

Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung der Wertigkeit von Energieversorgungssystemen auf Basis erneuerbarer Energien

Prof. Dr. Diana Hehenberger-Risse Lehrstuhl für effiziente Energiesysteme

Hochschule für angewandte Wissenschaften Landshut –

Technologiezentrum Ruhstorf, Universität Leuphana Lüneburg

Adresse: Am Lurzenhof 1, 84036 Landshut

Tel: +49 (0)8531 – 914 044 0 | Fax: + 49 (0)8531 - 914 044 90

E-Mail: diana.hehenberger-risse@haw-landshut.de | Internet: www.haw-landshut.de

Summary

1 Introduction

The aim of this project was to define indicators to evaluate local heat supply systems based on renewable energy compared to fossil energy reference scenarios. With these indicators an assessment matrix was developed as a planning instrument for the realization of sustainable and energy-efficient local heat supply systems. Further inferences from single projects on regions can be done.

2 Methodology

In these project a method was developed to assess the sustainability of local heat supply systems with the focus on ecology under consideration of economically and social aspects. This method uses a set of indicators composed of Input-, Output-, Efficiency- and Balance indicators. To realize advancement in comparison to present situations, an environmental quality target to advance the environmental impacts of minimum 75% was defined. For the developing and application of the indicators different examples from projects and scenarios of combined heat production from Biomass, Biogas, Solar heat combined with near-surface geothermal storage; geothermal energy and fossil peak-load supply were calculated. These scenarios were related to a basis fossil energy scenario. Overall, two district heating projects at Speichersdorf and Mitterteich (Bavaria, Germany) were compared. In this case, the project Speichersdorf with different coverage areas and decrease heat densities was investigated. The lengths of electrical grid of two areas are 10,828 m and 6,027 m. Those were opposed to the biomass district-heating project Mitterteich with a grid length of 360 m and a higher heat density decrease. Furthermore, a scenario for heat supply was designed and calculated using a geothermal plant operating in duplicate to provide heat to the large coverage area. The calculation of the various processes and scenarios was performed with the program GEMIS 4.8 based on the total heat generated (final energy) by the respective supply type. The study examined the main system components; boilers, solar heat collectors, geothermal energy storage, geothermal heat system and the distribution network. For this purpose, a life cycle assessment / life cycle analysis based on using the above indicators of energy and the emissions were calculated. To determine what fraction of energy and emissions are caused of the district-heating network itself, the heat supply variants listed below were calculated with and without distribution network and geothermal storage.

3 Results

The variant V1Oil/Natural Gas is the reference scenario of decentralized plants on district heating supply based on oil and natural gas in comparison to the following variants:

- V2: biomass and fuel oil peak load,
- V2a: biomass, biogas and fuel oil peak load,
- V3 Solark40: biomass, 40% solar fraction, oil peak load,
- V4Solar20: biomass, 20% solar fraction and oil peak load
- V4aBGSolar20: biomass, biogas, 20% solar fraction and oil peak load
- V6 Geoth: geothermal plant with fuel oil peak load
- Mitterteich: biomass, natural gas peak load

The results of the individual indicators were grouped under the collective term environmental impacts. For each indicator a weighted rating system was developed, normalized and scaled to kWh. Hence, the balance sheet indicator “avoided environmental impacts” was developed to demonstrate the overall results and for assessment the compliance with the environmental quality objective. The emissions therefore have positive values and both indicators efficiency and value creation have a negative value and therefore considered positive in the overall assessment. The results of the environmental impact of different heat supply scenarios based on the evaluation of the designed system will be presented.

1 Inhalt

Ziel der Arbeit ist die Definition von Indikatoren zur Bewertung von Energieversorgungssystemen am Beispiel von Nahwärmeversorgungsnetzen auf Basis regenerativer Energien im Vergleich zum fossilen Referenzszenario. Mit Ihnen soll eine Bewertungsmatrix als Planungshilfe zur Realisierung nachhaltiger und energieeffizienter Energieversorgungssysteme entwickelt werden. Weiterhin sollen Rückschlüsse von einzelnen Projekten auf die Region gezogen werden können.

2 Methodik

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit Hilfe eines Nachhaltigkeitsindikatorensets bestehend aus Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz- Indikatoren, ein Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Energieversorgungssystemen am Beispiel von Nahwärmenetzen mit dem Schwerpunkt Ökologie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Aspekte, entwickelt. Um die Verbesserung im Vergleich zum Istzustand aufzuzeigen, wurde als Umweltqualitätsziel die Verbesserung der Umweltauswirkungen um mindestens 75% zur Ausgangssituation definiert.

Zur Entwicklung und Anwendung der Indikatoren wurden verschiedene Projektbeispiele und Szenarien zur kombinierten Wärmeerzeugung aus Biomasse, Biogas, Solarthermie mit Erdwärmespeicher sowie Geothermie und fossiler Spitzenlastversorgung berechnet. Diese wurden in Relation zum Referenzszenario auf Basis fossiler Energien gesetzt. Die Übersicht des entwickelten Nachhaltigkeits-Indikatorensets ist nachfolgend dargestellt.

Indikatorgruppe	Indikator	Kernaussage
Input-Indikator	Kumulierter Energieaufwand inkl. Rohstoffverbrauch $KEA_{\text{erneuerbar}}$	Anteil Ressourcen- und Rohstoffverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe und erneuerbarer Energien erneuerbar – reversibel sind
	$KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$	Anteil Ressourcen- und Rohstoffverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung fossiler Energiequellen wie Heizöl, Erdgas etc. nicht erneuerbar – nicht reversibel sind
	Fläche/Boden	Zeigt auf wie viel Flächenbedarf in m^2 je kWh Nutzwärme für Herstellung der Anlagen und Primärenergieträger notwendig ist.
Output-Indikator	Spezifischer Wärmepreis	Gibt an was die kWh Nutzwärme gemäß der derzeitigen Energiepreise inkl. Kapitaldienst Betrieb, Wartung und Instandsetzung kostet
	CO ₂ -Äquivalent	Klimawandel - Maß für das Potenzial der Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ /kWh Nutzwärme

	SO ₂ -Äquivalent	Versauerung Maß des Potenzials zur Bodenversauerung in kg SO ₂ /kWh Nutzwärme
	TOPP-Äquivalent	Ozonbildung - relatives bodennahes Ozonvorläufer-Potenzial in kg NMVOC/kWh Nutzwärme
	Abwasser	Abwasseremissionen je kWh Nutzwärme
	Abfall	Abfallaufkommen je kWh Nutzwärme
Effizienz-Indikator	Gesamtnutzungsgrad inkl. Netzverlust	Maß für die Energieeffizienz /Produktivität der eingesetzten Technik je höher der Nutzungsgrad desto weniger Primärenergieeinsatz ist notwendig
Bilanz-Indikator	Vermiedene Umweltauswirkungen	Ergebniszusammenfassung – Reduzierung der Umweltauswirkungen im Vergleich zur Ausgangs-/Ist-situation
Umweltqualitätsziel	Reduzierung der Umweltauswirkungen um mindestens 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation	

Tabelle 1: Zusammenfassung Indikatoren mit Kernaussage und Umweltqualitätsziel

Insgesamt wurden die beiden Nahwärmeprojekte Speichersdorf und Mitterteich gegenübergestellt. Hierbei wurde das Projekt Speichersdorf mit verschiedenen Versorgungsgebieten und Wärmeabnahmedichten untersucht. Die Netzlänge der beiden Versorgungsgebiete beträgt zum einen 10.828 m und 6.027 m. Diesen wurde das Biomassenahwärmeprojekt Mitterteich mit einer Netzlänge von 360 m und einer höheren Wärmeabnahmedichte gegenübergestellt. Weiterhin wurde für das Projekt Speichersdorf ein Szenario zur Wärmeversorgung mittels Geothermieanlage im Dublettenbetrieb zur Wärmebereitstellung des großen Versorgungsgebiets entwickelt und berechnet.

Die Berechnung der verschiedenen Prozesse und Szenarien bezogen auf die gesamte erzeugte Nutzwärme (Endenergie) der jeweiligen Versorgungsvariante, erfolgte mit dem Programm GEMIS 4.8. Untersucht wurden die Hauptsystemkomponenten Kesselanlagen, Solarkollektor, Erdwärmespeicher, Geothermieanlage sowie das Wärmenetz. Hierzu wurden auf Basis einer Ökobilanz/Lebenszyklusanalyse mittels der oben beschriebenen Indikatoren der Energie- und Rohstoffaufwand sowie die Emissionen berechnet. Um festzustellen welchen Anteil das Nahwärmenetz für sich genommen am Energie- und Rohstoffaufwand sowie an den Emissionen verursacht, wurden die in Abbildung 1 aufgeführten Wärmeversorgungsvarianten mit/ohne Nahwärmenetz, die Erdwärmespeicher und Indikatoren berechnet.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren wurden unter dem Sammelbegriff Umweltauswirkungen (siehe Abbildung 1) zusammengefasst. Für die einzelnen Indikatoren wurde ein auf die kWh normiertes und skaliertes Bewertungssystem mit Gewichtung entwickelt. Daraus wurde der Bilanzindikator vermiedene Umweltauswirkungen zur Darstellung des Gesamtergebnisses und Prüfung der Einhaltung des Umweltqualitätsziels entwickelt. Durch die dimensionslose Skalierung zwischen -1 und 1 ist der beste Wert negativ und der schlechteste Wert positiv. Die Emissionen haben

daher positive Werte und die Indikatoren Nutzungsgrad und Wertschöpfung einen negativen Wert und werden somit in der Gesamtbewertung positiv berücksichtigt. Die Variante V1Öl/Gas ist das Referenzszenario aus dezentralen Anlagen basierend auf Heizöl/Erdgas die folgenden Nahwärmeversorgungsvarianten gegenübergestellt wird:

- V2: Biomasse und Heizölspitzenlast
- V2A: Biomasse, Biogas- und Heizölspitzenlast
- V3 Solar40: Biomasse, 40 % solarer Deckungsgrad, Heizölspitzenlast
- V4Solar20: Biomasse, 20 % solarer Deckungsanteil und Heizöl-Spitzenlast
- V4aBGSolar20: Biomasse, Biogas, 20 solarer Deckungsanteil, Heizöl-Spitzenlast
- V6 Geoth: Geothermieanlage mit Heizöl-Spitzenlast
- Mitterteich Biomasse, Erdgas-Spitzenlast

Tabelle 2 zeigt die Gegenüberstellung der Wärmeversorgungsvarianten im Vergleich zum fossilen Referenzszenario







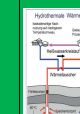



Bezeichnung	Einheit	Referenz-variante	Varianten großes Nahwärmenetz Speichersdorf Netz 10.828 m					Varianten kleines Nahwärmenetz Speichersdorf 6.027 m		kleines Nahwärmen. Mittert. 360 m	
		V1Öl/Gas	V2	V2aBG	V3Solar40	V4Solar20	V4aBGSolar20	V6Geoth	V5VG1b	V5VG1bSolar8	Mitterteich
											
Brennstoffeinsatz	MWh/a	12.069	2.449	15.499	9.441	12.566	12.441	800	9.353	8.603	2.449
Wärmebedarf	MWh/a	10.500	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	10.500	7.500	7.500	1.878
Anschlussleistung	kW _{th}	7.500	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	10.000	4.450	4.450	1.600
Gesamtinvestition	€	2.289.000	5.828.723	5.828.723	13.953.427	9.904.723	9.775.723	12.251.747	3.780.600	4.231.500	635.020
Brennstoffkosten	€/a	1.095.251	586.880	567.267	366.858	470.332	470.332	85.412	330.032	305.199	92.678
spezifischer Wärmepreis	€/MWh	149	125	123	174	147	147	143	105	112	100
regionale Wertschöpfung	€/MWh	28	73	74	64	68	68	32	67	64	56

Tabelle 2: Vergleich Nahwärmeversorgungsvarianten auf Basis erneuerbaren Energien zu fossilem Referenzszenario

Die Bezeichnung mNetz in Abb. 1 stellt das Ergebnis der jeweiligen Versorgungsvariante mit Wärmenetz dar. Die Abkürzung mNetzSo enthält zusätzlich zur Wärmeerzeugung und Wärmenetz die Komponente Erdwärmespeicher (Aquiferspeicher). Die Berechnung der Emissionen für das jeweilige Wärmenetz erfolgte auf Basis eines Kunststoff-Mantelrohrs und PE-HD-Rohr für die Sonde des Erdwärmespeichers.

Die Wärmeversorgungsvarianten liegen im Vergleich nahe zusammen. Die Variante V6 Geothermie schneidet wegen dem vergleichsweise hohem kumulierten Energieaufwand (KEA) für nicht erneuerbare Energieträger bedingt durch den Betriebsstrom, trotz ansonsten niedriger Emissionen mit 0,0137 von den Varianten zur Versorgung leicht schlechter ab. Außerdem fließt die geringere

Wertschöpfung und der im Vergleich zur Biomassenahwärme höhere Wärmepreis negativ in die Bewertung ein.

Durch die zunehmende Stromerzeugung aus regenerativen Energien wie z. B. Wind, Photovoltaik, Wasserkraft und Kraft-Wärme-Kopplung sowie steigende Brennstoffpreise v. a. für Biomasse kehrt sich dieses Bild mittelfristig jedoch um.

Durch den derzeit relativ hohen kumulierten Energieaufwand (KEA) für die Herstellung und die hohen Investitionskosten, schneidet die Variante V3mNetzSo mit 40 % solarem Anteil schlechter ab als die Varianten mit geringerem solarem Anteil und Biomasse- /Biogasnutzung. Durch den Einsatz effizienterer Solaranlagenproduktionstechniken und steigende Brennstoffpreise ändert sich die Bewertung entsprechend. Der Anteil der Biogas-KWK wirkt sich durch die Gutschrift für kombinierte Strom- und Wärmenutzung positiv in der Bewertung aus.

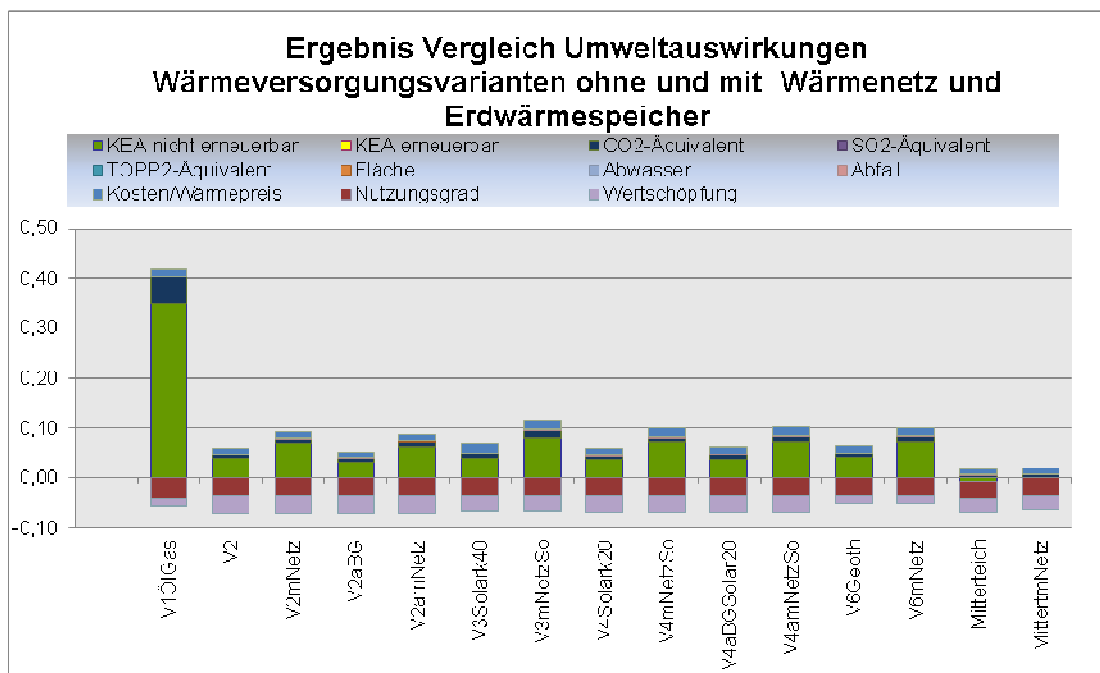


Abbildung 1: Ergebnis Vergleich Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher – eigene Darstellung auf Basis Gemis

Die Emissionen in die Luft werden stärker gewichtet als der Abwasseranfall und der Flächenverbrauch. Dadurch schneidet Biogas im Vergleich gut ab. Die Variante V2a BG hat beim großen Versorgungsgebiet Speichersdorf mit -0,01916 das beste Ergebnis. Die Variante V2 Biomassenutzung mit Heizölspitzenlasterzeugung, hat durch den verhältnismäßig geringen KEA für die Herstellung der Kesselanlagen und die geringen Emissionen sowie der hohen Wertschöpfung und dem derzeit niedrigeren Wärmepreis mit -0,0127 ein sehr gutes Ergebnis. Der spezifische Wärmepreis der Vergleichsvariante V1ÖlGas liegt mit 149 €/MWh, außer bei der Variante V3Solar 40 mit 174 €/MWh über dem der übrigen Varianten. Daher sprechen sowohl ökologische als auch ökonomische Gründe für die Umsetzung der Nahwärmeversorgungsvarianten. Insgesamt hat die Referenzvariante die meisten und die Variante Mitterteich die geringsten negativen Umweltauswirkungen.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass das Wärmenetz insbesondere die Isolierung erhebliche Umweltauswirkungen und damit Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben. Der Erdwärmespeicher aus PE-HD-Rohr fällt im Vergleich zum Wärmenetz weniger stark ins Gewicht, wirkt sich aber dennoch so stark aus, dass die Varianten mit Netz und Sonde im Vergleich am schlechtesten abschneiden. Daher

sollten Nahwärmenetze nur bei guten gemischten Abnehmerstrukturen möglichst auch mit mittleren und großen Abnehmern errichtet werden. Die reine Einfamilienhausversorgung im Bestand und noch drastischer im Neubau ist aufgrund des zu geringen Wärmebedarfs nicht empfehlenswert. Wenn dennoch große Netze mit geringen Wärmeabnahmedichten umgesetzt werden, sollte die Wärmeerzeugung aus regenerativen Energieträgern erfolgen. Insgesamt werden die Ergebnisse im Bilanzindikator „vermiedene Umweltauswirkungen“ zusammengefasst. Dieser zeigt auf welche Umweltauswirkungen im Vergleich zur Referenzvariante in Prozent vermieden werden (siehe Abbildung 2).

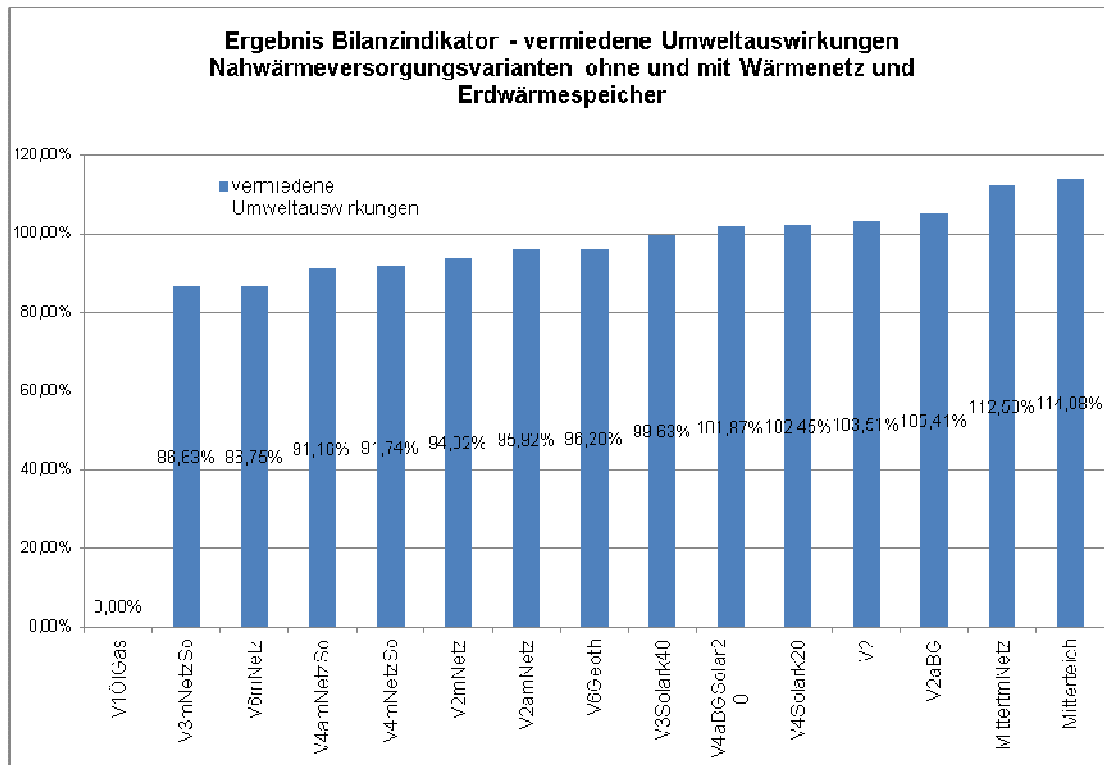


Abbildung 2: Darstellung Gesamtergebnis mit Bilanzindikator vermiedene Umweltauswirkungen - eigene Entwicklung und Darstellung auf Basis Gemis

Aufgrund der Skalierung zwischen - 1 und 1, können durch die Gutschrift der negativen Werte Ergebnisse mit über 100% erreicht werden. Bei der Referenzvariante werden somit 0 % der Umweltauswirkungen vermieden und bei der nachhaltigsten Variante Mitterteich 114,08 %. Die Varianten des Versorgungsgebiets 1 Speichersdorf liegen nahe zusammen. Das Netz und der Erdwärmespeicher erhöhen die Umweltauswirkungen bei der Variante V3Solark-40 um 13 %. Bei der Variante V6Geoth steigen die Umweltauswirkungen durch das Wärmenetz um 9,45 % an. Bei den Variante V2-V4 und V6 wurde für das große Versorgungsgebiet Speichersdorf das gleiche Wärmenetz berechnet. Somit beträgt der Anteil der Umweltauswirkungen des Erdwärmespeichers bei der Variante V3Solark40 3,55 %. Bei der Versorgungsvariante 4aBGSolar20 mit 20 % solarer Deckung und dem kleineren Erdwärmespeicher, beträgt der Anteil des Netzes samt Wärmespeicher 10,71 %. Bei der Variante Mitterteich fällt das Netz wegen der hohen Abnahmedichte und der kurzen Netzlänge hingegen nur mit 1,58 % ins Gewicht.