sich lohnt

Nicolei Beckmann

Energieeffizientes Bauen und wie es sich lohnt

Ein Ratgeber für Bauherren

 Springer

Nicolei Beckmann
Kaltenkirchen, Schleswig-Holstein
Deutschland

ISBN 978-3-658-28542-5 ISBN 978-3-658-28543-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-28543-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: [ivanko80/stock.adobe.com](https://www.adobe.com/stock/ivanko80)

Lektorat: Dr. Daniel Fröhlich

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Kurzfassung

Die Energieeffizienz im Bausektor ist ein komplexes und leider auch nicht ganz einfaches Thema für viele Bauherrinnen und Bauherren. Die Industrie überschüttet den Verbraucher mit Massen an Informationen und schlussendlich resultiert eine vollkommene Verwirrung. In dem vorliegenden Sachbuch nähern wir uns den elementaren Grundlagen der Bauphysik an und entwickeln gemeinsam Bewertungsverfahren, um ökonomische und ökologische Gewinne für den/die Hausbesitzer/in zu generieren. Wir werden feststellen, dass es unter gewissen Randbedingungen lohnenswert ist, effizienter als die Richtlinien es vorschreiben zu bauen. Neben den monetären Vorteilen entstehen ebenfalls positive Effekte für den Umweltschutz.

Am Ende jedes Kapitels haben wir gemeinsam Gleichungen entwickelt, mit denen wir in der Lage sind, individuelle Bauprojekte zu bewerten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Grundlage	1
1.2	Bewertungsablauf	2
2	Energiebedarf Raumwärme und Warmwasser in Deutschland	5
3	Die Behaglichkeit	7
4	Ökologische Betrachtung	9
4.1	Pariser Klimaschutz-Übereinkommen	12
4.2	Die Nachhaltigkeit	13
5	Gesetzliche Rahmenbedingungen	17
5.1	Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 und die Verschärfung ab 2016	18
5.2	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	19
6	Verfahren zur Energieeffizienzberechnung	23
6.1	Physikalische Grundlagen der Wärmeübertragung	26
6.2	Klimatische Bedingungen	31
6.3	Jahresheizwärmebedarf für Wohngebäude nach der DIN V 4108-6	33
6.3.1	Ablauf der Analyse nach der DIN V 4108-6	34
6.3.2	Die Gebäudegeometrie	35
6.3.3	Transmissionswärmeverluste	37

6.3.4	Lüftungswärmeverluste	40
6.3.5	Referenzklima	42
6.3.6	Monatliche Wärmeverluste	42
6.3.7	Monatliche solare Wärmegewinne	43
6.3.8	Monatliche interne Wärmegewinne	48
6.3.9	Summation der monatlichen Wärmegewinne	49
6.3.10	Speicherfähigkeit des Gebäudes	49
6.3.11	Kombination der monatlichen Wärmeverluste, der Wärmegewinne und der Speicherfähigkeit des Gebäudes über den monatlichen Ausnutzungsgrad	50
6.3.12	Resultierender monatlicher Heizwärmebedarf	51
6.3.13	Jahresheizwärmebedarf	51
6.4	Jahresheizenergiebedarf DIN V 4701-10	52
6.5	Anforderung an den Mindestwärmeschutz DIN V 4108-2	53
6.6	Das Referenzhausverfahren	54
6.6.1	Maximaler Jahresprimärenergiebedarf	54
6.6.2	Maximaler spezifischer Transmissionswärmeverlust	55
7	Bewertungsverfahren	57
7.1	Ökonomische Bewertung	58
7.1.1	Statische ökonomische Bewertung	58
7.1.2	Dynamische ökonomische Bewertung	59
7.2	Das betriebswirtschaftliche Optimum (BwO)	60
7.3	Ökologische Bewertung	60
7.4	Der Carbon Footprint (CF)	61
7.4.1	Das Carbon-Footprint-Optimum (CFO)	63
7.4.2	Der spezifische Carbon-Footprint für Strom	64
7.4.3	Der spezifische Carbon-Footprint für Erdgas	66
7.5	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	68
7.6	Übersicht spezifische Aufwendungen nach Energiequellen	70
7.7	Wechselwirkungsanalyse	70
7.8	Die Technologieanalyse	74

8	Unser Referenzhaus	77
9	Auswirkung Suffizienz	81
9.1	Tag- und Nachtabsenkung	82
9.2	Ökonomischer und ökologischer Effekt Tag- und Nachtabsenkung	86
10	Energiestandards im Bausektor	89
10.1	Der KFW-Standard	89
10.2	Das Passivhaus	92
10.3	Das Nullenergie und das Energieplushaus	92
10.4	Gegenüberstellung der Energiestandards	93
10.4.1	Kostenentwicklung	94
10.4.2	Beispiel Energiehausstandards	102
10.4.3	Fazit Energiestandards	109
11	Die Gebäudehülle	113
11.1	Gebäudeform und Ausrichtung	113
11.2	Fenster und Türen	115
11.2.1	Das Fensterglas	115
11.2.2	Der Fensterrahmen	116
11.2.3	Der Gesamtenergiedurchlassgrad	117
11.2.4	Berechnung Wärmeverlust Fenster	119
11.2.5	Ökonomische Bewertung Fenster	121
11.2.6	Ökologische Bewertung Fenster	125
11.2.7	Aussentüren	126
11.3	Wände, Decke und Böden	128
11.3.1	Wandaufbau	132
11.3.2	Ökologische Bewertung Aussenwandaufbau	135
11.4	Innenwandmaterialien	138
11.4.1	Ökonomische/Ökologische Bewertung Innenwände	141
11.4.2	Technologienanalyse Innenwand	144
11.5	Die Isolierung	147
11.5.1	Organische, natürliche Isoliermaterialien	149
11.5.2	Organische, synthetische Isolierstoffe	153
11.5.3	Anorganische, natürliche Isolierstoffe	154

X Inhaltsverzeichnis

11.5.4	Anorganische, synthetische Isoliermaterialien	155
11.5.5	Ökonomische/Ökologische Bewertung Isoliermaterialien	156
11.5.6	Analyse der optimalen Isolierungsstärke	159
11.6	Fazit Gebäudehülle	167
12	Das Belüftungssystem	169
12.1	Freie Lüftung	170
12.2	Zentrale Belüftungsanlage (ZBA)	174
12.3	Dezentrale Belüftungsanlage (DBA)	179
12.4	Ökologische Bewertung Lüftungsanlagen	182
12.5	Wann lohnt sich ökonomisch eine Belüftungsanlage?	184
12.6	Fazit Belüftungssysteme	186
13	Heizungssysteme	187
13.1	Wärmeübertragung	188
13.1.1	Wandkonvektoren	189
13.1.2	Fussbodenheizungen	189
13.1.3	Wand und Deckenheizungen	190
13.1.4	Betonkernaktivierungen	191
13.2	Ölheizung	191
13.3	Gasheizung	192
13.4	Solarthermie	193
13.4.1	Solarthermieanlage zur Warmwasserunterstützung	197
13.4.2	Solarthermieanlage zur Heizungsunterstützung	207
13.4.3	Saisonspeicher	209
13.4.4	Ökologische Bewertung Solarthermieanlage	211
13.4.5	Fazit Solarthermieanlage	213
13.5	Wärmepumpen	215
13.5.1	Der ideale Wärmepumpenprozess	215
13.5.2	Grundlage der Wärmepumpenberechnung	219
13.5.3	Wärmepumpentypen	222
13.5.4	Fazit Wärmepumpen	224
13.6	Pelletheizung	224

13.7	Fernwärme	227
13.8	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	227
	13.8.1 Blockheizkraftwerk	230
	13.8.2 Brennstoffzelle	232
13.9	Heizen mit elektrischer Energie	235
13.10	Vergleich der Heizungssysteme	236
	13.10.1 Ökonomische Bewertung Heizungsanlagen	237
	13.10.2 Ökologische Bewertung Heizungsanlagen	241
	13.10.3 Wechselwirkung Heizungssysteme	245
13.11	Fazit Heizungssystem	246
14	Optimierung Referenzhaus	251
14.1	Optimierung der Gebäudeeigenschaften	252
	14.1.1 Gebäudegeometrie	252
	14.1.2 Bauteiloptimierung	253
	14.1.3 Fazit Gebäudeoptimierung	257
14.2	Einfluss der Heizungsanlage	257
15	Fazit	261
	Quellenverzeichnis	263
	Stichwortverzeichnis	267

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1	Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit nach [3]	14
Abb. 6.1	Plakatives Beispiel Massen- bzw. Energiebilanz	24
Abb. 6.2	Temperaturverlauf in einer mehrschichtigen Wand	29
Abb. 6.3	Horizontale Bilanzgrenzen Gebäude	35
Abb. 6.4	Vertikale Bilanzgrenze Gebäude	36
Abb. 7.1	Zusammenhang zwischen Erst- und Betriebsaufwendungen	58
Abb. 7.2	CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix, 2017 Hochrechnung nach [14], 2018 Prognose nach [14]; Anteil erneuerbare Energien nach [15]	65
Abb. 7.3	Qualitatives Lebenszyklusablaufdiagramm	71
Abb. 7.4	Interaktion Effizienzen nach [3]	71
Abb. 7.5	Systemvariablenabhängige Optima für die Wechselwirkungsanalyse	72
Abb. 7.6	Einbindung Anlagenfaktor nach [3]	73
Abb. 7.7	Ergebnis der Wechselwirkungsanalyse nach [3]	74
Abb. 7.8	Technologieanalyse Isoliermaterialien nach [3]	76
Abb. 10.1	KfW-Energiestandards	91
Abb. 10.2	Kosten und Energieverbrauch gängiger Energiestandards	96
Abb. 10.3	Spez. Investitionskosten/Energieverbrauch, eigene Darstellung nach [22]	96
Abb. 10.4	Allokationsfaktor Teuerung (TZ-Faktor) nach [3]	101
Abb. 10.5	Allokationsfaktor Verzinsung (Z-Faktor) nach [3]	101
Abb. 10.6	Lebenszykluskosten basierend auf den Berechnungen (Inkludiert sind die KG 300 und KG 400 und die Energiewandlungskosten ohne Reparaturen, Reinvestitionen und Abnahmen)	109

XIV **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 11.1	Einbauposition Fenster mit Verblendrahmen	117
Abb. 11.2	Wärmedurchgangskoeffizienten nach [26] in Anlehnung an die DIN ISO 10077-1 (Erweitert mit Recherchewerten zu neuen PVC-Rahmen)	118
Abb. 11.3	Energie- und Kostenverhältnis Fenster (Der Fensterdurchgangskoeffizient beruht auf ein Fenstermaß von 1,23 x 1,48 m (bxh) mit Rahmenbreiten von 0,118 m in der Breite und oben und 0,144 m unten. Der Randverbund hat einen Wärmeleitwert von 0,07 W/(mK))	120
Abb. 11.4	Vergleich Fensterkonfigurationen mit unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten	124
Abb. 11.5	Differenzkosten und Amortisationszeit warme Kante	125
Abb. 11.6	Ökologische Bilanz der unterschiedlichen Fensterkonfigurationen (Die unterschiedlichen Konfigurationen wurden über eine lineare Interpolation aus den Werten nach Ökobaudat.de berechnet. Sie dienen lediglich als Prognose)	128
Abb. 11.7	Idealisierter Wandaufbau	130
Abb. 11.8	Relative Luftfeuchte	132
Abb. 11.9	Prinzipieller Aufbau Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	133
Abb. 11.10	Zweischaliges Mauerwerk mit Fingerspalt	135
Abb. 11.11	Flächenspezifische Werte Außenwandmaterialien	137
Abb. 11.12	Baugenehmigungen Wohngebäude 2018 mit einer Wohneinheit nach [28]	139
Abb. 11.13	Zusammenhang Dichte (Balken) und Wärmeleitwert (Strichlinie) Innenwandmaterialien	140
Abb. 11.14	Isolierkosten und Wärmedurchgangswiderstand	142
Abb. 11.15	Zusammensetzung Innenwand und Isolierung	143
Abb. 11.16	Ökonomische und ökologische Aufwendungen	146
Abb. 11.17	Technologieanalyse Innenwandmaterialien	147
Abb. 11.18	Notwendige Isolierstärke [m]	158
Abb. 11.19	Auswertung Isoliermaterialienm	161
Abb. 11.20	Spezifische Kosten und Isolierwerte in Abhängigkeit der Isolierstärke von Glaswolle (Die Werte entstammen gemittelten Recherchewerten. Die mathematische Funktionsbeschreibung wurde linear für eine Ausgleichsgrade erstellt)	162
Abb. 11.21	Faktorierte ökonomische und ökologische Werte über die Isolierstärke	164
Abb. 13.1	Tägliche Einstrahlleistung auf eine horizontale Fläche	194
Abb. 13.2	Tägliche solare Einstrahlleistung Potsdam	194
Abb. 13.3	Solare Einstrahlungsleistung bei unterschiedlichen Neigungswinkeln	196

Abb. 13.4	Abweichende Einstrahlleistung bei verändertem Azimut-Winkel	196
Abb. 13.5	Beispiel Solarthermieanlage Warmwasser	198
Abb. 13.6	Tagesbedarf Warmwasser nach der VDI 4655	199
Abb. 13.7	Tägliche solare Deckungsrate/Speicherstand	202
Abb. 13.8	Kostenverlauf Solarthermieanlage Warmwasser	206
Abb. 13.9	Rentabilität Solarthermieanlage Warmwasser (WW)	206
Abb. 13.10	Heizgradtage Potsdam	207
Abb. 13.11	Kosten Solarthermieanlage Warmwasser (WW) und Heizwasser (HW)	209
Abb. 13.12	Rentabilität Solarthermie Warmwasser (WW) und Heizwasser (HW)	210
Abb. 13.13	Tägliche solare Deckungsrate/Speicherzustand Warmwasser (WW) und Heizwasser (HW)	210
Abb. 13.14	Verteilung Treibhausgasemissionen Solarthermieanlage mit 9 m ² Fläche	212
Abb. 13.15	Ökologische Amortisationszeit Solarthermieanlage	213
Abb. 13.16	Schemata einer Wärmepumpe	216
Abb. 13.17	Idealisierter Kreisprozess einer Wärmepumpe	217
Abb. 13.18	Verhältnis Investitionskosten und Jahresarbeitszahl (JAZ) bei Wärmepumpen	226
Abb. 13.19	Sankey-Diagramm konventionelle Energieversorgung	229
Abb. 13.20	Sankey-Diagramm Kraftwärmekopplung (KWK)	229
Abb. 13.21	Lastverteilung Blockheizkraftwerk/Brennwerttherme	232
Abb. 13.22	Prinzipbild Brennstoffzelle	233
Abb. 13.23	Investitionskosten Heizungssysteme (Die Preisindikationen entstammen gemittelten Werten mehrerer Rechercheergebnisse. Zugehörige Anlagenkomponenten wurden eingebunden.)	238
Abb. 13.24	Jährliche Betriebskosten Heizungsanlagen	239
Abb. 13.25	Betriebseffizienz der Heizungsanlagen (Die Werte basieren auf den Aufwandszahlen der DIN 4701 sowie Internetrecherchen als Mittelwerte.)	240
Abb. 13.26	Gesamtkosten Heizungssysteme über 20 Jahre (Basierend auf statistischen Mittelwerten ohne zukünftige Preissteigerungen.)	241
Abb. 13.27	Treibhausgasemissionen Heizungssysteme	243
Abb. 13.28	Gesamte Treibhausgasemissionen Heizungssysteme über 20 Jahre	244
Abb. 13.29	Primärenergiebedarf Heizungssysteme	245
Abb. 13.30	Primärenergieaufwendungen über 20 Jahre	246
Abb. 13.31	Ergebnis Technologieanalyse Heizungssysteme	249

Tabellenverzeichnis

Tab. 5.1	Anforderungen EEWärmeG (Stand 2016)	20
Tab. 6.1	Wärmeübergangswiderstände Luft nach [11]	28
Tab. 6.2	Temperaturen Region 4 nach der DIN 18599-10 und der NASA	32
Tab. 6.3	Temperaturkorrekturfaktoren nach [9] Teil 1	38
Tab. 6.4	Temperaturkorrekturfaktoren nach [9] Teil 2	39
Tab. 6.5	Teilbeschattungswinkel F_0 für horizontale Überhänge nach [9]	44
Tab. 6.6	Teilbeschattungswinkel F_f für seitliche Abschattungen nach [9]	44
Tab. 6.7	Teilbeschattungsfaktor F_h für vertikale Vorbauten nach [9]	45
Tab. 6.8	Abminderungsfaktoren Sonnenschutzvorrichtungen F_c nach [9]	53
Tab. 6.9	Referenzgebäudewerte nach der EnEV	55
Tab. 6.10	Spezifische Höchstwerte Transmissionsverlust nach der EnEV	55
Tab. 7.1	Tabelle Endenergiewerte nach der DIN V 4701-10 und der EnEV 2016	69
Tab. 8.1	Energieeffizienzklassen nach der EnEV 2014	78
Tab. 9.1	Einfluss der temporären Temperaturabsenkungen. Regionen nach [18]; Durchschnittstemperaturen nach [12]	83
Tab. 9.2	Gebäude (A); Effekt Nachtabsenkung	87
Tab. 9.3	Gebäude (B); Effekt Nachtabsenkung	88
Tab. 10.1	Amortisationszeiten Energiestandards	98
Tab. 10.2	Berechnungsparameter Standardhaustypen	103
Tab. 10.3	Statischer Kostenvergleich Standardhäuser über eine Betriebslaufzeit von 30 Jahren (Die Ergebnisse basieren auf den Annahmen aus der Tab. 10.2 bezogen auf eine Betriebszeit von 30 Jahren)	105

Tab. 10.4	Dynamische Kosten Standardhäuser nach 30 Betriebsjahren im Vergleich (Die Ergebnisse basieren auf den Annahmen aus der Tab. 10.2 bezogen auf eine Betriebszeit von 30 Jahren)	107
Tab. 10.5	Sensitivitätsanalyse Zinsen	108
Tab. 10.6	Validierung der Teuerungsrate	110
Tab. 11.1	Typische A/V-Verhältnisse	114
Tab. 11.2	Berechnungswerte Fenster	117
Tab. 11.3	Fensterkonfigurationen und Preise	122
Tab. 11.4	Monatliche Temperaturdifferenz und spez. Heizarbeit	123
Tab. 11.5	Differenzsummen und Amortisationszeit	124
Tab. 11.6	Ökologische Belastungen Fenster	127
Tab. 11.7	Ergebnis ökologische Auswertung Fensterkonfigurationen	129
Tab. 11.8	Spezifische Werte Außenwandmaterialien	136
Tab. 11.9	Flächenspezifische Werte Außenwandmaterialien	136
Tab. 11.10	Spezifische Flächenwerte mit Randbedingungen Außenwand	138
Tab. 11.11	Grundlage Innenwandberechnung	142
Tab. 11.12	Kennwerte Innenwandmaterialien	144
Tab. 11.13	Auswertung Innenwände	145
Tab. 11.14	Faktorierte Eigenschaften Innenwand	146
Tab. 11.15	Berechnungsgrundlagen Isoliermaterialien	157
Tab. 11.16	Ökonomische Bewertung Isoliermaterialien	159
Tab. 11.17	Ökologische Eigenschaften Isoliermaterialien	160
Tab. 11.18	Berechnungsgrundlagen Isolierstärke	163
Tab. 12.1	Spezifische Luftwechselrate nach der DIN V 4701	170
Tab. 12.2	Monatlichen Wärmeverluste freie Lüftung	173
Tab. 12.3	Vergleich monatliche Lüftungswärmeverluste Fensterlüftung und ZBA mit WRG	178
Tab. 12.4	Ergebnis dezentrale Belüftungsanlagen (DBA)	181
Tab. 12.5	Grundlagen CO ₂ -Bewertung Lüftungsanlage	182
Tab. 12.6	Ergebnis LCA äquivalente Treibhausgasemissionen Lüftungssysteme	183
Tab. 12.7	Analyse Primärenergiebedarf ZBA und DBA	183
Tab. 13.1	Berechnungswerte Solarthermie	203
Tab. 13.2	Tabellarische Berechnung solare Deckung Warmwasser	205
Tab. 13.3	Solarthermieanlage Warmwasser (WW) und Heizwasser (HW)	208
Tab. 13.4	Ökologische Aufwendungen Solarthermieanlage	212
Tab. 13.5	Betriebspunkte für Wärmepumpen nach der DIN EN 14511	221
Tab. 13.6	Grundlage Vergleich Wärmepumpentypen	224
Tab. 13.7	Vergleich Wärmepumpentyp	225
Tab. 13.8	Allgemeine Randparameter Heizungsanalyse	237
Tab. 13.9	Ergebnisse Heizungssysteme in der Übersicht	247
Tab. 13.10	Faktorierte Kennwerte Heizungssysteme	248

Tab. 14.1	Gebäudeeigenschaften vor der Optimierung	252
Tab. 14.2	Verschiebung der Fensterflächen	253
Tab. 14.3	Wärmedurchgangskoeffizient Fenster optimiert	254
Tab. 14.4	Wärmedurchgangskoeffizient Eingangstür	254
Tab. 14.5	Austausch Klinker durch WDV-Putz	255
Tab. 14.6	Innenwände als Holzständerwerk	256
Tab. 14.7	Isolierungsanpassung	256
Tab. 14.8	Optimierung Wärmebrückenkorrekturwert und Außenluftwechselrate	257
Tab. 14.9	Zusammengefasste Ergebnisse Gebäudeoptimierung	258
Tab. 14.10	Ergebnisse Heizungsanlage auf den Primärenergiebedarf (Die Anlagenaufwandszahlen wurden über die DIN V 4701 bestimmt.)	259



1

Einleitung

1.1 Grundlage

Die Idee zu diesem Sachbuch entstand durch zahlreiche Rückfragen aus dem Bekanntenkreis, sobald diese sich häuslich niederlassen wollten. Im Bereich der Energieeffizienz gibt es so viele Varianten und Variationen, dass sich eine Abschätzung der Vor- und Nachteile von energieeffizienzsteigernden Maßnahmen für einen Bauherren oder eine Bauherrin als schwierig erweist.¹ Das vorliegende Sachbuch behandelt die bauphysikalischen Eigenschaften des winterlichen bzw. sommerlichen Wärmeschutzes, der Behaglichkeit und des Feuchtigkeitsschutz bei Neubauten und soll auf verständliche Weise dem Häuslebauer helfen, Maßnahmen zu bewerten. Besonderer Fokus wird auf die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Gebäudeausrichtung, Gebäudegeometrie, der Gebäudekomponenten und der Gebäudeanlagentechnik gelegt. Zwar schreibt die Gesetzgebung bereits umfangreiche Effizienzsteigerungsmaßnahmen vor, es stellt sich jedoch die Frage, wie weit diese getrieben werden können, sodass Vorteile für den Hausbesitzer und der Umwelt gewonnen werden. Die erzielten Erkenntnisse können indirekt auch auf Sanierungsmaßnahmen bei Bestandsgebäuden angewendet werden.

Eine Analyse der Fachliteratur, die sich mit dem Einfluss der Energieeffizienzsteigerung auf die Baukosten beschäftigt, bringt unterschiedlichste Aussagen hervor. Diese reichen von „geringer Einfluss der Effizienzmaßnahmen auf die

¹Im Folgenden werden wir von Bauherren sprechen, wo auch immer die Bauherrinnen einbezogen sein sollen.

Baukosten“ bis hin zu „Energieeffizienzmaßnahmen haben das Bauen extrem verteuert“. Zu empfehlen ist eine objektive Betrachtung der jeweiligen Quellen unter Berücksichtigung der Interessen der Autoren. Dass die Baukosten gerade in den letzten 10 Jahren deutlich angestiegen sind, ist dabei unumstritten. Das Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen Einfluss auf die Baukosten nehmen, ist grundsätzlich ebenso unstrittig, nur ist die Höhe der Preissteigerungen nicht bekannt. Es wäre falsch die explosionsartigen Kostensteigerungen des vergangenen Jahrzehnts einzig der Energieeffizienzsteigerung anzulasten. Die wachsende Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt und die gestiegenen Rohstoffkosten haben ebenso ihren Anteil an den gestiegenen Kosten.

Die Mehrkosten und die ökologischen Mehraufwendungen durch die Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen müssen durch sinkende Betriebsaufwendungen wieder zu kompensieren sein. Als Schlüsselkompetenz wird dafür die Nachhaltigkeit über die kompletten Lebenszyklusphasen sowohl ökonomisch als auch ökologisch angesetzt. Eine Betrachtung von der Wiege bis zur Bahre (Cradle to Grave) ist erforderlich, damit es nicht zum sogenannten Leakage-Effekt² kommt. Für ein Verständnis der Nachhaltigkeit erfolgt eine kurze Definition des Begriffes im Abschn. 4.2.

Das vorliegende Sachbuch nutzt transparente, flexible Bewertungsverfahren. Neben den Beispielrechnungen und Datenquellen zu jedem Themenblock, liegt ein besonderer Fokus auf den entwickelten Bewertungsgleichungen, die wir individuell nutzen können. Somit können Sie die Werte Ihres Bauanbieters unter Ihren Randbedingungen implementieren und Ihren direkten Vorteil analysieren. Die in diesem Buch aufgeführten Berechnungen, Prognosen und eingesetzten Werte sind beispielhaft und sollten im individuellen Fall noch einmal geprüft werden.

1.2 Bewertungsablauf

Die offiziellen Berechnungen sind sehr aufwendig und erfordern einen großen Zeitaufwand. Obwohl ihre Berechtigung für eine umfassende Effizienzbewertung eines Gebäudes unumstritten ist, wollen wir die ökonomischen und ökologischen Bewertungen für den Bauherren deutlich vereinfacht gestalten. Kein Bauherr soll eine mehrwöchige Schulung benötigen, um die Sinnhaftigkeit von Effizienzmaßen bewerten zu können.

²Leakage-Effekt: Optimierungsmaßnahmen in einer Lebensphase sorgen für nachteilige Effekte in den vorgelagerten und/oder nachgelagerten Produktlebensphasen.

Daher setzen wir nicht auf eine komplette Bewertung des ganzen Gebäudes, sondern betrachten lediglich die zu untersuchenden Bauteile mithilfe der physikalischen Grundlagen. Diese werden im Abschn. 6.1 erläutert.

Nehmen wir als Beispiel die Isolierung der Außenwände: Wie stark sollte die Isolierung sein? Diese Frage sollte ohne eine komplette, mehrstündige Berechnung nach den geltenden Normen beantwortet werden können. Die jeweiligen Komponenten können durch den Bauherren analysiert und optimiert und somit vorausgewählt werden, anschließend sollte eine umfassende Analyse von einem Sachverständigen angesetzt werden.

Daher müssen wir den Berechnungsrahmen festlegen und das Bewertungsverfahren für unsere Komponenten definieren. Es erscheint einleuchtend, dass jeder Energieverlust durch Transmission oder Umwandlungsverluste ökonomisches und ökologisches Potenzial aufweist. Somit müssen die Verlustleistungen über unseren Energieträger mit den (ökonomischen und ökologischen) Erstaufwendungen ins Verhältnis gesetzt werden. Ist die Verlustaufwendung über einen Zeitraum größer als die Erstaufwendung, sollte die Erstaufwendung gesteigert werden.

Schauen wir uns ein kleines Beispiel zur besseren Verständlichkeit an:

Sie verlieren über eine spezifische Oberfläche ihres Hauses im jährlichen Durchschnitt $200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Betrachten wir einen Zeitraum von 20 Jahren für die Außenisolierung, dann sind es bereits 4 MWh/m^2 , die Sie an Transmission an die Umgebung verlieren. Heizen Sie mit Gas (ca. 8 ct/kWh ; Stand 04/2019), so haben Sie ein Kapital von 320 € pro Quadratmeter Oberfläche zur Verbesserung (die Angaben beziehen die jährlichen Preissteigerungen des fossilen Brennstoffes nicht mit ein). Damit Sie das volle ökonomische Potenzial auch wirklich ansetzen können, müsste der Energieverlust jedoch auf null sinken und das ist physikalisch leider nicht möglich. Wir benötigen Gleichungen, die den Schnittpunkt der Einsparung und der Aufwendung definieren.

Da diese in Abhängigkeit zu der Art des Energieverlustes stehen, werden wir für jede Betrachtung die passenden Berechnungsverfahren entwickeln, sodass Sie zum Schluss nur noch Ihre Werte einfügen müssen. Anschließend können Sie dem Bauträger recht schnell darlegen, warum Sie einzelne Verbesserungen vorsehen möchten.



2

Energiebedarf Raumwärme und Warmwasser in Deutschland

Der Gebäudesektor ist für rund 40 % des europäischen Energiebedarfs verantwortlich. Somit muss ein zentraler Aspekt der Energiewende eine deutliche Reduktion der Primärenergie sein. In Deutschland wurden 2016 für die Raumwärme ca. 2.562,3 Petajoule verbraucht. Das entspricht 28 % des gesamten Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland. In privaten Haushalten werden ca. 69 % der Endenergie für die Raumwärme aufgewendet. Zweitgrößter Energieverbraucher ist die Warmwasseraufbereitung mit ca. 16 %. Die restlichen 15 % verteilen sich absteigend nach dem Anteil auf Haushaltsgeräte, Information- & Kommunikationsgeräte und Beleuchtung.

Die Energieeffizienz im Gebäudesektor hat sich seit 1987 zwar deutlich verbessert, dennoch verursachte allein der Energieaufwand für die Warmwasseraufbereitung in 2016 ca. fünf Prozent des Jahresenergieverbrauchs der Bundesrepublik.¹

Energien werden je nach Ihrem Umwandlungsgrad unterschiedlich deklariert. Damit in den folgenden Abschnitten deutlich ist, von welcher Energieform wir sprechen, werden die wichtigen Begrifflichkeiten im Folgenden einmal vorgestellt:

Nutzenergie hierunter wird die tatsächlich benötigte Energie in ihrer finalen Form bezeichnet. Als Beispiel lässt sich die Raumwärme heranziehen. Bei einer gewünschten Innenraumtemperatur entspricht die Nutzenergie der

¹Vgl. [1].

Wärmemenge, die zum Halten der Temperatur dem Raum zugeführt (oder abgeführt) werden muss.

Natürlich nehmen interne Energiequellen (Personen, Geräte etc.), externe Energiequellen (solare Einstrahlung durch transparente Baukörper) sowie Energiesenken (Transmissionsverluste, Lüftungsverluste) Einfluss auf die benötigte Nutzenergiemenge.

Endenergie besteht aus der Nutzenergie plus den Energieverlusten der Anlage bei der Energiewandlung, Speicherung, Verteilung und Übergabe. Beispielhaft kann die chemische Umwandlung durch eine exotherme Oxidation (Verbrennung) des Brennstoffes im Heizwertkessel und die auftretenden Verluste herangezogen werden.

Primärenergie bezeichnet die Energiemenge, die aufgebracht werden muss, um den Energieträger zur Verfügung zu stellen. Somit sind Verluste durch die Förderung, Aufarbeitung und durch die Distribution eingebunden in die Primärenergie. Ein sehr umfangreiches Beispiel ist der Energieträger Heizöl. Am Anfang muss das Erdöl lokalisiert, gefördert, rektifiziert und mehrfach transportiert werden. Diese Prozessschritte benötigen Energien, die der spezifischen Einheit zugerechnet werden müssen.²

²Vgl. [2].



3

Die Behaglichkeit

In unsrem Zuhause wollen wir uns sicher und gut aufgehoben fühlen. Die Wissenschaft hat für das körperliche Wohlergehen in einem Gebäude den Begriff der Behaglichkeit eingeführt. Obwohl das Wohlfühlen ein individuelles, subjektives Gefühl ist, gibt es Richtwerte, die für einen Großteil der Bevölkerung angenommen werden können. Aus energie-technischer Sicht wäre ein unbeheiztes Gebäude mit einer freien kontinuierlichen Belüftung anzustreben, jedoch würden diesen Zustand nur sehr wenige Personen als besonders behaglich beschreiben. Somit müssen einige Randbedingungen eingehalten werden, um das Leben in einem Gebäude angenehm zu gestalten.

Zentrale Inhalte der direkten Behaglichkeit sind:

- die Raumtemperatur (diese ist variabel nach der Art der Aktivität und Kleidung der Personen im Raum)
- die Luftfeuchtigkeit (die relative Luftfeuchtigkeit sollte zwischen 30–65 % liegen)
- die Temperaturgradienten im Raum (von Kopf bis Fuß sollten 4 °C nicht überschritten werden)
- die Bodentemperatur
- die Luftströmungsgeschwindigkeit im Raum (max. 0,2 m/s)
- die asymmetrischen Strahlungen (diese entstehen durch unterschiedliche Oberflächentemperaturen)
- die Luftqualität

Grob lässt sich sagen, dass der Mensch sich behaglich fühlt, wenn seine Wärmeabgabe im Gleichgewicht mit seiner produzierten Wärmemenge liegt, ohne das Ausgleichsverfahren vom Körper durchgeführt werden müssen (z. B. Schwitzen oder Frieren). Beim Schwitzen wird die Wärmeabgabe durch die Verdunstungskälte erhöht. Diese entsteht, wenn Wasser aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand wechselt. Beim Frieren werden die Muskelaktivitäten angeregt, die daraus resultierende Wärme wirkt der Kälte entgegen.

Ein Mensch produziert bei gemäßigter Aktivität ungefähr 100 W. Die Wärmeabgabe kann bei sehr schwerer körperlicher Arbeit auch die 300 Watt-Grenze durchbrechen. Sie ist unabhängig von Alter, Jahres- und Tageszeit, Nationalität, selbst vom Geschlecht. Die Wärmeabgabe erfolgt als Konvektions- und Strahlungswärme, die Abgabe von Luftfeuchtigkeit geschieht durchs Schwitzen und Atmen. Der Verteilungsgradient zwischen den Wärmeabgaben variiert mit Höhe der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Die Luftqualität kann neben dem menschlichen Sauerstoffverbrauch ebenfalls durch seine natürlichen Geruchsstoffe, künstliche Belastungen durch menschliche Aktivitäten (Kochen, Rauchen, usw.) sowie der Raumausstattung (Möbel, Teppich, ...) beeinflusst werden.

Eine homogene Temperatur über die Raumschichten durch eine geschickte Anordnung der Heizflächen und der Luftzuführungen zu erreichen, steigert die Behaglichkeit deutlich. Ebenfalls wurde in Studien rausgefunden, dass einzig die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Raumkonditionen z. B. durch eine manuelle Fensteröffnung einen positiven Effekt auf das Wohlbefinden hat. Auch wenn das Gebäude eine umfangreiche Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) aufweist.

Des Weiteren ist die Behaglichkeit von dem Wärmeeindringkoeffizienten b abhängig. Dieser beschreibt die Materialeigenschaften, wenn diese berührt werden, also ein spürbares Phänomen. Je langsamer die Wärme von unserem Körper in das Material abgeführt wird, desto angenehmer empfinden wir diesen Werkstoff (der Effekt dreht sich jedoch in dem Moment um, wenn wir Wärme im Sommer abgeben möchten).

Als Beispiel stellen Sie sich vor, dass Sie auf zwei unterschiedlichen Fußbodenmaterialien mit identischer Temperatur stehen. Auf der einen Seite besteht die Oberfläche aus Stein und auf der anderen Seite aus Holz. Die Wärmeleitfähigkeit von Stein ist deutlich höher und somit ist die wärmebezogene Wahrnehmung bei identischen Temperaturen unterschiedlich.



4

Ökologische Betrachtung

Der ökologische Gedanke hat in den vergangenen Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Der Begriff der Ökologie leitet sich aus dem Altgriechischen her und bedeutet übersetzt die Lehre vom Haushalt. Wir befinden uns in einem empfindlichen Gleichgewicht mit der Natur und dem Kreislauf zwischen Entnahmen und Rückgaben. Natürliche Regenerationszeiten wurden in den vergangenen 150 Jahren durch uns Menschen immer stärker missachtet. Daraus resultieren zahlreiche Umweltprobleme, vor denen wir heute stehen und die auch die nachfolgenden Generationen weiter bewältigen müssen.

„Das Umweltbewusstsein der Weltbevölkerung hat sich in den vergangenen Jahrzehnten deutlich weiterentwickelt. Besonders in den Industrieländern hat die Wertschätzung einer intakten Natur deutlich an Stellenwert gewonnen, obwohl gerade die Industrieländer für einen Großteil der Umweltaufwendungen verantwortlich sind. Die Steigerung des Wertes resultiert aus drastischen Ereignissen, die teilweise katastrophale Auswirkungen angenommen haben. Ressourcenknappheit inkl. Trinkwassermangel, Bodenerosionen durch den Landnutzungswandel, übermäßige Eutrophierung, Versauerung der Weltmeere, Abbau der Biodiversität und der Klimawandel sind nur einige Folgen des direkten oder indirekten anthropogenen Handelns.“ [3]

Wir sind auf ein funktionierendes Ökosystem angewiesen, auch wenn einige Personen der Weltpolitik konsequent die ökologischen Folgen ignorieren, ja sogar leugnen. Das sich unser Wetter verändert, die Polkappen schmelzen, Kunststoffe und Dioxine in vielen Spezies bereits nach-

gewiesen sind und Artensterben ein globales Vorkommen ist, kann ohne Zweifel belegt werden.¹

Sobald wir über Ressourcenbedarf sprechen, müssen wir auch immer den Aspekt der Umweltaufwendungen berücksichtigen. Ein Wohngebäude benötigt eine Menge an Ressourcen, die in unterschiedlichster Form eingebunden werden. Der Ressourcenbedarf beginnt bereits in der Planung und endet erst nach einem vollständigen Recycling aller eingebrachten Elemente. Dabei ist es schwierig, die aufgewendeten Ressourcen aufgrund ihrer Vielzahl gemeinsam zu bewerten. Der Ressourcenverbrauch sollte dem Verursacher direkt zugeordnet werden und dieser müsste für einen äquivalenten Ausgleich sorgen. Eine Möglichkeit wäre eine monetäre Ausgleichszahlung, die für Gegenmaßnahmen eingesetzt wird. Jedoch sind einige Ressourcen *kostenfrei* verfügbar und werden daher unbedacht verbraucht. Als Beispiel zu benennen sind Luft, Wasser und Treibhausgase. Wir können Luft und Grundwasser verbrauchen, Treibhausgase erzeugen ohne dafür direkt zu bezahlen. Diese Aufwendungen werden für spätere Generationen jedoch aufwendig zu kompensieren zu sein, um ein Gleichgewicht wieder herzustellen.

„Der Wert der Umwelt ist elementar für das menschliche Handeln und kann nicht so einfach in monetären Einheiten beziffert werden. Der Umgang mit den vorhandenen Ressourcen muss auch aus ökonomischer Weitsicht nachhaltig sein.“[3]

In den folgenden Abschnitten werden wir zwei Umweltbelastungen in unsere Bewertungen einbinden, um den Gedanken der Nachhaltigkeit aufzugreifen. Das Ziel unserer Bewertungen wird nicht ein Ausgleich der Umweltbelastungen sein, sondern die Ressourcenreduktion über den Lebenszyklus des Wohngebäudes. Denn der beste und sauberste Ressourceneinsatz entsteht durch eine konsequente Vermeidung der jeweiligen Ressourcennutzung.

Der Einsatz von Primärenergie verursacht eine große Bandbreite an Umweltaufwendungen. Darunter fallen etliche toxische Produkte aus dem Rohstoff oder der Energiewandlung, emittierte Treibhausgase bei der Reaktion und die Zerstörung von Ökosystemen für die Bergung der Rohstoffe. Daher werden wir mit dem Kumulierten Energieeinsatz (KEA) den Primärenergieeinsatz bewerten. Als zweite Aufwendung erfolgt die direkte Bewertung der emittierten Treibhausgasemissionen. Aufgrund der aktuellen

¹Vgl. [4]; Vgl. [5]; Vgl. [6].

Prägnanz ist eine Reduktion der Treibhausgasaufwendungen eine der Herausforderungen der heutigen Zeit. Der Klimawandel wird das Leben zukünftiger Generationen stark beeinflussen. Um den Effekt der Treibhausgase auf unser Klima verstehen zu können, begeben wir uns im folgenden Kapitel auf eine kurze Exkursion.

Die Treibhausgase und der Treibhauseffekt

Als Treibhausgase (THG) werden infrarotaktive Spurengase bezeichnet. Sie sind bereits seit Millionen von Jahren auf diesem Planeten vorhanden und mitverantwortlich für die notwendigen Bedingungen für die Entwicklung von Leben auf diesem Planeten. Ebenso waren sie aber auch schon verantwortlich für den Untergang von ganzen Spezies. In der Geschichte der Erde hat sich das Klima immer wieder drastisch verändert: Hitzewellen, Eiszeiten und Zeiten von gemäßigten klimatischen Bedingungen wechselten sich ab. Der serbische Astronom Milutin Milankovic entdeckte mit den annähernd zyklischen Laufbahnen der Sonne und Erde, bzw. die Veränderung der Erdachsenstellung, einen Zusammenhang zwischen den Klimaextremen. Seit ca. 11.700 Jahren erlebt die Erde eine gemäßigte Bedingung mit einem stabilen Klima. Ohne ein Einwirken des Menschen, würde dieses stabile Klima noch lange andauern.

Die Sonne schickt uns kurzweilige solare Strahlungen, welche von der Erdoberfläche teilweise aufgenommen oder reflektiert werden. Die Treibhausgase absorbieren die langwelligen Strahlungen, die von der Erde zurück in den Weltraum reflektiert werden. Die Spurengase erwärmen sich dabei und strahlen ein Teil der Wärmeenergie wieder auf die Erde zurück. Somit erhöht sich die Gesamteinstrahlleistung wie in einem Treibhaus (Gartengewächshaus). Anschließend entstehen mehrere Kettenreaktionen. Die Albedo (Reflexionsleistung) der Erde verschlechtert sich durch die abnehmenden Schnee- und Eismassen. Durch die höheren Temperaturen nimmt der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zu und Wasserdampf ist ebenfalls ein Klimagas. Die Wasseroberflächentemperaturen steigen an und warmes Wasser kann weniger Kohlendioxid binden, usw. Die Wechselwirkungen sind sehr komplex und zur Höhe der Auswirkungen besteht weiterer Forschungsbedarf, dass es jedoch einen negativen Effekt haben wird, ist unstrittig.²

Der Mensch produziert seit der Industrialisierung deutlich mehr Treibhausgase als im gleichen Zeitraum auf natürlichen Wegen der Atmosphäre entzogen werden. Dieses anthropogene Handeln basiert zum größten Teil auf die Energieerzeugung durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen, in denen der Kohlenstoff gebunden war.

„Hinter dem Begriff der anthropogenen Treibhausgasemissionen bezeichnet man Emissionen, die durch das menschliche Handeln auf dieser Welt hervorgerufen werden. Dabei werden die Treibhausgasemissionen auf den bekanntesten Vertreter, das Kohlendioxid, normiert. Unter dem Begriff „Kohlendioxid-äquivalente Emissionen“ werden die Hauptkomponenten

²Vgl. [7].

Kohlendioxid, Methan, Lachgas und unterschiedlichste Fluor- (Chlor-) Kohlenwasserstoffe zusammengefasst.“[3]

„Dem Verbraucher ist häufig nicht bewusst, dass mit fast jedem Produkt Treibhausgasemissionen direkt oder indirekt in Verbindung stehen. Treibhausgase werden nicht nur beim Betrieb emittiert, sondern auch bei der Rohstoffgewinnung, der Herstellung, der Distribution und dem Recycling. Eine reine Betrachtung der Betriebseffizienz kann also zu deutlichen Fehlinterpretationen bei der Bewertung einer Anlage führen! Dieses Bewusstsein muss dem Verbraucher verdeutlicht werden, um die Akzeptanz von Umweltschutzmaßnahmen weiter auszubauen.“[3]

4.1 Pariser Klimaschutz-Übereinkommen

Im Dezember 2015 haben 194 Staaten den Vertrag zum Klimaschutz (Paris Agreement) unterzeichnet. Die Vertragspartner verpflichteten sich zu Präventionsmaßnahmen damit die globale Klimaerwärmung auf 2 °C begrenzt wird. Dieses ehrgeizige Ziel, die Begrenzung der Klimaerwärmung, soll nach Möglichkeit auf 1,5 °C weiter verschärft werden. Konkrete Maßnahmen der einzelnen Vertragsteilnehmer zum Klimaschutz sind nicht definiert worden.

Das Pariser Klimaschutz-Übereinkommen ist das zweite internationale Abkommen nach dem Kyoto-Protokoll von 1997, welches aber erst acht Jahre nach der Unterzeichnung in Kraft trat. Aus der Geschichte ist ein zögerliches Handeln durch die Politik beim Umweltschutz quer durch alle Länder und Regierungsparteien festzustellen. Bereits 1975 erkannte W.D. Nordhaus, dass eine Klimaerwärmung unausweichlich ist und diese auf 2 °C begrenzt werden muss. Vierzig Jahre nach dieser Aussage gibt es ein Übereinkommen zur Temperaturbegrenzung. Seitdem haben sich einige Nationen schon wieder von ihren Zusagen distanziert, teils weil sie wirtschaftliche Nachteile befürchten.³ Dass die wirtschaftlichen Kosten lediglich externalisiert und zeitlich verschoben werden, wird dabei ignoriert.

Jede Nation darf eigene Konzepte zum Erreichen des 2 °C-Ziels entwickeln und diese den Vereinten Nationen (UN) vorstellen. Die UN hat anschließend die Funktion der Überwachung, ob diese auch konsequent umgesetzt werden und den gewünschten Erfolg erreichen. Letztlich kann ein Ausweg aus der Kohlendioxidkrise nur über eine langfristige

³Vgl. [8].

Dekarbonisierung realisiert werden. Dies bedeutet den kompletten Verzicht auf den Einsatz von fossilen Energieträgern.

Die Europäische Union (EU) setzt auf eine deutliche Senkung des Primärenergiebedarfs in mehreren Stufen. Besonders große Einsparpotenziale liegen laut der EU im Verkehrs- und Gebäudesektor. Durch europäische Gesetze und Richtlinien werden die EU-Mitglieder aufgefordert, die Einsparungsmaßnahmen in nationales Recht zu transferieren.

Deutschland setzt auf die Energiewende, um die europäischen Klimaziele zu erreichen. Auf dem Weg zur Klimaneutralität im Jahr 2050 wurden dafür Meilensteine gesetzt, an denen die Umsetzung gemessen werden soll:

- *Der Primärenergieverbrauch soll bis 2050 auf 50 % gegenüber 2008 gedrosselt werden. Als Zwischenhürde ist eine Drosselung um 20 % bis 2020 angegeben.*
- *Gegenüber 1990 soll die Energieproduktivität bis 2020 verdoppelt werden. Anschließend soll sie bis 2050 jährlich um 2,1 % steigen.*
- *Der Energiebedarf im Verkehrssektor soll gegenüber 2005 um 40 % bis 2050 gesenkt werden. Bis 2020 sollen bereits 10 % erreicht werden.*
- *Die jährliche Gebäudesanierungsrate soll verdoppelt werden.*
- *Eine Senkung des Strombedarfs um 25 % soll bis 2050 erfolgen. Als Zwischenziel wurden 10 % bis 2020 festgelegt.*
- *Der Energiebedarf für Gebäude soll um 80 % bis 2050 abgesenkt werden. Bis 2020 sollen es bereits 20 % sein. [3]*

Ob diese Maßnahmen bereits ausreichen, um den Temperaturanstieg auf 2 °C zu beschränken, ist noch nicht gewiss. Andernfalls sind weitere Handlungen erforderlich. Derzeit verdichten sich die Aussagen, dass sich die Zwischenziele der Bundesregierung für 2020 nicht mehr realisieren lassen. Somit würde die Bundesrepublik Deutschland, die eine zentrale Position in der europäischen Union aufweist, bereits 2020 unter Zugzwang stehen. Bewahrheitet sich diese Befürchtung, dann wäre das ein negatives Signal für die anderen UN-Staaten.

4.2 Die Nachhaltigkeit

Die Dimensionen der Nachhaltigkeit bieten Strategien, um einen übermäßigen Ressourcenverbrauch zu vermeiden und damit die entstandenen Probleme auf der Welt nicht weiter zu vergrößern, evtl. sogar

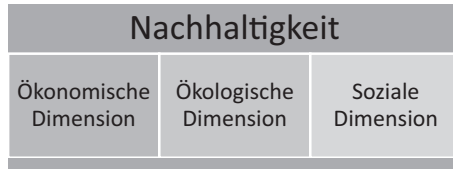


Abb. 4.1 Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit nach [3]

zu lindern. Unter den Ressourcen sind nicht nur materielle, sondern auch soziale Werte zu verstehen.

Auf den drei Säulen der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen basiert der Gedanke einer umfassenden Nachhaltigkeit (siehe Abb. 4.1). Die Aufmerksamkeit unserer Betrachtungen soll auf den beiden ersten Dimensionen liegen. Eine ökonomisch und ökologisch nachhaltige Dimensionierung sorgt für niedrige Kosten und möglichst geringe Umweltaufwendungen über den kompletten Lebenszyklus einer Komponente.

Nachhaltigkeit ist durch drei Strategien zu erreichen. Diese lauten Effizienz, Suffizienz und Konsistenz.

Die **Effizienzstrategie** betrachtet ausschließlich die Leistungsfähigkeit während der Betriebsphase: Also die Effizienz bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie oder eine Reduktion der Verluste während der Betriebsphase. Durch eine ausschließliche Betrachtung der Betriebsphase können folgende Effekte entstehen:

- **Reboundeffekt:** Verbessert sich die Effizienz einer Komponente und sinkt damit der Betriebskostenpreis, dann kann das zu einem deutlich höheren Einsatz/Verbrauch führen. Als Beispiel können wir die spezifische Wohnfläche pro Person anführen. Sinken die Betriebskosten und evtl. auch noch die Investitionskosten, dann werden die spezifischen Wohnflächen pro Person ansteigen. Das kann die Einspareffekte kompensieren oder gar umkehren.
- **Wachstums-/Mengeneffekt:** Beschreibt, dass die Ressourcenentnahme zwar reduziert wird, sich die Zeitspanne bis zu einer völligen Erschöpfung der Ressourcen jedoch so nur verlängert. Das verschiebt die Problematik auf einen späteren Zeitpunkt und trägt nicht direkt zu einer Lösungsfindung bei. Ein alltägliches Beispiel ist der Einsatz von fossilen Energien. Deren Endlichkeit ist bekannt und trotzdem basieren viele neue Technologien weiterhin auf dem Einsatz dieser Energien.
- **Leakageeffekt:** Beim Leakageeffekt kommt es zu einer Verschiebung der Ressourcenaufwendungen auf nach- oder vorgelagerte Lebensphasen.