

Ein Grossteil der Betriebskosten und Umweltauswirkungen eines Gebäudes werden durch die Wärmeversorgung verursacht, welche die Warm- sowie die Heizwassererzeugung umfasst. Wärmeerzeugungssysteme, insbesondere die heute weit verbreiteten Wärmepumpensysteme, weisen häufig hohe Investitions- und Kapitalkosten auf. Die Wahl eines geeigneten Systems für ein Gebäude ist deshalb keine einfache Entscheidung, zumal die Leistung der Wärmeerzeugung stark von den Eigenschaften des zu versorgenden Gebäudes abhängt. Die Art der Wärmeabgabe (Radiator, Bodenheizung) beeinflusst die benötigte Betriebsenergie ebenso wie die Dämmung des Gebäudes, die Gebäudeform oder eventuell vorhandene Solarkollektoren. Berücksichtigt man zusätzlich noch Energiepreise, Kapitalkosten, die Lebenszeit der Systeme sowie graue Emissionen und Betriebsemissionen, so ergibt sich eine Vielzahl an ökonomischen und ökologischen Kriterien, die sich teilweise nur schwer ermitteln und miteinander in Bezug bringen lassen. Durch die Anwendung von Lebenszyklusbetrachtungen ist die SUSTAINABLE SYSTEM SOLUTIONS (S3) GMBH in der Lage, alle relevanten finanziellen und ökologischen Aspekte zu berücksichtigen und die Leistung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme bis zum Ende ihrer Lebenszeit miteinander zu vergleichen. Die Analysen werden dabei objektspezifisch durchgeführt und sind so die Grundlage für die Wahl des bestgeeigneten Versorgungssystems.

## Lebenszyklusanalyse als Entscheidungsgrundlage

Bei Heizungen und Haustechniksystemen handelt es sich um Systeme, die sich nicht anhand eindimensionaler Parameter wie den Investitionskosten beurteilen und vergleichen lassen. Neben der Herstellung und Installation sind auch der Betrieb, die Wartung, die Entsorgung sowie die zu erwartende Lebenszeit der Systemkomponenten zu berücksichtigen. Dies ist mit Hilfe einer Lebenszyklusbetrachtung möglich.

In der Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing; LCC) werden Investitions-, Kapital-, Energie-, Unterhalts- sowie Entsorgungskosten aggregiert und mit Hilfe der Annuitätenmethode miteinander vergleichbar gemacht. Auf dieser Grundlage können auch investitionsintensive, langlebige Systeme (z.B. Erdsondensystem) anfänglich kostengünstigeren, im Betrieb jedoch teuren Systemen (z.B. Ölheizung) gegenübergestellt werden.

Im Rahmen der ökologischen Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz, Life Cycle Analysis; LCA) werden nach wissenschaftlichen Methoden alle Umweltauswirkungen über alle Lebensphasen bilanziert, von der Herstellung und Installation bis hin zur Entsorgung. Betriebsemissionen werden dabei ebenso berücksichtigt wie die grauen Emissionen der einzelnen Systemkomponenten. Die totalen Umweltauswirkungen können so nicht nur bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen oder der verbrauchten Primärenergie ermittelt werden, sondern bezüglich aller umweltrelevanter Aspekte. Für die Quantifizierung der totalen Umweltauswirkungen wird dann die Schweizer Methode der ökologischen Knappheit<sup>1</sup> verwendet, welche die Umweltbelastungen nach gesetzlichen Ziel- und Grenzwerten untereinander gewichtet und in Umweltbelastungspunkte umrechnet. Diese drei ökologischen Indikatoren (CO<sub>2</sub>-Emissionen, Primärenergieverbrauch und Umweltbelastungspunkte)

---

<sup>1</sup> Siehe auch Publikation des Bundesamtes für Umwelt: ‚Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit‘

erlauben eine detaillierte Beurteilung der ökologischen Qualität verschiedener Wärmeerzeugungssysteme.

Obwohl sich die Methode der Lebenszyklusanalyse für den Vergleich und die Beurteilung von Wärmeerzeugungssystemen sehr gut eignet, kommt sie nur selten zum Einsatz. Dies liegt daran, dass der Aufwand für die Erstellung qualitativ hochwertiger Lebenszyklusanalysen sehr hoch ist und meist nicht wirtschaftlich lohnend durchgeführt werden kann. Durch die Verwendung eines Analyse-Tools, welches durch die Gründungsmitglieder im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt wurde und an der ETH lizenziert ist, kann die S3 GmbH Lebenszyklusanalysen teilweise automatisiert durchführen. Dadurch reduziert sich der Aufwand wesentlich, währendem gleichzeitig die Qualität der Analyse steigt. Das Tool beruht auf aktuellen SIA-Normen, Gesetzesvorschriften und Standards, berücksichtigt alle relevanten Eigenschaften der zu analysierenden Gebäude und dimensioniert automatisch Wärmeerzeugungssysteme mit den benötigten Leistungen und Eigenschaften. Dabei wird für die Lebenszykluskostenrechnung auf eine Kostendatenbank zugegriffen, welche in Zusammenarbeit mit Ausführungsbetrieben und Herstellern erarbeitet wurde und stets aktuell gehalten wird. Die ökologische Analyse wird auf Basis der aktuellsten Version der weltweit grössten Ökobilanzdatenbank durchgeführt. Die S3 GmbH ist damit in der Lage, mit relativ geringem Aufwand akkurate Kostenschätzungen für verschiedenste Systeme und Systemkombinationen zu erstellen und deren Umweltauswirkungen auf wissenschaftlicher Basis zu quantifizieren. Diese ganzheitliche Betrachtung ist in ihrer Genauigkeit und ihrem Umfang schweizweit einzigartig.

## Betrachtete Systeme und Komponenten

Für folgende Wärmeerzeugungssysteme können die oben beschriebenen Analysen angeboten werden. Die Analysen umfassen jeweils alle Installationen in der Heizzentrale und ausserhalb des Hauses.

- **Ölheizung** (Ölbrenner)
- **Gasheizung** (Gasbrenner)
- **Pelletheizung** (Pellet-Ofen)
- **Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Innenaufstellung:** Wärmepumpensystem, welches die Luft als Energiequelle nutzt. Alle Installationen befinden sich innerhalb des Hauses.
- **Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Aussenaufstellung:** Wärmepumpensystem, welches die Luft als Energiequelle nutzt. Die Wärmepumpe oder ein Wärmesammler wird ausserhalb des Hauses aufgestellt.
- **Grundwasser-Wärmepumpe:** Wärmepumpensystem, welches das Grundwasser als Energiequelle nutzt. Dazu wird in einem Entnahmebrunnen Grundwasser gefördert.
- **Erdsonden-System (U-Rohr):** Wärmepumpensystem, welches das Erdreich als Energiequelle nutzt. Dazu wird eine Bohrung vorgenommen und ein U-förmiges Rohr ins Erdreich eingebracht.
- **2SOL-System<sup>2</sup>:** Wärmepumpensystem, welches das Erdreich als Energiequelle nutzt. Dabei wird eine spezielle, neu entwickelte Koaxialsonde ins Erdreich eingebracht. Zusätzlich wird die im Winter entnommene Energie im Sommer ins Erdreich zurückgespiesen, was thermische Solarkollektoren oder Hybridkollektoren (thermisch/elektrisch) erfordert.

---

<sup>2</sup> Siehe auch [www.2sol.ch](http://www.2sol.ch)

Die oben genannten Wärmeerzeugungssysteme lassen sich mit Solarkomponenten kombinieren. Diese Kombination kann durch das Analyse-Tool erfasst und bezüglich finanzieller und ökologischer Wirkung beurteilt werden. Dadurch kann abgeschätzt werden, ob sich die Kombination mit einem Solarmodul für ein bestimmtes Heizungssystem lohnt. Folgende Solarkomponenten können zugeschaltet werden:

- **Thermische Kollektoren verglast (auf Dach):** Hochtemperaturkollektoren, welche die Energie der Sonne in warmes Wasser umsetzen.
- **Thermische Kollektoren unverglast (auf Dach oder dachintegriert):** Niedrigtemperaturkollektoren, welche die Energie der Sonne in warmes Wasser umsetzen.
- **Photovoltaik-Module (auf Dach oder dachintegriert):** Solarzellen, welche die Energie der Sonne in Elektrizität umsetzen.
- **Hybridkollektoren (auf Dach oder dachintegriert):** Kombinierte Kollektoren, welche aus Photovoltaik-Modulen und thermischen Elementen bestehen. Die Energie der Sonne wird teilweise in Elektrizität, teilweise in Wärme umgesetzt.

Das Analyse-Tool bietet die Möglichkeit, die Dämmung in die Betrachtung mit einzubeziehen. Dies erlaubt beispielsweise den ökonomischen und ökologischen Vergleich verschiedener Dämmungsvarianten oder die Optimierung der Dämmstärke. Für Um- sowie Neubauten kann so für das gewählte Wärmeerzeugungssystem ein optimales Dämmungskonzept erstellt werden. Diese kombinierte Betrachtung von Dämmung und Wärmeerzeugung ist einzigartig und führt häufig zu überraschenden Resultaten. Folgende Bereiche sind durch das Analyse-Tool abgedeckt:

- **Dämmung des Dachs**
- **Dämmung des Bodens/Bodenabschlusses**
- **Fenster:** zweifach-Verglasung, dreifach-Verglasung, verschiedene Fenstertypen
- **Fassade:** hinterlüftete Fassade mit verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten, verputzte Aussenwärmedämmung mit verschiedenen Dämmstärken

## Leistungen und Vorteile

- Fundierte Investitionskostenschätzung, Berechnung der Lebenszykluskosten unter Berücksichtigung von Kapital- und Betriebskosten
- Wissenschaftlich fundierte Abschätzung der Umweltauswirkungen der einzelnen Systeme (Ökobilanz)
- Berücksichtigung von lokalen Gegebenheiten und aller relevanter Eigenschaften der betrachteten Gebäude
- Lebenszyklusanalysen als Grundlage für die Wahl einer ganzheitlichen, für das Gebäude optimalen Heizungslösung
- Einsatz eines an der ETHZ entwickelten und lizenzierten Analyse-Tools, akkurate und qualitativ hochwertige Vergleiche mit geringem Aufwand
- Unsicherheiten und Risiken können abgeschätzt und quantifiziert werden (z.B. schwankende Energiepreise)
- Integrale Betrachtung von Solarmodulen wie Photovoltaik-Zellen oder thermischen Kollektoren (finanzielle und ökologische Effekte von Solarmodulen können aufgezeigt werden)

- Die integrale Betrachtung der Dämmung ermöglicht das Erstellen eines optimalen Dämmkonzeptes bei gegebenem Wärmeerzeugungssystem für Um- oder Neubauten.

## Form der Resultate

Im Folgenden sind einige Resultatgrafiken und -tabellen aufgeführt. Die Resultate wurden für ein grösseres Einfamilienhaus generiert. Verglichen wurden die Systeme:

- Luft/Wasser mit Innenaufstellung (LWI)
- Luft/Wasser mit Aussenaufstellung (LWA)
- Grundwasser-Wärmepumpe (GW)
- Erdsondensystem (UR)
- 2SOL-System (Koaxialsonde und Hybridkollektor)

## Lebenszykluskostenrechnung

### Annuitätskosten

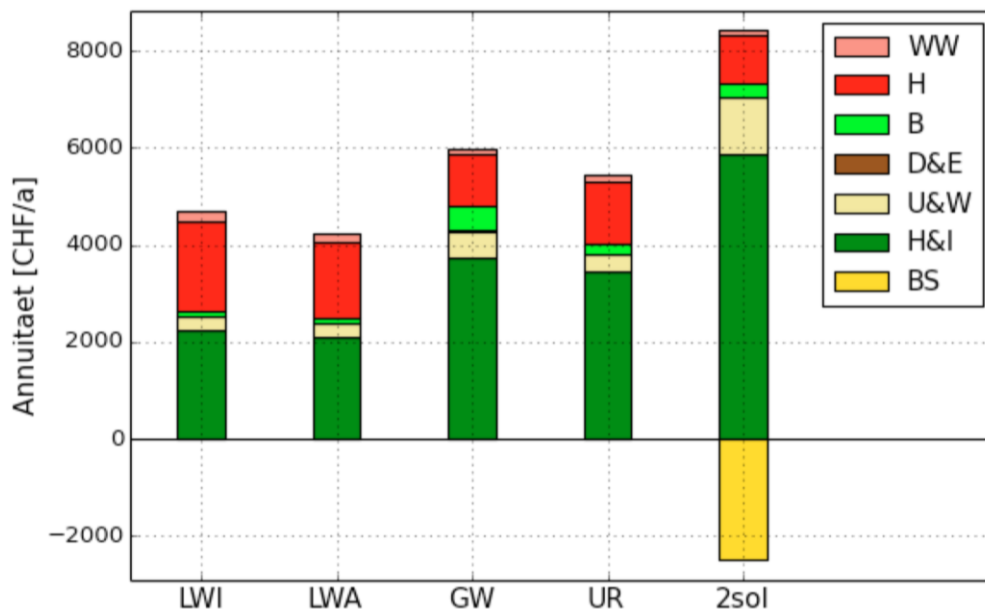


Abbildung 1: Vergleich der Annuitätskosten der Wärmepumpensysteme

Die Annuitätskostengrafik (Abbildung 1) erlaubt den direkten Vergleich der Lebenszykluskosten der betrachteten Systeme. Die Kosten sind nach Lebensphasen unterteilt, wobei H&I für die Herstellung und Installation, U&W für Unterhalt und Wartung, D&E für Demontage und Entsorgung, B für den Betrieb von Zirkulationspumpen, H für Heizenergie und WW für die Energie zur Warmwassererzeugung steht. Die Einnahmen durch den Hybridkollektor (Stromverkauf) beim 2SOL-System sind mit BS abgekürzt und werden als negative Kosten aufgetragen. Es ist gut erkennbar, welche Systeme höhere Betriebskosten (H, WW) aufweisen, dafür aber auch geringere Kapitalkosten (H&I).

## Kumulierte Kosten

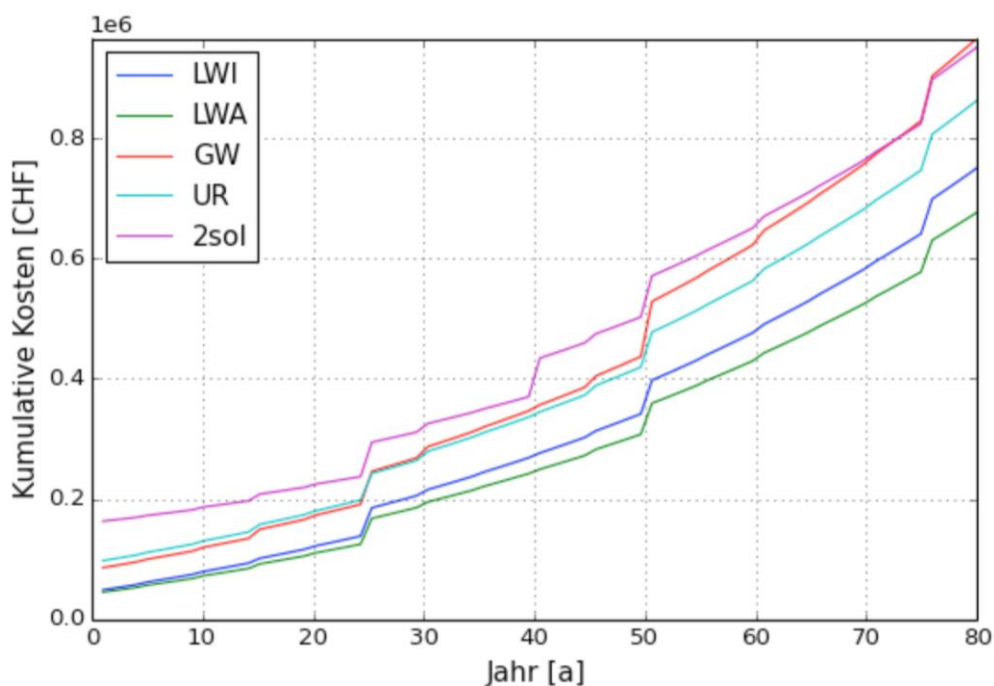


Abbildung 2: Vergleich der kumulierten Kosten der Systeme nach a Jahren

Die Grafik der kumulierten Kosten zeigt auf, wie sich die totalen Systemkosten über die Jahre verhalten. Die Kurven starten im Jahr 1 um die anfänglichen Investitionskosten und nehmen jedes Jahr um die Zins- und Betriebskosten zu. Die klar erkennbaren Sprünge stellen Ersatzinvestitionen dar, so müssen beispielsweise nach 15 Jahren die Zirkulationspumpen ausgewechselt werden und nach 25 Jahren die Wärmepumpen. Die Kurve der kumulierten Kosten erlaubt es, die finanzielle Performance der Systeme einfach zu überblicken und zu vergleichen.

## Resultattabellen nach Systemkomponenten

Tabelle 1: Resultate Lebenszykluskostenrechnung des Systems LWI nach Komponenten

Bezeichnung Komponente	Annuität CHF/a	Anteil Total %	Anfangsinvest CHF	Anteil Total %
Armaturensatz Heizzentrale (Messing)	117.7	2.8	1,941.2	4.4
Boiler ESSR 500 I (EFHR6-180)	356.8	8.4	4,309.3	9.8
Rohr Heizzentrale (Mapress C, DN35)	141	3.3	4,915.5	11.2
Pufferspeicher EnerVal 500 I	82.7	2.0	1,502	3.4
Wärmepumpe Belaria twin A Luft/Wasser 17kW, R410A	1,520.2	36.0	28,633.3	65.3
Gruppenpumpe (Biral AX13-2)	93.2	2.2	833.5	1.9
Ladepumpe (Biral A 14-2)	170.3	4.0	1,707.2	3.9
<b>Total Komponenten</b>	<b>2,482</b>	<b>58.7</b>	<b>43,842</b>	<b>100.0</b>
Energie Heizung	1,592.6	37.7		
Energie Warmwasser	152.4	3.6		
<b>Total ohne Solar</b>	<b>4227.0</b>	<b>100.0</b>		

Die Resultate der Lebenszykluskostenrechnung (LCC) können auch nach den technischen Komponenten getrennt aufgezeigt werden (Tabelle 1. In dieser Übersicht sind auch die Investitionen aufgeführt und nach den Komponenten aufgeteilt.

### Ökologische Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz)

#### CO<sub>2</sub>-Emissionen

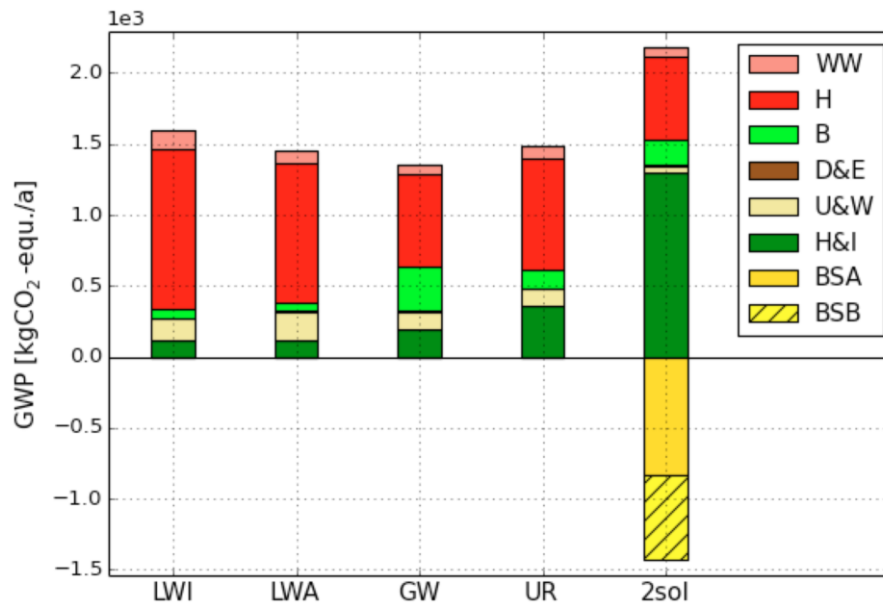


Abbildung 3: Vergleich der Wärmepumpensysteme nach CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Vergleich der totalen Umweltauswirkungen bezüglich eines Indikators gliedert sich nach denselben Phasen wie der Annuitätsvergleich (siehe oben). Die hier als Beispiel aufgeführte CO<sub>2</sub>-Grafik ermöglicht es, die treibhausrelevante Phasen zu identifizieren (hier meist die Herstellung des Heizwassers (H)) und die Klimafreundlichkeit der Systeme zu vergleichen. Beim 2SOL-System wird für die Stromproduktion des Hybridkollektors ein Abzug verrechnet (BSA und BSB), was das 2SOL-System in diesem Vergleich zum ökologischen Spitzenreiter macht, gefolgt vom Grundwasser-System.

Die Resultate der Ökobilanz lassen sich ebenfalls tabellarisch darstellen und nach Komponenten unterteilen.

## Sensitivitätsanalysen / Untersuchung von Unsicherheiten

Das Tool erlaubt die Systematische Untersuchung der Einflüsse gewisser Parameter auf die Lebenszykluskostenrechnung oder die Ökobilanz. Hier sind als Beispiele der Einfluss des Strompreises und des Kapitalkostenzinssatzes auf die Annuitätskosten abgebildet. Die Grafiken ermöglichen es, die Stabilität der gemachten Aussagen im Rahmen gewisser Schwankungen zu überprüfen. In diesem Beispiel bleibt das System LWA unter fast allen Bedingungen finanzieller Spitzenreiter, was ein Indikator für eine hohe Stabilität der Berechnungsergebnisse ist.

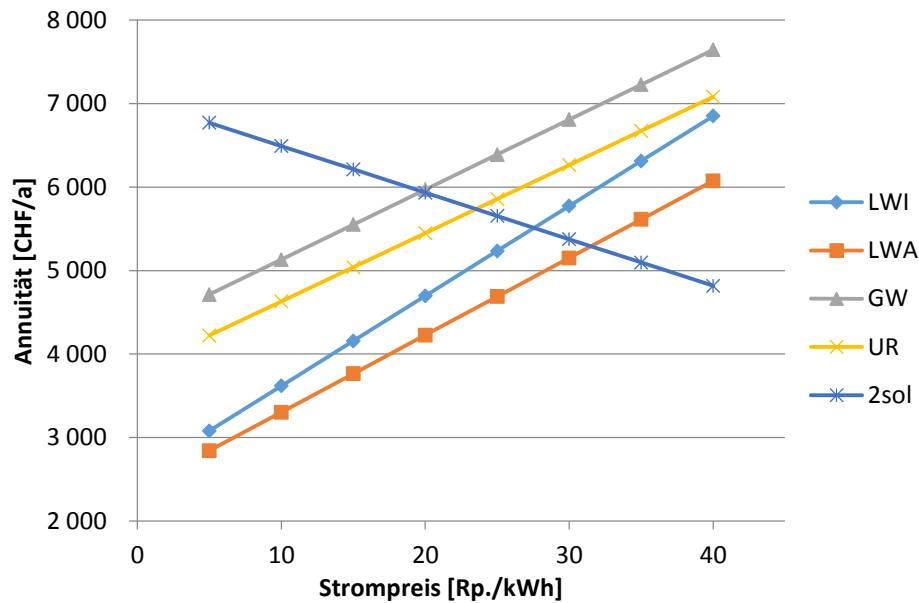


Abbildung 4: Auswirkungen des Strompreises auf die Annuitäten der fünf Systeme

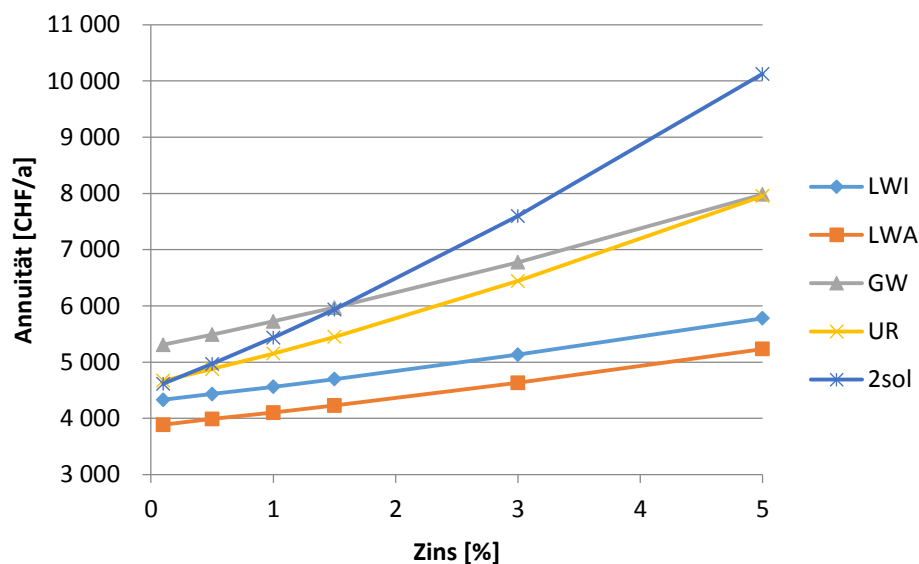


Abbildung 5: Auswirkungen des Zinssatzes auf die Annuitäten der fünf Systeme