

Konzeptpapier

Zur Umsetzung der erneuerbaren Energie-Richtlinie in Luxemburg

Im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Luxemburg

Entwurf, Stand 04. Februar 2011



Dr. Markus Lichtmeß, Goblet Lavandier & Associés



Dr. Jens Knissel, Institut für Wohnen und Umwelt

Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Wohn- und Nichtwohngebäude	3
1.2	Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen	3
1.3	Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden	4
1.4	Erneuerbare Energien, Primärenergie und Systemeffizienz	4
2	Vorschlag für die Umsetzung zur Nutzung erneuerbarer Energien.....	6
2.1	Anteil erneuerbare Energien	9
2.2	Sonderregelung	10
2.3	Thermische Solaranlage.....	10
2.4	Stromerzeugung.....	11
3	Auswirkung des Baustandards auf die Wirtschaftlichkeit	12
3.1	Baukostenentwicklung in Luxemburg.....	12
3.2	Mehrkosten, Energiekosteneinsparung und Wirtschaftlichkeit der Baustandards	15
4	Fazit um Empfehlung.....	18
5	Literaturverzeichnis.....	20
6	Anhang.....	21
6.1	Gebäudedaten und investive Mehrkosten	21
6.2	Berechnung mit 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung.....	22
6.2.1	Cashflow-Analyse bei 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung	23
6.2.2	Detailrechnung bei 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung.....	25
6.3	Berechnung mit 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung.....	28
6.3.1	Cashflow-Analyse bei 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung	29
6.3.2	Detailrechnung bei 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung.....	31

1 Einleitung

Mit der Richtlinie 2009/28/EG werden die Mitgliedsstaaten zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen aufgefordert. Das vorliegende Dokument behandelt die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien im Gebäudesektor und zeigt ein Konzept, zur Einbettung dieser Anforderungen in das gesetzliche Umfeld.

1.1 Wohn- und Nichtwohngebäude

Durch die, seit Ende 2007 für Wohngebäude umgesetzte Energieeinsparverordnung, werden neben Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz auch Anforderungen an den Wärmeschutz und die CO₂-Emissionen für alle neuen Gebäude gestellt. Die Effizienz eines Gebäudes wird in einem Energiepass dargestellt, in welchem eine Klassifizierung von A bis I, ähnlich wie bei Kühlschränken erfolgt. Seit dem 01. Januar 2011 gilt ein analoges System auch für neue Nichtwohngebäude. Hier werden jedoch mehr Energieanwendungen berücksichtigt. Die Bewertungsgrundlage für die Gesamtenergieeffizienz ist bei Wohn- und Nichtwohngebäuden jeweils der Primärenergieenergiebedarf.

1.2 Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen

Durch die erweiterte Nutzung von **erneuerbaren Energien** reduziert sich der Endenergiebedarf, der über fossile Energieträger importiert werden muss. Die Steigerung der **Energieeffizienz** in Gebäuden, zum Beispiel durch einen höheren Wärmeschutz, verfolgt das gleiche Ziel. Ein großer Deckungsanteil erneuerbarer Energien und eine hohe Energieeffizienz ergänzen sich damit nicht nur, sie verstärken sich sogar gegenseitig. Eine nachhaltige Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden, mit der Zielrichtung eines möglichst hohen Deckungsanteils durch Erneuerbare, ist nur realisierbar, wenn gleichzeitig auch die Energieeffizienz der Gebäude verbessert bzw. deren Energiebedarf sinkt. Folgendes Schema verdeutlicht die Vorgehensweise bei der energetischen Optimierung von Gebäuden in einem vier Punkteplan.

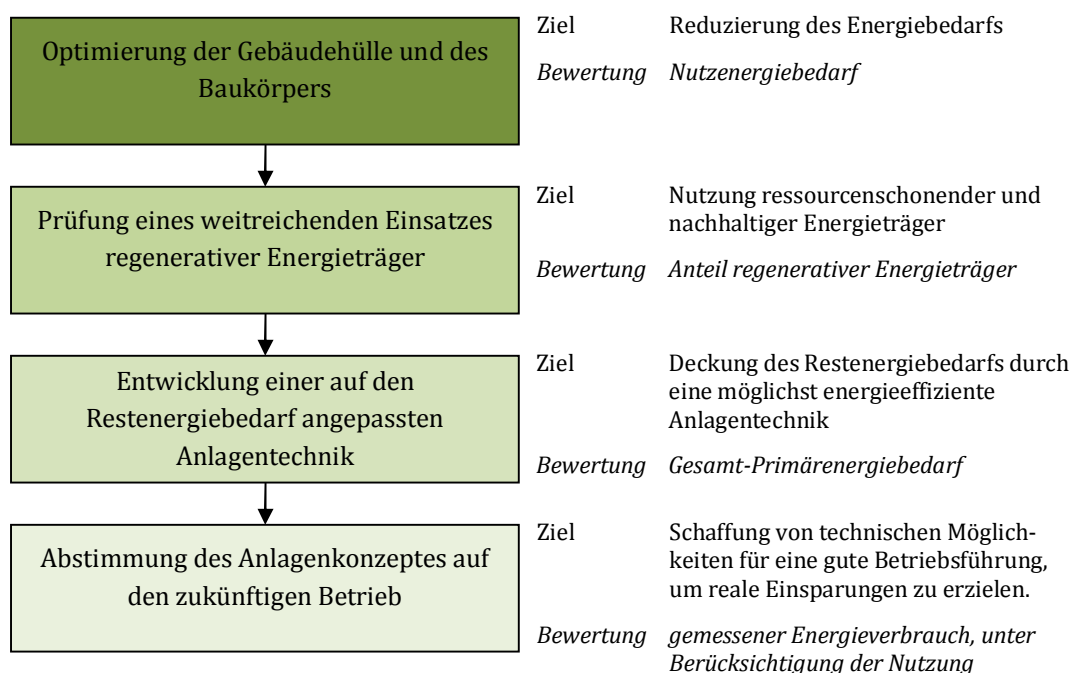


Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Optimierung eines Gebäudes. Bild aus [1].

In diesem Schaubild wird deutlich, dass an erster Stelle die Reduzierung des Energiebedarfs steht, der Gebäudeenergiebedarf soweit wie Möglich über erneuerbare Energien gedeckt wird und der Restenergiebedarf, der nicht über Erneuerbare sichergestellt werden kann, so Effizienz wie möglich bereit gestellt werden muss. Zur praktischen Ausnutzung des Einsparpotentials ist eine Überwachung und ein Monitoring über die Verbrauchswerte erforderlich.

1.3 Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden

2005 lag der Deckungsanteil am Bruttoendenergiebedarf über erneuerbare Energien in Luxemburg bei 0,9 %. Das anvisierte nationale Gesamtziel im Jahr 2020 liegt für Luxemburg bei 11 % [2]. Zur Verfolgung dieses Ziels muss neben einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien auch die Energieeffizienz in Gebäuden verbessert werden. Bei einer gleichbleibenden Nutzung von erneuerbaren Energien, steigt der Deckungsanteil über erneuerbare, wenn der Endenergiebedarf durch Effizienzmaßnahmen reduziert wird. Die Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden kann über folgende Systeme erfolgen:

- Nutzung von thermischer Solarenergie
- Nutzung von Geothermie (Wärmepumpen)
- Nutzung von Biomasse (Holzhackschnitzel, Biogas, Pellets etc.)
- Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung
- Nutzung von Windkraft zur Stromerzeugung
- Nutzung von Photovoltaik zur Solarstromerzeugung

Dabei unterscheiden sich die Potentiale hinsichtlich der Nutzung, bzw. Deckung am Gesamtenergiebedarf je eingesetzte Technik. Ebenso unterscheiden sich die Technologien hinsichtlich ihrer Ökonomie. Das Umsetzungskonzept zur Nutzung erneuerbaren Energien muss diesem Umstand Rechnung tragen. Deshalb ist es erforderlich auch die nationalen Förderkonzepte darauf abzustimmen.

Bei der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden werden die Nutzungen Windkraft und Photovoltaik derzeit nicht berücksichtigt, da sie der Gebäudeenergiebilanz nicht direkt zugute kommen. Um auch die Anwendung dieser Technologien zu fördern, sind die staatlichen Subventionsprogramme darauf abzustimmen.

1.4 Erneuerbare Energien, Primärenergie und Systemeffizienz

Die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz erfolgt über den sogenannten Primärenergiebedarf. In diesem spiegelt sich die gesamte vorgelagerte Prozesskette, von Gewinnung über Aufbereitung und Transport wieder sowie auch die eingesetzten Energieträger. Bezogen auf die Energieträger wird nur der nicht regenerative Anteil in den Faktoren berücksichtigt. Das wäre z.B. der fossile Energieaufwand, der zum Herstellen von Pellets erforderlich ist.

Mit der Größe Primärenergiebedarf wird demnach auch der Anteil an erneuerbaren Energieträger in den Anforderungen abgebildet. Folgende Tabelle zeigt die Primärenergiefaktoren der aktuellen Gesetzgebung [3]. Die Energieträger mit einem hohen Anteil an erneuerbarem Brennstoff weisen kleine Zahlenwerte auf. Strom hat mit einem Faktor von 2,66 die ungünstigste primärenergetische Bewertung.

Tabelle 1: Primärenergiefaktoren $f_{p,x}$ für den nicht-regenerativen Anteil

Primärenergiefaktor $f_{p,x}$ bezogen auf Endenergie ($\text{kWh}_p/\text{kWh}_e$)¹ für den jeweiligen Energieträger x		
Brennstoffe	Heizöl EL	1,10
	Erdgas H	1,12
	Flüssiggas	1,13
	Steinkohle	1,08
	Braunkohle	1,21
	Holzhackschnitzel	0,06
	Brennholz	0,01
	Holz-Pellets	0,07
	Biogas	0,03
	Rapsöl	0,18
Strom	Strom-Mix	2,66
dezentrale KWK	mit erneuerbarem Brennstoff	0,00
	mit fossilem Brennstoff	0,72
Nah- & Fernwärme	aus KWK mit erneuerbarem Brennstoff	0,00
	aus KWK mit fossilem Brennstoff	0,62
	aus Heizwerken mit erneuerbarem Brennstoff	0,25
	aus Heizwerken mit fossilem Brennstoff	1,48

Zur Nutzung von Geothermie als erneuerbare Energiequelle werden Wärmepumpen, die in der Regel mit Strom betrieben werden, eingesetzt. Die Effizienz dieser Systeme wird, in Abhängigkeit der Art der Wärmepumpe, mit einer Anlagenaufwandszahl bewertet. Die Anlagenaufwandszahl drückt das Verhältnis von energetischem Nutzen zum dafür erforderlichen Aufwand aus, und nimmt bei konventionellen Wärmeerzeugern einen Wert über 1 an. Bei Wärmepumpen liegt diese Aufwandszahl deutlich unter 1 (0,19 bis 0,37) und spiegelt so einerseits die Effizienz der Umwandlung und andererseits die Nutzung erneuerbarer Energien (Geothermie) wieder (vgl. Tabelle 2, [3]). Konventionelle Elektroheizungen haben im Vergleich Aufwandszahlen um 1.

Tabelle 2: Anlagenaufwandszahlen für Energieerzeugung (Tabelle gekürzt)

Energieerzeugertyp	Heiz-temperaturen °C	Anlagen-aufwandszahl e_H
Pellets-Feuerung	70/55	1,38
Thermische Solaranlage	alle	0,00
Elektrospeicherheizung	alle	1,00
Fern- und Nahwärme	alle	1,01
Wärmepumpe Erdreich/Wasser	55/45	0,27
	35/28	0,23
Wärmepumpe Luft/Wasser	55/45	0,37
	35/28	0,30
Wärmepumpe Abluft/Wasser (ohne WRG)	55/45	0,30
	35/28	0,24
Wärmepumpe Zuluft/Abluft-WP (mit WRG)	alle	0,34

¹ Für Holz, Biogas, Rapsöl, und Heizwerken mit erneuerbarem Anteil als Energieträger entspricht dies dem nicht-regenerativem Anteil

2 Vorschlag für die Umsetzung zur Nutzung erneuerbarer Energien

Zukünftig gesetzliche Mindestanforderungen zur Nutzung regenerativer Energien im Gebäudebereich müssen abgestimmt werden mit den bereits existierenden Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden[4]. Andernfalls können sich Schwierigkeiten bei der Definition des Anforderungsniveaus sowie bei der Nachweisführung in der praktischen Anwendung ergeben. Dies zeigen die Erfahrungen aus anderen europäischen Nachbarländern.

Vor dem Hintergrund wird im Folgenden ein Konzept vorgeschlagen, das Anforderungen an die Nutzung regenerativer Energie und an die Gesamtenergieeffizienz gemeinsam abdeckt. Es baut auf, auf den bereits in Luxemburg bekannten Effizienzklassen des Energiepasses. Es hat den Vorteil, dass es beide Anforderungen in einer Nachweismethodik vereint werden und so einen Mehraufwand für die Nachweisführung in der Praxis vermeiden wird. Zudem wird die Freiheit der Planung nicht eingeschränkt, da lediglich verbindliche Ziele festgelegt werden, die auf dem für den jeweiligen Fall günstigsten Weg erreicht werden können. Im Einzelnen ermöglicht es:

- die Kombination aus Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden und erweiterte Nutzung von erneuerbaren Energien.
- die sukzessive Verschärfung des Wärmeschutzes und der Energieeffizienz mit dem anvisierten Ziel im Jahre 2020 den Standard des Nullenergiegebäudes² für alle Neubauten.
- ein Anhaben der Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz und an die CO₂-Emissionen, um die Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden zu forcieren.
- Zeitliche und ökonomische Kombination staatlicher Subventionen zur Förderung des Einsatzes von erneuerbaren Energien.

Folgendes Schema zeigt die Verschärfung der Anforderungen lediglich an die Gesamtenergieeffizienz sowie die Verschärfung an Gesamtenergieeffizienz und Mindestanforderungen an die Nutzung erneuerbaren Energien. Es werden zwei Szenarien betrachtet:

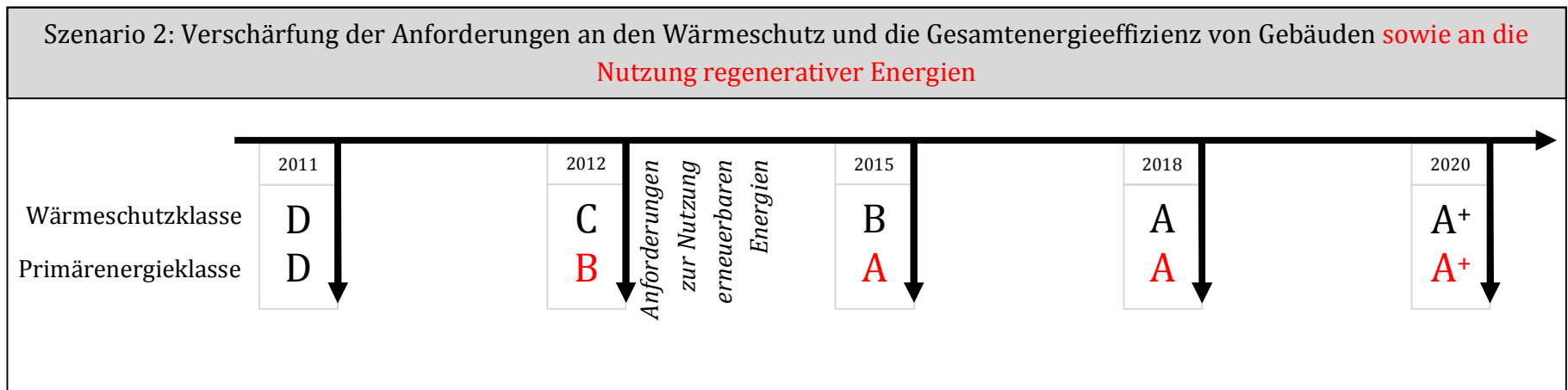
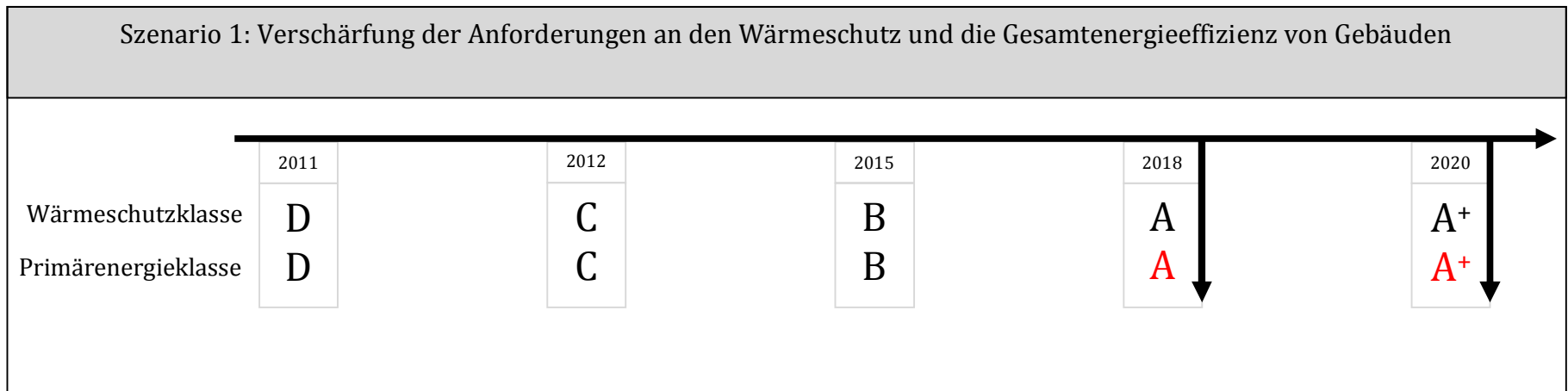
1. Sukzessive Erhöhung der Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden mit dem Ziel 2020 den Nullenergiestandard für alle Neubauten zu realisieren. Es erfolgen keine direkten/indirekten Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien. Die Klassen Wärmeschutz, Gesamtprimärenergie und CO₂-Emissionen werden in gleichem Umfang verschärft.
2. Erhöhung der Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden mit dem Ziel 2020 den Nullenergiestandard für alle Neubauten zu realisieren. Die Klasse Wärmeschutz und CO₂-Emissionen werden wie im Szenario 1 verschärft. Bei jeder Novellierung des Anforderungsniveaus der Energieeinsparverordnung wird das Anforderungsniveau auf der Ebene der Gesamtenergieeffizienz um einen Klassensprung mehr angehoben. Das macht es erforderlich, bei gleichbleibendem Wärmeschutzstandard, erneuerbare Energien zu nutzen, um den Anforderungen zu entsprechen.

Wenn 2018 der Energieeffizienzstandard A-A-A (Passivhausstandard) erreicht ist, sind die Anforderungen an den Wärmeschutz und die Nutzung erneuerbarer Energien gleich auf. Für die

² Der Begriff Nullenergie entspricht hier der Anforderung „*nearly zero energy building*“. Dafür ist, wie in den meisten anderen Mitgliedstaaten auch, in Luxemburg noch keine Definition festgeschrieben. Die Grundausrichtung ist jedoch ein hochenergieeffizientes Gebäude, mit einem sehr geringen Endenergiebedarf und ggf. der Nutzung erneuerbarer Energien [4].

Energieeffizienzklasse A-A-A ist von Seiten der Kalibrierung des Anforderungsniveaus bereits die Nutzung erneuerbarer Energien vorgesehen, sodass hier keine weitere Verschärfung der Anforderungen erforderlich ist.

Der mit A⁺ markierte Energieeffizienzstandard entspricht dann einem Nullenergiehaus, bei welchem die umfangreiche Nutzung erneuerbarer Energien erforderlich ist, um diesen Energiestandard zu erreichen. Da zur Erreichen dieser ausgeglichenen Energiebilanz für Wohngebäude die Nutzung von Photovoltaik erforderlich ist, muss der Bilanzierungsrahmen von Gebäuden bis zu diesem Zeitpunkt angepasst werden.



- Ein Gebäude mit der Gesamtenergieeffizienzklasse A nutzt in der Regel regenerative Energieträger (thermische Solaranlage etc.)
- Die Energieeffizienzklasse A+ entspricht dem Standard eines Nullenergiehauses, der ab 2020 bindend für Neubauten vorgeschrieben wird.
- Rot dargestellt sind Anforderungen für den Einsatz erneuerbarer Energien.

2.1 Anteil erneuerbare Energien

Die Anforderungen der Energieeffizienzklasse A sieht im aktuellen Gesetzesentwurf die Nutzung erneuerbarer Energie über eine thermische Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung vor.

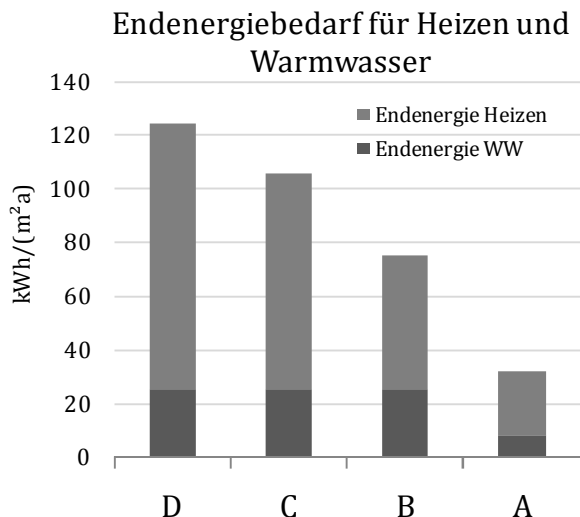


Abbildung 2: fossiler Endenergiebedarf für Heizen und Trinkwarmwasserbereitung in Abhängigkeit der Gesamtenergieeffizienzklassen. Für die Klasse A wird neben der Steigerung der Anlageneffizienz und des Wärmeschutzes auch eine thermische Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung unterstellt, was sich im reduzierten fossilen Bedarfskennwert für Trinkwarmwasser widerspiegelt.

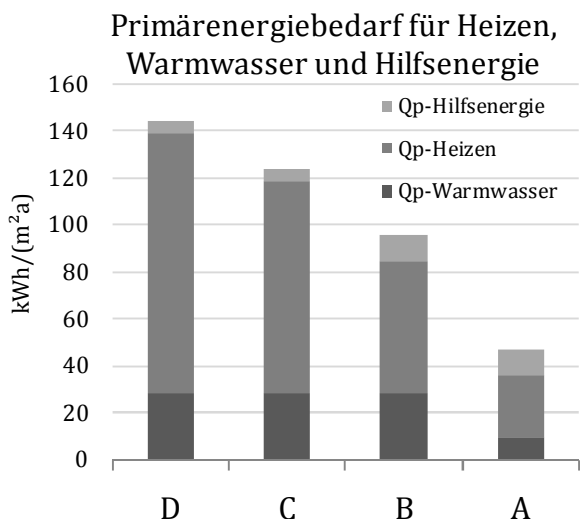


Abbildung 3: Primärenergiebedarf für Heizen, Trinkwarmwasserbereitung und Hilfsenergie in Abhängigkeit der Gesamtenergieeffizienzklassen. Auf der Basis der Gesamt-Primärenergieanforderungen kann die indirekt eingeforderte Nutzung erneuerbarer Energien bei der Energieeffizienzklasse A auch über andere Systeme sichergestellt werden. Erreicht wird die Klasse für ein typisches Gebäude über eine thermische Solaranlage. Ab der Energieeffizienzklasse B erhöht sich der Hilfsenergiebedarf durch Nutzung einer mechanischen hygienischen kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

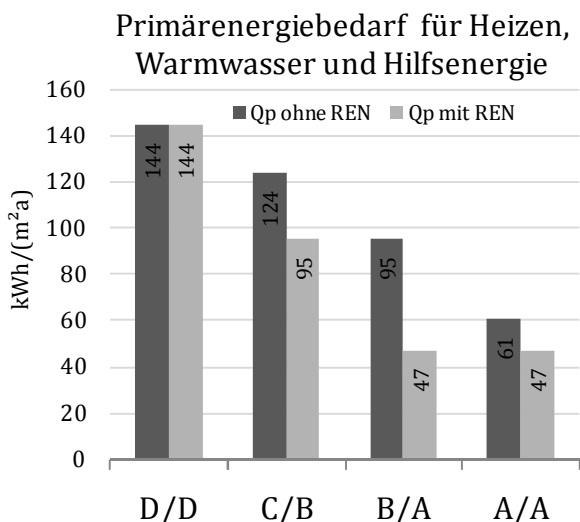


Abbildung 4: Gesamt-Primärenergiebedarf für Heizen, Trinkwarmwasserbereitung und Hilfsenergie in Abhängigkeit der Gesamtenergieeffizienzklassen für die beiden Szenarien mit Nutzung erneuerbarer Energien. Die erste Säulengruppe (dunkelgrau) zeigt den Primärenergiebedarf ohne Nutzung von erneuerbaren Energien. Dies gilt auch für die Klasse A, hier wurde der Anteil über die thermische Solaranlage, der in der derzeitigen Verordnung bereits vorgeschrieben ist, abgezogen. Dies zeigt die alleinige Verschärfung der Energieeffizienz durch einen verbesserten Wärmeschutz und eine effizientere Anlagentechnik – ohne den Einfluss erneuerbarer Energien. Durch die Erhöhung der Anforderungen bei der Gesamt-Primärenergie auf den nächsten Klassensprung, wird bereits ab der ersten Verschärfung die Nutzung erneuerbarer Energien vorgeschrieben.

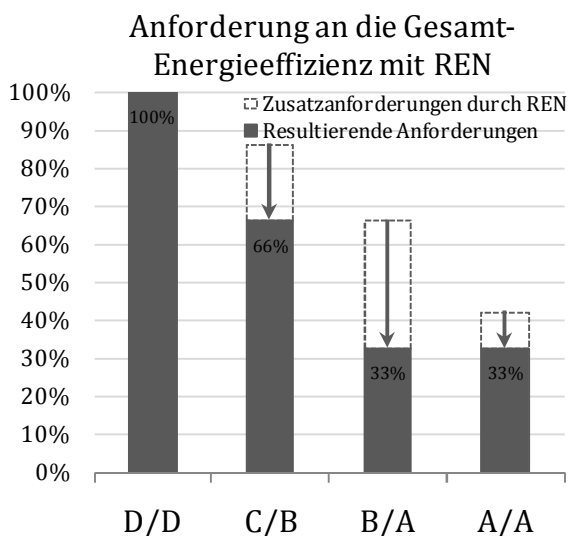


Abbildung 5: Verschärfung der Anforderung an die Gesamt-Energieeffizienz von Gebäuden im zeitlichen Verlauf für Szenario 2. Die schraffiert dargestellten Bereiche zeigen die im Betrachtungszeitpunkt resultierenden Zusatzanforderungen, die sich durch die Nutzung von erneuerbaren Energien ergeben.

2.2 Sonderregelung

Die Nutzung erneuerbarer Energien kann für einen spezifischen Standort nicht möglich sein. Das kann z. B. folgende Ursachen haben:

- stark verschattete Lage des Gebäudes, d.h. keine Solarenergienutzung möglich,
- keine Möglichkeit zur Nutzung von Erdwärme (z. B. genehmigungsrechtlich),
- keine Möglichkeit zur Nutzung von Biomasse,

Um für diese Fälle dennoch die gewünschten endenergetischen Anforderungen zu erreichen, ist die Effizienz des Wärmeschutzes und die Effizienz der eingesetzten Anlagentechnik so weit zu erhöhen, dass die geforderte Primärenergieklasse erreicht wird. Dies bedeutet in der Regel, dass die Wärmeschutzklasse die gleiche Klasse erreichen muss, wie die Gesamtenergieeffizienzklasse.

2.3 Thermische Solaranlage

Thermische Solarenergie wird meist zur Trinkwarmwasserbereitung eingesetzt. Das Auslegungsziel beträgt bei Wohngebäuden etwa 50 % des Warmwasserbedarfs [3]. Bezogen auf den gesamten Wärmebedarf hängt der mögliche Deckungsanteil über eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung vom vorhandenen Dämmstandard des Gebäudes ab. Folgende Tabelle zeigt den Anteil des Warmwasserbedarfs am gesamten Wärmebedarf und den möglichen Deckungsanteil durch eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung. Grundlage ist ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 200 m² und 4 Personen.

Tabelle 3: Mögliche Deckungsanteile von Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung in Abhängigkeit der Wärmeschutzklasse. Die Größe der thermischen Solaranlage ist für alle Varianten gleich mit etwa 6 m² für einen 4 Personenhaushalt.

Wärmeschutz	Anteil Warmwasser am Gesamtwärmebedarf (Heizung und Warmwasser)	Deckungsanteil einer thermischen Solaranlage am Gesamtwärmebedarf (Heizung+Warmwasser)
Klasse D	14 %	7 %
Klasse C	17 %	8,5 %
Klasse B	24 %	12 %
Klasse A	39 %	19,5 %

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards erhöht sich der Deckungsanteil der thermischen Solaranlage von 7 % auf 19,5 %. Zum Erreichen der Gesamtenergieeffizienzklasse A ist i. d. R. eine thermische Solaranlage erforderlich, wenn sonst keine erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen.

2013 erfolgt im vorgestellten Szenario die erste Novelle der Anforderungen auf die Klasse C sowohl für den Wärmeschutz als auch für die Gesamtenergieeffizienz (Primärenergie). Um eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien zu erreichen, wird hierauf aufbauend für die Gesamtenergieeffizienz die Klasse B vorgeschrieben. Es bleibt jedem frei überlassen, welche erneuerbare Energieträger zum Erreichen dieser Klasse eingesetzt werden oder ob die verbesserte Gesamtenergieeffizienz durch erhöhten Wärmeschutz bzw. Anlageneffizienz erreicht wird. Auch eine Kopplung unterschiedlicher Maßnahmen ist möglich. Damit stellt das vorgeschlagene Konzept sicher, dass die für den Einzelfall am besten geeignete Lösung realisiert werden kann. Für die Planungs- und Gestaltungsfreiheit wird ein maximaler Freiraum geschaffen.

Hinsichtlich der thermischen Solarenergie reicht die alleinige Integration einer Anlage zur Trinkwarmwasserbereitung bei Gebäuden der Wärmeschutzklasse D und C nicht aus, um diesen Standard zu erreichen. Um dennoch die Klassenziele mit einer thermischen Solaranlage zu erreichen, kann ergänzend der Wärmeschutz verbessert werden, sodass eine ausreichende Kompensation gewährleistet wird.

Um die Nutzung von thermischer Solarenergie im Gebäudebereich zu forcieren, sollten die staatlichen Förderprogramme darauf abgestimmt werden. Die Subventionen sollten progressiv mit der Verschärfung der Anforderungen und den dann üblichen Marktpreisen angepasst werden, um die Marktdurchdringung dieser Technologie zu erreichen.

2.4 Stromerzeugung

Strom aus Photovoltaik

Strom aus Photovoltaik wird bei der Gebäudebilanzierung nicht berücksichtigt. Der Strom von Solarstromanlagen wird nach dem aktuellen Förderkonzept in das öffentliche Netz eingespeist und nicht im Gebäude zur Eigenbedarfsdeckung genutzt. Im Netz substituiert solarerzeugter Strom den Bezug von Kraftwerksstrom, wodurch sich der nationale Primärenergiefaktor für den Strombezug reduziert. Dieser muss in regelmäßigen Abständen an die aktuelle Situation angepasst werden. Vergleicht man den Primärenergiefaktor für Strom in Deutschland, so hat sich dieser in der letzten Dekade von 3,0 auf 2,6 reduziert, was u.a. auch der Nutzung erneuerbarer Energien geschuldet ist.

Strom aus Windenergie

Analog zur Stromerzeugung aus Photovoltaik, wird erzeugter Strom aus Windenergie, mittelst Kleinanlagen, nicht in der Energiebilanz im Gebäudebereich berücksichtigt. Erzeugter Strom durch Windenergie reduziert ebenfalls den Primärenergiefaktor für bezogenen Strom aus dem Netz und wird dort in der nationalen Bilanz berücksichtigt.

Gebäudebilanz

Wenn eigenproduzierter Strom im Rahmen von Gebäudebilanzen mit berücksichtigt werden soll, muss ein Modell gefunden werden, mit dem eine Doppelanrechnung von erneuerbarem Strom vermieden wird. Derzeit werden die Modelle getrennt voneinander betrachtet.

3 Auswirkung des Baustandards auf die Wirtschaftlichkeit

3.1 Baukostenentwicklung in Luxemburg

Die Baukosten in Luxemburg sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Abbildung 6 zeigt die zeitliche Entwicklung des Baupreisindex für Luxemburg [5] [6]. Einen nennenswerten Einfluss durch die Einführung von verschärften Anforderungen an Wärmeschutz und Gesamtenergieeffizienz durch das „Reglement concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation et modifiant“ [3] im Jahr 2007 ist aus der Kurve nicht herauszulesen.

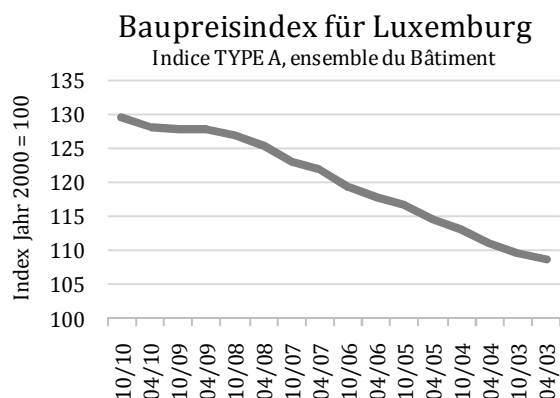


Abbildung 6: Darstellung des Baupreisindex für Einfamilienhäuser für die Jahre 2003 bis 2010 [5]. Aus dem Trend ist keine signifikante Erhöhung des Baupreises nach der Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahre 2007 herauszulesen.

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Niedrigenergie- und Passivhäusern sind Angaben zu typischen baulichen und technischen Mehrkosten erforderlich, die zur Erreichung des Standards erforderlich sind. Bezugspunkt sind die Anforderungen nach aktueller Gesetzgebung [3].

Statistische Erhebungen

Die investiven Mehrkosten und die Energieeinsparung werden dabei in Bezug zu dem seit 2007 geltenden Mindeststandard bestimmt, der in etwa der Klasse D entspricht. Werte sind der Studie „Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden“ [7] entnommen.

Tabelle 4: Typische Mehrkosten für eine Baumaßnahme [7], Baupreisindexkorrigiert [6]

Bauteiltyp	Mehrkosten in €/cm	
	Dämmstoffzuwachs, Stand 2007 (allg. Baupreisindex 649,17)	Dämmstoffzuwachs, bezogen auf 2009 (allg. Baupreisindex 677,1)
Außenwand	1,4	1,46
Dach	1,0	1,04
Fußboden	1,0	1,04
Fenster	125	130,4

Förderprojekte in Luxemburg

Ausgewertet wurden die Mehrkostenangaben von 9 Neubauprojekten im Rahmen von Förderanträgen für Gemeindegebäude (Schulen, Kindertagesstätten, Jugendherberge ...) Der Energetische Standard der Gebäude ist entweder Passiv- oder Niedrigenergiebauweise. Die gefundenen Kostenangaben wurden für unterschiedliche Bauteiltypen sortiert. In den Abbildungen dargestellt sind die spezifischen Mehrkosten in Abhängigkeit der erforderlichen Mehrdämmung zur Erreichung des Standards. In den Kosten enthalten sind neben dem reinen Dämmstoffpreis auch alle Konstruktiven und baulichen Maßnahmen (z. B. Verlängerung des Dachüberstands, Fensterbänke etc.).

Betrachtet man die Auswertung der Dachdämmung liegen die Mehrkosten deutlich höher als für andere Bauteiltypen. Das Bestimmtheitsmaß zeigt ebenfalls eine unscharfe Abbildung über eine Trendfunktion. Dies begründet sich im Wesentlichen dadurch, dass für einige Gebäude Schaumglas als Dämmmaterial eingesetzt wurde, was tendenziell teurer ist herkömmlicher Dämmstoff. Im Wohnungsbau kommt als Dachdämmung überwiegend Mineralwolle zum Einsatz, weshalb die Kosten nicht angesetzt werden.

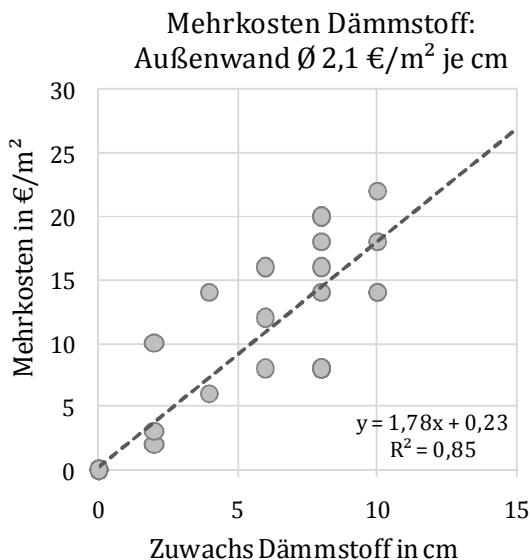


Abbildung 7: Spezifische Mehrkosten zur Vergrößerung der Dämmstoffdicke für das Bauteil Außenwand. Ausgewertet wurden 25 Bauteile. Der Mehrpreis beinhaltet neben den Kosten für Dämmstoff auch auf die konstruktiven und baulichen Maßnahmen, die erforderlich sind, um die größere Dämmstoffdicke anzubringen. Die Basisdämmstoffdicke entspricht der einer konventionellen Bauweise. Bezogen auf einen Zuwachs von einem cm Dämmstoff liegen die mittleren Kosten bei 2,1 €/m² je cm. Der verwendete Dämmstoff ist entweder Mineralwolle oder Styropor mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK).

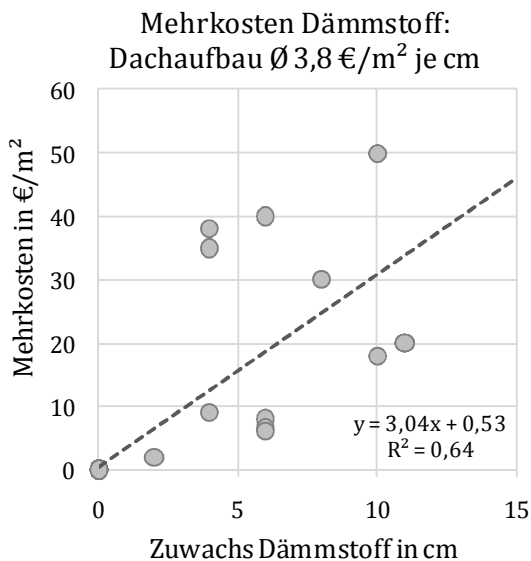


Abbildung 8: Spezifische Mehrkosten zur Vergrößerung der Dämmstoffdicke für das Bauteil Dach. Ausgewertet wurden 25 Bauteile. Der Mehrpreis beinhaltet neben den Kosten für Dämmstoff auch auf die konstruktiven und baulichen Maßnahmen, die erforderlich sind, um die größere Dämmstoffdicke anzubringen. Die Basisdämmstoffdicke entspricht der einer konventionellen Bauweise. Bezogen auf einen Zuwachs von einem cm Dämmstoff liegen die mittleren Kosten bei 3,8 €/m² je cm. Der Dämmstoff Schaumglas kommt hier sehr häufig vor, was zu tendenziell höheren spezifischen Kosten je cm führt.

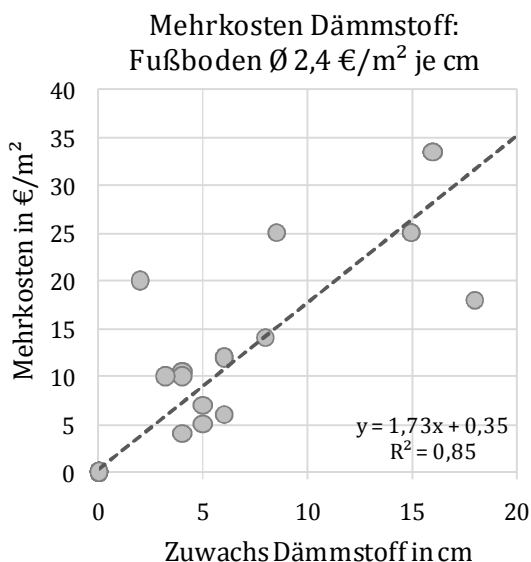


Abbildung 9: Spezifische Mehrkosten zur Vergrößerung der Dämmstoffdicke für das Bauteil Fußboden. Ausgewertet wurden 18 Bauteile. Der Mehrpreis beinhaltet neben den Kosten für Dämmstoff auch auf die konstruktiven und baulichen Maßnahmen, die erforderlich sind, um die größere Dämmstoffdicke anzubringen. Die Basisdämmstoffdicke entspricht der einer konventionellen Bauweise. Bezogen auf einen Zuwachs von einem cm Dämmstoff liegen die mittleren Kosten bei 2,4 €/m² je cm. Gegen Erdreich grenzende Bauteile weisen meist eine Wärmeleitfähigkeit von über 0,035 W/(mK) auf, was spezifisch etwas höhere Kosten je cm verursacht.

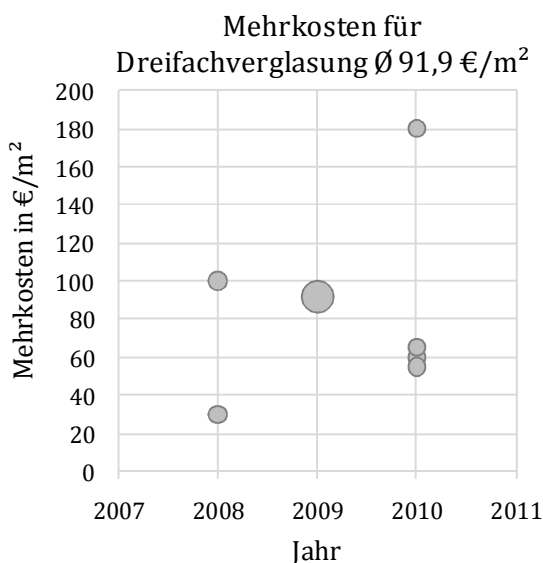


Abbildung 10: Spezifische Mehrkosten zur Vergrößerung der Dämmstoffdicke für das Bauteil Fenster. Ausgewertet wurden 9 Projekte. Die Mehrkosten beziehen sich für alle Projekte auf den Zweifach-Wärmeschutzverglasung auf eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung. Darin enthalten sind neben dem Glas auch die Kosten für Rahmen. Das verwendete Rahmenmaterial hat bei den Kosten einen großen Einfluss. Hochgedämmte Holz-Alu-Rahmen sind i.d.R. teurer als Kunststoffrahmen gleicher Dämmung. Die mittleren Kosten betragen knapp 92 €/m².

Erforderliche Maßnahmen zur Erreichung des Energiestandards

Niedrigenergie- und Passivhäuser zeichnen sich durch einen hohen Wärmeschutz aus und durch den Einsatz einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Folgende Tabelle zeigt die typischerweise erforderlichen Kenndaten für den jeweiligen Baustandard auf.

Tabelle 5: Typische Baukennwerte zur Erreichung des jeweiligen Energiestandards, [1][3][8]

Effizienzklasse	A ⁺	A	B	C	D	RGD'07	WSV'95
U-Wert Wand, W/(m ² K)	0,09	0,12	0,17	0,23	0,27	0,30	0,40
U-Wert Dach, W/(m ² K)	0,08	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,33
U-Wert Boden, W/(m ² K)	0,10	0,15	0,22	0,28	0,34	0,40	0,80
U-Wert Verglasung, W/(m ² K)	0,50	0,50	0,70	0,90	1,10	1,10	1,50
U-Wert Rahmen, W/(m ² K)	0,70	0,75	1,00	1,10	1,30	1,65	2,50
PSI-Wert, W/(mK)	0,035	0,035	0,043	0,052	0,06	0,08	0,08
U-Wert Fenster, W/(m ² K)	0,67	0,68	0,92	1,12	1,34	1,50	2,00
Wärmebrücken, W/(m ² K)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,15
typ. Dämmstoffdicke Wand, cm ⁴	38	28	19	14	12	11	8
typ. Dämmstoffdicke Dach, cm	43	34	26	19	16	13	9
typ. Dämmstoffdicke Boden, cm	34	22	15	11	9	8	3

Verwendete Baukosten

Auf der Basis angegebenen Dämmstoffdicken werden die baulichen Mehrkosten für den jeweiligen Baustandard ermittelt. Zur Bestimmung der investiven Baumehrkosten werden die in der folgenden Tabelle angegebenen Kosten verwendet. Diese ergeben sich als Mittelwert aus den Kosten der ausgewerteten Förderprojekte und den in [7] gefundenen Mehrkosten.

Tabelle 6: Verwendete Mehrkosten

Bauteiltyp	mittlere Kosten aus [7], 2009	mittlere Kosten aus Förderprojekten	Mittelwert
Außenwand, €/cm	1,46	2,1	1,78
Dach, €/cm	1,04	3,8	1,72
Fußboden, €/cm	1,04	2,4	1,72
Fenster, €/m ²	130,4	91,9	111,1

3.2 Mehrkosten, Energiekosteneinsparung und Wirtschaftlichkeit der Baustandards

Die aus Gründen des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung erforderliche Anhebung der Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden und an die Nutzung von regenerativen Energien führt einerseits zu investiven Mehrkosten bei der Errichtung der Gebäude. Gleichzeitig werden der Energieverbrauch und damit die jährlichen Energiekosten gesenkt. Übersteigen die in der Nutzungszeit eingesparten Energiekosten die investiven Mehrkosten, so ist die Maßnahme wirtschaftlich.

³ Der Energiestandard A⁺ entspricht einem verbesserten Passivhausstandard (nach PHI-Definition) und könnte für die Definition des Nullenergiegebäudes herangezogen werden.

⁴ Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes beträgt 0,035 W/(mK)

Aufgrund der Unsicherheit in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Energiepreise wird die Wirtschaftlichkeit für eine inflationsbereinigte jährliche Energiepreissteigerung von 1%/a und 5%/a berechnet.

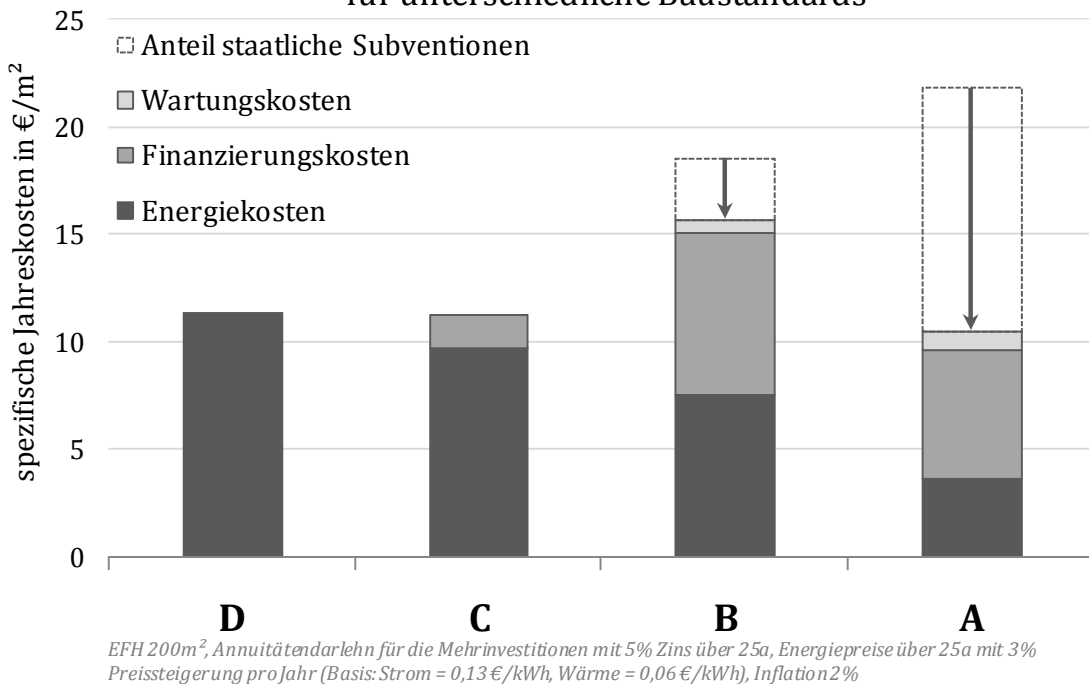
Die Mehrkosten für die Nutzung regenerativer Energien variieren sehr stark je nach eingesetztem System. Die Nutzung von Biomasse (z.B. Pelletkessel) führt zu deutlich geringeren Kosten als z. B. der Einsatz von solarthermischen Anlagen. Da in jedem Fall die Kompensation über Wärmeschutzmaßnahmen und effiziente Anlagentechnik möglich ist, wird dieser Fall inklusive als Basis für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit herangezogen (bei Klasse A die thermische Solaranlage).

Folgende Bilder zeigen die mittleren spezifischen Jahreskosten über einen Zeitraum von 25 Jahren. Darin enthalten sind:

- die Finanzierung der Mehrkosten über ein Darlehn mit 5 % Zins
- die Energiekosten für Heizen, Warmwasser und Lüfterstrom mit einer Energiepreissteigerung von effektiv 1 %/a und 5 %/a (Basispreise: Wärme = 0,06 €/kWh, Strom 0,13 €/kWh)
- die Wartungs- und Instandhaltungskosten für die Lüftungsanlage (Filterwechsel etc.) und die thermische Solaranlage (Klasse A)
- die gewährten staatlichen Subventionen für den jeweiligen Baustandard, bzw. für die thermische Solaranlage bei der Klasse A

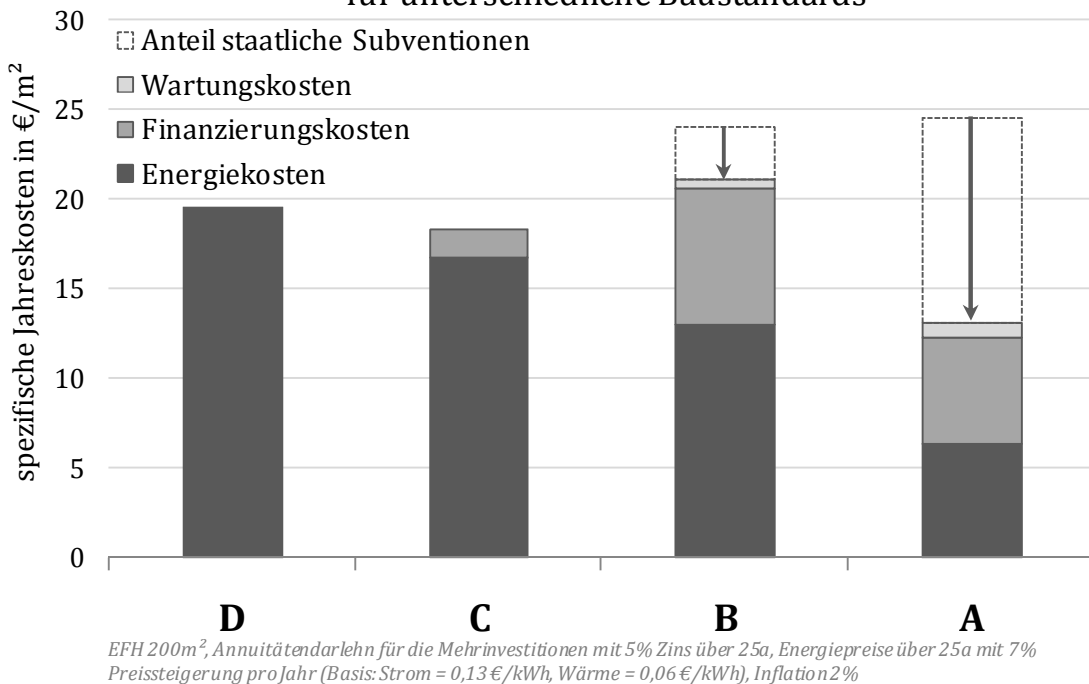
Die detaillierte Berechnung befindet sich im Anhang.

Mehr- und Energiekosten für unterschiedliche Baustandards



Klasse	D	C	B	A
Amortisationszeit	-	23,9 a	42,7 a	17,3 a

Mehr- und Energiekosten für unterschiedliche Baustandards



Klasse	D	C	B	A
Amortisationszeit	-	11,0 a	27,8 a	7,8 a

4 Fazit um Empfehlung

Umsetzung erneuerbare Energien

Um im Jahre 2020 den Standard der Nullenergiehäuser zu erreichen, müssen vorgelagert auch politische Weichen gestellt werden, um den Sektor sukzessive darauf vorzubereiten. Dafür ist eine kontinuierliche Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz und die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien erforderlich.

Die Zielsetzung der Nutzung von erneuerbaren Energien und eine generelle Verbesserung des Effizienzstandards von Gebäuden ergänzen und verstärken sich. Die Kombination der Nutzung erneuerbarer Energien und die Verbesserung des Wärmeschutzes von Gebäuden führen gleichermaßen zur Reduzierung des Endenergiebedarfs und zur Vergrößerung des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtverbrauch.

Das in Luxemburg angewandte Bewertungssystem über Klassen für die Bereiche Wärmeschutz, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen erlaubt es, Anforderungen für beide Ziele in einem in sich geschlossenen System zu definieren. Neben einer Verschärfung der Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes (Anhebung der Wärmeschutz- und der Primärenergieklasse) wird in dem vorgeschlagenen Konzept für Wohngebäude die Mindestanforderung an den Primärenergiebedarf um eine weitere Klasse erhöht (keine Anhebung der Wärmeschutzklasse). Dieser Klassensprung stellt primär Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien. Das dafür gemacht Vorschlag zeigt eine mögliche Umsetzung auf der Zeitachse.

Zusätzliche Anreize für die Nutzung regenerativer Energien können insbesondere thermischen Solaranlagen sinnvoll sein. Hier sollten die staatlichen Subventionen auf dieses System abzustimmen. Dazu sind die Förderhöhen auch auf der Zeitachse variabel zu gestalten.

Da für Nichtwohngebäude das gleiche System von Wärmeschutz, Gesamtprimärenergiebedarf und CO₂-Emissionen gilt, kann die verbindliche Nutzung erneuerbarer Energien auch auf diese Gebäude ausgeweitet werden. Da die Möglichkeiten, aufgrund der Berücksichtigung mehrerer Energieanwendungen, größer sind, und weil zum derzeitigen Zeitpunkt keine umfangreichen Praxiserfahrungen vorliegen, ist es erforderlich das System in Bezug auf erneuerbare Energien angepasst auszutarieren.

Wirtschaftlichkeit verschiedener Bauweisen

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte sich, dass das Energiesparhaus, und unter Einbeziehung von staatlichen Subventionen auch das Passivhaus, sehr wirtschaftlich sind, im Vergleich zur konventionellen Bauweise in der Energieeffizienzklasse D.

Das Passivhaus (Klasse A) amortisiert sich, unter Einbeziehung von Fördermitteln, selbst bei einer moderaten Energiepreissteigerung von 1 % (inflationbereinigt) innerhalb von 17 Jahren; bei einer Steigerung von 5 % sogar innerhalb von knapp 8 Jahren. Hinsichtlich der aktuell gewährten Förderhöhen ist das, von Seiten des Staates, als ein eindeutiges Zeichen zu werten, den Bau von energieeffizienten Passivhäusern aktiv zu fördern. Die angegebenen Preissteigerung für Energie ist inflationbereinigt mit 1 % als konservativ zu bewerten, vergleicht man die Entwicklung der letzten Dekade.

Beim Niedrigenergiehaus kann der Mehraufwand für Finanzierung und Wartung innerhalb der Nutzungszeit erwirtschaftet werden. Bei einer inflationsbereinigten Energiepreissteigerung von 5 %, amortisieren sich die investiven Mehrkosten in etwa 27 Jahren.

Ein großer Sprung in den Mehrkosten verursacht die hygienische Bel- und Entlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung, die ab dem Standard eines Niedrigenergiehauses (Klasse B) erforderlich ist. Es wäre falsch, diese Mehrkosten vollkommen energetisch motiviert zu bilanzieren, da eine Lüftungsanlage auch zu einer deutlichen Komfortsteigerung im Gebäude führt.

Die angegebenen Mehrkosten zur Erreichung des jeweiligen energetischen Standards, wurden aus verschiedenen Quellen bestimmt. Die in dieser Studie verwendeten Kosten liegen tendenziell an der oberen Grenze. Bei einem gut geplanten Passivhaus, kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die realen Kosten niedriger sind. Nicht betrachtet sind zudem mögliche Preisreduktionen, die sich beispielsweise durch günstigere Herstellungsverfahren verschiedener Komponenten, bzw. Technologieentwicklungen ergeben. So werden Dreifach-Wärmeschutzverglasungen in den letzten Jahren deutlich häufiger eingesetzt, was zur Reduktion des Kaufpreises geführt hat.

Umweltschutzmaßnahmen sind derzeit nur in glücklichen Ausnahmefällen betriebswirtschaftlich rentabel. Es ist jedoch klar, dass in diesem Fall Geld und der betriebswirtschaftliche Aspekt nicht das alleinige Maß der Dinge sein kann, denn dem gesetzten Ziel der CO₂-Vermeidung, des Umweltschutzes stehen keine direkten monetären Einkünfte gegenüber.

Die reine betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise stellt insofern eine Verzerrung der Realität dar, als dass die so genannten externen Kosten des Energieverbrauchs durch Umweltzerstörung, Gesundheitsschädigung von Mensch und Tier, Artensterben, Schädigung der Bausubstanz und Verknappung der Ressourcen nicht in die Rechnung einfließen. Im Sinne einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise kann ein energieoptimiertes Gebäude vermiedene externe Kosten als Bonus verbuchen.

Neben der ökologischen und ökonomischen Relevanz ist die Wertsteigerung des Gebäudes durch verbesserte Bauqualität ebenfalls ein wichtiger Punkt für die Energieeffiziente und es ist ein Schritt in Richtung einer nachhaltigen Energiepolitik.

5 Literaturverzeichnis

- [1]. **Lichtmeß, Markus.** *Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden.* s.l. : Bergische Universität Wuppertal, 2010. urn:nbn:de:hbz:468-20101104-093839-1.
- [2]. **Amtsblatt der Europäischen Union.** *Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.* Brüssel : Europäische Union, 23. April 2009.
- [3]. **Luxembourg, Le Gouvernement du grand-duché de.** *Règlement grand-ducal du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation et modifiant.* Luxembourg : s.n., 2007. A-N°221.
- [4]. **Karsten Voss, Eike Musall, Markus Lichtmeß.** Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven. *Bauphysik.* 2010, 32, Heft 6.
- [5]. **statec Luxembourg .** *Indices semestriels des prix de la construction, Bâtiments résidentiels et semi-résidentiels.* Luxembourg : statec, 2004-2010.
- [6]. **statec Luxembourg.** *Luxemburg in Zahlen.* Luxembourg : statec, 2010.
- [7]. **Knissel, Jens, Diefenbach, Nikolaus et Born, Rolf.** *Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden.* Darmstadt : Institut für Wohnen und Umwelt, 2007.
- [8]. **Lichtmeß, Markus.** *EnerCalc: Vereinfachtes Bilanzierungsverfahren mit Excel-Tool.* Bonn : Forschung für energieoptimiertes Bauen: EnOB, BINE Informationsdienst, 2010.
<http://www.enob.info>.

6 Anhang

6.1 Gebäudedaten und investive Mehrkosten

Tabelle 7: Darstellung der Gebäudedaten nach [1] und der investiven Mehrkosten.

Gebäudedaten für ein Standardgebäude	D	C	B	A
Gebäudegröße, Energiebezugsfläche, m ²	200	200	200	200
A/V-Verhältnis, 1/m	0,65	0,65	0,65	0,65
Wandfläche, m ²	255	255	255	255
Dachfläche, m ²	130	130	130	130
Bodenfläche, m ²	117	117	117	117
Fensterfläche, m ²	56	56	56	56
Investive Mehrkosten, €	D	C	B	A
Wand	0	908	3 178	7 263
Dach	0	671	2 238	4 028
Boden	0	403	1 209	2 618
Fenster	0	1 400	4 200	6 224
Lüftungsanlage	0	0	12 000	12 000
Thermische Solaranlage	0	0	0	5 926
Luftdichtheit	0	250	500	750
Zwischensumme Mehrkosten, €	0	3 632	23 324	38 810
Mehrkosten für Planung, 10%	0	363	2 332	3 881
Mehrwertsteuer, 15%	0	599	3 848	6 404
Mehrkosten gesamt, €	0	4 595	29 505	49 094
Mögliche Förderung für das Gebäude, €/m ²	0	0	41	146
Mögliche Förderung für das Gebäude, €	0	0	8 100	29 250
Mögliche Förderung für die Anlagentechnik, €	0	0	0	2 963
Eigeninvestition, €	0	4 595	21 405	16 881

6.2 Berechnung mit 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

Randbedingungen		D	C	B	A
Zinssatz	%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Energiepreissteigerung	%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Inflation	%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Umlaufrendite	%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Heizkosten (1. Jahr)	€/kWh	0,060	0,060	0,060	0,060
Strompreis (1. Jahr)	€/kWh	0,130	0,130	0,130	0,130
Dauer der Rückzahlung	Jahre	25	25	25	25
Zeitraum	Jahre	45	45	45	45

Energie					
Nutzfläche	m ²	200	200	200	200
Heizenergie (Endenergie)	kWh/m ² a	125	106	76	32
Strom (Hilfsenergie, Lüftung)	kWh/m ² a	1,9	1,9	4,2	4,2
Energiekosten (1. Jahr)	€/Jahr	1.544	1.317	1.024	491

Betrieb und Wartung					
Wartungsansatz für technische Anlagen	%/Invest	0,75%	0,75%	0,75%	0,75%
Thermische Solaranlage	m ²	0,0	0,0	0,0	6,2
spezifische Investitionskosten	€/m ²	950	950	950	950
Investkosten für Solaranlage	€	0	0	0	5.930
spezifischer Volumenstrom	m ³ /(h.m ²)	0,0	0,0	1,0	1,0
Volumenstrom Lüftung	m ³ /h	0	0	200	200
spezifische Kosten Lüftung	€/(m ³ /h)	0	0	60	60
Mehrkosten für Technik (z.B. Lüftung)	€	0	0	12.000	12.000
Wartungskosten (1. Jahr)	€/Jahr	0	0	90	134

Investitionen					
Mehrinvestitionskosten (Bau + Technik)	€	0	4.595	29.505	49.094
Förderung über CO ₂ Programm	€	0	0	8.100	32.213
Eigeninvestition	€	0	4.595	21.405	16.881
Annuitätenfaktor	%	7,1%	7,1%	7,1%	7,1%
Eigeninvestition + Finanzierungsaufwand	€	0	8.150	37.968	29.944
Finanzierungskosten (1. Jahr)	€/a	0	326	1.519	1.198

Wirtschaftlichkeit					
Amortisationszeit	Jahre	0,0	23,9	42,7	17,3

6.2.1 Cashflow-Analyse bei 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

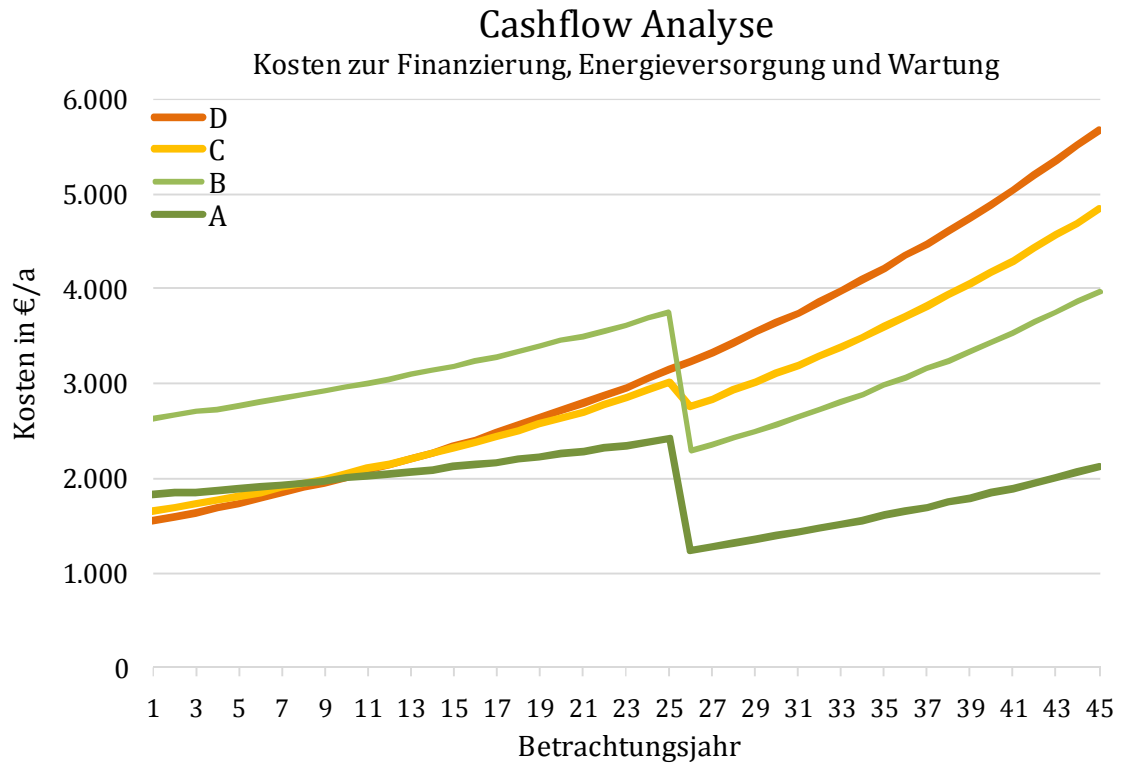


Abbildung 11: Die Cashflow-Analyse beschreibt die Summe aller Einnahmen und Ausgaben unter Berücksichtigung von Kredittilgung, Energiepreissteigerung und Inflation im betrachteten Jahr.

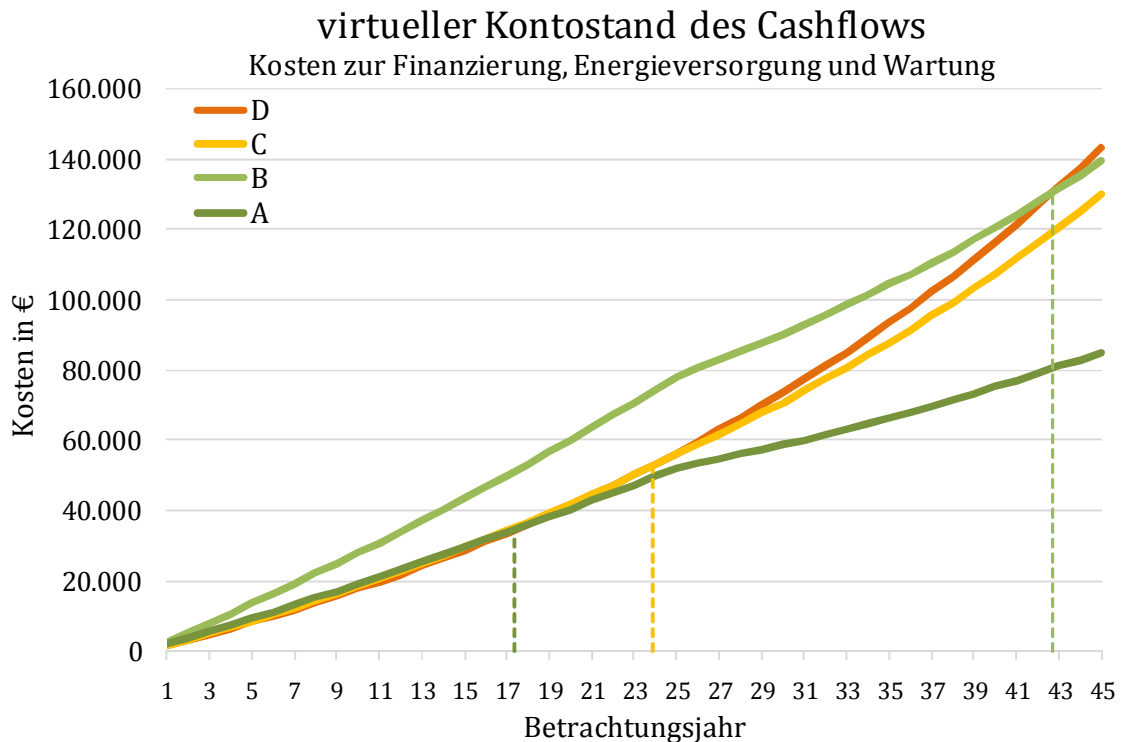


Abbildung 12: Auf einem virtuellen Konto wird der jährliche Cashflow kontiert. So erhält man die Gesamtausgaben- bzw. -einnahmenbilanz über einen beliebigen Zeitraum. Die Schnittpunkte mit der D-Kurve beschreiben jeweils den Break Even Point (vertikale Linien) einer Variante, was dem Amortisationszeitpunkt der Mehrkosten durch Kostenvorteile entspricht.

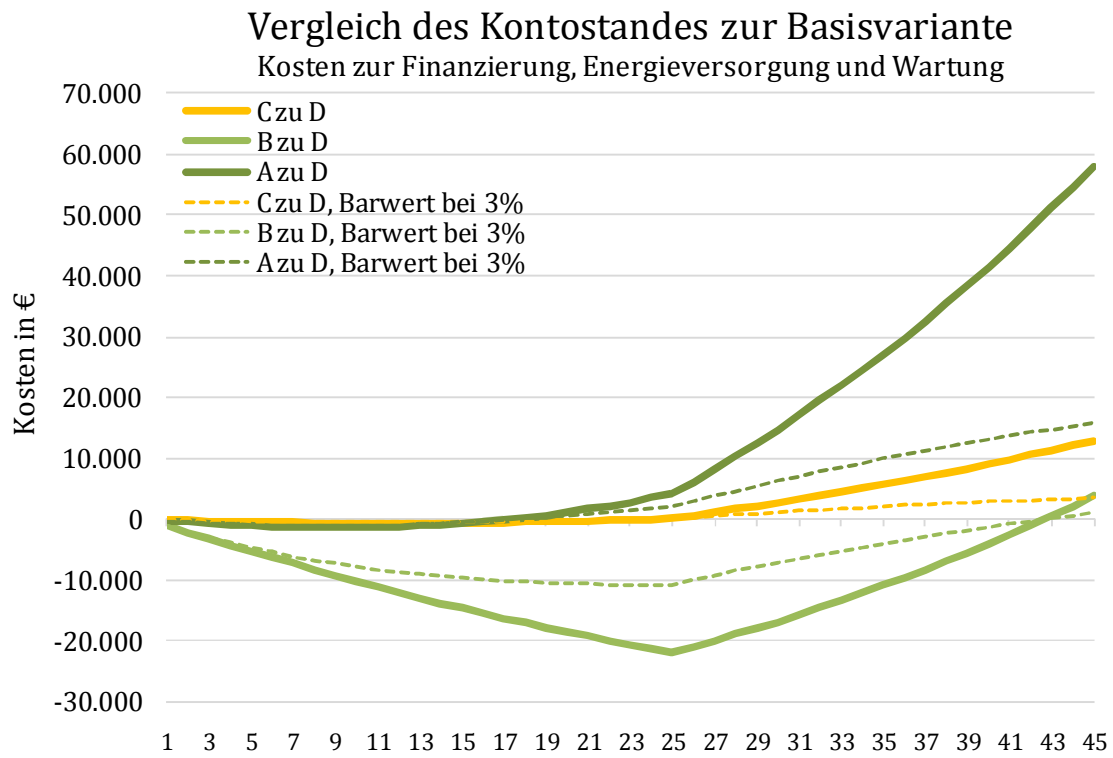


Abbildung 13: Vergleich des Kontostandes zur Basisvariante der Klasse D. Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Jahr x bei einer Verzinsung mit einer Umlaufrendite.

6.2.2 Detailrechnung bei 1% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

Jahr	D								C							
	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand
Σ	143.204	0	0	0	0	-	143.204	-	122.105	0	8.150	3.555	4.595	-	130.255	-
1	1.544	0	0	0	0	0	1.544	1.544	1.317	0	326	230	96	4.595	1.643	1.643
2	1.591	0	0	0	0	0	1.591	3.135	1.356	0	326	225	101	4.498	1.682	3.325
3	1.639	0	0	0	0	0	1.639	4.774	1.397	0	326	220	106	4.397	1.723	5.048
4	1.688	0	0	0	0	0	1.688	6.462	1.439	0	326	215	111	4.291	1.765	6.814
5	1.738	0	0	0	0	0	1.738	8.200	1.482	0	326	209	117	4.180	1.808	8.622
6	1.790	0	0	0	0	0	1.790	9.990	1.527	0	326	203	123	4.063	1.853	10.474
7	1.844	0	0	0	0	0	1.844	11.835	1.572	0	326	197	129	3.940	1.898	12.373
8	1.900	0	0	0	0	0	1.900	13.734	1.620	0	326	191	135	3.811	1.946	14.319
9	1.957	0	0	0	0	0	1.957	15.691	1.668	0	326	184	142	3.675	1.994	16.313
10	2.015	0	0	0	0	0	2.015	17.706	1.718	0	326	177	149	3.533	2.044	18.357
11	2.076	0	0	0	0	0	2.076	19.781	1.770	0	326	169	157	3.384	2.096	20.453
12	2.138	0	0	0	0	0	2.138	21.919	1.823	0	326	161	165	3.227	2.149	22.602
13	2.202	0	0	0	0	0	2.202	24.121	1.878	0	326	153	173	3.062	2.204	24.805
14	2.268	0	0	0	0	0	2.268	26.390	1.934	0	326	144	182	2.889	2.260	27.065
15	2.336	0	0	0	0	0	2.336	28.726	1.992	0	326	135	191	2.708	2.318	29.383
16	2.406	0	0	0	0	0	2.406	31.132	2.052	0	326	126	200	2.517	2.378	31.761
17	2.478	0	0	0	0	0	2.478	33.610	2.113	0	326	116	210	2.317	2.439	34.200
18	2.553	0	0	0	0	0	2.553	36.163	2.177	0	326	105	221	2.107	2.503	36.703
19	2.629	0	0	0	0	0	2.629	38.793	2.242	0	326	94	232	1.886	2.568	39.271
20	2.708	0	0	0	0	0	2.708	41.501	2.309	0	326	83	243	1.655	2.635	41.906
21	2.790	0	0	0	0	0	2.790	44.290	2.379	0	326	71	255	1.411	2.705	44.611
22	2.873	0	0	0	0	0	2.873	47.163	2.450	0	326	58	268	1.156	2.776	47.387
23	2.959	0	0	0	0	0	2.959	50.123	2.523	0	326	44	282	888	2.849	50.236
24	3.048	0	0	0	0	0	3.048	53.171	2.599	0	326	30	296	606	2.925	53.161
25	3.140	0	0	0	0	0	3.140	56.311	2.677	0	326	16	310	310	3.003	56.164
26	3.234	0	0	0	0	0	3.234	59.544	2.757	0	0	0	0	0	2.757	58.921
27	3.331	0	0	0	0	0	3.331	62.875	2.840	0	0	0	0	0	2.840	61.761
28	3.431	0	0	0	0	0	3.431	66.306	2.925	0	0	0	0	0	2.925	64.687
29	3.534	0	0	0	0	0	3.534	69.840	3.013	0	0	0	0	0	3.013	67.700
30	3.640	0	0	0	0	0	3.640	73.479	3.103	0	0	0	0	0	3.103	70.803
31	3.749	0	0	0	0	0	3.749	77.228	3.197	0	0	0	0	0	3.197	74.000
32	3.861	0	0	0	0	0	3.861	81.090	3.292	0	0	0	0	0	3.292	77.292
33	3.977	0	0	0	0	0	3.977	85.067	3.391	0	0	0	0	0	3.391	80.683
34	4.096	0	0	0	0	0	4.096	89.163	3.493	0	0	0	0	0	3.493	84.176
35	4.219	0	0	0	0	0	4.219	93.383	3.598	0	0	0	0	0	3.598	87.774
36	4.346	0	0	0	0	0	4.346	97.729	3.706	0	0	0	0	0	3.706	91.480
37	4.476	0	0	0	0	0	4.476	102.205	3.817	0	0	0	0	0	3.817	95.296
38	4.611	0	0	0	0	0	4.611	106.815	3.931	0	0	0	0	0	3.931	99.228
39	4.749	0	0	0	0	0	4.749	111.564	4.049	0	0	0	0	0	4.049	103.277
40	4.891	0	0	0	0	0	4.891	116.456	4.171	0	0	0	0	0	4.171	107.448
41	5.038	0	0	0	0	0	5.038	121.494	4.296	0	0	0	0	0	4.296	111.743
42	5.189	0	0	0	0	0	5.189	126.683	4.425	0	0	0	0	0	4.425	116.168
43	5.345	0	0	0	0	0	5.345	132.028	4.557	0	0	0	0	0	4.557	120.726
44	5.505	0	0	0	0	0	5.505	137.534	4.694	0	0	0	0	0	4.694	125.420
45	5.670	0	0	0	0	0	5.670	143.204	4.835	0	0	0	0	0	4.835	130.255

Jahr	B								A							
	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand
Σ	94.905	6.470	37.968	16.563	21.405	-	139.344	-	45.522	9.634	29.944	13.063	16.881	-	85.100	-
1	1.024	90	1.519	1.070	448	21.405	2.632	2.632	491	134	1.198	844	354	16.881	1.823	1.823
2	1.054	92	1.519	1.048	471	20.956	2.665	5.297	506	137	1.198	826	371	16.528	1.840	3.663
3	1.086	94	1.519	1.024	494	20.485	2.698	7.995	521	139	1.198	808	390	16.156	1.858	5.521
4	1.118	96	1.519	1.000	519	19.991	2.733	10.728	536	142	1.198	788	409	15.766	1.876	7.397
5	1.152	97	1.519	974	545	19.472	2.768	13.496	553	145	1.198	768	430	15.357	1.895	9.293
6	1.187	99	1.519	946	572	18.927	2.805	16.301	569	148	1.198	746	451	14.927	1.915	11.208
7	1.222	101	1.519	918	601	18.354	2.842	19.143	586	151	1.198	724	474	14.475	1.935	13.143
8	1.259	103	1.519	888	631	17.753	2.881	22.024	604	154	1.198	700	498	14.001	1.956	15.098
9	1.297	105	1.519	856	663	17.122	2.921	24.945	622	157	1.198	675	523	13.504	1.977	17.075
10	1.336	108	1.519	823	696	16.460	2.962	27.907	641	160	1.198	649	549	12.981	1.999	19.073
11	1.376	110	1.519	788	731	15.764	3.004	30.911	660	163	1.198	622	576	12.432	2.021	21.094
12	1.417	112	1.519	752	767	15.033	3.047	33.958	680	167	1.198	593	605	11.856	2.044	23.138
13	1.459	114	1.519	713	805	14.266	3.092	37.051	700	170	1.198	563	635	11.251	2.068	25.206
14	1.503	116	1.519	673	846	13.461	3.138	40.189	721	173	1.198	531	667	10.616	2.092	27.298
15	1.548	119	1.519	631	888	12.615	3.186	43.375	743	177	1.198	497	700	9.949	2.117	29.415
16	1.595	121	1.519	586	932	11.727	3.235	46.609	765	180	1.198	462	735	9.249	2.143	31.558
17	1.643	124	1.519	540	979	10.795	3.285	49.894	788	184	1.198	426	772	8.513	2.170	33.728
18	1.692	126	1.519	491	1.028	9.816	3.337	53.230	811	188	1.198	387	811	7.741	2.197	35.925
19	1.743	129	1.519	439	1.079	8.788	3.390	56.620	836	191	1.198	347	851	6.931	2.225	38.150
20	1.795	131	1.519	385	1.133	7.709	3.445	60.065	861	195	1.198	304	894	6.079	2.254	40.404
21	1.849	134	1.519	329	1.190	6.575	3.501	63.566	887	199	1.198	259	938	5.186	2.284	42.687
22	1.904	136	1.519	269	1.249	5.385	3.559	67.125	913	203	1.198	212	985	4.247	2.314	45.001
23	1.961	139	1.519	207	1.312	4.136	3.619	70.744	941	207	1.198	163	1.035	3.262	2.346	47.347
24	2.020	142	1.519	141	1.378	2.824	3.681	74.425	969	211	1.198	111	1.086	2.227	2.378	49.725
25	2.081	145	1.519	72	1.446	1.446	3.744	78.169	998	216	1.198	57	1.141	1.141	2.411	52.136
26	2.143	148	0	0	0	0	2.291	80.460	1.028	220	0	0	0	0	1.248	53.384
27	2.207	151	0	0	0	0	2.358	82.818	1.059	224	0	0	0	0	1.283	54.667
28	2.274	154	0	0	0	0	2.427	85.245	1.091	229	0	0	0	0	1.319	55.987
29	2.342	157	0	0	0	0	2.499	87.744	1.123	233	0	0	0	0	1.357	57.343
30	2.412	160	0	0	0	0	2.572	90.316	1.157	238	0	0	0	0	1.395	58.738
31	2.484	163	0	0	0	0	2.647	92.963	1.192	243	0	0	0	0	1.434	60.173
32	2.559	166	0	0	0	0	2.725	95.689	1.227	248	0	0	0	0	1.475	61.648
33	2.636	170	0	0	0	0	2.805	98.494	1.264	253	0	0	0	0	1.517	63.164
34	2.715	173	0	0	0	0	2.888	101.382	1.302	258	0	0	0	0	1.560	64.724
35	2.796	176	0	0	0	0	2.973	104.355	1.341	263	0	0	0	0	1.604	66.328
36	2.880	180	0	0	0	0	3.060	107.415	1.382	268	0	0	0	0	1.649	67.978
37	2.967	184	0	0	0	0	3.150	110.565	1.423	273	0	0	0	0	1.696	69.674
38	3.056	187	0	0	0	0	3.243	113.808	1.466	279	0	0	0	0	1.744	71.418
39	3.147	191	0	0	0	0	3.338	117.146	1.510	284	0	0	0	0	1.794	73.212
40	3.242	195	0	0	0	0	3.436	120.583	1.555	290	0	0	0	0	1.845	75.057
41	3.339	199	0	0	0	0	3.538	124.120	1.602	296	0	0	0	0	1.897	76.955
42	3.439	203	0	0	0	0	3.642	127.762	1.650	302	0	0	0	0	1.951	78.906
43	3.542	207	0	0	0	0	3.749	131.511	1.699	308	0	0	0	0	2.007	80.913
44	3.649	211	0	0	0	0	3.859	135.371	1.750	314	0	0	0	0	2.064	82.977
45	3.758	215	0	0	0	0	3.973	139.344	1.803	320	0	0	0	0	2.123	85.100

Jahr	C zu D			B zu D			A zu D		
	Differenz Cashflow	C zu D, Barwert bei	Endwert	Differenz Cashflow	B zu D, Barwert bei	Endwert	Differenz Cashflow	A zu D, Barwert bei	Endwert
Σ	unverzinst	verzinst	verzinst	unverzinst	verzinst	verzinst	unverzinst	verzinst	verzinst
1	-98	-98	-372	-1.088	-1.088	-4.114	-278	-278	-1.052
2	-190	-185	-698	-2.162	-2.099	-7.937	-528	-512	-1.937
3	-275	-259	-979	-3.222	-3.037	-11.483	-747	-704	-2.663
4	-352	-322	-1.218	-4.267	-3.904	-14.765	-936	-856	-3.239
5	-422	-375	-1.417	-5.296	-4.706	-17.795	-1.093	-971	-3.672
6	-484	-418	-1.579	-6.311	-5.444	-20.585	-1.217	-1.050	-3.971
7	-538	-451	-1.705	-7.309	-6.121	-23.147	-1.308	-1.095	-4.143
8	-584	-475	-1.797	-8.290	-6.741	-25.490	-1.364	-1.109	-4.194
9	-622	-491	-1.857	-9.254	-7.306	-27.627	-1.384	-1.093	-4.132
10	-651	-499	-1.888	-10.201	-7.818	-29.565	-1.368	-1.048	-3.963
11	-671	-500	-1.889	-11.129	-8.281	-31.317	-1.313	-977	-3.694
12	-682	-493	-1.864	-12.039	-8.697	-32.889	-1.219	-881	-3.330
13	-684	-480	-1.814	-12.929	-9.068	-34.292	-1.085	-761	-2.876
14	-676	-460	-1.740	-13.799	-9.397	-35.534	-908	-619	-2.339
15	-658	-435	-1.644	-14.649	-9.685	-36.623	-690	-456	-1.724
16	-629	-404	-1.527	-15.477	-9.934	-37.567	-426	-274	-1.035
17	-590	-368	-1.390	-16.284	-10.147	-38.373	-117	-73	-277
18	-540	-327	-1.235	-17.067	-10.326	-39.049	238	144	546
19	-478	-281	-1.063	-17.828	-10.472	-39.601	643	378	1.428
20	-405	-231	-874	-18.564	-10.587	-40.035	1.097	626	2.366
21	-320	-177	-671	-19.276	-10.673	-40.359	1.603	888	3.357
22	-223	-120	-453	-19.962	-10.730	-40.578	2.162	1.162	4.395
23	-113	-59	-223	-20.622	-10.762	-40.699	2.776	1.449	5.478
24	10	5	19	-21.254	-10.769	-40.725	3.446	1.746	6.603
25	147	72	273	-21.859	-10.753	-40.664	4.174	2.053	7.765
26	623	298	1.125	-20.916	-9.989	-37.776	6.160	2.942	11.126
27	1.114	516	1.953	-19.943	-9.247	-34.970	8.208	3.806	14.393
28	1.619	729	2.757	-18.939	-8.526	-32.243	10.319	4.646	17.568
29	2.140	935	3.537	-17.904	-7.826	-29.593	12.496	5.462	20.655
30	2.676	1.136	4.295	-16.837	-7.145	-27.018	14.741	6.255	23.655
31	3.229	1.330	5.030	-15.735	-6.483	-24.515	17.056	7.027	26.572
32	3.797	1.519	5.744	-14.599	-5.839	-22.083	19.442	7.777	29.408
33	4.383	1.702	6.437	-13.427	-5.214	-19.719	21.902	8.505	32.164
34	4.987	1.880	7.110	-12.219	-4.607	-17.421	24.439	9.214	34.844
35	5.609	2.053	7.764	-10.972	-4.016	-15.188	27.054	9.903	37.450
36	6.249	2.221	8.398	-9.686	-3.442	-13.018	29.751	10.573	39.983
37	6.909	2.384	9.014	-8.360	-2.885	-10.908	32.531	11.224	42.445
38	7.588	2.542	9.612	-6.992	-2.342	-8.858	35.397	11.857	44.840
39	8.288	2.695	10.193	-5.582	-1.815	-6.865	38.352	12.473	47.168
40	9.008	2.844	10.756	-4.127	-1.303	-4.928	41.398	13.072	49.432
41	9.751	2.989	11.304	-2.626	-805	-3.045	44.539	13.654	51.633
42	10.515	3.130	11.835	-1.079	-321	-1.214	47.777	14.220	53.773
43	11.303	3.266	12.351	517	149	565	51.115	14.770	55.855
44	12.114	3.398	12.851	2.163	607	2.295	54.556	15.305	57.879
45	12.949	3.527	13.338	3.861	1.051	3.976	58.104	15.826	59.847

6.3 Berechnung mit 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

Randbedingungen		D	C	B	A
Zinssatz	%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
Energiepreissteigerung	%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%
Inflation	%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Umlaufrendite	%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Heizkosten (1. Jahr)	€/kWh	0,060	0,060	0,060	0,060
Strompreis (1. Jahr)	€/kWh	0,130	0,130	0,130	0,130
Dauer der Rückzahlung	Jahre	25	25	25	25
Zeitraum	Jahre	45	45	45	45

Energie					
Nutzfläche	m ²	200	200	200	200
Heizenergie (Endenergie)	kWh/m ² a	125	106	76	32
Strom (Hilfsenergie, Lüftung)	kWh/m ² a	1,9	1,9	4,2	4,2
Energiekosten (1. Jahr)	€/Jahr	1.544	1.317	1.024	491

Betrieb und Wartung					
Wartungsansatz für technische Anlagen	%/Invest	0,75%	0,75%	0,75%	0,75%
Thermische Solaranlage	m ²	0,0	0,0	0,0	6,2
spezifische Investitionskosten	€/m ²	950	950	950	950
Investkosten für Solaranlage	€	0	0	0	5.930
spezifischer Volumenstrom	m ³ /(h.m ²)	0,0	0,0	1,0	1,0
Volumenstrom Lüftung	m ³ /h	0	0	200	200
spezifische Kosten Lüftung	€/(m ³ /h)	0	0	60	60
Mehrkosten für Technik (z.B. Lüftung)	€	0	0	12.000	12.000
Wartungskosten (1. Jahr)	€/Jahr	0	0	90	134

Investitionen					
Mehrinvestitionskosten (Bau + Technik)	€	0	4.595	29.505	49.094
Förderung über CO ₂ Programm	€	0	0	8.100	32.213
Eigeninvestition	€	0	4.595	21.405	16.881
Annuitätenfaktor	%	7,1%	7,1%	7,1%	7,1%
Eigeninvestition + Finanzierungsaufwand	€	0	8.150	37.968	29.944
Finanzierungskosten (1. Jahr)	€/a	0	326	1.519	1.198

Wirtschaftlichkeit					
Amortisationszeit	Jahre	0,0	11,0	27,8	7,8

6.3.1 Cashflow-Analyse bei 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

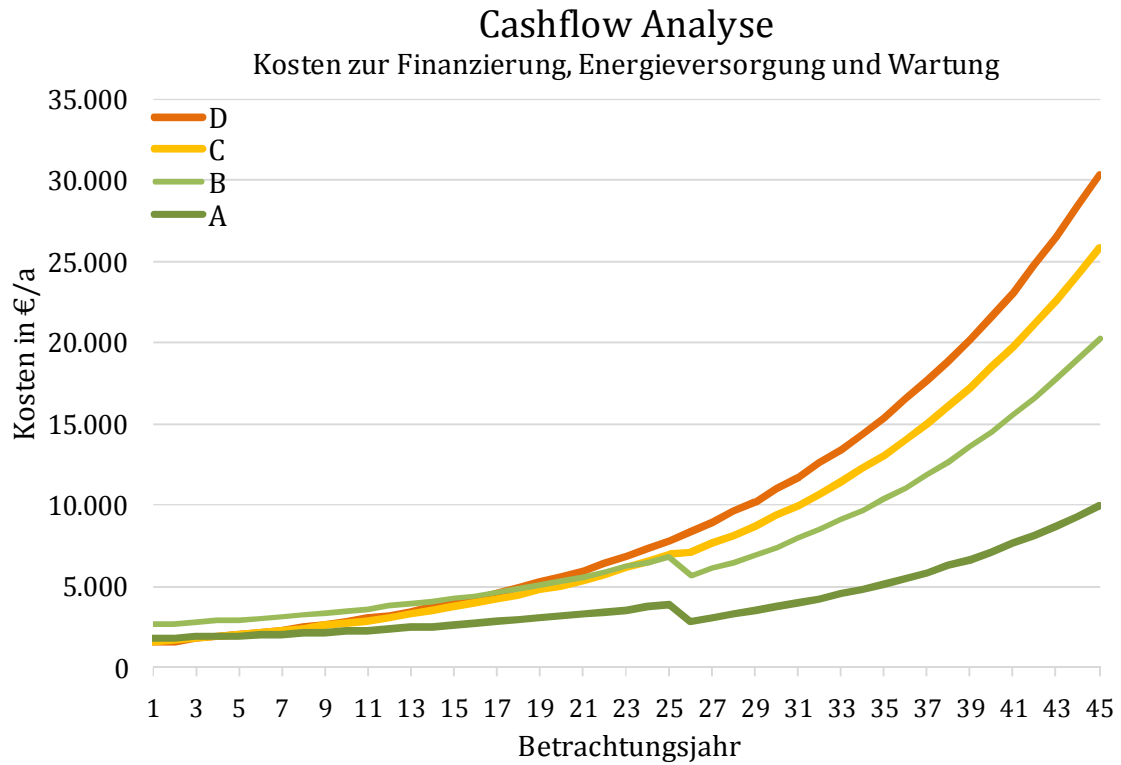


Abbildung 14: Die Cashflow-Analyse beschreibt die Summe aller Einnahmen und Ausgaben unter Berücksichtigung von Kredittilgung, Energiepreissteigerung und Inflation im betrachteten Jahr.

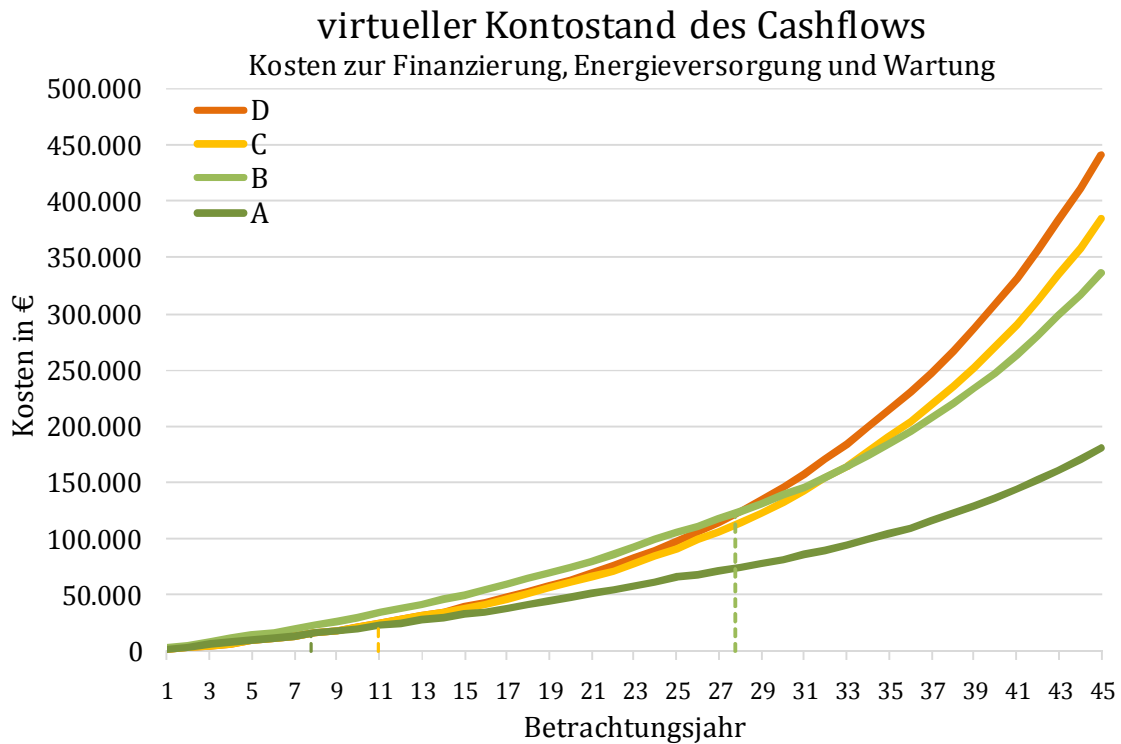


Abbildung 15: Auf einem virtuellen Konto wird der jährliche Cashflow kontiert. So erhält man die Gesamtausgaben- bzw. -einnahmenbilanz über einen beliebigen Zeitraum. Die Schnittpunkte mit der D-Kurve beschreiben jeweils den Break Even Point (vertikale Linien) einer Variante, was dem Amortisationszeitpunkt der Mehrkosten durch Kostenvorteile entspricht.

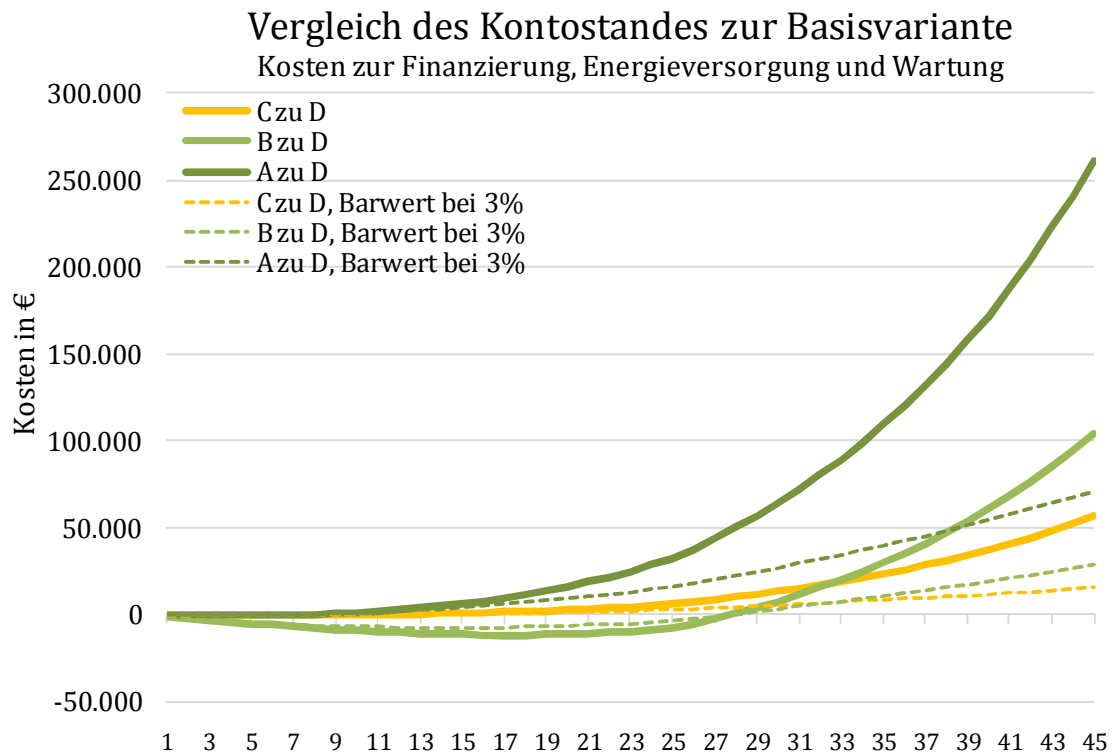


Abbildung 16: Vergleich des Kontostandes zur Basisvariante der Klasse D. Der Barwert entspricht dem heutigen Wert des Kapitals im Jahr x bei einer Verzinsung mit einer Umlaufrendite.

6.3.2 Detailrechnung bei 5% inflationsbereinigter Energiepreissteigerung

Jahr	D								C							
	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand
Σ	441.335	0	0	0	0	-	441.335	-	376.310	0	8.150	3.555	4.595	-	384.460	-
1	1.544	0	0	0	0	0	1.544	1.544	1.317	0	326	230	96	4.595	1.643	1.643
2	1.653	0	0	0	0	0	1.653	3.197	1.409	0	326	225	101	4.498	1.735	3.378
3	1.768	0	0	0	0	0	1.768	4.965	1.508	0	326	220	106	4.397	1.834	5.212
4	1.892	0	0	0	0	0	1.892	6.857	1.613	0	326	215	111	4.291	1.939	7.151
5	2.025	0	0	0	0	0	2.025	8.882	1.726	0	326	209	117	4.180	2.052	9.203
6	2.166	0	0	0	0	0	2.166	11.048	1.847	0	326	203	123	4.063	2.173	11.376
7	2.318	0	0	0	0	0	2.318	13.366	1.976	0	326	197	129	3.940	2.302	13.679
8	2.480	0	0	0	0	0	2.480	15.846	2.115	0	326	191	135	3.811	2.441	16.119
9	2.654	0	0	0	0	0	2.654	18.500	2.263	0	326	184	142	3.675	2.589	18.708
10	2.839	0	0	0	0	0	2.839	21.339	2.421	0	326	177	149	3.533	2.747	21.455
11	3.038	0	0	0	0	0	3.038	24.377	2.591	0	326	169	157	3.384	2.917	24.372
12	3.251	0	0	0	0	0	3.251	27.628	2.772	0	326	161	165	3.227	3.098	27.470
13	3.478	0	0	0	0	0	3.478	31.107	2.966	0	326	153	173	3.062	3.292	30.762
14	3.722	0	0	0	0	0	3.722	34.829	3.174	0	326	144	182	2.889	3.500	34.261
15	3.982	0	0	0	0	0	3.982	38.811	3.396	0	326	135	191	2.708	3.722	37.983
16	4.261	0	0	0	0	0	4.261	43.073	3.633	0	326	126	200	2.517	3.959	41.942
17	4.560	0	0	0	0	0	4.560	47.632	3.888	0	326	116	210	2.317	4.214	46.156
18	4.879	0	0	0	0	0	4.879	52.511	4.160	0	326	105	221	2.107	4.486	50.642
19	5.220	0	0	0	0	0	5.220	57.731	4.451	0	326	94	232	1.886	4.777	55.419
20	5.586	0	0	0	0	0	5.586	63.317	4.763	0	326	83	243	1.655	5.089	60.508
21	5.977	0	0	0	0	0	5.977	69.293	5.096	0	326	71	255	1.411	5.422	65.930
22	6.395	0	0	0	0	0	6.395	75.688	5.453	0	326	58	268	1.156	5.779	71.790
23	6.843	0	0	0	0	0	6.843	82.531	5.835	0	326	44	282	888	6.160	77.869
24	7.322	0	0	0	0	0	7.322	89.853	6.243	0	326	30	296	606	6.569	84.438
25	7.834	0	0	0	0	0	7.834	97.687	6.680	0	326	16	310	310	7.006	91.444
26	8.383	0	0	0	0	0	8.383	106.070	7.148	0	0	0	0	0	7.148	98.592
27	8.969	0	0	0	0	0	8.969	115.039	7.648	0	0	0	0	0	7.648	106.239
28	9.597	0	0	0	0	0	9.597	124.636	8.183	0	0	0	0	0	8.183	114.423
29	10.269	0	0	0	0	0	10.269	134.905	8.756	0	0	0	0	0	8.756	123.179
30	10.988	0	0	0	0	0	10.988	145.893	9.369	0	0	0	0	0	9.369	132.548
31	11.757	0	0	0	0	0	11.757	157.650	10.025	0	0	0	0	0	10.025	142.572
32	12.580	0	0	0	0	0	12.580	170.230	10.726	0	0	0	0	0	10.726	153.299
33	13.461	0	0	0	0	0	13.461	183.690	11.477	0	0	0	0	0	11.477	164.776
34	14.403	0	0	0	0	0	14.403	198.093	12.281	0	0	0	0	0	12.281	177.057
35	15.411	0	0	0	0	0	15.411	213.504	13.140	0	0	0	0	0	13.140	190.197
36	16.490	0	0	0	0	0	16.490	229.994	14.060	0	0	0	0	0	14.060	204.258
37	17.644	0	0	0	0	0	17.644	247.638	15.044	0	0	0	0	0	15.044	219.302
38	18.879	0	0	0	0	0	18.879	266.517	16.098	0	0	0	0	0	16.098	235.400
39	20.201	0	0	0	0	0	20.201	286.718	17.224	0	0	0	0	0	17.224	252.624
40	21.615	0	0	0	0	0	21.615	308.333	18.430	0	0	0	0	0	18.430	271.054
41	23.128	0	0	0	0	0	23.128	331.461	19.720	0	0	0	0	0	19.720	290.774
42	24.747	0	0	0	0	0	24.747	356.207	21.101	0	0	0	0	0	21.101	311.875
43	26.479	0	0	0	0	0	26.479	382.686	22.578	0	0	0	0	0	22.578	334.453
44	28.333	0	0	0	0	0	28.333	411.019	24.158	0	0	0	0	0	24.158	358.611
45	30.316	0	0	0	0	0	30.316	441.335	25.849	0	0	0	0	0	25.849	384.460

Jahr	B								A							
	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand	Energiekosten	Betrieb & Wartung	Annuität	davon Zins	davon Tilgung	Darlehn	Cash Flow	Kassenstand
Σ	292.484	6.470	37.968	16.563	21.405	-	336.922	-	140.293	9.634	29.944	13.063	16.881	-	179.871	-
1	1.024	90	1.519	1.070	448	21.405	2.632	2.632	491	134	1.198	844	354	16.881	1.823	1.823
2	1.095	92	1.519	1.048	471	20.956	2.706	5.338	525	137	1.198	826	371	16.528	1.860	3.683
3	1.172	94	1.519	1.024	494	20.485	2.784	8.122	562	139	1.198	808	390	16.156	1.899	5.582
4	1.254	96	1.519	1.000	519	19.991	2.868	10.990	601	142	1.198	788	409	15.766	1.941	7.523
5	1.342	97	1.519	974	545	19.472	2.958	13.948	644	145	1.198	768	430	15.357	1.986	9.510
6	1.436	99	1.519	946	572	18.927	3.054	17.002	689	148	1.198	746	451	14.927	2.034	11.544
7	1.536	101	1.519	918	601	18.354	3.156	20.158	737	151	1.198	724	474	14.475	2.085	13.629
8	1.644	103	1.519	888	631	17.753	3.266	23.424	788	154	1.198	700	498	14.001	2.140	15.769
9	1.759	105	1.519	856	663	17.122	3.383	26.807	844	157	1.198	675	523	13.504	2.198	17.968
10	1.882	108	1.519	823	696	16.460	3.508	30.315	903	160	1.198	649	549	12.981	2.261	20.228
11	2.014	110	1.519	788	731	15.764	3.642	33.957	966	163	1.198	622	576	12.432	2.327	22.555
12	2.154	112	1.519	752	767	15.033	3.785	37.742	1.033	167	1.198	593	605	11.856	2.398	24.953
13	2.305	114	1.519	713	805	14.266	3.938	41.680	1.106	170	1.198	563	635	11.251	2.473	27.426
14	2.467	116	1.519	673	846	13.461	4.102	45.782	1.183	173	1.198	531	667	10.616	2.554	29.981
15	2.639	119	1.519	631	888	12.615	4.277	50.059	1.266	177	1.198	497	700	9.949	2.641	32.621
16	2.824	121	1.519	586	932	11.727	4.464	54.522	1.355	180	1.198	462	735	9.249	2.733	35.354
17	3.022	124	1.519	540	979	10.795	4.664	59.186	1.449	184	1.198	426	772	8.513	2.831	38.185
18	3.233	126	1.519	491	1.028	9.816	4.878	64.065	1.551	188	1.198	387	811	7.741	2.936	41.121
19	3.460	129	1.519	439	1.079	8.788	5.107	69.171	1.659	191	1.198	347	851	6.931	3.049	44.170
20	3.702	131	1.519	385	1.133	7.709	5.352	74.523	1.776	195	1.198	304	894	6.079	3.169	47.339
21	3.961	134	1.519	329	1.190	6.575	5.613	80.136	1.900	199	1.198	259	938	5.186	3.297	50.635
22	4.238	136	1.519	269	1.249	5.385	5.893	86.030	2.033	203	1.198	212	985	4.247	3.434	54.069
23	4.535	139	1.519	207	1.312	4.136	6.193	92.222	2.175	207	1.198	163	1.035	3.262	3.580	57.649
24	4.852	142	1.519	141	1.378	2.824	6.513	98.735	2.327	211	1.198	111	1.086	2.227	3.737	61.386
25	5.192	145	1.519	72	1.446	1.446	6.855	105.591	2.490	216	1.198	57	1.141	1.141	3.904	65.289
26	5.555	148	0	0	0	0	5.703	111.294	2.665	220	0	0	0	0	2.885	68.174
27	5.944	151	0	0	0	0	6.095	117.388	2.851	224	0	0	0	0	3.075	71.249
28	6.360	154	0	0	0	0	6.514	123.902	3.051	229	0	0	0	0	3.280	74.529
29	6.806	157	0	0	0	0	6.962	130.865	3.264	233	0	0	0	0	3.498	78.026
30	7.282	160	0	0	0	0	7.442	138.306	3.493	238	0	0	0	0	3.731	81.757
31	7.792	163	0	0	0	0	7.955	146.261	3.737	243	0	0	0	0	3.980	85.737
32	8.337	166	0	0	0	0	8.503	154.764	3.999	248	0	0	0	0	4.247	89.984
33	8.921	170	0	0	0	0	9.090	163.855	4.279	253	0	0	0	0	4.531	94.515
34	9.545	173	0	0	0	0	9.718	173.573	4.578	258	0	0	0	0	4.836	99.351
35	10.213	176	0	0	0	0	10.390	183.963	4.899	263	0	0	0	0	5.162	104.513
36	10.928	180	0	0	0	0	11.108	195.071	5.242	268	0	0	0	0	5.510	110.023
37	11.693	184	0	0	0	0	11.877	206.948	5.609	273	0	0	0	0	5.882	115.905
38	12.512	187	0	0	0	0	12.699	219.646	6.001	279	0	0	0	0	6.280	122.185
39	13.388	191	0	0	0	0	13.579	233.225	6.421	284	0	0	0	0	6.706	128.891
40	14.325	195	0	0	0	0	14.519	247.745	6.871	290	0	0	0	0	7.161	136.052
41	15.327	199	0	0	0	0	15.526	263.271	7.352	296	0	0	0	0	7.648	143.700
42	16.400	203	0	0	0	0	16.603	279.874	7.867	302	0	0	0	0	8.168	151.868
43	17.548	207	0	0	0	0	17.755	297.629	8.417	308	0	0	0	0	8.725	160.593
44	18.777	211	0	0	0	0	18.988	316.616	9.006	314	0	0	0	0	9.320	169.914
45	20.091	215	0	0	0	0	20.306	336.922	9.637	320	0	0	0	0	9.957	179.871

Jahr	C zu D			B zu D			A zu D		
	Differenz Cashflow	C zu D, Barwert bei	Endwert	Differenz Cashflow	B zu D, Barwert bei	Endwert	Differenz Cashflow	A zu D, Barwert bei	Endwert
Σ	unverzinst	verzinst	verzinst	unverzinst	verzinst	verzinst	unverzinst	verzinst	verzinst
1	-98	-98	-372	-1.088	-1.088	-4.114	-278	-278	-1.052
2	-181	-176	-664	-2.141	-2.079	-7.860	-485	-471	-1.782
3	-246	-232	-878	-3.157	-2.976	-11.253	-616	-581	-2.197
4	-294	-269	-1.016	-4.133	-3.782	-14.303	-666	-609	-2.304
5	-321	-286	-1.080	-5.066	-4.501	-17.022	-628	-558	-2.109
6	-328	-283	-1.071	-5.954	-5.136	-19.422	-496	-428	-1.617
7	-313	-262	-990	-6.792	-5.688	-21.511	-263	-221	-834
8	-273	-222	-840	-7.578	-6.161	-23.300	77	62	236
9	-208	-164	-622	-8.307	-6.558	-24.798	532	420	1.588
10	-116	-89	-336	-8.976	-6.879	-26.014	1.111	851	3.220
11	6	4	16	-9.579	-7.128	-26.955	1.822	1.356	5.128
12	159	115	434	-10.113	-7.306	-27.629	2.675	1.933	7.309
13	345	242	916	-10.573	-7.416	-28.043	3.680	2.581	9.762
14	568	386	1.462	-10.953	-7.458	-28.205	4.848	3.301	12.484
15	828	548	2.071	-11.247	-7.436	-28.119	6.190	4.092	15.476
16	1.130	725	2.743	-11.450	-7.349	-27.792	7.719	4.954	18.735
17	1.476	920	3.478	-11.554	-7.200	-27.229	9.447	5.887	22.263
18	1.869	1.131	4.276	-11.554	-6.990	-26.434	11.389	6.891	26.058
19	2.312	1.358	5.135	-11.440	-6.720	-25.412	13.561	7.966	30.123
20	2.809	1.602	6.058	-11.206	-6.391	-24.167	15.978	9.112	34.459
21	3.363	1.862	7.042	-10.843	-6.003	-22.703	18.658	10.331	39.066
22	3.980	2.139	8.090	-10.341	-5.559	-21.021	21.619	11.622	43.948
23	4.662	2.433	9.201	-9.691	-5.058	-19.126	24.882	12.986	49.107
24	5.415	2.744	10.375	-8.882	-4.501	-17.020	28.467	14.424	54.546
25	6.243	3.071	11.614	-7.904	-3.888	-14.703	32.398	15.938	60.269
26	7.178	3.572	13.506	-6.724	-3.245	-12.245	36.543	17.583	67.144
27	8.229	4.080	15.430	-5.350	-2.589	-9.556	40.990	19.395	74.885
28	9.396	4.598	17.388	-3.804	-1.933	-6.803	45.747	21.367	83.690
29	10.679	5.125	19.382	-2.084	-1.276	-4.360	50.806	23.409	93.551
30	12.078	5.663	21.415	-1.177	-0.619	-2.791	56.175	25.520	104.460
31	13.593	6.212	23.490	0.778	0.038	-1.213	61.854	27.691	116.417
32	15.224	6.772	25.610	2.681	0.701	0.488	67.843	29.922	129.431
33	16.971	7.345	27.776	4.538	1.384	1.897	74.142	32.213	143.502
34	18.834	7.931	29.993	6.259	2.071	3.374	80.751	34.564	158.736
35	20.813	8.531	32.262	7.744	2.751	4.819	87.660	36.976	175.143
36	22.908	9.146	34.588	8.993	3.421	6.234	94.869	39.448	192.722
37	25.119	9.777	36.972	10.006	4.071	7.619	102.378	41.980	211.473
38	27.446	10.424	39.419	10.783	4.701	8.974	110.187	44.572	231.405
39	29.889	11.088	41.931	11.324	5.301	10.309	118.296	47.224	252.528
40	32.448	11.771	44.513	11.635	5.831	11.624	126.705	49.936	274.853
41	35.123	12.473	47.166	11.716	6.351	12.929	135.414	52.708	298.380
42	37.914	13.195	49.896	11.567	6.851	14.224	144.423	55.540	323.107
43	40.821	13.938	52.706	11.188	7.321	15.509	153.732	58.432	349.034
44	43.844	14.703	55.600	10.589	7.761	16.784	163.341	61.384	376.161
45	46.983	15.491	58.581	9.770	8.161	18.049	173.250	64.396	404.488