

Das LEG-Verfahren

Der folgende Abschnitt widmet sich einem konkreten Verfahren zur Beurteilung von Energieeinsparmaßnahmen.

1. Allgemeiner Formalismus

Das LEG-Verfahren ist dem Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung des hessischen Umweltministeriums entnommen und wird bereits mehrere Jahre erfolgreich angewendet. Ziel des Verfahrens ist die Begrenzung des Energieeinsatzes in Gebäuden unter wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten.

Die Berechnungen beruhen auf der Kapitalwert- bzw. der Annuitäten-Methode. Bilanziert werden Kapitalkosten, Energiekosten sowie Wartungs- und Unterhaltskosten während der Nutzungsdauer. Unter Kapitalkosten werden Tilgung und Zinsen des eingesetzten Kapitals verstanden. Alle Zinsvergünstigungen, Subventionen, Zuschüsse o.ä. werden als Reduktion der Kapitalkosten verrechnet.

Unterschiedliche Investitionen werden anhand ihrer Jahreskosten K_a oder anhand ihres Kapitalwertes K_0 miteinander verglichen, wobei die Jahreskosten oftmals der anschaulichere Wert sind. Die Jahreskosten K_a können mit Hilfe der Annuität $a_{p,n}$ in den Kapitalwert K_0 überführt werden:

$$K_0 = \frac{K_a}{a_{p,n}} \quad \text{bzw.} \quad K_a = a_{p,n} \cdot K_0.$$

Zur Bestimmung des Kapitalwertes K_0 werden die Jahreskosten K_a ermittelt. Diese umfassen sowohl Betriebskosten (Energie, Wartung und Unterhalt) als auch Kapitalkosten (Zinsen, Tilgung, Subventionen, usw. s.o.). Alle laufenden Kosten werden unter Berücksichtigung ihrer Preissteigerungen (mit entsprechenden Korrekturfaktoren m_e bzw. m_u) addiert. Die Investitionskosten werden auf jährlich gleich hohe Raten über die Nutzungsdauer verteilt.

$$\begin{aligned} K_a &= K_i + K_{e,m} + K_{u,m} \\ &= K_i + m_e \cdot K_{e,0} + m_u \cdot K_{u,0} \end{aligned}$$

mit

K_a Jahreskosten, in [€/a]

K_i jährliche Kapitalkosten (annuitätisch), in [€/a]

$K_{e,m}$ durchschnittliche jährliche Energiekosten, in [€/a]

$K_{u,m}$ durchschnittliche jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten, in [€/a]

$K_{e,0}$ Energiekosten zum Zeitpunkt $t = 0$, in [€/a]

$K_{u,0}$ Wartungs- und Unterhaltskosten zum Zeitpunkt $t = 0$, in [€/a]

m_e Mittelwert der Verteuerung der Energie, in [-]

m_u Mittelwert der Verteuerung der Wartungs- und Unterhaltskosten, in [-]

2. Kapitalkosten

Die jährlichen Kapitalkosten K_i ergeben sich aus den Investitionen I multipliziert mit dem Annuitätsfaktor $a_{p,n}$. Zu den Investitionskosten hinzuzuzählen sind alle anfallenden Verwaltungskosten, Versicherungskosten etc. Vermindert werden die Investitionskosten um Zuschüsse und Subventionen sowie alle steuerlichen Absetzungs- und Abschreibungsmöglichkeiten.

$$K_i = I_0 \cdot a_{p,n}$$

mit

K_i jährliche Kapitalkosten, in [€/a]

I_0 Investition (abzüglich Zuschüssen) zum Anfangszeitpunkt $t = 0$, in [€]

$a_{p,n}$ Annuitätsfaktor zum Kalkulationszins p und zum Betrachtungszeitraum n , in [1/a]

Soll eine Energieeinsparmaßnahme bewertet werden, dann umfassen die Investitionskosten I nur den Anteil der Kosten, der der Energieeinsparung dient. Die Kosten, die nicht energierelevant anfallen, dürfen nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließen. Beispielsweise sei hier die zusätzliche Dämmung bei einer ohnehin anfallenden Fassadenerneuerung ("Sowieso-Maßnahme") genannt. Die Kosten für Gerüst und Putz sind in diesem Fall nicht energierelevant, sie wären auch ohne die zusätzliche Dämmschicht angefallen.

Es empfiehlt sich bei der Berechnung der jährlichen Kapitalkosten einer Mischinvestition alle Investitionen separat aufzuschlüsseln, zum Beispiel tabellarisch. Mit Hilfe des Betrachtungszeitraumes n und des nominalen Kapitalzinses p wird anschließend der Annuitätsfaktor $a_{p,n}$ für jede Investition ermittelt.

$$a_{p,n} = \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$

mit

$a_{p,n}$ Annuitätsfaktor, in [1/a]

p Kalkulationszins, in [1/a]

n Betrachtungszeitraum, in [a]

Mit der Annuität $a_{p,n}$ können aus den Investitionskosten die jährlichen Aufwendungen für Kapitalzinsen und Tilgung bestimmt werden. Als Betrachtungszeitraum gilt üblicherweise die Nutzungsdauer einer Investition.

Der Kapitalzinssatz p ist der Zinssatz für Eigenkapital oder für Fremdkapital. Bei einer Mischfinanzierung ein gewichteter Mittelwert aus beiden. Zinsvergünstigungen werden in einem geänderten Kapitalzinssatz berücksichtigt.

In Tabelle 2.1 sind Annuitäten $a_{p,n}$ für verschiedene Betrachtungszeiträume n zusammengestellt. Basis für diese Annuitäten sind nachschüssige Zahlungen, d.h. Aufzinsung.

Annuitäten $a_{p,n}$, in [1/a]												
Betrach- tungszeitraum n, in [a]	Kapitalzinssatz p, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,000	1,010	1,020	1,030	1,040	1,050	1,060	1,070	1,080	1,090	1,100	1,110
2	0,500	0,508	0,515	0,523	0,530	0,538	0,545	0,553	0,561	0,568	0,576	0,584
3	0,333	0,340	0,347	0,354	0,360	0,367	0,374	0,381	0,388	0,395	0,402	0,409
4	0,250	0,256	0,263	0,269	0,275	0,282	0,289	0,295	0,302	0,309	0,315	0,322
5	0,200	0,206	0,212	0,218	0,225	0,231	0,237	0,244	0,250	0,257	0,264	0,271
6	0,167	0,173	0,179	0,185	0,191	0,197	0,203	0,210	0,216	0,223	0,230	0,236
7	0,143	0,149	0,155	0,161	0,167	0,173	0,179	0,186	0,192	0,199	0,205	0,212
8	0,125	0,131	0,137	0,142	0,149	0,155	0,161	0,167	0,174	0,181	0,187	0,194
9	0,111	0,117	0,123	0,128	0,134	0,141	0,147	0,153	0,160	0,167	0,174	0,181
10	0,100	0,106	0,111	0,117	0,123	0,130	0,136	0,142	0,149	0,156	0,163	0,170
11	0,091	0,096	0,102	0,108	0,114	0,120	0,127	0,133	0,140	0,147	0,154	0,161
12	0,083	0,089	0,095	0,100	0,107	0,113	0,119	0,126	0,133	0,140	0,147	0,154
13	0,077	0,082	0,088	0,094	0,100	0,106	0,113	0,120	0,127	0,134	0,141	0,148
14	0,071	0,077	0,083	0,089	0,095	0,101	0,108	0,114	0,121	0,128	0,136	0,143
15	0,067	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,131	0,139
16	0,063	0,068	0,074	0,080	0,086	0,092	0,099	0,106	0,113	0,120	0,128	0,136
17	0,059	0,064	0,070	0,076	0,082	0,089	0,095	0,102	0,110	0,117	0,125	0,132
18	0,056	0,061	0,067	0,073	0,079	0,086	0,092	0,099	0,107	0,114	0,122	0,130
19	0,053	0,058	0,064	0,070	0,076	0,083	0,090	0,097	0,104	0,112	0,120	0,128
20	0,050	0,055	0,061	0,067	0,074	0,080	0,087	0,094	0,102	0,110	0,117	0,126
21	0,048	0,053	0,059	0,065	0,071	0,078	0,085	0,092	0,100	0,108	0,116	0,124
22	0,045	0,051	0,057	0,063	0,069	0,076	0,083	0,090	0,098	0,106	0,114	0,122
23	0,043	0,049	0,055	0,061	0,067	0,074	0,081	0,089	0,096	0,104	0,113	0,121
24	0,042	0,047	0,053	0,059	0,066	0,072	0,080	0,087	0,095	0,103	0,111	0,120
25	0,040	0,045	0,051	0,057	0,064	0,071	0,078	0,086	0,094	0,102	0,110	0,119
26	0,038	0,044	0,050	0,056	0,063	0,070	0,077	0,085	0,093	0,101	0,109	0,118
27	0,037	0,042	0,048	0,055	0,061	0,068	0,076	0,083	0,091	0,100	0,108	0,117
28	0,036	0,041	0,047	0,053	0,060	0,067	0,075	0,082	0,090	0,099	0,107	0,116
29	0,034	0,040	0,046	0,052	0,059	0,066	0,074	0,081	0,090	0,098	0,107	0,116
30	0,033	0,039	0,045	0,051	0,058	0,065	0,073	0,081	0,089	0,097	0,106	0,115

Tabelle 2.1 Annuitäten $a_{p,n}$

Die bisherige Betrachtungsweise ist davon ausgegangen, dass der Betrachtungszeitraum n auch der Nutzungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist. Bei der Bewertung von Mischinvestitionen aus Komponenten mit unterschiedlichen Lebensdauern, beispielsweise ein Gebäude und die zugehörige Anlagentechnik, muss jedoch anders vorgegangen werden.

Vorstellbar sind zwei Ansätze: zum einen kann als Betrachtungszeitraum die kürzeste aller Nutzungsdauern gewählt werden. Die zugehörige Komponente ist am Ende dieser Zeit gerade frei von Kapitalkosten, alle anderen Komponenten besitzen am Ende dieser Zeit noch Wert und verursachen damit weiterhin Kapitalkosten. Der Restwert dieser Komponenten müsste in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden.

Alternativ kann die längste aller Nutzungsdauern als Betrachtungszeitraum gewählt werden. Dieser zweite Weg wird im Rahmen des LEG-Verfahrens gewählt. Alle Komponenten, die weniger lange Nutzungsdauern aufweisen, werden anhand einer Re-Investition berücksichtigt.

Der Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist weiterhin n . Die Nutzungsdauern für die Komponenten werden nun aber m genannt, wobei es wenigstens eine Komponente gibt, die bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes n genutzt wird ($m = n$).

Die notwendige Ersatzinvestition wird anhand ihres Barwertes berücksichtigt. Das ist der Geldbetrag, der zum Anfangszeitpunkt $t = 0$ hätte angelegt werden müssen, um die Investition in Zukunft tätigen zu können. Dieser Wert hängt davon ab, wie fern in der Zukunft die Ersatzinvestition stattfindet, wie hoch der Kalkulationszins p ist und welche Preissteigerungsraten erwartet werden.

Die gesamten Kapitalkosten einschließlich einer eventuell notwendigen Ersatzinvestition können anhand folgender Formel bestimmt werden:

$$K_i = I_0 \cdot f_{p,s,m,n} \cdot a_{p,n}$$

mit:

K_i jährliche Kapitalkosten, in [€/a]

I_0 Investition (abzüglich Zuschüssen) zum Anfangszeitpunkt $t = 0$, in [€]

$f_{p,s,m,n}$ Faktor für Ersatzbeschaffung, in [-]

$a_{p,n}$ Annuitätsfaktor zum Kalkulationszins p und zum Betrachtungszeitraum n , in [1/a]

Der Faktor für die Ersatzbeschaffung $f_{p,s,m,n}$ ist 1, wenn Nutzungsdauer m und Betrachtungszeitraum n gleich groß sind. Ist dies nicht der Fall kann er anhand einer Formel bestimmt werden oder aus Tabelle 2.2 abgelesen werden.

$$f_{p,s,m,n} = 1 + \left(\frac{1 + s_a}{1 + p} \right)^m \cdot \frac{1 - (1 + p)^{-(n-m)}}{1 - (1 + p)^{-m}}$$

mit:

$f_{p,s,m,n}$ Faktor für Ersatzbeschaffung, in [-]

s_a jährliche Preissteigerung für die betrachtete Anlage, in [1/a]

p Kalkulationszins, in [1/a]

n Betrachtungszeitraum, in [a]

m Nutzungsdauer der Komponente ($m < n \leq 2 \cdot m$), in [a]

Alle Komponenten müssen eine Nutzungsdauer m aufweisen, die wenigstens halb so lang ist wie der Betrachtungszeitraum n .

Faktor $f_{p,s,m,n}$ für Ersatzbeschaffung, in [-]									
Kapitalzins $p = 2\ %/a$									
Nutzungsdauer m , in [a]	Betrachtungszeitraum n , in [a]	Anlagenteuerung s_a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10	2,16	2,21	2,27
10	15	1,43	1,48	1,52	1,58	1,64	1,70	1,77	1,85
12	15	1,22	1,24	1,27	1,31	1,34	1,39	1,43	1,48
12	20	1,55	1,62	1,69	1,78	1,87	1,98	2,10	2,23
15	20	1,27	1,32	1,37	1,42	1,49	1,57	1,65	1,75
15	25	1,52	1,60	1,70	1,81	1,94	2,08	2,24	2,43
15	30	1,74	1,86	2,00	2,16	2,34	2,54	2,78	3,05
20	25	1,19	1,24	1,29	1,35	1,43	1,51	1,62	1,75
20	30	1,37	1,45	1,55	1,67	1,81	1,98	2,19	2,43
Kapitalzins $p = 3\ %/a$									
Nutzungsdauer m , in [a]	Betrachtungszeitraum n , in [a]	Anlagenteuerung s_a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,86	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,21
10	15	1,40	1,44	1,49	1,54	1,59	1,65	1,72	1,79
12	15	1,20	1,22	1,25	1,28	1,32	1,36	1,40	1,45
12	20	1,49	1,56	1,63	1,71	1,79	1,89	2,00	2,11
15	20	1,25	1,29	1,33	1,38	1,44	1,51	1,59	1,68
15	25	1,46	1,53	1,62	1,71	1,83	1,95	2,10	2,27
15	30	1,64	1,75	1,86	2,00	2,16	2,33	2,54	2,77
20	25	1,17	1,21	1,25	1,31	1,37	1,45	1,55	1,66
20	30	1,32	1,39	1,47	1,57	1,70	1,84	2,02	2,23
Kapitalzins $p = 4\ %/a$									
Nutzungsdauer m , in [a]	Betrachtungszeitraum n , in [a]	Anlagenteuerung s_a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,82	1,86	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15
10	15	1,37	1,41	1,45	1,50	1,55	1,60	1,66	1,73
12	15	1,18	1,21	1,23	1,26	1,30	1,33	1,37	1,42
12	20	1,45	1,50	1,57	1,64	1,72	1,80	1,90	2,01
15	20	1,22	1,26	1,30	1,35	1,40	1,46	1,53	1,61
15	25	1,41	1,47	1,55	1,63	1,73	1,84	1,97	2,12
15	30	1,56	1,64	1,75	1,87	2,00	2,15	2,33	2,53
20	25	1,15	1,18	1,22	1,27	1,33	1,40	1,48	1,58
20	30	1,27	1,33	1,40	1,49	1,60	1,72	1,87	2,05
Kapitalzins $p = 5\ %/a$									
Nutzungsdauer m , in [a]	Betrachtungszeitraum n , in [a]	Anlagenteuerung s_a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,78	1,82	1,87	1,91	1,95	2,00	2,05	2,10
10	15	1,34	1,38	1,42	1,46	1,51	1,56	1,62	1,68
12	15	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,31	1,34	1,39
12	20	1,41	1,46	1,51	1,58	1,65	1,73	1,82	1,91
15	20	1,20	1,23	1,27	1,31	1,36	1,42	1,48	1,55
15	25	1,36	1,42	1,48	1,56	1,64	1,74	1,86	1,99
15	30	1,48	1,56	1,65	1,75	1,87	2,00	2,15	2,33
20	25	1,13	1,16	1,19	1,24	1,29	1,35	1,42	1,51
20	30	1,23	1,28	1,35	1,42	1,51	1,62	1,75	1,90

Kapitalzins p = 6 %/a									
Nutzungsdauer m, in [a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Anlagenteuerung s _a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	2,00	2,05
10	15	1,32	1,35	1,39	1,43	1,47	1,52	1,57	1,63
12	15	1,16	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28	1,32	1,36
12	20	1,37	1,41	1,47	1,52	1,59	1,66	1,74	1,83
15	20	1,18	1,21	1,24	1,28	1,33	1,38	1,43	1,50
15	25	1,32	1,37	1,43	1,49	1,57	1,66	1,76	1,87
15	30	1,42	1,48	1,56	1,65	1,75	1,87	2,00	2,15
20	25	1,11	1,14	1,17	1,21	1,25	1,30	1,37	1,44
20	30	1,20	1,24	1,30	1,36	1,44	1,53	1,64	1,77
Kapitalzins p = 7 %/a									
Nutzungsdauer m, in [a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Anlagenteuerung s _a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,71	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	2,00
10	15	1,30	1,33	1,36	1,40	1,44	1,48	1,53	1,58
12	15	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,30	1,33
12	20	1,33	1,38	1,42	1,48	1,53	1,60	1,67	1,75
15	20	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29	1,34	1,39	1,45
15	25	1,28	1,32	1,38	1,44	1,50	1,58	1,67	1,77
15	30	1,36	1,42	1,49	1,56	1,65	1,75	1,87	2,00
20	25	1,10	1,12	1,15	1,18	1,22	1,27	1,32	1,39
20	30	1,17	1,21	1,25	1,31	1,38	1,45	1,55	1,66
Kapitalzins p = 8 %/a									
Nutzungsdauer m, in [a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Anlagenteuerung s _a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,68	1,72	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95
10	15	1,28	1,30	1,34	1,37	1,41	1,45	1,49	1,54
12	15	1,14	1,15	1,17	1,19	1,22	1,24	1,27	1,31
12	20	1,30	1,34	1,38	1,43	1,48	1,54	1,61	1,68
15	20	1,15	1,17	1,20	1,23	1,26	1,31	1,35	1,41
15	25	1,25	1,29	1,33	1,39	1,45	1,51	1,59	1,68
15	30	1,32	1,37	1,42	1,49	1,57	1,66	1,76	1,87
20	25	1,09	1,11	1,13	1,16	1,19	1,23	1,28	1,34
20	30	1,15	1,18	1,22	1,26	1,32	1,39	1,47	1,57
Kapitalzins p = 9 %/a									
Nutzungsdauer m, in [a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Anlagenteuerung s _a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,65	1,68	1,72	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91
10	15	1,26	1,28	1,31	1,34	1,38	1,42	1,46	1,50
12	15	1,13	1,14	1,16	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28
12	20	1,27	1,31	1,35	1,39	1,44	1,49	1,55	1,62
15	20	1,13	1,15	1,18	1,21	1,24	1,28	1,32	1,37
15	25	1,22	1,25	1,29	1,34	1,39	1,45	1,52	1,60
15	30	1,27	1,32	1,37	1,43	1,49	1,57	1,66	1,76
20	25	1,08	1,09	1,11	1,14	1,17	1,20	1,24	1,29
20	30	1,13	1,15	1,19	1,23	1,27	1,33	1,40	1,49

Kapitalzins $p = 10 \text{ \%/a}$									
Nutzungsdauer m , in [a]	Betrachtungszeitraum n , in [a]	Anlagenteuerung s_a , in [%/a]							
		0	1	2	3	4	5	6	7
5	10	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,79	1,83	1,87
10	15	1,24	1,26	1,29	1,32	1,35	1,39	1,43	1,47
12	15	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26
12	20	1,25	1,28	1,32	1,36	1,40	1,45	1,50	1,56
15	20	1,12	1,14	1,16	1,19	1,21	1,25	1,29	1,33
15	25	1,19	1,22	1,26	1,30	1,35	1,40	1,46	1,53
15	30	1,24	1,28	1,32	1,37	1,43	1,50	1,57	1,66
20	25	1,07	1,08	1,10	1,12	1,15	1,18	1,21	1,26
20	30	1,11	1,13	1,16	1,19	1,24	1,28	1,34	1,42

Tabelle 2.2 Faktor für Nachinvestitionen $f_{p,s,m,n}$

3. Energiekosten

Die wichtigsten Eingangsgrößen zur Bestimmung der Energiekosten sind die Werte für den Jahresendenergieverbrauch Q_{End} , getrennt nach Energieträger. Sie können beispielsweise mit Hilfe einer Energiebilanz ermittelt sein. Weitere Eingangsgrößen sind die spezifischen Energiepreise k_e je nach Energieträger zum Zeitpunkt $t = 0$, also üblicherweise dem Zeitpunkt der Investition, sowie die mittlere Teuerungsrate der Energie m_e im Verlaufe des gewünschten Betrachtungszeitraumes. Die Teuerungsrate kann unterschiedlich für verschiedene Energieträger sein.

Die mittleren jährlichen Energiekosten $K_{e,m}$ werden für jeden Energieträger wie folgt bestimmt:

$$\begin{aligned} K_{e,m} &= Q_{\text{End}} \cdot k_{e,0} \cdot m_e \\ &= K_{e,0} \cdot m_e \end{aligned}$$

mit:

- $K_{e,m}$ durchschnittliche jährliche Energiekosten für den Energieträger, in [€/a]
- Q_{End} Jahresendenergie für diesen Energieträger, in [kWh/a]
- $k_{e,0}$ gegenwärtiger spezifischer Energiepreis für den Energieträger, in [€/kWh]
- m_e Mittelwert der Verteuerung der Energie, in [-]
- $K_{e,0}$ Energiekosten zum Zeitpunkt $t = 0$, in [€/a]

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist der Gesamtwert der durchschnittlichen jährlichen Energiekosten $K_{e,m}$ aller Energieträger relevant.

Die spezifischen Energiepreise k_e lassen sich auch mit Hilfe des Mittelwertes der Verteuerung m_e ineinander umrechnen:

$$k_{e,m} = k_{e,0} \cdot m_e$$

mit:

- $k_{e,m}$ mittlerer künftiger spezifischer Energiepreis, in [€/kWh]
- $k_{e,0}$ gegenwärtiger spezifischer Energiepreis, in [€/kWh]
- m_e Mittelwert der Verteuerung der Energie, in [-]

Der nun bereits mehrfach verwendete dimensionslose Faktor m_e ist ein Maß für die

Verteuerung der Energie über den Betrachtungszeitraum. Er wird von drei Faktoren bestimmt: der jährlichen Teuerungsrate der Energie s_e , der Länge des Betrachtungszeitraumes n und von der Höhe des Kalkulationszinssatzes p .

$$m_e = \frac{1+s_e}{p-s_e} \cdot \left(1 - \left(\frac{1+s_e}{1+p} \right)^n \right) \cdot a_{p,n} = \frac{1+s_e}{p-s_e} \cdot p \cdot \frac{(1+p)^n - (1+s_e)^n}{(1+p)^n - 1}$$

Verschiedene Mittelwertfaktoren können aus Tabelle 3.1 entnommen werden.

Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen m_e und m_u , in [-]											
Kapitalzins $p = 2\%/a$											
Betrachtungszeitraum n , in [a]	Preissteigerung s , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30	1,34
10	1,00	1,05	1,11	1,18	1,24	1,31	1,38	1,46	1,55	1,63	1,73
12	1,00	1,06	1,13	1,21	1,29	1,38	1,47	1,57	1,68	1,79	1,92
15	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,48	1,61	1,75	1,90	2,07	2,25
18	1,00	1,09	1,20	1,32	1,45	1,60	1,76	1,95	2,16	2,39	2,65
20	1,00	1,10	1,22	1,36	1,51	1,68	1,88	2,10	2,35	2,64	2,97
25	1,00	1,13	1,28	1,46	1,66	1,91	2,19	2,53	2,93	3,39	3,95
30	1,00	1,15	1,34	1,56	1,84	2,17	2,57	3,06	3,66	4,40	5,30
Kapitalzins $p = 3\%/a$											
Betrachtungszeitraum n , in [a]	Preissteigerung s , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,23	1,26	1,30	1,34
10	1,00	1,05	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,45	1,54	1,62	1,71
12	1,00	1,06	1,13	1,21	1,28	1,37	1,46	1,56	1,66	1,78	1,90
15	1,00	1,08	1,16	1,26	1,36	1,47	1,59	1,73	1,87	2,04	2,21
18	1,00	1,09	1,19	1,31	1,44	1,58	1,74	1,92	2,12	2,34	2,59
20	1,00	1,10	1,22	1,34	1,49	1,66	1,84	2,05	2,29	2,57	2,88
25	1,00	1,12	1,27	1,44	1,63	1,86	2,13	2,45	2,82	3,25	3,77
30	1,00	1,15	1,32	1,53	1,78	2,09	2,46	2,92	3,47	4,14	4,96
Kapitalzins $p = 4\%/a$											
Betrachtungszeitraum n , in [a]	Preissteigerung s , in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,30	1,33
10	1,00	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,37	1,45	1,53	1,61	1,70
12	1,00	1,06	1,13	1,20	1,28	1,36	1,45	1,55	1,65	1,76	1,88
15	1,00	1,08	1,16	1,25	1,35	1,46	1,58	1,71	1,85	2,00	2,18
18	1,00	1,09	1,19	1,30	1,42	1,56	1,71	1,88	2,07	2,29	2,53
20	1,00	1,10	1,21	1,33	1,47	1,63	1,81	2,01	2,24	2,50	2,79
25	1,00	1,12	1,26	1,41	1,60	1,82	2,07	2,37	2,71	3,12	3,60
30	1,00	1,14	1,30	1,50	1,73	2,02	2,36	2,78	3,28	3,90	4,64

Kapitalzins p = 5 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33
10	1,00	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,36	1,44	1,52	1,60	1,69
12	1,00	1,06	1,13	1,20	1,27	1,35	1,44	1,53	1,63	1,74	1,86
15	1,00	1,07	1,16	1,24	1,34	1,45	1,56	1,69	1,82	1,97	2,14
18	1,00	1,09	1,18	1,29	1,41	1,54	1,69	1,85	2,03	2,24	2,47
20	1,00	1,09	1,20	1,32	1,45	1,60	1,78	1,97	2,19	2,43	2,71
25	1,00	1,11	1,24	1,39	1,57	1,77	2,01	2,29	2,61	2,99	3,43
30	1,00	1,13	1,28	1,47	1,69	1,95	2,27	2,65	3,11	3,67	4,35
Kapitalzins p = 6 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33
10	1,00	1,05	1,11	1,16	1,23	1,29	1,36	1,43	1,51	1,59	1,68
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,27	1,35	1,43	1,52	1,62	1,72	1,84
15	1,00	1,07	1,15	1,24	1,33	1,43	1,54	1,67	1,80	1,94	2,10
18	1,00	1,08	1,18	1,28	1,39	1,52	1,66	1,82	1,99	2,19	2,41
20	1,00	1,09	1,19	1,31	1,44	1,58	1,74	1,93	2,13	2,37	2,63
25	1,00	1,11	1,23	1,38	1,54	1,73	1,96	2,21	2,52	2,87	3,28
30	1,00	1,12	1,27	1,44	1,64	1,89	2,18	2,53	2,95	3,46	4,07
Kapitalzins p = 7 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,25	1,29	1,33
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,29	1,35	1,42	1,50	1,58	1,66
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,51	1,61	1,71	1,82
15	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,42	1,53	1,65	1,78	1,92	2,07
18	1,00	1,08	1,17	1,27	1,38	1,50	1,64	1,79	1,96	2,14	2,35
20	1,00	1,09	1,19	1,30	1,42	1,56	1,71	1,89	2,08	2,31	2,56
25	1,00	1,10	1,22	1,36	1,51	1,69	1,90	2,15	2,43	2,75	3,13
30	1,00	1,12	1,25	1,41	1,60	1,83	2,10	2,42	2,80	3,26	3,82
Kapitalzins p = 8 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,29	1,32
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	1,42	1,49	1,57	1,65
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,33	1,41	1,50	1,59	1,69	1,80
15	1,00	1,07	1,14	1,22	1,31	1,41	1,51	1,63	1,75	1,89	2,04
18	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,49	1,62	1,76	1,92	2,10	2,30
20	1,00	1,08	1,18	1,29	1,40	1,54	1,68	1,85	2,04	2,25	2,48
25	1,00	1,10	1,21	1,34	1,49	1,66	1,85	2,08	2,34	2,65	3,00
30	1,00	1,11	1,24	1,39	1,57	1,77	2,02	2,31	2,66	3,08	3,59

Kapitalzins p = 9 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,29	1,32
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,21	1,28	1,34	1,41	1,48	1,56	1,64
12	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,33	1,40	1,49	1,58	1,68	1,78
15	1,00	1,07	1,14	1,22	1,30	1,40	1,50	1,61	1,73	1,86	2,00
18	1,00	1,08	1,16	1,25	1,36	1,47	1,59	1,73	1,89	2,06	2,24
20	1,00	1,08	1,17	1,27	1,39	1,51	1,66	1,81	1,99	2,19	2,41
25	1,00	1,09	1,20	1,32	1,46	1,62	1,81	2,02	2,26	2,55	2,87
30	1,00	1,10	1,22	1,37	1,53	1,72	1,95	2,22	2,54	2,92	3,37

Kapitalzins p = 10 %/a											
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,25	1,28	1,32
10	1,00	1,05	1,10	1,15	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47	1,55	1,63
12	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,48	1,57	1,66	1,76
15	1,00	1,07	1,14	1,21	1,30	1,39	1,49	1,59	1,71	1,83	1,97
18	1,00	1,07	1,16	1,24	1,34	1,45	1,57	1,71	1,85	2,01	2,19
20	1,00	1,08	1,17	1,26	1,37	1,49	1,63	1,78	1,95	2,14	2,35
25	1,00	1,09	1,19	1,31	1,44	1,59	1,76	1,96	2,19	2,45	2,75
30	1,00	1,10	1,21	1,34	1,50	1,68	1,89	2,13	2,42	2,77	3,18

Tabelle 3.1 Mittelwertfaktoren m_e und m_u für Preissteigerungen

4. Wartungs- und Unterhaltskosten

Die Kosten für Wartung und Unterhalt können aus Wartungsverträgen entnommen werden oder aufgrund von Herstellerangaben, Erfahrungswerten oder Richtlinien abgeschätzt werden. Dabei gibt es die Möglichkeit, die Wartungskosten als prozentualen Wert auf die Investition abzuschätzen, z.B. für statische Komponenten. Für bewegliche Komponenten oder Energieerzeuger (z.B. BHKW) können die Wartungskosten auch von den realen Betriebsdaten (erzeugte Kilowattstunden, Vollbenutzungsstunden pro Jahr, etc.) abhängig gemacht werden.

Zunächst werden die Kosten $K_{u,0}$ zu gegenwärtigen Preisen ermittelt. Mit Hilfe des Mittelwertfaktors für die Verteuerung m_u werden anschließend die mittleren jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten $K_{u,m}$ bestimmt.

$$K_{u,m} = K_{u,0} \cdot m_u$$

mit

$K_{u,m}$ mittlere jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten, in [€/a]

$K_{u,0}$ jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten bei gegenwärtigen Preisen, in [€/a]

m_u Mittelwertfaktor der Verteuerung der Wartungs- und Unterhaltskosten, in [-]

Für den Verteuerungsfaktor der Wartungs- und Unterhaltskosten wird derselbe Ansatz gewählt, der bereits für den Energiepreis erläutert wurde. Er hängt nun jedoch von der jährlichen Teuerungsrate der Wartungs- und Unterhaltskosten s_u , dem Kapitalzins p und der Länge des Betrachtungszeitraumes n ab.

$$m_u = \frac{1+s_u}{p-s_u} \cdot \left(1 - \left(\frac{1+s_u}{1+p} \right)^n \right) \cdot a_{p,n} = \frac{1+s_u}{p-s_u} \cdot p \cdot \frac{(1+p)^n - (1+s_u)^n}{(1+p)^n - 1}$$

Werte für m_u können Tabelle 3.1 entnommen werden.

5. Festlegung von Randbedingungen

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen, bei denen keine weiteren Randbedingungen bekannt sind, werden die im folgenden genannten Werte empfohlen.

- nominaler Kapitalzinssatz: $p = 6 \text{ %/a}$
- nominale Energiepreisverteuerung: $s_e = 6 \text{ %/a}$
- nominale Anlagenteuerung: $s_a = 2 \text{ %/a}$
- nominale Preissteigerung für Wartung und Unterhalt: $s_u = 2 \text{ %/a}$
- Mittelwert der Energiepreisverteuerung (bei $n = 25$ Jahre): $m_e = 2,0$
- Mittelwert der Energiepreisverteuerung (bei $n = 15$ Jahre): $m_e = 1,5$

Der nominale Kapitalzins kann ggf. noch differenzierter angegeben werden. Bei Eigenkapitalverzinsung gilt 3 %/a derzeit als sicherer Inflationsausgleich und deckt die derzeitige Normalverzinsung ab. Bei Fremdkapitalverzinsung sollte von einem üblichen Zinssatz, zur Zeit 6 %/a ausgegangen werden. Eine Bandbreite von $\pm 2 \text{ %/a}$ ist jedoch durchaus denkbar.

Die Energiepreissteigerung von nominal etwa 6 %/a entspricht einer realen Verteuerung von etwa 3 %/a - da real auch die Inflation wirksam ist. Diese Preissteigerung ist der Parameter mit den größten Unsicherheiten, beeinflusst durch die Politik der Bundesregierung und der Europäische Union sowie die internationale Preisgebung. Der angenommene Basiswert von 6 %/a und eine Spanne von $\pm 3 \text{ %/a}$ decken einen möglichen Bereich ab.

Für die Abschätzung von jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten sowie üblicher Nutzungsdauern kann Tabelle 5.1 herangezogen werden.

	jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten in Prozent des Anlagenwertes, in [%/a]	Nutzungsdauern, in [a]
zusätzliche Wärmedämmung	1,0	25-30
Fenster	1,5	15-30
Lamellenstoren und Rollläden	4,0	15-20
Wärmeerzeugung (Kessel, Brenner, Kamin etc.) und Kälteerzeugung <300 kW _{thermisch}	3,5	15
Wärmeerzeugung (Kessel, Brenner, Kamin etc.) und Kälteerzeugung >300 kW _{thermisch}	3,0	15
Wärmepumpe Elektromotor <300 kW _{thermisch}	4,0	10
Wärmepumpe Elektromotor >300 kW _{thermisch}	4,0	15
Wärmepumpe Dieselmotor > 50 kW _{thermisch}	4,0	10
Wärmepumpe Gasmotor >50 kW _{thermisch}	4,0	10
Sonnenkollektoren	3,0	15
Blockheizkraftwerk >100 kW _{elektrisch}	6,0	15
Blockheizkraftwerk >500 kW _{elektrisch}	4,0	15
Heizzentralen > 1 MW _{thermisch} , Elektrik, Mechanik	1,5	25
Heizzentralen > 1 MW _{thermisch} , Bau	1,0	50
Wärmeübertrager für Wärmerückgewinnung	3,0	15
Wärmeübertrager mit geschlossenem Wasserkreislauf	4,0	15
rotierender Wärmeübertrager	5,0	15
Regelungen	3,0	10
Thermostatische Heizkörperventile	3,0	15
Heizkörper und Wärmeverteilung	1,5	25
Fußbodenheizung	1,5	30
Fernwärmeverteilungen	2,0	30
Lüftungsanlagen	3,5	15
Klimaanlagen, Niederdruckanlagen Innenzone und Zweikanalanlagen	4,0	15
Klimaanlagen, Fan-Coil-System und Systeme mit variablem Volumenstrom	5,0	15
Beleuchtungsanlagen	1,5	15
übrige technische Anlagen	1,5	15
übrige bauliche Anlagen	1,0	30

Tabelle 5.1 Annahmen für Nutzungsdauern m und Wartungs- und Unterhaltskosten

6. Äquivalenter Energiepreis

Der äquivalente Energiepreis ist ein nützliches Instrument, wenn Sanierungsmaßnahmen in Bezug auf einen ursprünglichen Zustand bewertet werden sollen.

Die gesamten Jahreskosten K_S ergeben sich wie oben aus den Kapitalkosten K_a , den durchschnittlichen jährlichen Energiekosten $K_{e,m}$ sowie den Wartungs- und den Unterhaltskosten $K_{u,m}$.

$$\begin{aligned}
 K_S &= K_i + K_{e,m} + K_{u,m} \\
 &= a_{p,n} \cdot I + k_{e,m} \cdot E_S + Z
 \end{aligned}$$

mit:

K_S durchschnittliche Jahreskosten nach der Sparmaßnahme, in [€/a]

$a_{p,n}$ Annuitätsfaktor, in [1/a]

I Investitionskosten für die Sparmaßnahme, in [€]
(in der Regel Mehrkosten gegenüber normaler Instandsetzung)

$k_{e,m}$ Preis für die Energieeinheit im Durchschnitt über die Nutzungsdauer, in [€/kWh]

E_S jährlicher Energieverbrauch nach Durchführung der Maßnahme, in [kWh/a]
 Z eventuelle jährliche Zusatzkosten durch Wartung und Unterhalt, in [€/a]

Ohne die Energiesparmaßnahme bestehen die Jahreskosten nur aus den Energiekosten:

$$K_O = k_{e,m} \cdot E_O$$

mit:

K_O durchschnittliche Jahreskosten ohne Maßnahmen, in [€/a]

$k_{e,m}$ Preis für die Energieeinheit im Durchschnitt über die Nutzungsdauer, in [€/kWh]

E_O jährlicher Energieverbrauch ohne Maßnahmen, in [kWh/a]

Eine Maßnahme ist immer dann wirtschaftlich, wenn Kosten eingespart werden können, also $K_S < K_O$ gilt. Diese Ungleichung kann mit Hilfe der beiden Gleichungen für die Kosten mit und ohne Sparmaßnahme K_S und K_O umgeformt werden:

$$k_{e,m} > k_{EIN} > \frac{a_{p,n} \cdot I + Z}{E_O - E_S}$$

Die eingesparten Energiekosten sind $E_O - E_S$. Der Wert k_{EIN} ist der äquivalente Energiepreis, der in €/kWh berechnet wird. Die Einsparmaßnahme ist nur wirtschaftlich, wenn der äquivalente Energiepreis geringer ist als der mittlere künftige Energiepreis $k_{e,m}$.

Bei der Bestimmung des äquivalenten Energiepreises k_{EIN} geht keine Annahme über die künftige Energiepreisentwicklung ein. Daher ist der "Preis pro eingesparte Kilowattstunde" ein relativ verlässlicher Wert - verglichen mit den Jahreskosten K_a oder dem Kapitalwert K_0 . Die Unsicherheit steckt bei dieser Betrachtung ausschließlich in dem gewählten Wirtschaftlichkeitskriterium $k_{e,m}$. Es kann die Aussage gemacht werden, bis zu welchem mittleren jährlichen Energiepreis $k_{e,m}$ die Energieeinsparmaßnahme wirtschaftlich ist.

Der äquivalente Energiepreis bietet zudem die Möglichkeit, die Wirtschaftlichkeit verschiedener Maßnahmen - zum Beispiel baulicher oder anlagentechnischer Art - miteinander zu vergleichen.

Quelle: Jagnow, Horschler, Wolff;
Die neue Energieeinsparverordnung 2002;
Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002

Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung;
Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit;
Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999