



Goblet Lavandier & Associés

Ingénieurs Conseils S.A.

Department of Energy and Building Physics

Kennwerte zur endenergetischen Bewertung von baulichen und technischen Modernisierungsmaßnahmen

Unterstützung bei der Ausarbeitung von Standardmaßnahmen gemäß dem Dokument "Liste d'opérations standardisées; Document de travail préliminaire" zur Umsetzung der Umsetzung der Richtlinie 2012/27/EU

Bewertete Energiekennwerte

– Vorläufiger Endbericht –

Auftraggeber	myenergy
Bearbeitung	Markus Lichtmeß Sven Viktor
Datum	27. November 2014
Version	1.5

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Bestimmung von Energieeinsparungen bei der Verbesserung im Wärmeschutz	4
2.1	Festlegung des Ausgangszustandes.....	4
2.1.1	Festlegung der Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse eines Gebäudes	4
2.1.2	Festlegung der Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse eines Bauteils.....	5
2.2	Bauteilfläche und Maßnahme	5
2.3	Endenergieeinsparung bei Modernisierung	7
2.3.1	Endenergieeinsparung bei Bauteilmodernisierung	8
2.3.2	Endenergieeinsparung bei Lüftungsanlagen.....	8
3	Bestimmung von Energieeinsparungen bei der Wärmeerzeugung	10
3.1	Bestimmung des Heizwärmebedarfs	10
3.1.1	Energiepass vorhanden.....	10
3.1.2	Energiepass nicht vorhanden	11
3.2	Endenergieeinsparung bei Erzeugerwechsel.....	11
3.3	Randbedingungen	12
4	Bestimmung von Energieeinsparungen durch Dämmung von Verteilleitungen	14
4.1	Bewertete Endenergieeinsparung bei nachträglicher Dämmung.....	14
4.1.1	Heizungsverteilleitungen	15
4.1.2	Trinkwarmwasserverteilleitungen	17
4.2	Randbedingungen	17
5	Bestimmung von Energieeinsparungen bei einem Pumpenaustausch.....	18
5.1	Bewertete Endenergieeinsparung beim Pumpenaustausch	18
5.2	Randbedingungen	19
5.3	Beschreibung des Verfahrens (Informativ).....	20
5.3.1	Abschätzung des Heizleistungsbedarf	20
5.3.2	Abschätzung des Pumpenleistungsbedarfs	21
5.3.3	Abschätzung der Pumpenlaufzeit	23
6	Bestimmung von Energieeinsparungen solarthermischer Anlagen	25
6.1	Spezifische bewertete Endenergieeinsparung einer Solaranlage.....	25
6.2	Randbedingungen	26
6.3	Beschreibung des Verfahrens (informativ).....	26
7	Literaturverzeichnis	28

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2012/27/EU [1] werden auch Energieversorger in die Verpflichtung genommen Endenergieeinsparungen zu realisieren. *myenergy* begleitet die verantwortlichen Ministerien¹ bei der konzeptuellen Einbettung und Umsetzung dieser Richtlinie in Luxemburg. Diesbezüglich sollen von einem Energieversorger induzierte Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebereich angerechnet werden können. Das vorliegende Dokument beschäftigt sich mit der endenergetischen Bewertung von ausgewählten Maßnahmen, die auf dem Dokument "Liste d'opérations standardisées; Document de travail préliminaire" [2] fußen. Das betrifft im Einzelnen die folgenden Themen:

Bestimmung von Endenergiekennwerten zu Modernisierungsmaßnahmen für Wohn- und Nichtwohngebäude die folgenden Bauteile der Gebäudehülle:

- Fenster,
- Dach und Geschossdecke,
- Außenwände,
- Kellerdecke.

Bestimmung von Energiekennwerten, bzw. -einsparpotentiale für folgende technischen Systeme:

- Brennkessel,
- Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung und/oder Heizungsunterstützung,
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Erdwärme und Luft,
- Effiziente Pumpen (Heizkreis-, Zirkulations- und Ladepumpen),
- Kontrollierte mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

Gemäß der Arbeitssitzung am 06.06.2014 und 11.06.2014 wurden folgende Punkte festgelegt:

- Einsparungen im Bereich der Klimatisierung werden nicht einbezogen und sind Bestandteil der ingenieurmäßigen Bewertung.
- Hilfsenergieeinsparungen im Bereich der Trinkwarmwasserzirkulation werden nicht separat berücksichtigt.
- Speicherverluste bzw. die Dämmung von Pufferspeichern wird nicht bewertet.
- Energieeinsparungen bzw. -kennwerte im Bereich von Verteilleitungen werden nur für den unbeheizten Bereich angegeben.

Die ausgearbeiteten Tabellen zeigen einen möglichst vollständigen Überblick zu den jeweiligen Energiekennwerten. Für die praktische Umsetzung und Nutzung kann und sollte der Umfang einzelner Tabellen in Abstimmung mit den Standardmaßnahmen begrenzt werden. Der Gebäudenutzwärmebedarf wurde mittels einer Bedarfs- und Verbrauchskorrektur auf praktischere Werte angepasst[3], [4], [5], [6], [7].

Anmerkung

Die bewerteten Endenergiekennwerte wurden nach bestem Ermessen bestimmt. Aufgrund des vorgegebenen und knapp bemessenen Bearbeitungszeitraumes sowie der nicht vollständig vorliegenden nationalen Umsetzungsstrategie zur Richtlinie 2012/27/EU ist die Detailtiefe beschränkt.

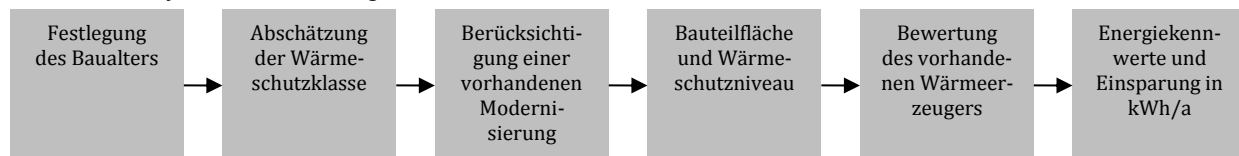
¹ Verantwortlich für die Umsetzung zeichnet das Wirtschaftsministerium Luxemburg (Ministère de l'Economie).

2 Bestimmung von Energieeinsparungen bei der Verbesserung im Wärmeschutz

Die mögliche bewertete Energieeinsparung bei der Modernisierung eines Bauteils der thermischen Gebäudehülle ist vom Ursprungszustand des Bauteils, vom angestrebten Niveau der Modernisierungsmaßnahme, vom allgemeinen Wärmeschutz des Gebäudes und vom vorhandenen Wärmeerzeuger abhängig. Zur vereinfachten Bewertung einer baulichen Modernisierungsmaßnahme sind die folgenden Eingangsparameter zu erfassen und zu bewerten.

- Bauteilfläche
- Energiebezugsfläche
- Bereits durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen
- Baualter des Gebäudes bzw. des zu modernisierenden Bauteils
- Art und Typ des vorhandenen Wärmeerzeugers

Tabelle 1: Ablauf bei der Bestimmung des Kennwerts



2.1 Festlegung des Ausgangszustandes

Der Istzustand eines Gebäudes ist eine Basisgröße für die Bestimmung möglicher Energieeinsparungen. Für die *gebäudeweite* energetische Bewertung ist die Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse des Gesamtgebäudes relevant. Für auf *ein Bauteil* bezogene energetische Bewertungen ist die Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse des Bauteils maßgebend.

2.1.1 Festlegung der Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse eines Gebäudes

Der energetische Zustand des Gebäudes bezieht sich auf das Gesamtwärmeschutzniveau und entspricht beim Vorhandensein eines Energiepasses der dort ausgewiesenen Wärmeschutzklasse. Liegt kein Energiepass vor, kann der energetische Zustand des Gebäudes vereinfacht nach Tabelle 2 über das Baualter abgeschätzt werden [4], [8], [9]. Im Fall einer bereits durchgeführten Teilmodernisierung muss die Wärmeschutzklasse neu eingeordnet werden. Liegen keine Informationen bezüglich des Umfangs und der Details der Modernisierungsmaßnahmen vor, kann vereinfacht die Wärmeschutzklasse der letzten Spalte der Tabelle 2 genutzt werden.

Tabelle 2: Einordnung des Gebäudes in eine Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse

Baualtersklasse	Wärmeschutzklasse des Gebäudes		Wärmeschutzklasse des Gebäudes bei Teilmodernisierung
Passivhaus	A	→	A
Niedrigenergiehaus	B	→	B
ab 2011 Energiesparhaus	C	→	C
2007 bis 2010	D	→	D
1995 bis 2007	E	→	D
1984 bis 1994	F	→	D
1973 bis 1983	G	→	E
1962 bis 1972	H	→	F
bis 1962	I	→	G

2.1.2 Festlegung der Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse eines Bauteils

Soll die Modernisierung eines Bauteils bewertet werden (z. B. Dämmung der Fassade), ist neben der anzubringenden Dämmung auch der Istzustand maßgebend zur Bestimmung der möglichen Energieeinsparungen. Liegt ein Energiepass vor, so kann der vorhandene U-Wert des zu modernisierenden Bauteils daraus abgeleitet werden und in Abhängigkeit von Tabelle 3 einer Wärmeschutzklasse zugeordnet werden. Liegt kein Energiepass vor, kann die Einschätzung vereinfacht in Abhängigkeit der Baualtersklasse nach Tabelle 3 erfolgen [4], [8], [9].

Tabelle 3: Einordnung eines Bauteils in eine Baualters- bzw. Wärmeschutzklasse

Baualtersklasse	Wärmeschutz- klasse des Bauteils	Baualterstypischer U-Wert der Konstruktion				
		Wand	Dach	Boden	Fenster	Haustür
Passivhaus	A	0,12	0,10	0,15	0,78	1,00
Niedrigenergiehaus	B	0,17	0,13	0,22	0,92	1,20
ab 2011 Energiesparhaus	C	0,23	0,17	0,28	1,12	1,40
2007 bis 2010	D	0,27	0,21	0,34	1,36	1,60
1995 bis 2007	E	0,45	0,30	0,50	1,90	2,50
1984 bis 1994	F	0,60	0,40	0,60	2,30	2,71
1973 bis 1983	G	0,90	0,65	0,90	2,70	3,00
1962 bis 1972	H	1,10	1,23	1,00	3,20	3,25
bis 1962	I	1,70	1,95	1,08	5,00	3,50

2.2 Bauteilfläche und Maßnahme

Die mögliche Energieeinsparung durch die energetische Modernisierung eines Bauteils hängt im Wesentlichen vom vorhandenen Wärmeschutzniveau des Bauteils ab. In den folgenden Tabellen werden die Differenzen im Energiebedarf durch Realisierung einer Maßnahme bezogen auf den Nutzwärmebedarf angegeben, der vom Wärmeerzeuger erbracht werden muss (Erzeugernutzwärmeabgabe). Darin enthalten sind, neben dem Anteil der Transmissionsverluste, übliche Verteil- und Übergabeverluste, jedoch nicht die Anlagenaufwandszahl des Erzeugers². Die dargestellten Kennwerte sind mit dem vorhandenen Energieerzeuger endenergetisch zu bewerten. Die Kenngrößen zum Wärmeschutz eines Bauteils für die Klassen A bis D orientieren sich an denen von *PRIME House* [10] und entsprechen den dort definierten Effizienzstandards ESI bis ESIV [4]. Bei den Lüftungsanlagen entsprechen die Standards A und B den in den Tabellen angegebenen Wärmerückgewinnungsgrad und bei der Infiltration der Gebäudeluftdichtheit n_{50} .

Tabelle 4: Nutzenergiekennwerte bei Bauteilmodernisierung – Außenwand in $kWh/(m^2_{\text{Bauteilfläche}} \cdot a)$

Wärmeschutz Bauteil	Wärmeschutz Bauteil								
	A/ESIV	B/ESIII	C/ESII	D/ESI	E	F	G	H	I
A	0,0	-3,5	-7,7	-10,6	-23,5	-34,5	-57,3	-72,7	-120,5
B	3,6	0,0	-4,3	-7,2	-20,4	-31,6	-54,5	-70,0	-118,6
C	8,0	4,4	0,0	-2,9	-16,4	-28,0	-51,9	-68,1	-117,8
D	11,1	7,5	3,0	0,0	-13,8	-25,6	-49,7	-66,0	-115,6
E	26,0	22,1	17,5	14,3	0,0	-12,1	-36,6	-53,1	-103,1
F	39,1	35,1	30,2	27,0	12,3	0,0	-24,9	-41,5	-91,8
G	62,5	58,5	53,8	50,7	36,3	24,3	0,0	-16,3	-65,6
H	80,0	76,0	71,2	67,9	53,3	41,1	16,5	0,0	-49,5
I	129,2	125,1	120,2	117,0	102,3	90,1	65,5	49,2	0,0

² Die Verteil- und Übergabeverluste werden pauschal mit einem nutzerenergetischen Aufschlag von 1,18 berücksichtigt.

Tabelle 5: Nutzenergiekennwerte bei Bauteilmodernisierung – Dach in kWh/(m²_{Bauteilfläche} · a)

Wärmeschutz Bauteil	Wärmeschutz Bauteil								
	A/ESIV	B/ESIII	C/ESII	D/ESI	E	F	G	H	I
A	0,0	-2,1	-4,8	-7,6	-14,0	-21,0	-38,9	-81,2	-136,9
B	2,2	0,0	-2,9	-5,8	-12,3	-19,5	-37,8	-81,2	-137,6
C	5,1	2,9	0,0	-2,9	-9,5	-16,9	-35,8	-80,7	-138,9
D	8,3	6,0	3,0	0,0	-6,8	-14,5	-33,9	-79,4	-138,1
E	16,0	13,6	10,4	7,2	0,0	-8,0	-28,2	-75,2	-135,0
F	24,7	22,2	18,9	15,6	8,2	0,0	-20,6	-68,4	-128,8
G	44,6	42,2	38,9	35,7	28,4	20,3	0,0	-46,9	-106,4
H	92,4	90,0	86,7	83,4	76,0	67,8	47,3	0,0	-59,8
I	151,7	149,3	146,0	142,7	135,3	127,1	106,6	59,5	0,0

Tabelle 6: Nutzenergiekennwerte bei Bauteilmodernisierung – Boden in kWh/(m²_{Bauteilfläche} · a)

Wärmeschutz Bauteil	Wärmeschutz Bauteil								
	A/ESIV	B/ESIII	C/ESII	D/ESI	E	F	G	H	I
A	0,0	-3,5	-6,6	-9,6	-15,1	-19,7	-28,3	-32,4	-35,8
B	3,7	0,0	-3,2	-6,3	-11,9	-16,5	-25,5	-29,6	-33,1
C	6,8	3,2	0,0	-3,2	-8,8	-13,6	-22,7	-27,0	-30,6
D	10,4	6,6	3,3	0,0	-5,8	-10,8	-20,2	-24,6	-28,3
E	17,2	13,1	9,6	6,1	0,0	-5,2	-15,1	-19,7	-23,6
F	23,1	18,9	15,3	11,7	5,4	0,0	-10,1	-14,9	-18,8
G	32,8	28,6	25,1	21,5	15,3	10,0	0,0	-4,6	-8,5
H	37,9	33,7	30,1	26,5	20,2	14,8	4,7	0,0	-3,9
I	41,7	37,5	33,9	30,3	24,0	18,7	8,6	3,9	0,0

Tabelle 7: Nutzenergiekennwerte bei Bauteilmodernisierung – Fenster in kWh/(m²_{Bauteilfläche} · a). Zwischenwerte zu den Effizienzstandards ESIV und ESI können linear interpoliert werden. Die der Berechnung zugrundeliegenden U-Werte sind in Tabelle 3 angegeben.

Wärmeschutz Bauteil	Wärmeschutz Bauteil								
	A/ESIV	B/ESI	C	D	E	F	G	H	I
A	0,0	-9,4	-19,6	-32,5	-71,8	-101,1	-116,2	-152,3	-266,9
B	9,8	0,0	-10,3	-23,3	-62,3	-91,0	-106,3	-141,5	-256,9
C	19,6	9,6	0,0	-12,4	-52,0	-82,5	-93,4	-130,5	-250,4
D	31,1	20,6	11,8	0,0	-41,5	-72,9	-81,4	-119,7	-240,5
E	72,5	61,7	53,9	42,9	0,0	-32,3	-37,8	-77,2	-198,2
F	104,9	93,7	86,9	76,8	32,9	0,0	-2,8	-42,9	-163,8
G	103,2	91,9	86,3	77,4	32,6	-0,7	0,0	-40,8	-160,8
H	140,0	128,6	124,0	116,1	71,0	37,6	41,1	0,0	-118,6
I	249,1	237,7	234,7	228,2	183,0	149,5	157,2	115,9	0,0

Vergleicht man die relativ geringen Unterschiede bei der möglichen Energieeinsparung in Tabelle 8 können diese zur Vereinfachung zusammengefasst werden. Unter der Voraussetzung eines gleichen Luftwechsels bei Fensterlüftung und mechanischer Lüftung (gleiche hygienische Luftqualitätsbedingungen) kann eine durchschnittliche Energieeinsparung von rd. 20 kWh/(m²_{An}·a) für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von 85% und rd. 19 kWh/(m²_{An}·a) bei einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % angesetzt werden. Die in Tabelle 8 angegebenen Energiekennwerte sind auf die Energiebezugsfläche A_n bezogen. Im Rechenmodell liegt ein Luftwechsel von 1 m³/h je m² Wohnfläche zugrunde. Demnach kann die Energieeinsparung auch auf den

Anlagenvolumenstrom mit $19 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{a})$ bezogen werden. Bei Nichtwohngebäuden ist i. d. R. nur der projektierte Anlagenvolumenstrom bekannt. Unter der Voraussetzung einer gleichwertigen Wärmerückgewinnung kann die jeweilige volumenstrombezogene Einsparung für Nichtwohngebäude genutzt werden.

Tabelle 8: Nutzenergiekennwerte bei Modernisierung – Lüftung in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{An}}\cdot\text{a})$ für Wohn- bzw. $\text{kWh}/(\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{a})$ für Nichtwohngebäude. Die Prozentangaben hinter den Wärmeschutzklassen entsprechen dem Wärmebereitstellungsgrad des Wärmerückgewinnungssystems.

Wärmeschutz Gebäude	Wärmeschutz Gebäude für Lüftung								
	A/85%	B/80%	C	D	E	F	G	H	I
A	0,0	-1,0	-18,3	-18,3	-18,3	-18,3	-18,3	-18,3	-18,3
B	1,1	0,0	-17,3	-17,3	-17,3	-17,3	-17,3	-17,3	-17,3
C	18,4	17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D	18,6	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E	19,8	18,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F	20,6	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G	20,4	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H	20,7	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I	20,7	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Die Infiltrationsverluste werden durch luftdichte Bauweise erzielt und die dadurch erzielte Energieeinsparung hängt im Wesentlichen vom Umfang der Modernisierungsmaßnahmen ab und ist nur im Falle einer umfangreichen Modernisierung anrechenbar. Im Rahmen der Berücksichtigung von Einzelmaßnahmen ist eine Verbesserung nur schwer voraussagbar und wird für die Anrechnung von Modernisierungsmaßnahmen im vorliegenden Kontext nicht empfohlen.

Tabelle 9: Nutzenergiekennwerte bei Bauteilmodernisierung – Infiltration in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{An}}\cdot\text{a})$. Die Kennziffern hinter den Wärmeschutzklassen entsprechen dem hinterlegten Luftdichtheitswert n_{50} .

Wärmeschutz Gebäude	Wärmeschutz Gebäude für Gebäudedichtheit								
	A/0,6	B/1,0	C/1,5	D/3,0	E/3,0	F/4,0	G/4,0	H/4,0	I/4,0
A	0,0	-1,7	-3,8	-10,2	-10,2	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6
B	1,7	0,0	-2,2	-8,6	-8,6	-12,9	-12,9	-12,9	-12,9
C	3,9	2,2	0,0	-6,6	-6,6	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1
D	10,5	8,8	6,6	0,0	0,0	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5
E	11,3	9,5	7,1	0,0	0,0	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
F	16,5	14,6	12,2	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
G	16,4	14,4	12,0	4,8	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0
H	16,6	14,7	12,2	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
I	16,6	14,6	12,2	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0

2.3 Endenergieeinsparung bei Modernisierung

Die spezifische thermische Energieeinsparung muss mit der jeweiligen Bezugsgröße verrechnet werden. Im Falle der Modernisierung eines Bauteils ist das die modernisierte Bauteilfläche und bei der Lüftung der Anlagenvolumenstrom bzw. die Energiebezugsfläche bei Wohngebäuden. Die thermische Energieeinsparung berechnet sich mit folgender Gleichung.

$$Q_h = q_{h,i} \cdot A_i \text{ bzw. } V_i \quad \text{kWh/a}$$

wobei

Q_h kWh/a

$q_{h,i}$ $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ bzw. $\text{kWh}/(\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{a})$

A_i m^2

V_i m^3/h

Energieeinsparung in kWh/a

Spezifische Energieeinsparung für ein Bauteil/Kenngröße i

Bezugsgröße i mit A_{BT} Bauteilfläche, A_n Energiebezugsfläche

Bezugsgröße i mit V_i Volumenstrom der RLТ-Anlage

2.3.1 Endenergieeinsparung bei Bauteilmodernisierung

Die endenergetische Bewertung einer baulichen Modernisierungsmaßnahme erfolgt durch Einbeziehung des Wärmeerzeugers nach Tabelle 10 gemäß folgender Formel in Anlehnung an [11].

$$Q_{e,h} = Q_h \cdot e_h \cdot f_e \quad \text{kWh/a}$$

wobei

$Q_{e,h}$	kWh/a	Bewertete Endenergieeinsparung
e_h	-	Anlagenaufwandszahl des Erzeugers für den Heizbetrieb nach Tabelle 10
f_e	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor des Erzeugers nach Tabelle 10

Tabelle 10: Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für unterschiedliche Wärmeerzeuger, angelehnt an [11].

Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Anlagensysteme	Heizung e_h	Warmwasserbereitung e_{ww}	Endenergiefaktor f_e
Brennwertkessel (Heizkörper)	$1,01 \leq 1,094 \cdot A_n^{-0,00922} \leq 1,05$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Brennwertkessel (Flächenheizung)	$0,98 \leq 1,019 \cdot A_n^{-0,00463} \leq 1,00$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Heizkörper)	0,27	0,27	2,50
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Flächenheizung)	0,23	0,27	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Heizkörper)	0,37	0,37	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Flächenheizung)	0,30	0,37	2,50
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Pelletsheizung	1,48	1,48	1,00
Pelletsheizung indirekte Wärmeabgabe	1,38	1,38	1,00
Nah- und Fernwärme	1,01	1,14	1,00
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Konstanttemperaturkessel	$1,13 \leq 1,633 \cdot A_n^{-0,04282} \leq 1,38$	$1,17 \leq 2,732 \cdot A_n^{-0,09709} \leq 1,82$	1,00
Niedertemperaturkessel	$1,08 \leq 1,209 \cdot A_n^{-0,01283} \leq 1,15$	$1,10 \leq 1,313 \cdot A_n^{-0,02007} \leq 1,21$	1,00
Stückholzkessel	1,75	1,75	1,00

2.3.2 Endenergieeinsparung bei Lüftungsanlagen

Die thermisch motivierte Energieeinsparung ist um den zusätzlichen Strombedarf für die Ventilatoren zu bereinigen. Dabei ist aufgrund unterschiedlich hoher Strombedarfe zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden zu unterscheiden. Hierbei ist darauf zu achten, dass der anrechenbare Volumenstrom nicht über dem hygienisch erforderlichen liegt. Bei Wohngebäuden liegt der Luftwechsel etwa bei $0,3 \text{ h}^{-1}$; bei Nichtwohngebäuden liegen die üblichen Luftwechsel im Bereich zwischen $0,5$ und 2 h^{-1} bezogen auf das Gebäuderaumluftvolumen. Die endenergetische Bewertung einer Modernisierungsmaßnahme erfolgt durch Einbeziehung des Wärmeerzeugers nach Tabelle 10 gemäß folgender Formel.

$$Q_{e,h} = Q_h \cdot e_h \cdot f_e - q_l \cdot V_i \quad \text{kWh/a}$$

wobei

$Q_{e,h}$	kWh/a	Bewertete Endenergieeinsparung
e_h	-	Anlagenaufwandszahl des Erzeugers für den Heizbetrieb nach Tabelle 10
f_e	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor des Erzeugers nach Tabelle 10
V_i	m^3/h	Volumenstrom der RLT-Anlage
q_l	$\text{kWh}/(\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{a})$	Bewerteter spezifischer Endenergiebedarf der Ventilatoren nach Tabelle 11

Tabelle 11: Bewerteter spezifischer Endenergiebedarf für Ventilatoren

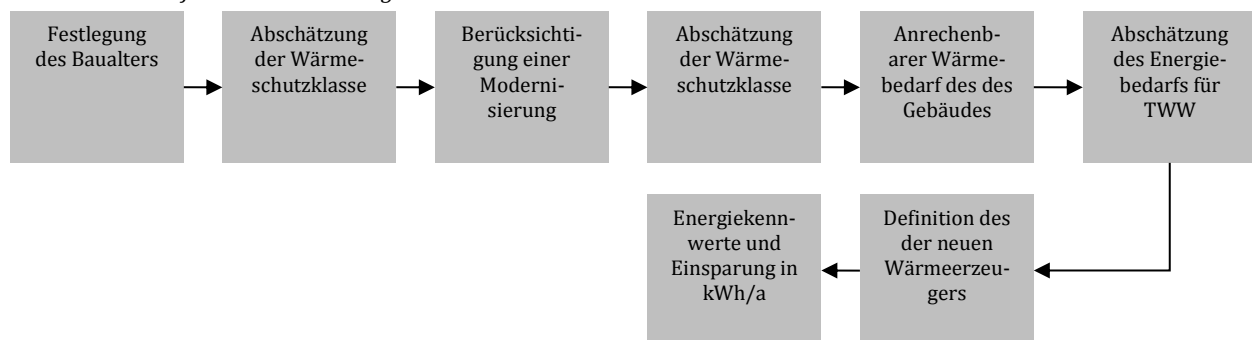
Bereich	Symbol	Einheit	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Betriebszeit	t_{RLT}	h/a	4.440	3.250
Spezifische Leistungsaufnahme	SFP	kW/(m ³ /s)	1,62	2,66
Spezifischer Strombedarf	q_{el}	kWh/(m ³ /h·a)	2,0	2,4
Endenergetischer Bewertungsfaktor	f_e	-	2,5	2,5
Bewerteter spez. Endenergiebedarf	q_i	kWh/(m ³ /h·a)	5,0	6,0

3 Bestimmung von Energieeinsparungen bei der Wärmeerzeugung

Die mögliche endenergiebewertete Energieeinsparung beim Austausch eines Wärmeerzeugers setzt sich üblich aus dem Effizienzunterschied der Erzeuger und dem Energiebedarf für Heizen und zur Trinkwarmwassererwärmung zusammen. Zur Bestimmung der möglichen Einsparung sind folgende Eingabedaten erforderlich.

- Energiebezugsfläche des Gebäudes
- Baualter bzw. Einschätzung der Wärmeschutzklasse
- Bereits durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen
- Typischer Energiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung
- Art und Typ des neuen Wärmeerzeugers

Tabelle 12: Ablauf bei der Bestimmung des Kennwerts



Die Bewertung erfolgt auf der Ebene der Endenergie. Wird im Rahmen der Modernisierung auch der Energieträger gewechselt, kann die Netto-Endenergieeinsparung nicht als Bewertungsgröße herangezogen werden, da die Erzeugungskette nicht einbezogen wird. Für die Anrechnung werden Endenergiebewertungsfaktoren eingeführt. Sie entsprechen von der Systematik etwa dem Primärenergiefaktoren (erneuerbar + nicht-erneuerbar) und sind in Tabelle 10 angegeben [11].

3.1 Bestimmung des Heizwärmebedarfs

Für die Bewertung der Energieeinsparung durch Erneuerung des Wärmeerzeugers ist die Kenntnis des Gebäude-Heizwärmebedarfs erforderlich.

3.1.1 Energiepass vorhanden

Liegt ein Energiepass vor, sind die dort ausgewiesene Wärmeschutzklasse und die Energiebezugsfläche A_n als Bewertungsbasis heranzuziehen. Der anrechenbare spezifische Wärmebedarf $q_{h,n}$ kann über folgende Gleichung für unterschiedliche große Gebäude und unter Anwendung von Tabelle 13 approximiert werden.

$$q_{h,n} = a_0 \cdot A_n^{a_{0,1}} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

wobei

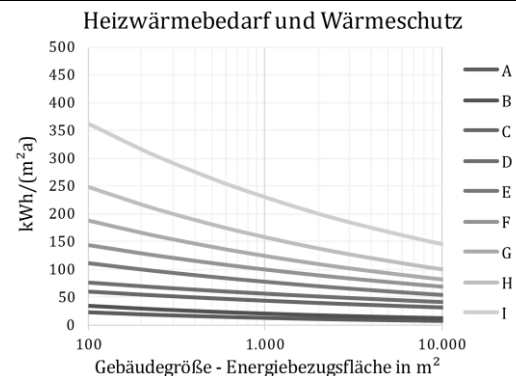
$q_{h,n}$	kWh/(m ² a)	Anrechenbarer spezifischer Wärmebedarf
$a_{0,1}$	-	Gleichungsparameter
A_n	m ²	Energiebezugsfläche des Gebäude

Es ist nicht zulässig den spezifischen Heizwärmebedarf q_h aus dem Energiepass zu verwenden, da dieser für den eindeutigen Vergleich unterschiedlicher Gebäude mit festgelegten Nutzungsrandbedingungen bestimmt wird und – verglichen mit realen Verbräuchen – insbesondere bei bestehenden Gebäuden oft zu hoch ausgewiesen wird, da diese z. B. nicht voll beheizt sind. Die

Parameter für a_0 und a_1 sind entsprechend der im Energiepass angegebenen Wärmeschutzklasse aus Tabelle 13 zu entnehmen.

Tabelle 13: Parameter zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs für Wohn- und Nichtwohngebäude

Wärmeschutz Gebäude	Parameter	
	a_0	a_1
A	78,49	-0,2686
B	103,87	-0,2345
C	112,67	-0,1345
D	137,11	-0,1285
E	221,83	-0,1519
F	292,89	-0,1557
G	431,52	-0,1802
H	613,47	-0,1964
I	898,49	-0,1969



3.1.2 Energiepass nicht vorhanden

Wenn kein Energiepass vorliegt, kann der anrechenbare spezifischer Wärmebedarf gemäß folgender Vereinfachung abgeschätzt werden.

$$q_{h,n} = a_0 \cdot A_n^{a_1} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Die Parameter für a_0 und a_1 sind entsprechend der Baualtersklasse nach Tabelle 3 zu bestimmen. Liegt die Energiebezugsfläche nicht vor, so kann sie vereinfacht aus der Bruttofläche ermittelt werden.

$$A_n = A_{\text{BGF}} \cdot 0,85 \quad \text{m}^2$$

wobei
 A_{BGF} m^2 Bruttogeschossfläche

$$A_{\text{BGF}} = A_G \cdot n_{\text{VG}} \quad \text{m}^2$$

wobei
 A_G m^2 Bruttogrundfläche
 n_{VG} - Anzahl der beheizten Vollgeschosse

Die Bruttogrundfläche kann vereinfacht aus der Gebäudegrundfläche und der Anzahl der Vollgeschosse n_{VG} bestimmt werden. Bei teilweise beheizten Dachgeschossen kann der Wert für das Dachgeschoss vereinfacht mit 0,5 multipliziert werden. Bei rechteckigen Grundrissen entspricht A_G der Länge (L) mal der Breite (B) des Gebäudes in Anlehnung an [12].

$$A_G = L \cdot B \quad \text{m}^2$$

wobei
 L m^2 Länge des Gebäudes
 b m^2 Breite des Gebäudes

3.2 Endenergieeinsparung bei Erzeugerwechsel

Die mögliche bewertete Endenergieeinsparung bei einem Erzeugerwechsel wird über folgende Formel bestimmt. Sie entspricht der bewerteten Endenergieeinsparung, die beim Austausch eines Erzeugers angerechnet werden kann und bezieht sich auf den vom Erzeuger bereit zu stellenden Nutzenergiebedarf für Heizen $q_{h,n}$ und zur Trinkwarmwassererwärmung q_{ww} .

$$\Delta q_e = q_{h,n} \cdot (e_{h,b} \cdot f_{e,b} - e_{h,n} \cdot f_{e,n}) + q_{ww} \cdot (e_{ww,b} \cdot f_{e,b} - e_{ww,n} \cdot f_{e,n}) \quad \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Die anrechenbare bewertete Endenergieeinsparung $Q_{e,er}$ wird nach folgender Formel bestimmt.

$$Q_{e,er} = \Delta q_e \cdot A_n$$

wobei

Δq_{he}	kWh/(m ² a)	Bewertete spezifische Endenergieeinsparung
q_{ww}	kWh/(m ² a)	Spez. vom Erzeuger bereit zu stellender Energiebedarf für die Trinkwarmwassererwärmung
$e_{h,b/n}$	-	Anlagenaufwandszahl des bestehenden/ neuen Erzeugers für den Heizbetrieb
$e_{ww,b/n}$	-	Anlagenaufwandszahl des bestehenden/ neuen Erzeugers für die Trinkwarmwassererwärmung
$f_{e,b/n}$	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor des bestehenden/neuen Erzeugers

Tabelle 14: Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Wärmeerzeuger, angelehnt an [11].

Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Anlagensysteme	Heizung e_h	Warmwasserbereitung e_{ww}	Endenergiefaktor f_e
Brennwertkessel (Heizkörper)	$1,01 \leq 1,094 \cdot A_n^{-0,00922} \leq 1,05$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Brennwertkessel (Flächenheizung)	$0,98 \leq 1,019 \cdot A_n^{-0,00463} \leq 1,00$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Heizkörper)	0,27	0,27	2,50
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Flächenheizung)	0,23	0,27	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Heizkörper)	0,37	0,37	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Flächenheizung)	0,30	0,37	2,50
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Pelletsheizung	1,48	1,48	1,00
Pelletsheizung indirekte Wärmeabgabe	1,38	1,38	1,00
Nah- und Fernwärme	1,01	1,14	1,00
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Konstanttemperaturkessel	$1,13 \leq 1,633 \cdot A_n^{-0,04282} \leq 1,38$	$1,17 \leq 2,732 \cdot A_n^{-0,09709} \leq 1,82$	1,00
Niedertemperaturkessel	$1,08 \leq 1,209 \cdot A_n^{-0,01283} \leq 1,15$	$1,10 \leq 1,313 \cdot A_n^{-0,02007} \leq 1,21$	1,00
Stückholzkessel	1,75	1,75	1,00

Tabelle 15: Typischer spezifischer Energiebedarf für Trinkwarmwassererwärmung für unterschiedliche Gebäudetypen. Alternativ können Angaben auf der Basis von Messungen oder ingenieurmäßigen Berechnungen herangezogen werden. Angelehnt an [13].

Erzeugernutzwärmeabgabe Warmwasser für unterschiedliche Nutzungen	q_{ww} kWh/(m ² ·a)
Einfamilienhaus	19
Mehrfamilienhaus	29
Verwaltung, Schulen, Verkauf, Industrie	11
Säle/Bühnen	23
Sportstätten	137
Restaurants	78
Krankenhäuser	39

3.3 Randbedingungen

Die dargestellte Methodik zur Bestimmung der Endenergieeinsparung gilt für monovalente Heizsysteme. Bei bivalenten Heizsystemen (z. B. Wärmepumpe + Brennwertkessel) müssen die Deckungsanteile der Systeme an der Wärmeproduktion nach anerkannten Regeln der Technik bestimmt werden. Sollte eine rechnerische Bestimmung zum Zeitpunkt der Endenergiebewertung nicht vorliegen, kann in einer ersten Näherung ein Deckungsanteil von 80% für den Hauptwärmeerzeuger (hierbei handelt es sich um den Erzeuger mit der günstigsten Anlagenaufwandszahl) angesetzt werden. Der vereinfachte Ansatz gilt bei einer Leistungsaufteilung von

etwa 50% je Erzeuger mit einer maximalen Abweichung von circa 15%. Bei einer hiervon abweichenden Leistungsaufteilung sind die Deckungsanteile wie beschrieben zu bestimmen.

Bei abweichenden Systemtemperaturen ist bei der Auswahl der Anlagenaufwandszahl die Systemtemperatur zu wählen, welche am nächsten an einer der angegebenen Systemtemperaturen liegt.

Die den Endenergieberechnungen zugrundeliegenden Heizwärmebedarfe decken lediglich den Wärmebedarf für die Raumklimatisierung ab. Sonderverbraucher (z. B. gasbefeuerte Befeuchter, Lackierkabinen, sonstige Produktionsmaschinen, ...) werden nicht berücksichtigt. Eine Bewertung von Gebäuden deren Nutzwärmebedarf durch solche Verbraucher erheblich beeinflusst wird, können mit der beschriebenen Methode nicht durchgeführt werden. Die Erzeugernutzwärmeabgabe für die Gebäudebeheizung kann in diesem Fall alternativ mittels ingenieurmäßiger Methoden bestimmt werden.

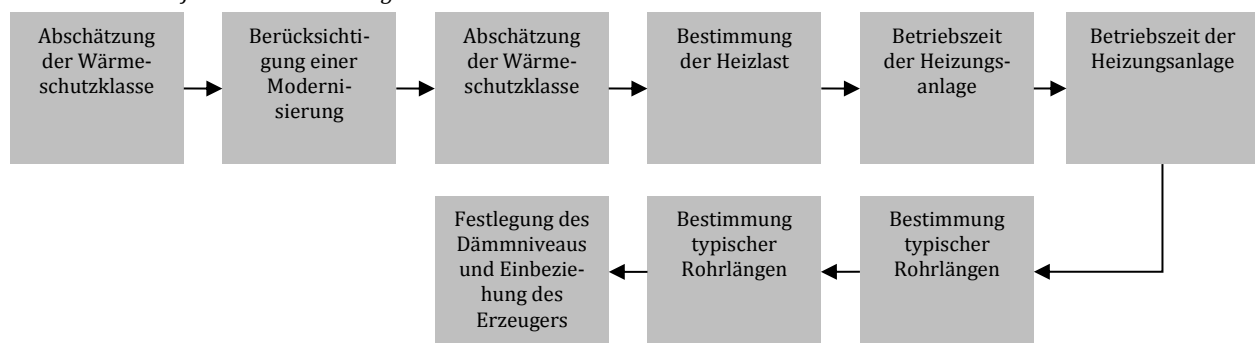
Die zur überschlägigen Ermittlung des Heizwärmebedarfs anzusetzende spezifische Erzeugernutzwärmeabgabe für den Heizfall beruht auf einer ordnungsgemäßen Dämmung der Wärmeverteilungen im unbeheizten Bereich. Sollten die Wärmeverteilungen nicht nach den im „*Règlement grand-ducal du 31 août 2010 concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels*“ (Version: [14]) definierten Standard gedämmt sein, müssen diese nachträglich isoliert werden. Die hierdurch erzielte Endenergieeinsparung kann allerdings mittels der in diesem Dokument beschriebenen Verfahren ebenfalls quantifiziert und angerechnet werden.

4 Bestimmung von Energieeinsparungen durch Dämmung von Verteilungen

Die mögliche Energieeinsparung durch die nachträgliche Dämmung von Verteilungen in unbeheizten Bereichen hängt von der Medientemperatur, der Leitungslänge, vom vorhanden und vom angestrebten Dämmstandard und von der Betriebsdauer (Länge der Heizperiode) und somit auch vom Wärmeschutz des Gebäudes ab. Zur Bestimmung möglicher Einsparungen sind folgende Eingangsparameter erforderlich.

- Energiebezugsfläche
- Baualter
- Bereits durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen
- Art und Typ des Wärmeerzeugers

Tabelle 16: Ablauf bei der Bestimmung des Kennwerts



4.1 Bewertete Endenergieeinsparung bei nachträglicher Dämmung

Die Darstellung der möglichen Endenergieeinsparung erfolgt wie folgt für Wohn- und Nichtwohngebäude in Abhängigkeit der Baualtersklasse und der Gebäudegröße. Bei der nachträglichen Dämmung werden zwei Dämmstandards nach [14] unterschieden:

- Dämmung nach aktueller Energieeinsparverordnung ($U_{\text{Rohr}} = 0,21 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}_{\text{Rohr}})$)
- Doppelte Dämmung nach aktueller Energieeinsparverordnung ($U_{\text{Rohr}} = 0,145 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}_{\text{Rohr}})$)

Es erfolgt eine Differenzierung für Heizungsverteilungen und Verteilungen der Trinkwarmwasserbereitung. Die möglichen Einsparungen beziehen sich nur auf Leitungen, die im unbeheizten Bereich liegen und ungedämmt oder nur unwesentlich gedämmt sind ($U_{\text{Rohr,basis}} = 0,4 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}_{\text{Rohr}})$) [15]. Die bewertete Endenergieeinsparung kann nach folgender Formel und unter Einbeziehung von Tabelle 18 bis Tabelle 24 bestimmt werden.

$$Q_{e,v} = q_v \cdot A_n \cdot e_h \cdot f_e \quad \text{kWh/a}$$

wobei

q_v	kWh/(m ² a)	Spez. Energieeinsparung durch nachträgliches Dämmen nach Tabelle 18 bis Tabelle 24
f_e	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor nach Tabelle 17
e_h	kWh/a	Anlagenaufwandszahl des Wärmeerzeugers nach Tabelle 17
A_n	m ²	Energiebezugsfläche des Gebäudes, kann vereinfacht nach Abschnitt 3.1.2 ermittelt werden.

Tabelle 17: Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Wärmeerzeuger, angelehnt an [11].

Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Anlagensysteme	Heizung e_h	Warmwasserbereitung e_{ww}	Endenergiefaktor f_e
Brennwertkessel (Heizkörper)	$1,01 \leq 1,094 \cdot A_n^{-0,00922} \leq 1,05$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Brennwertkessel (Flächenheizung)	$0,98 \leq 1,019 \cdot A_n^{-0,00463} \leq 1,00$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Heizkörper)	0,27	0,27	2,50
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Flächenheizung)	0,23	0,27	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Heizkörper)	0,37	0,37	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Flächenheizung)	0,30	0,37	2,50
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Pelletsheizung	1,48	1,48	1,00
Pelletsheizung indirekte Wärmeabgabe	1,38	1,38	1,00
Nah- und Fernwärme	1,01	1,14	1,00
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Konstanttemperaturkessel	$1,13 \leq 1,633 \cdot A_n^{-0,04282} \leq 1,38$	$1,17 \leq 2,732 \cdot A_n^{-0,09709} \leq 1,82$	1,00
Niedertemperaturkessel	$1,08 \leq 1,209 \cdot A_n^{-0,01283} \leq 1,15$	$1,10 \leq 1,313 \cdot A_n^{-0,02007} \leq 1,21$	1,00
Stückholzkessel	1,75	1,75	1,00

4.1.1 Heizungsverteilungen

Tabelle 18: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 70/55.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	4,88	2,88	2,01	1,54	1,02	0,70
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	5,25	3,02	2,07	1,56	1,02	0,70
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	5,91	3,38	2,30	1,73	1,11	0,74
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	6,76	3,85	2,62	1,97	1,26	0,83
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	7,30	4,31	2,95	2,21	1,40	0,93
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	7,30	4,31	3,02	2,31	1,52	1,00
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	7,30	4,31	3,02	2,31	1,52	1,05
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	7,30	4,31	3,02	2,31	1,52	1,05
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	7,30	4,31	3,02	2,31	1,52	1,05

Tabelle 19: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den doppelten Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 70/55.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	6,34	3,74	2,61	2,00	1,32	0,91
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	6,83	3,92	2,69	2,03	1,32	0,91
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	7,68	4,39	3,00	2,26	1,44	0,96
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	8,79	5,01	3,41	2,56	1,63	1,09
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	9,49	5,61	3,84	2,87	1,82	1,20
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	9,49	5,61	3,92	3,01	1,97	1,30
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	9,49	5,61	3,92	3,01	1,98	1,36
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	9,49	5,61	3,92	3,01	1,98	1,36
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	9,49	5,61	3,92	3,01	1,98	1,36

Tabelle 20: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 55/45.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	3,83	2,26	1,58	1,21	0,80	0,55
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	4,13	2,37	1,62	1,23	0,80	0,55
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	4,64	2,65	1,81	1,36	0,87	0,58
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	5,31	3,03	2,06	1,55	0,99	0,66
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	5,74	3,39	2,32	1,74	1,10	0,73
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	5,74	3,39	2,37	1,82	1,19	0,79
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	5,74	3,39	2,37	1,82	1,20	0,82
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	5,74	3,39	2,37	1,82	1,20	0,82
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	5,74	3,39	2,37	1,82	1,20	0,82

Tabelle 21: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den **doppelten** Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 55/45.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	4,98	2,94	2,05	1,57	1,04	0,71
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	5,37	3,08	2,11	1,59	1,04	0,71
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	6,04	3,45	2,35	1,77	1,13	0,75
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	6,90	3,93	2,68	2,01	1,28	0,85
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	7,46	4,41	3,02	2,26	1,43	0,95
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	7,46	4,41	3,08	2,36	1,55	1,02
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	7,46	4,41	3,08	2,36	1,56	1,07
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	7,46	4,41	3,08	2,36	1,56	1,07
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	7,46	4,41	3,08	2,36	1,56	1,07

Tabelle 22: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 35/28.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	3,13	1,85	1,29	0,99	0,65	0,45
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	3,38	1,94	1,33	1,00	0,65	0,45
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	3,80	2,17	1,48	1,12	0,71	0,47
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	4,35	2,48	1,69	1,27	0,81	0,54
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	4,69	2,77	1,90	1,42	0,90	0,60
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	4,69	2,77	1,94	1,49	0,98	0,64
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	4,69	2,77	1,94	1,49	0,98	0,67
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	4,69	2,77	1,94	1,49	0,98	0,67
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	4,69	2,77	1,94	1,49	0,98	0,67

Tabelle 23: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Verteilungen auf den **doppelten** Dämmstandard RGD und einer Systemtemperatur von 35/28.

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	4,07	2,40	1,68	1,29	0,85	0,58
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	4,39	2,52	1,73	1,30	0,85	0,58
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	4,94	2,82	1,93	1,45	0,93	0,62
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	5,65	3,22	2,19	1,65	1,05	0,70
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	6,10	3,60	2,47	1,85	1,17	0,77
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	6,10	3,60	2,52	1,93	1,27	0,84
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	6,10	3,60	2,52	1,93	1,27	0,87
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	6,10	3,60	2,52	1,93	1,27	0,87
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	6,10	3,60	2,52	1,93	1,27	0,87

4.1.2 Trinkwarmwasserverteileitungen

Tabelle 24: Spezifische Energieeinsparung bei der nachträglichen Dämmung von Trinkwarmwasserverteileitungen für Nichtwohngebäude (NWG) und Wohngebäude (WG).

Spez. Energieeinsparung q_v	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
Dämmstandard nach RGD Warmwassertemperatur 60 °C (NGW)	kWh/(m ² ·a)	2,20	2,89	3,65	3,79	3,54	3,05
Dämmstandard doppelt nach RGD Warmwassertemperatur 60 °C (NWG)	kWh/(m ² ·a)	2,85	3,76	4,75	4,93	4,61	3,97
Dämmstandard nach RGD Warmwassertemperatur 50 °C (WG)	kWh/(m ² ·a)	1,73	2,27	2,88	2,98	2,79	2,40
Dämmstandard doppelt nach RGD Warmwassertemperatur 50 °C (WG)	kWh/(m ² ·a)	2,25	2,96	3,74	3,88	3,63	3,12

4.2 Randbedingungen

Die dargestellten möglichen Endenergieeinsparungen gelten nur für Verteilungen innerhalb unbeheizter Bereiche. Befinden sich die Verteilungen einschließlich des Wärmeerzeugers innerhalb der thermischen Gebäudehülle, so können nach diesem Verfahren keine Endenergieeinsparungen angerechnet werden.

Als unbeheizte Bereiche gelten in diesem Fall Gebäudezonen, welche eine mittlere Raumlufttemperatur $\leq 13^\circ\text{C}$ innerhalb der Heizperiode aufweisen.

Als Dämmstärken für den Sanierungsfall gelten die im „*Règlement grand-ducal du 31 août 2010 concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels*“ (Version: [14]) definierten Dämmstärken in Abhängigkeit des Rohrrinnendurchmessers.

Als Ausgangsbasis für den unsanierten Fall wurde eine Dämmung aus 2 cm Glaswolle, mehrere Lagen Filzmatten sowie eine Gipsmanchette angesetzt.

Für die Dämmung von Trinkwarmwasserleitungen mit Zirkulation gelten die gleichen Randbedingungen wie für Heizwärmeverteileitungen.

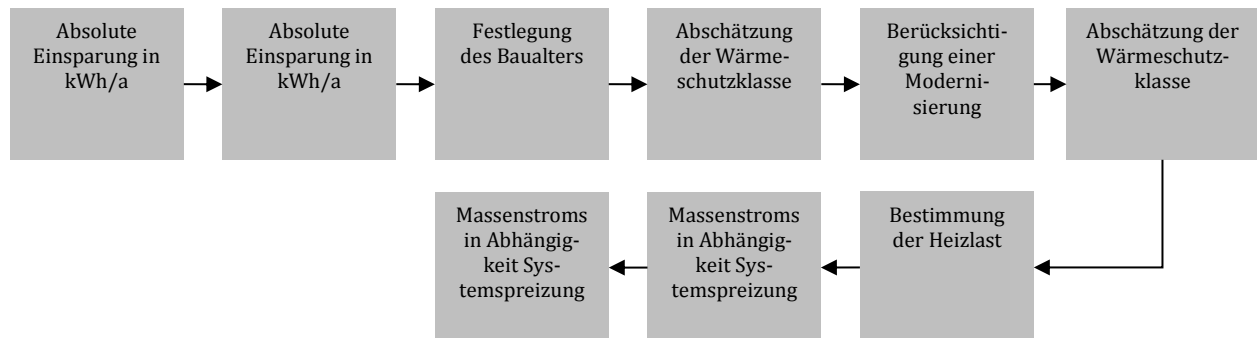
Die Anrechnung kann nur erfolgen, wenn die einfache Länge der ungedämmten Verteilungen mindestens 10 m beträgt.

5 Bestimmung von Energieeinsparungen bei einem Pumpenaustausch

Zur Bestimmung der möglichen Stromeinsparung im Fall des Austauschs von Heizungspumpen gegen geregelte Hocheffizienzpumpen sind folgende Eingangsparameter erforderlich.

- Energiebezugsfläche
- Baualter
- Bereits durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen
- Art und Typ des neuen Wärmeerzeugers

Tabelle 25: Ablauf bei der Bestimmung des Kennwerts



5.1 Bewertete Endenergieeinsparung beim Pumpenaustausch

Die Darstellung der möglichen bewerteten Endenergieeinsparung erfolgt wie folgt für Wohn- und Nichtwohngebäude in Abhängigkeit der Baualtersklasse und der Gebäudegröße. Die bewertete Endenergieeinsparung beim umfangreichen Pumpenaustausch kann nach folgender Formel und unter Einbeziehung von Tabelle 26 bis Tabelle 28 bestimmt werden.

$$Q_{e,p} = q_{e,p} \cdot A_n \cdot f_e \quad \text{kWh/a}$$

wobei

$Q_{e,p}$	kWh/a	Bewertete Energieeinsparung bei Pumpenaustausch
f_e	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor für Strom mit 2,5
$q_{e,p}$	kWh/(m ² a)	Spez. Energieeinsparung bei Pumpenaustausch gemäß Tabelle 26 bis Tabelle 28
A_n	m ²	Energiebezugsfläche des Gebäudes, kann vereinfacht nach Abschnitt 3.1.2 ermittelt werden.

Tabelle 26: Spezifische Energieeinsparung beim Austausch von Heizungspumpen in Abhängigkeit der Gebäudegröße für den Fall einer Temperaturspreizung des Heizmediums von 20 K.

Spez. Energieeinsparung bei Pumpenaustausch 20 K, $q_{e,p}$	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	1,37	0,73	0,47	0,33	0,19	0,11
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	1,50	0,79	0,49	0,35	0,20	0,12
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	1,73	0,91	0,57	0,40	0,23	0,13
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	2,04	1,08	0,68	0,48	0,27	0,16
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	2,26	1,25	0,80	0,57	0,32	0,19
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	2,30	1,28	0,84	0,61	0,36	0,21
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	2,40	1,34	0,89	0,65	0,39	0,24
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	2,48	1,40	0,93	0,68	0,41	0,25
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	2,62	1,49	1,00	0,74	0,45	0,27

Tabelle 27: Spezifische Energieeinsparung beim Austausch von Heizungspumpen in Abhängigkeit der Gebäudegröße für den Fall einer Temperaturspreizung des Heizmediums von 10 K.

Spez. Energieeinsparung bei Pumpenaustausch 10 K, $q_{e,p}$	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	1,48	0,81	0,52	0,38	0,22	0,13
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	1,63	0,87	0,56	0,40	0,23	0,14
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	1,89	1,02	0,66	0,47	0,27	0,16
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	2,25	1,22	0,79	0,57	0,33	0,20
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	2,52	1,43	0,94	0,67	0,39	0,23
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	2,58	1,47	0,99	0,73	0,44	0,26
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	2,72	1,57	1,06	0,79	0,48	0,30
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	2,84	1,64	1,12	0,83	0,51	0,31
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	3,04	1,78	1,22	0,91	0,55	0,34

Tabelle 28: Spezifische Energieeinsparung beim Austausch von Heizungspumpen in Abhängigkeit der Gebäudegröße für den Fall einer Temperaturspreizung des Heizmediums von 5 K.

Spez. Energieeinsparung bei Pumpenaustausch 5 K, $q_{e,p}$	Einheit	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1.500	3.000
A - Passivhaus	kWh/(m ² ·a)	1,63	0,91	0,61	0,44	0,27	0,16
B - Niedrigenergiehaus	kWh/(m ² ·a)	1,81	1,00	0,66	0,48	0,29	0,18
C - ab 2011 Energiesparhaus	kWh/(m ² ·a)	2,13	1,18	0,78	0,56	0,33	0,20
D - 2007 bis 2010	kWh/(m ² ·a)	2,55	1,43	0,94	0,69	0,41	0,24
E - 1995 bis 2007	kWh/(m ² ·a)	2,88	1,68	1,12	0,82	0,48	0,29
F - 1984 bis 1994	kWh/(m ² ·a)	2,97	1,74	1,19	0,89	0,55	0,32
G - 1973 bis 1983	kWh/(m ² ·a)	3,18	1,88	1,29	0,97	0,59	0,36
H - 1962 bis 1972	kWh/(m ² ·a)	3,33	1,98	1,36	1,02	0,62	0,37
I - bis 1962	kWh/(m ² ·a)	3,62	2,16	1,49	1,12	0,68	0,40

5.2 Randbedingungen

Die neu eingesetzten Heizkreisumpen müssen mindestens die Effizienzklasse A nach dem europäischen Energieeffizienzlabel aufweisen.

Die berechneten Endenergieeinsparungen gelten nur falls sämtliche Heizkreisumpen der Heizungsanlage die Energieeffizienzklasse A aufweisen. Andernfalls ist in der Formel in Abschnitt 5.1 nur die durch die ausgetauschten Pumpen versorgte Energiebezugsfläche anzusetzen.

Die ausgetauschten Bestandsumpen müssen ein Mindestalter von 10 Jahren aufweisen. Es darf sich bei den Bestandsumpen zudem nicht um bereits geregelte Pumpen handeln (konstanter Druck, variabler Druck).

Sind unterschiedliche Wärmeübergabesysteme (Fußbodenheizung, Radiatoren,...) mit unterschiedlichen Temperaturspreizungen vorhanden, ist die Spreizung des Systems anzusetzen, welche den überwiegenden Teil des Heizwärmebedarfs im Gebäude deckt.

5.3 Beschreibung des Verfahrens (Informativ)

In folgendem Abschnitt wird das zugrundeliegende Verfahren beschreiben, welches zur Bestimmung der Kennwerte für die Tabelle 26 bis Tabelle 28 herangezogen wurde. Die Bewertung findet auf Ebene der Endenergie (Strom) statt. Die Bestimmung der elektrischen Energieeinsparung beim Austausch bestehender Pumpen durch geregelte Hocheffizienzpumpen erfolgt wie nachfolgend beschrieben:

- Zunächst wird in Abhängigkeit der Baualtersklasse und der Gebäudegröße die Heizlast des Gebäudes abgeschätzt.
- Danach erfolgt die Bestimmung des Massenstromes in Abhängigkeit der Systemspreizung (20 K, 10 K, 5 K).
- In einem weiteren Schritt wird die Förderhöhe der Pumpe bestimmt. Hierzu werden die Rohrleitungslängen in Abhängigkeit der Energiebezugsfläche abgeschätzt und über längenspezifische Druckverluste der Gesamtdruckverlust bestimmt. Die Förderhöhe der Pumpe wird über den Gesamtdruckverlust der Rohrleitungen sowie üblichen Druckverlusten für Einbauten abgeschätzt.
- Ausgehend von den zuvor ermittelten Parametern kann die mechanische Leistung der Pumpe bestimmt werden, auf der Basis dann in Abhängigkeit der energetischen Effizienz (Pumpenwirkungsgrad) die elektrische Leistungsaufnahme berechnet wird.
- In Abhängigkeit der Pumpenlaufzeit (i.d.R. die Heizperiode) wird der elektrische Energiebedarf bestimmt.

5.3.1 Abschätzung des Heizleistungsbedarf

Die Gebäudeheizleistung Q_{hl} ist von der Gebäudegröße A_n und dem Wärmeschutz abhängig. Für übliche Fälle kann die spezifische Heizleistung q_{hl} gemäß folgender Gleichung und unter Anwendung von Tabelle 29 approximiert werden [12].

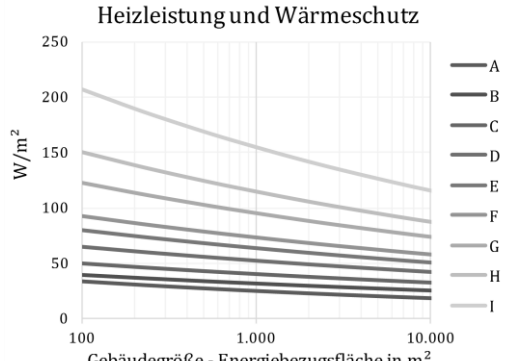
$$q_{hl} = a_0 \cdot A_n^{a_1} \quad \text{W/m}^2$$

wobei

q_{hl}	W/m ²	Anrechenbare spezifische Heizleistung
$a_{0,1}$	-	Gleichungsparameter
A_n	m ²	Energiebezugsfläche des Gebäude

Tabelle 29: Parameter zur Abschätzung des Heizleistungsbedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude

Wärmeschutz Gebäude	Parameter	
	a_0	a_1
A	59,32	-0,1253
B	60,19	-0,0931
C	78,44	-0,0968
D	98,65	-0,0929
E	125,82	-0,0987
F	146,87	-0,1011
G	202,50	-0,1089
H	257,14	-0,1171
I	370,99	-0,1263



5.3.2 Abschätzung des Pumpenleistungsbedarfs

Der Gesamtvolumenstrom V_h berechnet sich nach folgender Formel. Das in diesem Abschnitt vorgestellte Verfahren beruht auf dem aus [15], [6] und [12].

$$V_h = \frac{q_{hl} \cdot A_n}{1,16 \cdot \Delta\theta_h} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

wobei

A_n	m^2	Energiebezugsfläche des Gebäude
$\Delta\theta_h$	$^\circ\text{C}$	Temperaturdifferenz des Heizwasser (Vorlauf - Rücklauf), = 20 K bei klassischen 2-Rohr-Heizungen (Radiatoren) = 10 K bei Niedertemperaturheizungen und Einrohrsystemen = 5 K bei Flächenheizungen (Wand- und Fußbodenheizung)

Die Förderhöhe h ergibt sich aus:

$$h = R \cdot L_{\text{rohr}} + \sum_i Z_i \quad \text{m}$$

wobei

R	$\text{m}_{\text{ws}}/\text{m}$	Rohrreibungsdruckverlust = 0,005 $\text{m}_{\text{ws}}/\text{m}$
L_{rohr}	m	Typische Länge der Rohrleitung
Z_i	$\text{m}_{\text{ws}}/\text{m}$	Summe der Einzelwiderstände von Installationen (siehe Tabelle 30)

Die Länge des längsten Rohrstrangs L_{Rohr} kann wie folgt bestimmt werden:

$$L_{\text{Rohr}} = 2 \cdot (L_{\text{Char}} + n_G \cdot h_G) \quad \text{m}$$

wobei

$$L_{\text{Char}} = \frac{A_G}{10} \quad \text{m}$$

und

$$A_G = \frac{A_n}{n_G} \quad \text{m}^2$$

und

$$n_G = 0,24 \cdot A_n^{0,367} \quad -$$

mit

L_{Char}	m	Charakteristische Gebäudelänge (m)
A_G	m^2	Geschossfläche des Gebäudes (m^2). Bei rechteckigen Grundrissen entspricht A_G der Länge mal der Breite des Gebäudes. In der Regel auch die Fläche des Bodens gegen Keller oder Erdreich.
n_G	-	Anzahl der Vollgeschosse
h_G	m	Geschosshöhe (Standard = 3,125 m)

Die Förderhöhe h wird um den thermischen Auftrieb vermindert (i. d. R. Wärmeerzeugung im Keller).

$$H = h - 0,000637 \cdot \Delta h \cdot \Delta\theta \quad \text{m}$$

mit

H	m	Förderhöhe vermindert um den thermischen Auftrieb (m)
0,000637	$(\text{m}/(\text{K} \cdot \text{m}))$	Konstante
Δh	m	Höhe des Gebäudes
$\Delta\theta$	K	Spreizung Vorlauf-Rücklauf

Bei Dachheizzentralen ist $\Delta\theta$ mit einem negativen Vorzeichen zu versehen, da hier die Pumpe gegen den thermischen Auftrieb arbeiten muss. Die mechanische Leistung der Pumpe ist gleich der zu leistenden Hubarbeit:

$$P_{mech} = 0,274 \cdot V_n \cdot g \cdot H \quad \text{m}$$

mit

P_{mech}	W	maximal erforderliche mechanische Leistung der Pumpe
g	m/s ²	Erdbeschleunigung = 9,81 m/s ²
H	m	Förderhöhe

Die mechanische Leistung muss nun über den Wirkungsgrad der Pumpe in einer elektrischen Leistung umgerechnet werden. Die theoretische elektrische Leistung der Pumpe ist:

$$P_{el} = \frac{P_{mech}}{\eta_{Pumpe}} \quad \text{W}$$

Dabei gilt für den Wirkungsgrad der Pumpe folgender empirisch ermittelter Zusammenhang:

$$\eta_{Pumpe} = \left(C \cdot P_{mech}^E \right)^{\frac{1}{E+1}} \quad -$$

mit

P_{el}	W	erforderliche elektrische Leistung der Pumpe (ohne Zuschläge) (W)
P_{mech}	W	maximal erforderliche mechanische Leistung der Pumpe (W)
η_{Pumpe}	-	Wirkungsgrad der Pumpe
C, E	-	Konstanten (Werte gemäß Tabelle 30, Effizienzstandard „gut“)

Die elektrische Leistung der Pumpe ist somit gleich:

$$P_{el} = \left(\frac{P_{mech}}{C} \right)^{\frac{1}{E+1}} \quad \text{W}$$

Aufgrund von Unsicherheiten bei der Abschätzung (Angstzuschläge) liegt die tatsächliche elektrische Leistung in der Regel über dem theoretischen Wert:

$$P_{el,real} = A + (1 + B) \cdot P_{el} \quad \text{W}$$

mit

$P_{el,real}$	W	elektrische Leistung der Pumpe inklusive Zuschlägen (W)
A	-	konstanter Zuschlag gemäß Tabelle 30
B	-	relativer Zuschlag gemäß Tabelle 30

Tabelle 30: Faktoren zur Berechnung der Pumpenleistung nach [15], [6] und [12].

		Effizienzstandard			
		best	gut	mäßig	schwach
Spreizung des Heizsystems	K	20	20	15	10
untere Grenze el. Leistung Pumpe	W	10	30	30	30
Widerstand: Heizkessel	m _{ws}	0,1	0,1	0,15	0,2
Widerstand: Mischer	m _{ws}	0,2	0,2	0,3	0,4
Widerstand: Thermostatventil	m _{ws}	0,6	0,6	1,0	1,4
Widerstand: Wärmemengenzähler	m _{ws}	0,0	1,0	1,25	1,5
Widerstand: Summe	m _{ws}	0,9	1,9	2,7	3,5
Druckverlust Verteilung	m _{ws} /m	0,005	0,005	0,0075	0,01
Konstante C	-	0,0644	0,0644	0,0211	0,0041
Konstante E	-	0,3242	0,3242	0,4668	0,6792
Zuschlag Festwert	W	0	10	40	80
Zuschlag %	%	0%	1%	5%	10%

5.3.3 Abschätzung der Pumpenlaufzeit

Die Pumpenlaufzeit ist im Wesentlichen abhängig von der Länge der Heizperiode und somit vom Wärmeschutz und von der Größe des Gebäudes. Die Pumpenlaufzeit kann nach Tabelle 31 abgeschätzt werden. Es wird ein 24 h Betrieb für jeden relevanten Heiztag unterstellt.

Tabelle 31: typische Pumpenlaufzeit in Abhängigkeit der Baualtersklasse

Bereich	Heizperiode $t_{HP,A}$ [d/a]	Gebäudegröße als Energiebezugsfläche A_n					
		150	300	500	750	1500	3000
A - Passivhaus	182	4.376	4.368	4.368	4.368	4.368	4.368
B - Niedrigenergiehaus	182-196	4.716	4.584	4.492	4.422	4.368	4.368
C - ab 2011 Energiesparhaus	193-221	5.305	5.130	5.008	4.916	4.766	4.626
D - 2007 bis 2010	218-253	6.067	5.852	5.701	5.587	5.401	5.227
E - 1995 bis 2007	242-273	6.552	6.552	6.414	6.264	6.023	5.797
F - 1984 bis 1994	261-273	6.552	6.552	6.552	6.552	6.525	6.260
G - 1973 bis 1983	273	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552
H - 1962 bis 1972	273	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552
I - bis 1962	273	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552	6.552

Die Heiztage werden im vereinfachten Verfahren in Abhängigkeit des Wärmeschutzes und der Heizgrenztemperatur θ_{HG} gemäß folgender Näherungsformel nach [7] bestimmt.

$$\theta_{HG} \approx \theta_i - 0,9 \cdot \frac{q_i + a_{fe} \cdot f_{fe} \cdot g_{\perp} \cdot 120 \text{ W/m}^2}{h} \quad ^\circ\text{C}$$

mit

θ_{HG}	$^\circ\text{C}$	Heizgrenztemperatur
θ_i	$^\circ\text{C}$	Raumsolltemperatur: 20°C
q_i	W/m^2	Interne Gewinne in W/m^2 ; im vereinfachten Verfahren $2,5 \text{ W/m}^2$
a_{fe}	m^2/m^2 bzw %	Auf die Wohnfläche bezogene spezifische Fensterfläche des Gebäudes: $0,2 \text{ m}^2_{fe}/\text{m}^2_{An}$
f_{fe}	-	Reduktionsfaktor für Verschattung, Verschmutzung, Rahmenanteil, nicht senkr. Strahlungseinfall und ggf. für Sonnenschutzvorrichtungen: Standard = 0,51
g_{\perp}	-	Energiedurchlassgrad der Verglasung
h	$(\text{W/K})/\text{m}^2$	Auf die Wohnfläche bezogene spezifische Transmissions- und Lüftungsverluste

Mit der Heizgrenztemperatur θ_{HG} können unter Anwendung von Tabelle 34 die Randbedingungen für das Heizperiodenbilanzverfahren gemäß den Grenzwerten der Spalten "Jahr" und "Winter" linear interpoliert werden. Beispielhaft ist das für die Heizgrenzen 10, 12 und 15 $^\circ\text{C}$ in den letzten drei Spalten dargestellt.

Tabelle 32: Randbedingungen zur Anwendung für das vereinfachte Heizperiodenbilanzverfahren

Bezeichnung	Symbol	Einheit	Jahr	Winter	$\theta_{HG,10}$	$\theta_{HG,12}$	$\theta_{HG,15}$
Heizgrenztemperatur	θ_{HG}	$^\circ\text{C}$	18,3	9,3	10	12	15
Länge der Heizperiode	t_{HP}	d/a	365	182	197	238	298
Mittlere Außenlufttemperatur in der Heizperiode	θ_e	$^\circ\text{C}$	9,0	3,1	3,6	4,9	6,8
Einstrahlung Süden	I_s	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	813	266	311	432	614
Einstrahlung Osten	I_o	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	714	152	199	323	509
Einstrahlung Westen	I_w	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	714	152	199	323	509
Einstrahlung Norden	I_n	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	435	96	124	199	311
Einstrahlung Mittelwert	I_m	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	669	167	208	319	486

Für die Anlagentechnik wird die relevante Länge der Heizperiode $t_{HP,A}$ begrenzt und nach [5] wie folgt bestimmt:

$$t_{HP,A} = \min \left[\begin{array}{l} t_{HP} \\ 273 \end{array} \right] \quad \text{d/a}$$

mit

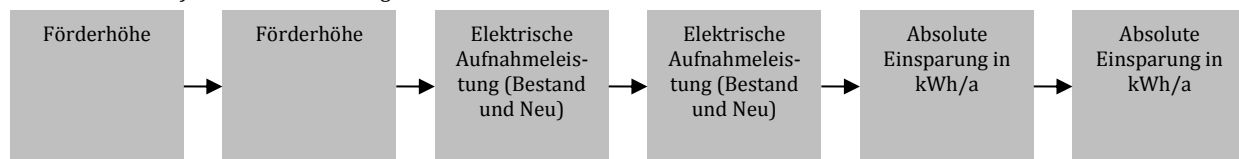
$t_{HP,A}$ d/a Heizgrenztemperatur für die Bewertung der Anlagentechnik

6 Bestimmung von Energieeinsparungen solarthermischer Anlagen

Die mögliche bewertete Endenergieeinsparung ist neben einer korrekten Dimensionierung abhängig von der Größe der Solaranlage, der Art des Kollektors und der Art der Unterstützungsfunktion bei der Wärmeversorgung. Zur Bestimmung der bewerteten Endenergieeinsparung sind folgende Eingangsdaten erforderlich.

- Kollektorfläche und Kollektortyp (Flachkollektor oder Röhrenkollektor)
- Unterstützungsfunktion (Trinkwarmwasser, Trinkwarmwasser und Heizung)
- Art und Typ des vorhandenen Wärmeerzeugers

Tabelle 33: Ablauf bei der Bestimmung des Kennwerts



6.1 Spezifische bewertete Endenergieeinsparung einer Solaranlage

Die mögliche bewertete Endenergieeinsparung kann nach folgender Formel bestimmt werden. Dabei ist hinsichtlich des Kollektortyps (Flach- oder Röhrenkollektor) und der vorhandenen Unterstützungsfunktion (nur Trinkwarmwassererwärmung oder Trinkwarmwassererwärmung mit Heizungsunterstützung) zu unterscheiden. Die anrechenbare bewertete Endenergieeinsparung ist abhängig vom vorhandenen Wärmeerzeuger. Der zur Heizungsunterstützung anrechenbare Deckungsanteil wird mit 10% festgelegt und kann bei Kenntnis der realen Gegebenheiten bzw. bei Vorliegen von Simulationsergebnissen angepasst werden.

Für den alleinigen Betrieb zur Trinkwarmwassererwärmung gilt:

$$Q_{e,sol} = q_{h,sol} \cdot A_{Kol} \cdot f_e \cdot e_{ww} \quad \text{kWh/a}$$

Für den kombinierten Betrieb gilt:

$$Q_{e,sol} = q_{h,sol} \cdot A_{Kol} \cdot f_e \cdot (0,9 \cdot e_{ww} + 0,1 \cdot e_h) \quad \text{kWh/a}$$

wobei

$Q_{e,sol}$	kWh/a	Bewertete Energieeinsparung
$q_{h,sol}$	kWh/m ²	Spezifische Energieeinsparung eines Kollektors nach Tabelle 34
A_{Kol}	m ²	Kollektorfläche als Aperturfläche
$e_{ww/h}$	-	Anlagenaufwandszahl des Erzeugers, mit e_{ww} den alleinigen Betrieb zur Trinkwassererwärmung und e_h für den Betrieb zur Heizungsunterstützung nach Tabelle 35
f_e	-	Endenergetischer Bewertungsfaktor des Erzeugers nach Tabelle 35

Der Kollektorsertrag wird pauschal in Abhängigkeit des Kollektortyps und der Art der Unterstützungsfunktion festgelegt. Das ansetzen der Kennwerte setzt eine ordentliche Dimensionierung der Solaranlage (z. B. passende Kollektorfläche und Speichervolumen) voraus. Der nutzbare spezifische Ertrag von Anlagen mit der Funktion der Heizungsunterstützung liegt oft etwas tiefer als die, zur reinen Trinkwarmwassererwärmung. Das ist dem Umstand geschuldet, dass diese Anlagen aufgrund der Heizungsunterstützung meist größer ausgelegt werden (größere Kollektorfläche), als Anlagen zur reinen Warmwasserbereitung. Dadurch liegt im Sommer i.d.R. ein

größerer Anteil an Überschusswärme vor, die nicht angerechnet wird. Die nachfolgenden Werte liegen den Berechnungen zugrunde:

Tabelle 34: typischer Energieertrag einer thermischen Solaranlage.³

Kollektortyp	Einheit	Trinkwarmwassererwärmung $q_{h,sol}$	Trinkwarmwassererwärmung und Heizung $q_{h,sol}$
Flachkollektor mit sel. Beschichtung	kWh/(m ² ·a)	350	310
Röhrenkollektor	kWh/(m ² ·a)	450	430

Tabelle 35: Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Wärmeerzeuger, angelehnt an [11].

Anlagenaufwandszahlen und Endenergiefaktoren für Anlagensysteme	Heizung e_h	Warmwasserbereitung e_{ww}	Endenergiefaktor f_e
Brennwertkessel (Heizkörper)	$1,01 \leq 1,094 \cdot A_n^{-0,00922} \leq 1,05$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Brennwertkessel (Flächenheizung)	$0,98 \leq 1,019 \cdot A_n^{-0,00463} \leq 1,00$	$1,08 \leq 1,251 \cdot A_n^{-0,01722} \leq 1,17$	1,00
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Heizkörper)	0,27	0,27	2,50
Wärmepumpe Erdreich/Wasser (Flächenheizung)	0,23	0,27	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Heizkörper)	0,37	0,37	2,50
Wärmepumpe Luft/Wasser (Flächenheizung)	0,30	0,37	2,50
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Pelletsheizung	1,48	1,48	1,00
Pelletsheizung indirekte Wärmeabgabe	1,38	1,38	1,00
Nah- und Fernwärme	1,01	1,14	1,00
Elektroheizung (Direktheizung/Speicherheizung)	1,00	1,00	2,50
Konstanttemperaturkessel	$1,13 \leq 1,633 \cdot A_n^{-0,04282} \leq 1,38$	$1,17 \leq 2,732 \cdot A_n^{-0,09709} \leq 1,82$	1,00
Niedertemperaturkessel	$1,08 \leq 1,209 \cdot A_n^{-0,01283} \leq 1,15$	$1,10 \leq 1,313 \cdot A_n^{-0,02007} \leq 1,21$	1,00
Stückholzkessel	1,75	1,75	1,00

6.2 Randbedingungen

Wird die Solaranlage in ein bivalentes Heizungssystem eingebunden, so ist bei der Berechnung der durch die Solaranlage verdrängten Endenergiemenge das Anlagensystems mit dem kleinsten Produkt aus Anlagenaufwandszahl und Endenergiefaktor anzusetzen.

Als Richtgröße für die Auslegung der Kollektorfläche zur Trinkwarmwassererwärmung kann für Flachkollektoren eine personenbezogene Kollektorfläche von 1,0 bis 1,5 m²/Person und für Röhrenkollektoren eine von 0,8 bis 1,2 m²/Person angesetzt werden.

Bezogen auf die Energiebezugsfläche wird die Anlagengröße für Anlagen zur Trinkwarmwassererwärmung nach [11] mit $A_{Kol} = 0,09 \cdot A_n^{0,8}$ abgeschätzt.

Anlagen die auch zur Heizungsunterstützung dienen, sind individuell auszulegen. Hier liegt das Augenmerk auch auf der Vermeidung zu hoher sommerlichen Temperaturen.

6.3 Beschreibung des Verfahrens (informativ)

Die Bestimmung der Endenergieeinsparung beim Einsatz einer thermischen Solaranlage wird wie nachfolgend beschrieben ermittelt.

³ Die Kennwerte wurden für die unterschiedlichen Fälle mit dem dynamischen Simulationsprogramm T-Sol Pro in Version 5.5 bestimmt und mit praktischen Erfahrungswerten abgeglichen.

- In einem ersten Schritt erfolgen die Festlegung der Kollektorfläche, des Kollektortyps, sowie die Art der Unterstützungsfunktion.
- Ausgehend von den oben genannten Parametern erfolgt die Bestimmung des möglichen nutzbaren Solarertrags, als diejenige Wärmemenge, die an das System abgegeben wird. Überschusswärme wird nicht betrachtet.
- Zur Bestimmung der Endenergieeinsparung erfolgt eine endenergetische Bewertung der durch die Solaranlage verdrängten Erzeugernutzwärmeabgabe auf der Basis des bestehenden Heizungssystems.

7 Literaturverzeichnis

- [1] European Commission, „Richtlinie 2012/27/EU,“ European Commission, Luxemburg, 2012.
- [2] G. Theato und P. Jung, „Liste d'opérations standardisées; Document de travail préliminaire,“ myenergy, Luxemburg, 2013.
- [3] M. Lichtmeß, „Ihr Energieverbrauch ist zu gering - Das Problem mit der neutralen Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz von Wohngebäuden,“ Chaier Scientifique, Luxemburg, 2013.
- [4] M. Lichtmeß und J. Knissel, Überarbeitung des Förderprogramms für energieeffiziente Neu- und Altbauten aus dem Jahre 2009, Luxemburg: Wirtschaftsministerium, 2013.
- [5] T. Loga, „Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren,“ IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2004.
- [6] T. Loga, R. Born, M. Großklos und M. Bially, „Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser,“ IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001.
- [7] T. Loga, M. Großklos und J. Knissel, „Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten,“ IWU Institut für wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.
- [8] Ministère de l'Economie und Mitwirkung von Markus Lichtmeß und Sven Viktor, „Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz für neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude,“ Ministère de l'Economie, Luxemburg, 2014.
- [9] Ministère de l'Economie und Mitwirkung von Markus Lichtmeß und Jens Knissel, „Nationaler Plan Luxemburgs zur Erhöhung der Zahl der Niedrigstenergiegebäude,“ Wirtschaftsministerium Luxemburg, Luxemburg, 2013.
- [10] myenergy, „Staatliche Finanzbeihilfen 2013-2016,“ 2014. [Online]. Available: www.myenergy.lu. [Zugriff am 11 06 2014].
- [11] Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg, „Règlement grand-ducal du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation (14.12.2007),“ Service central de législation, Luxemburg, 2007.
- [12] Umwelt- und Wirtschaftsministerium unter Mitwirkung von Markus Lichtmes, Jacques Weyland, „Leitfaden zum heizungscheck.lu nach EIN EN 15378,“ noch nicht veröffentlicht, Luxemburg, 2013.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung, „DIN V 18599-10,“ Beuth, Berlin, 2011.
- [14] Le gouvernement du grand-duché de Luxembourg, „Règlement grand-ducal du 5 mai 2012 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation et fonctionnels (11.05.2012),“ Service central de législation, Luxemburg, 2012.
- [15] N. Diefenbach, T. Loga, R. Born und C. Hernbert, „Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand,“ IWU Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2002.