

---

**Nachhaltigkeitsanalyse**  
**Entwicklung verschiedener Nachhaltigkeitsindikatoren zur**  
**umwelttechnischen Analyse und Bewertung von**  
**Nahwärmeversorgungsnetzen auf Basis regenerativer**  
**Energien im Vergleich zu fossilen Energieträgern**

---

**Der Fakultät Umwelt und Technik**  
**der Leuphana Universität Lüneburg**

**zur Erlangung des Grades**  
**Doktorin der rer. nat.**

**vorgelegte Dissertation von**  
**Diana Hehenberger-Risse**  
**geb. 17.12.1975 in Gunzenhausen**  
**Hinterthann 10a, 93176 Beratzhausen**

Lüneburg Juni 2013

**Eingereicht am:**

---

**Betreuer und Gutachter:**

**Erstprüfer: Prof. Dr. Harry Lehmann,  
Umweltbundesamt Dessau**

**Gutachter:**

**Zweitprüfer: Prof. Dr. Wolfgang Ruck Leuphana  
Universität Lüneburg**

**Tag der Disputation:**

---

## **Danksagung**

Zuerst möchte ich meinen Prüfern Prof. Dr. Harry Lehmann und Prof. Dr. Wolfgang Ruck herzlich danken, dass sie sich bereit erklärt haben meinen Promotionsvorschlag anzunehmen und mich fachlich unterstützt haben. Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank an Dr. K. Alexa Lutzenberger die mich überhaupt erst auf die Idee brachte eine Dissertationsarbeit zu erstellen und mich fachlich und mental in der für mich gesundheitlich schwierigen Zeit unterstützte. Nicht zuletzt gilt mein Dank vor allem meiner Familie, insbesondere meinem Mann Norbert Risse sowie meiner Mutter und meinem Bruder, die mich bei der Betreuung unseres Nachwuchses Lennert Spitzname „Lenny Nimmersatt Immerwach“, unterstützt haben und mir so die notwendigen Zeitfenster verschafft haben, um die Arbeit während der Elternzeit zu erstellen.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>XII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND</b> .....	<b>5</b>
2.1 STAND DES WISSENS .....	5
2.1.1 <i>Wurzeln der Nachhaltigkeit</i> .....	5
2.1.2 <i>Drei-Säulen-Modell</i> .....	6
2.1.3 <i>Gewichtetes Drei-Säulen-Modell mit starker Nachhaltigkeit für Ökologie</i> .....	8
2.1.4 <i>Ein-Säulen Modell &amp; Pyramiden Modell</i> .....	9
2.1.5 <i>Integrierter Nachhaltigkeits-Ansatz</i> .....	10
2.1.6 <i>Integratives Nachhaltigkeitsmodell</i> .....	11
2.1.7 <i>Integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF)</i> ...	12
2.1.8 <i>Starke Nachhaltigkeit</i> .....	14
2.1.9 <i>Kritische Nachhaltigkeit</i> .....	16
2.2 FÜR NAHWÄRMEPROJEKTE RELEVANTE RECHTSGRUNDLAGEN.....	17
2.3 POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR INDIKATORENSYSTEME .....	19
<b>3 BEGRIFFSDEFINITION INDIKATOR</b> .....	<b>21</b>
<b>4 BESTEHENDE INDIKATORSYSTEME</b> .....	<b>22</b>
4.1 INTERNATIONALE INDIKATOREN .....	22
4.2 NATIONALE INDIKATOREN .....	22
4.2.1 <i>Umwelt-Kernindikatorensystem (KIS)</i> .....	26
4.2.1.1 <i>Umwelthandlungsziele als Maßnahmen zur Zielerreichung</i> .....	27
4.2.2 <i>ökologischer Rucksack, MIPS-Konzept</i> .....	31
4.2.3 <i>kommunale „städtische“ Indikatoren</i> .....	33
4.2.4 <i>„Ländliche“ Indikatoren</i> .....	36
<b>5 METHODIK</b> .....	<b>46</b>
5.1 NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN ZUR VEREINFACHUNG KOMPLEXER ZUSAMMENHÄNGE .....	47
5.2 FORSCHUNGSFRAGE .....	48
5.3 ENTWICKLUNG EINES INDIKATORENSYSTEMS FÜR EINE NACHHALTIGE WÄRMEVERSORGUNG .....	50
5.3.1 <i>Kriterien zur Prüfung des Indikatorensystems für Nahwärmenetze (NW-Indikatoren)</i> ..	52
5.3.2 <i>Formen der Informationsaggregation</i> .....	54
5.3.3 <i>Indikatoraufbau</i> .....	54
5.4 KONZEPTAUFBAU NACHHALTIGKEITSINDIKATORENSYSTEM MIT INDIKATORGRUPPEN .....	56
5.4.1 <i>Indikatorenauswahl und Gewichtung</i> .....	58
<b>6 SYSTEMKOMPONENTEN IM NAHWÄRMENETZ, FUNKTION, DERZEITIGER EINSATZ UND GRENZEN</b> .....	<b>61</b>
6.1 KRITERIEN NAHWÄRMELEITUNG .....	62
6.1.1 <i>Berechnung der Netzverluste</i> .....	63
6.1.2 <i>Netzarten</i> .....	66
6.1.3 <i>Verlegeverfahren</i> .....	67
6.1.4 <i>Dimensionierung der Rohrleitungen</i> .....	69
6.1.5 <i>Wärmedämmung</i> .....	70



6.2	WÄRMEERZEUGER .....	71
6.2.1	Niedertemperatur- und Brennwertkessel.....	72
6.2.2	Biomassekessel.....	74
6.2.3	Blockheizkraftwerk (Kraft-Wärme-Kopplung).....	75
6.2.4	Wärmepumpen.....	77
6.2.4.1	Wärmequelle Luft - Luft-Wärmepumpe.....	79
6.2.4.2	Wärmequelle Wasser - Wasser-Wärmepumpe.....	79
6.2.4.3	Wärmequelle Erdreich - Erd-Wärmepumpe.....	80
6.2.4.4	Kältemittel .....	80
6.2.4.5	Kompressionswärmepumpen.....	82
6.2.4.6	CO <sub>2</sub> -Wärmepumpe / Expansions-Kompressionsmaschine .....	82
6.2.4.7	Absorptionswärmepumpen.....	82
6.2.4.8	Adsorptionswärmepumpen.....	82
6.2.4.9	Thermochemische Wärmepumpe .....	82
6.2.5	Solarthermie, Solarkollektoren.....	83
6.2.6	Geothermie .....	85
6.2.6.1	<b>Oberflächennahe Geothermie</b> .....	86
6.2.6.2	<b>Tiefengeothermie</b> .....	95
6.2.7	Definition des geothermischen Potenzials – mögliche Energieausbeute.....	101
6.2.7.1	Berechnung des geothermischen Energiepotenzials .....	102
6.3	WÄRMEÜBERGABE .....	103
6.4	WÄRMESPEICHERUNG – SENSIBEL, LATENT, CHEMISCH .....	103
6.5	UMWÄLZPUMPEN .....	107
6.6	VORGEHENSWEISE ZUR ERMITTLUNG DER WÄRMEKOSTEN UND SPEZIFISCHER WÄRMEPREIS FÜR NAHWÄRMENETZE .....	107
6.7	EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT VON WÄRMENETZEN .....	112
6.8	FÖRDERMITTEL FÜR NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN.....	114
<b>7</b>	<b>ENTWICKLUNG VON NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN ZUR UMWELTECHNISCHEN ANALYSE VON NAHWÄRMENETZEN.....</b>	<b>116</b>
7.1	BERECHNUNG DER INDIKATOREN.....	116
7.2	INPUT-, OUTPUT-, EFFIZIENZ- UND BILANZ-INDIKATOREN FÜR SYSTEMKOMPONENTEN IM NAHWÄRMENETZ.....	117
7.2.1	<i>Inputindikatoren / Verbrauchsindikatoren</i> .....	117
7.2.1.1	Primärenergieeinsatz .....	118
7.2.1.2	Kumulierter Energieaufwand für Nahwärmenetze .....	125
7.2.1.3	Flächenbedarf .....	127
7.2.2	<i>Outputindikatoren / Ergebnisindikatoren</i> .....	127
7.2.2.1	CO <sub>2</sub> -Äquivalent, SO <sub>2</sub> -Äquivalent, TOPP-Äquivalent.....	127
7.2.2.2	Abwasseremissionen .....	131
7.2.2.3	Abfälle.....	131
7.2.2.4	spezifischer Wärmepreis .....	133
7.2.2.5	regionale Wertschöpfung.....	133
7.2.3	<i>Effizienzindikatoren</i> .....	133
7.2.3.1	Gesamtnutzungsgrad .....	134
7.2.4	<i>Bilanzindikatoren</i> .....	137
7.2.4.1	Ökobilanz - LCA Lebenszyklusanalyse .....	137
7.2.4.2	Vermiedene Umweltauswirkungen.....	138
7.3	PROJEKTBEISPIELE FÜR DIE ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG DER NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN – SOLARE NAHWÄRMEVERSORGUNG SPEICHERSDORF, BIOMASSENNAHWÄRMENETZ MITTERTEICH UND GEOTHERMIEPROJEKT .....	140
7.4	VERGLEICH BETRIEB NAHWÄRMENETZ AUS FOSSILER UND NACHHALTIGER WÄRMEERZEUGUNG AM PROJEKTBEISPIEL SPEICHERSDORF ALS GRUNDLAGE ZUR ENTWICKLUNG VON NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN .....	142
7.5	MÖGLICHE VERSORGUNGSGEBIETE FÜR GEPLANTE NAHWÄRMEVERSORGUNG IN SPEICHERSDORF .....	142

7.5.1	Überprüfung möglicher Nahwärmeversorgungsvarianten in Speichersdorf.....	145
7.5.2	Wärmebedarfsermittlung.....	146
7.6	<b>PLANUNG NAHWÄRMENETZ UND STANDORT WÄRMEERZEUGUNGSZENTRALE ....</b>	<b>151</b>
7.6.1	Netzaufbau.....	151
7.6.2	Wirtschaftliche Dämmstärke des Nahwärmenetzes.....	153
7.7	<b>UNTERSUCHTE NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN SPEICHERSDORF MIT HAUPTSÄCHLICH REGENERATIVEN ENERGIETRÄGERN.....</b>	<b>155</b>
7.7.1	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung und 0 % solare Deckung – Variante 2.....	156
7.7.2	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung, Biogaswärme und 0 % solare Deckung – Variante 2a.....	157
7.7.3	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung, Solarkollektoren (40 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 3.....	158
7.7.4	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung, Solarkollektoren (20 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 4.....	159
7.7.5	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung, Biogaswärme, Solarkollektoren (20 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 4a.....	161
7.7.6	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1a aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung und 0 % solare Deckung – Variante 5.....	162
7.7.7	Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1a aus Biomassekessel und Heizöl- Spitzenlastversorgung, Solarkollektor mit 8 % solare Deckung – Variante 5b.....	163
7.8	BIOMASSENNAHWÄRMEPROJEKT MITTERTTEICH.....	163
7.9	PROJEKTBEISPIEL GEOTHERMIE.....	166
<b>8</b>	<b>NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN ALS PLANUNGSHILFE FÜR NAHWÄRMENETZE.....</b>	<b>170</b>
8.1	BEWERTUNG VERSCHIEDENER NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN MITTELS NACHHALTIGKEITSINDIKATOREN.....	170
8.2	BERECHNUNGSGRUNDLAGE MATERIAL- UND RESSOURCENBEDARF NAHWÄRMENETZE SPEICHERSDORF UND MITTERTTEICH.....	175
<b>9</b>	<b>ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG EINES BEWERTUNGSSYSTEMS FÜR NACHHALTIGES/UMWELTTECHNISCHES OPTIMUM .....</b>	<b>178</b>
9.1	NACHHALTIGKEITSANALYSE .....	178
9.1.1	Ergebnis Inputindikatoren Wärmeversorgungsvarianten.....	178
9.1.2	Ergebnis Outputindikatoren.....	184
9.1.2.1	Treibhausgase und Luftschadstoffe der Wärmeversorgungsvarianten .....	184
9.1.2.2	CO <sub>2</sub> -Äquivalent, SO <sub>2</sub> -Äquivalent, TOPP- Äquivalent Wärmeversorgungsvarianten .....	188
9.1.2.3	CO <sub>2</sub> -Äquivalent, SO <sub>2</sub> -Äquivalent, TOPP- Äquivalent Wärmenetz Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf .....	189
9.1.2.4	Abwasserbelastung Wärmeversorgungsvarianten .....	190
9.1.2.5	Abwasseremissionen Wärmenetz Speichersdorf.....	194
9.1.2.6	Abfallaufkommen Wärmeversorgungsvarianten .....	195
9.1.2.7	Abfallaufkommen Wärmenetz Speichersdorf .....	197
9.1.2.8	Flächenbedarf Wärmeversorgungsvarianten.....	198
9.1.2.9	Flächenbedarf Wärmenetz Speichersdorf.....	199
9.1.2.10	Zusammenfassung Ergebnis Indikatoren Erdwärmespeicher .....	201
9.1.2.11	Wärmepreis / Kosten, regionale Wertschöpfung.....	201
9.1.2.12	<b>Variante V1ÖIGas - Referenzvariante .....</b>	<b>201</b>
9.1.2.13	<b>Variante V2aBG– Biomasseheizwerk, Biogas und Öl-Spitzenlast .....</b>	<b>206</b>
9.1.2.14	<b>Variante V3Solark40– Biomasseheizwerk, Solarthermie (40%) und Öl-Spitzenlast .....</b>	<b>207</b>
9.1.2.15	<b>Variante V4Solark20 und Variante V4aBGSolar20 – Biomasseheizwerk, Solarthermie (20%) und Öl-Spitzenlast .....</b>	<b>209</b>
9.1.2.16	<b>Variante V5VG1b – Biomasseheizwerk, Öl-Spitzenlastversorgung für Versorgungsgebiet 1a .....</b>	<b>211</b>

---

9.1.2.17	<b>Variante V5bVG1bSolar8 – Biomasseheizwerk, Solarer Deckungsgrad 8 %, Öl-Spitzenlastversorgung für Versorgungsgebiet 1a</b> .....	213
9.1.2.18	<b>Variante V6 Geothermieanlage, Öl-Spitzenlastversorgung</b> .....	216
9.1.2.19	<b>Variante Mitterteich Biomasseheizwerk mit Gas-Spitzenlastversorgung</b> .....	218
9.1.3	<i>Gesamtergebnis Nachhaltigkeitsanalyse Wärmeversorgungsvarianten</i> .....	221
9.1.4	<i>Gesamtergebnis - Vergleich Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher</i> .....	226
9.1.5	<i>Ergebnis Bilanzindikator Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung durch vermiedene Umweltauswirkungen</i> .....	231
9.2	<b>EINFLUSS KOMMUNALER EINZELPROJEKTE AUF DIE REGION AM BEISPIEL LANDKREIS TIRSCHENREUTH</b> .....	233
<b>10</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>237</b>
<b>11</b>	<b>AUSBLICK</b> .....	<b>243</b>
<b>12</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>244</b>
<b>13</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>252</b>
<b>14</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>259</b>
	<b>ANHANG</b> .....	<b>266</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

a	Jahr
AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
a. D.	ehemals
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
AS	Arsen
BbergG	Bundesberggesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
BioSt-NachV	Biostrom-Nachhaltigkeits-Verordnung
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
ca.	circa
Cd	Cadmium
CDM	Clean Development Mechanism
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Cr	Chrom
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSD	Committee on Sustainable Development
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DN	Nennweite
e. V.	eingetragener Verein
EEG	Erneuerbare Energien-Gesetz
EEWG	Erneuerbare Energien Wärmegesetz
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und weitere)
EU	Europäische Union
€	Euro
FKW	Flourkohlenwasserstoff
FSC	Forest Steward Ship Council
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
Gg	Gigagramm
GJ	Gigajoule
GWh	Gigawattstunde
GWP	Global Warming Potential
GZF	Gleichzeitigkeitsfaktor
h	Stunde
H	Wasserstoff
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
ha	Hektar
HCL	Chlorwasserstoff
HEL	Heizöl extra leicht
HF	Flourwasserstoff

---

H-FKW	Halogenierte Flourkohlenwasserstoffe
Hg	Quecksilber
i. d. R.	in der Regel
inkl.	inklusive
IPCC	Intergovernmental Panel on climate change
Invest	Investitionsvolumen
JI	Joint Implementation
KEA erneuerbar	kumulierter Energieaufwand erneuerbar
KEA nicht erneuerbar	kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar
kg	Kilogramm
KIS	Kernindikatorensystem
KMR	Kunststoffmantelrohr
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LagerstG	Lagerstättengesetz
l/m Trasse	laufenden m Trasse
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung)
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MAIA	Materialintensitätsanalyse
mg	Milligramm
Mio.	Million
MIPS	Material-Input pro Einheit Service
MJ	Megajoule
Mrd.	Milliarde
MWh	Megawattstunde
MwSt.	Mehrwertsteuer
N	Stickstoff
N <sub>2</sub>	elementarer Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
NAP	Nationaler Aktionsplan
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
Ni	Nickel
NMVOG	Nicht-Methanhaltige flüchtige organische Verbindungen
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
ODP	Ozon Depletion Potential
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖNorm M7133	Holzhackgut für energetische Zwecke - Anforderungen und Prüfbestimmungen
P	Phosphor

---

PAH	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane
PE HD	Poly-Ethylen High Density
PEFC	Pan European Forest Certification System
PJ	Petajoule
ProBas	prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementinstrumente
PUR	Polyurethan-Hartschaum
REA-Reststoffe	Rauchgasentschwefelungsanlagen-Reststoffe
S	Schwefel
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
srn	Schüttraummeter
StaBu	Statistisches Bundesamt
to	Tonne
TEHG	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG	Treibhausgas
TJ	Terajoule
TOPP	Troposphärische Ozon-Vorläufer-Äquivalente
TWh	Terrawattstunde
u. a.	unter anderem
UN	United Nations - Vereinte Nationen
W	Watt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
z. B.	zum Beispiel
Zn	Zink
ZuG	Zuteilungsgesetz
zzgl.	zuzüglich

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENTWICKLUNG DES ENERGIEEINSATZES ZUR WÄRMEBEREITSTELLUNG IM AKTUALISIERTEN LEITSCENARIO 2009 NACH ENERGIETRÄGERN (DR. JOACHIM NITSCH, 2009, S. 13).....	3
ABBILDUNG 2: DREI-SÄULEN-MODELL (SPINDLER, 2012, S. 12) .....	7
ABBILDUNG 3: GEWICHTETES DREI-SÄULEN-MODELL (SPINDLER, 2012, S. 14) .....	9
ABBILDUNG 4: INTEGRIERENDES NACHHALTIGKEITSDREIECK (AACHENER STIFTUNG KATHY BEYS) .....	11
ABBILDUNG 5: MODELL KRITISCHE NACHHALTIGKEIT (BENJAMIN TOBIAS PEYLO, 2008, S. 19) .....	16
ABBILDUNG 6: INDIKATOR ENERGIEPRODUKTIVITÄT, BRUTTOINLANDSPRODUKT, PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH (RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, 2012, S. 6) .....	23
ABBILDUNG 7: INDIKATOR TREIBHAUSGASEMISSIONEN (RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, 2012, S. 10) .....	24
ABBILDUNG 8: ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN AM ENERGIEVERBRAUCH (RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, 2012, S. 12) .....	25
ABBILDUNG 9: ANSTIEG DER SIEDLUNGS- UND VERKEHRSFÄCHE (RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, 2012, S. 14) .....	26
ABBILDUNG 10: EMISSIONEN DER SECHS IM KYOTO-PROTOKOLL GENANNTEN TREIBHAUSGASE IN DEUTSCHLAND (OHNE CO <sub>2</sub> AUS LULUCF).....	30
ABBILDUNG 11: MODELL NACHHALTIGKEITSINDIKATORENSYSTEM FÜR WÄRMEVERSORGUNG – EIGENE DARSTELLUNG .....	51
ABBILDUNG 12: ÜBERSICHT INDIKATOREN MIT GEWICHTUNG – EIGENE DARSTELLUNG .....	60
ABBILDUNG 13: QUERSCHNITT DURCH EIN KUNSTSTOFFMANTELROHR (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 19) .....	64
ABBILDUNG 14: DÄMMSTOFFE FÜR NAHWÄRMELEITUNGEN (RECKNAGEL, 2009, S. 760).....	71
ABBILDUNG 15: NT-ÖL-/GAS-HEIZKESSEL, ABGEBILDET MIT ÖLBRENNER VITOFLEME 200 FÜR SCHADSTOFFARME VERBRENNUNG. MIT AUFGESETZTEM, TEMPERATURGEREGELTEN SPEICHERWASSERERWÄRMER. NORM-NUTZUNGSGRAD BIS 96% (VIESSMANN; VITOLA 222, LEISTUNG: 18 BIS 27 KW) (RECKNAGEL, 2009, S. 803).....	72
ABBILDUNG 16: SCHNITTDARSTELLUNG EINES KOMPAKTEN BRENNWERT-STAHLKESSELS (BUDERUS HEIZTECHNIK, LOGANO PLUS SB315/615, LEISTUNG VON 50 BIS 640 KW) (RECKNAGEL, 2009, S. 811).....	73
ABBILDUNG 17: ENERGIEBILANZ NIEDERTEMPERATUR-HEIZKESSEL, ÖL-BW, BRENNWERTKESSEL BEI HEIZWASSERTEMPERATUR 40/30 °C (RECKNAGEL, 2009, S. 812).....	74
ABBILDUNG 18: BIOMASSEKESSEL UND BIOMASSELAGER MIT RUNDFEDERAUSTRAGUNG DES BIOMASSENÄHWÄRMEPROJEKTES MITTERTEICH – AUS MACHBARKEITSTUDIE MITTERTEICH .....	75
ABBILDUNG 19: PRINZIPSHEMA BIOGASANLAGE (V., DEUTSCHLANDS INFORMATIONSPORTAL FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2008) .....	76
ABBILDUNG 20: PRINZIPSKIZZE WÄRMEPUMPE (INFORMATIONSDIENST, 2000, S. 2) .....	78
ABBILDUNG 21: ÜBERSICHT KÄLTEMITTEL (INFORMATIONSDIENST, 2000, S. 2) , .....	81
ABBILDUNG 22: WIE FUNKTIONIERT EINE SOLARTHERMIEANLAGE (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2005) .....	84
ABBILDUNG 23: FLACHKOLLEKTOR CS 100 F (CITRIN SOLAR, 2013) .....	85
ABBILDUNG 24: ÜBERSICHT GEOTHERMIESYSTEME (JOSEF DALDRUP (DALDRUP & SÖHNE AG), HERBERT KLAPPERICH (TU BERGAKADEMIE FREIBERG & CIF E. V.), 2009, S. 2) .....	86
ABBILDUNG 25: PRINZIPSHEMA OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2005; V., DEUTSCHLANDS INFORMATIONSPORTAL FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2009) .....	87
ABBILDUNG 26: AUSZUG AUS VDI 4640 TEIL 1 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2009, S. 11) .....	90
ABBILDUNG 27: WASSERWEGSAMKEITEN INFOLGE EROSION UND FEHLENDER HAFTUNG, (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2009, S. 21) .....	90
ABBILDUNG 28. SYSTEMSCHNITT ERDWÄRMESONDE: BOHRLOCHDURCHMESSER IN ABHÄNGIGKEIT VOM RINGRAUM UND SONDENBÜNDEL (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2009, S. 22) .....	92
ABBILDUNG 29: FUNKTIONSPRINZIP HYDROTHERMALE GEOTHERMIE (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, DEUTSCHLANDS INFORMATIONSPORTAL FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2009) .....	96
ABBILDUNG 30: WÄRMEPROJEKT GARCHING MIT HYTROTHERMALER DUBLETTE (JOSEF DALDRUP (DALDRUP & SÖHNE AG), HERBERT KLAPPERICH (TU BERGAKADEMIE FREIBERG & CIF E. V.), 2009, S. 9) .....	98
ABBILDUNG 31: FUNKTIONSPRINZIP PETROTHERMALE GEOTHERMIE (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN) .....	100

ABBILDUNG 32: SYSTEMSKIZZE TIEFE ERDWÄRMESONDE (JOSEF DALDRUP (DALDRUP & SÖHNE AG), HERBERT KLAPPERICH (TU BERGAKADEMIE FREIBERG & CIF E. V.), 2009, S. 4) .....	101
ABBILDUNG 33: BEISPIEL HAUSÜBERGABESTATION, 15 KW, LÄNGE CA. 50 CM X BREITE CA. 50 CM X TIEFE CA. 30 CM (REHAU ENERGY SOLUTIONS GMBH).....	103
ABBILDUNG 34: ENERGIEDICHTE VERSCHIEDENER WÄRMESPEICHER (AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, DEUTSCHLANDS INFORMATIONSPORTAL FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2009, S. 4).....	105
ABBILDUNG 35: BEISPIEL INVESTITIONSKOSTEN PROJEKT SPEICHERSDORF: BIOMASSE-NAHWÄRMENETZ MIT SOLARER UNTERSTÜTZUNG (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, BÜRGERINFORMATIONSVANSTALTUNG SPEICHERSDORF - PLANUNG NAHWÄRMENETZ SPEICHERSDORF, 2011) .....	108
ABBILDUNG 36: JAHRESGESAMTKOSTEN, SPEZIFISCHER WÄRMEPREIS (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, BÜRGERINFORMATIONSVANSTALTUNG SPEICHERSDORF - PLANUNG NAHWÄRMENETZ SPEICHERSDORF, 2011) .....	110
ABBILDUNG 37: KOSTENVERGLEICH NAHWÄRME ZU EIGENVERSORGUNG (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, BÜRGERINFORMATIONSVANSTALTUNG SPEICHERSDORF - PLANUNG NAHWÄRMENETZ SPEICHERSDORF, 2011) .....	111
ABBILDUNG 38: JAHRESDAUERLINIE (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 32).....	112
ABBILDUNG 39: PRINZIPSHEMA STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG MIT METHANISIERUNG (STERNER, 2009) .....	114
ABBILDUNG 40: ENERGIEINHALT FOSSILER BRENNSTOFFE (RECKNAGEL, 2009, S. 812) .....	118
ABBILDUNG 41: ZENTRALHEIZUNG FÜR LEICHTES HEIZÖL MIT ATMOSPHÄRISCHEN BRENNER INKL. WÄRMEVERTEILUNG HILFSSTROM UND TANK. DATEN FÜR 100 % EFFIZIENZ (ENDENERGIEBEZOGEN) ZUR DIREKTEN BERECHNUNG VON BRENNSTOFFBEDARFEN. PROZESSKETTE AUS GEMIS 4.8, PROZESS ÖL-HEIZUNG-DE-2030 (ENDENERGIE).....	120
ABBILDUNG 42: ERGEBNISSE RESSOURCENINANSPRUCHNAHME AUS GEMIS 4.8, PROZESS ÖL-HEIZUNG-DE-2030 (ENDENERGIE), DIE GLOBALEN ERGEBNISSE FÜR '1,000000 KWH RAUMWÄRME' GELIEFERT VON 'ÖL-HEIZUNG-DE-2030 (ENDENERGIE)' .....	121
ABBILDUNG 43: PROZESSKETTE ZUR HERSTELLUNG VON HOLZHACKSCHNITZELN EU-WALD, AUS GEMIS 4.8, HACKSCHNITZEL HACKER-GROSS/HOLZ-EU-WALD-HACKSCHNITZEL-2020 .....	122
ABBILDUNG 44: ENERGIEAUFWAND FÜR HERSTELLUNG HACKSCHNITZEL MITTELS HACKER-GROSS/HOLZ-EU-WALD-HACKSCHNITZEL-2030.....	123
ABBILDUNG 45: HACKGUTKLASSEN NACH ÖNORM M7133 PARAMETER UND GRENZWERTE AUS (MARUTZKY, 1999) .....	124
ABBILDUNG 46: BERECHNUNGSFORMEL FÜR CO <sub>2</sub> -ÄQUIVALENT AUS GEMIS 4.8.....	128
ABBILDUNG 47: UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR SO <sub>2</sub> -ÄQUIVALENT UND BERECHNUNGSFORMEL AUS GEMIS 4.8.....	130
ABBILDUNG 48: LUFTSCHADSTOFFE OZONBILDUNGSPOTENZIAL, UMRECHNUNGSFAKTOREN ZUM TOPP-ÄQUIVALENT AUS STICKOXIDEN (NO <sub>x</sub> ), NMVOC, KOHLENMONOXID (CO), METHAN (CH <sub>4</sub> ), BERECHNUNGSFORMEL AUS GEMIS 4.8 .....	130
ABBILDUNG 49: EMISSIONEN IN DIE LUFT ZUR ERZEUGUNG 1 KWH NUTZWÄRME MITTELS ATMOSPHÄRISCHEN ÖLBRENNER, PROZESS ÖL-HEIZUNG-DE-2030 (ENDENERGIE)AUS GEMIS 4.8 .....	132
ABBILDUNG 50: TREIBHAUSRELEVANTE EMISSIONEN IN DIE LUFT FÜR 1 KWH NUTZWÄRME MITTELS ATMOSPHÄRISCHEN ÖLBRENNER, PROZESS ÖL-HEIZUNG-DE-2030 (ENDENERGIE) AUS GEMIS 4.8 .....	133
ABBILDUNG 51: AUFBAU EINER ÖKOBILANZ (STEFAN MAJER, 2008, S. 7) .....	138
ABBILDUNG 52: ORTHOFOTO DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS SPEICHERSDORF (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 9) .....	143
ABBILDUNG 53: AUFTEILUNG VON SPEICHERSDORF IN VIER MÖGLICHE VERSORGUNGSGEBIETE ALS MÖGLICHE NETZAUSBAUSTUFEN (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 11) .....	144
ABBILDUNG 54: VERSORGUNGSGEBIET 1 - ALTSPEICHERSDORF UND TEIL ÖSTLICH DER ST2184 SOWIE NÖRDLICH DER BAHNGLEISE, UNTERGLIEDERT IN DEN BEREICH 1A UND 1B (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 11) .....	145
ABBILDUNG 55: GEOLOGIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES SPEICHERSDORF, ZWISCHEN ZWEI TEKTONISCHEN STÖRUNGEN, UNTERGRUNDABFOLGE SANDSTEINKEUPER UND GIPSKEUPER, BILDQUELLE: GEOFACHDATENATLAS LFU (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 10).....	146
ABBILDUNG 56: REFERENZSZENARIO FÜR VERSORGUNGSGEBIET 1A, MIT ANSCHLUSSGRAD VON 65 %, (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 31).....	148



ABBILDUNG 57: GEORDNETE JAHRESDAUERLINIE FÜR VERSORGUNGSGBIET 1 (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 33)	149
ABBILDUNG 58: GEORDNETE JDL FÜR VG1A ZUR ANLAGENDIMENSIONIERUNG, ANSCHLUSSGRAD 65%, FERNWÄRMEBEDARF JAHR 9, BEDARF 7,741 GWH, ANLAGENLEISTUNGS-PEAK 2,7 MW (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 33)	150
ABBILDUNG 59: GRUNDLAGE WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN - GEORDNETE JAHRESDAUERLINIE FÜR VG 1A MIT UM 10% REDUZIERTEM RAUMHEIZUNGSBEDARF ENTSPRICHT DEM BEDARF VON 2008 (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 34)	150
ABBILDUNG 60: ENTWURF TRASSENPLAN VG1 - IN ROT MARKIERT TRASSENPLAN VG1A, UND GRÜN MARKIERT VG 1B, GESAMTE NETZLÄNGE 10,83 KM (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 36)	152
ABBILDUNG 61: PRINZIPIKIZZE DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 3 MIT RUND 40 % SOLAREM DECKUNGSANTEIL, DIREKTE SOLARNUTZUNG IM SOMMER, INDIRECTE SOLARNUTZUNG IM WINTER MITTELS THERMISCH ANGETRIEBENER ABSORPTIONSWÄRMEPUMPE (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 41)	159
ABBILDUNG 62: PRINZIPIKIZZE DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 4 MIT RUND 20 % SOLAREM DECKUNGSANTEIL, DIREKTE SOLARNUTZUNG IM SOMMER, RÜCKLAUFANHEBUNG DURCH SPEICHERNUTZUNG ÜBER THERMISCH ANGETRIEBENE ABSORPTIONSWÄRMEPUMPEDIREKTE (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 42)	160
ABBILDUNG 63: PRINZIPIKIZZE DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 4A MIT RUND 20 % SOLAREM DECKUNGSANTEIL, DIREKTE SOLARNUTZUNG IM SOMMER, RÜCK-LAUFANHEBUNG DURCH SPEICHERNUTZUNG ÜBER THERMISCH ANGETRIEBENE ABSORPTIONSWÄRMEPUMPE, BIOGASWÄRME (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 43)	162
ABBILDUNG 64: STRUKTUR BETREIBERMODELL BIOMASSENÄHWÄRMENETZ MITTERTEICH (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, MACHBARKEITSTUDIE / REALISIERUNGSKONZEPT FÜR BIOMASSE- NAHWÄRMEVERSORGUNG IM BETREIBERMODELL FÜR DIE STADT MITTERTEICH - MEHRZWECKHALLE, HAUPTSCHULE MIT HALLENBAD UND GRUNDSCHULE, FÖRDERSCHELE LEBENSILFE, 2010)	164
ABBILDUNG 65: BENÖTIGTE LEISTUNG FERNWÄRMEANSCHLUSS UND VORAUSSICHTLICHER WÄRMEBEDARF BIOMASSENÄHWÄRMENETZ MITTERTEICH (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, 2010)	165
ABBILDUNG 66: BIOMASSENÄHWÄRMENETZ MITTERTEICH, STANDORT HEIZZENTRALE, WÄRMEABNEHMER GRUND- UND HAUPTSCHULE, MEHRZWECKHALLE, FÖRDERSCHELE LEBENSILFE (KEWOG ENERGIE UND DIENSTE GMBH, 2010)	166
ABBILDUNG 67: PRINZIPIKIZZE HYDROTHERMALES SYSTEM MIT DUBLETTE (CLAUDIA THOMSEN, 2004, S. 38)	169
ABBILDUNG 68: VERGLEICH DES KUMULIERTEN ENERGIEAUFWANDS (KEA) VON WÄRMEPUMPE UND ERDGASBRENNWERKESSEL ÜBER EINEN BETRACHTUNGSZEITRAUM VON 20 JAHREN (FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, G. BRESSLER, C. GÜNTHER-POMHOFF, A. SALLER, 1996, S. 68)	174
ABBILDUNG 69: VERGLEICH ENERGIEAUFWAND IN KWH FÜR DIE GESAMTE ERZEUGTE NUTZWÄRME DER VERSORGUNGSVARIANTEN V1-6 UND MITTERTEICH - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	181
ABBILDUNG 70: VERGLEICH KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND ERNEUERBAR UND NICHT ERNEUERBAR DER VERSORGUNGSVARIANTEN V1-6 UND MITTERTEICH - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	182
ABBILDUNG 71: VERGLEICH KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1-4, 6 UND MITTERTEICH OHNE UND MIT WÄRMENETZ - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	183
ABBILDUNG 72: VERGLEICH DES KUMULIERTEN ENERGIEAUFWANDS DER MATERIAL-KOMPONENTEN STAHLBLECH, PE-HD-ROHR UND PUR-HARTSCHAUM FÜR WÄRMENETZ SPEICHERSDORF – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS	184
ABBILDUNG 73: TREIBHAUSGASE / CO <sub>2</sub> -ÄQUIVALENT - SUMME DER EINZELNEN SCHADGASSE N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> UND HAUPTMITTENT CO <sub>2</sub> DER WÄRMEVERSORGUNGS-VARIANTEN - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	186
ABBILDUNG 74: LUFTSCHADSTOFFE / SO <sub>2</sub> -ÄQUIVALENT - SUMME DER EINZELNEN SCHADGASSE NO, HF, HCL UND HAUPTMITTENT SO <sub>2</sub> SOWIE TOPP-ÄQUIVALENT - SCHADGAS NMVOC DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	188
ABBILDUNG 75: CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> - UND TOPP- ÄQUIVALENT DER WÄRMEVERSORGUNGS-VARIANTEN – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	189
ABBILDUNG 76: CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> - UND TOPP- ÄQUIVALENT WÄRMENETZ SPEICHERSDORF – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	190
ABBILDUNG 77: ABWASSEREMISSIONEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS	193

---

ABBILDUNG 78: ABWASSERBELASTUNG DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN JE KWH NUTZWÄRME – EIGENE BERECHNUNG UND DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	194
ABBILDUNG 79: ABWASSEREMISSIONEN WÄRMENETZ SPEICHERSDORF - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	195
ABBILDUNG 80: ABFALLAUFKOMMEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	197
ABBILDUNG 81: ABFALLAUFKOMMEN WÄRMENETZ SPEICHERSDORF – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	198
ABBILDUNG 82: FLÄCHENBEDARF WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	199
ABBILDUNG 83: FLÄCHENBEDARF WÄRMENETZ SPEICHERSDORF AUF BASIS GEMIS.....	200
ABBILDUNG 84: NACHHALTIGKEITSANALYSE WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN .....	223
ABBILDUNG 85: RANKING – VERGLEICH DER UMWELTAUSWIRKUNGEN DER UMWELTAUSWIRKUNGEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN - EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	223
ABBILDUNG 86: UMWELTAUSWIRKUNGEN IM VERGLEICH ZUM SPEZIFISCHEN WÄRMEPREIS – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	225
ABBILDUNG 87: ERGEBNIS VERGLEICH UMWELTAUSWIRKUNGEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN OHNE UND MIT WÄRMENETZ UND ERDWÄRMESPEICHER – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS ..	228
ABBILDUNG 88: RANKING – VERGLEICH DER UMWELTAUSWIRKUNGEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN OHNE UND MIT WÄRMENETZ UND ERDWÄRMESPEICHER EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	229
ABBILDUNG 89: DARSTELLUNG GESAMTERGEBNIS MIT BILANZINDIKATOR VERMIEDENE UMWELTAUSWIRKUNGEN - EIGENE ENTWICKLUNG UND DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	233
ABBILDUNG 90: ÜBERSICHT INDIKATOREN MIT GEWICHTUNG .....	239
ABBILDUNG 91: ERGEBNIS VERGLEICH UMWELTAUSWIRKUNGEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN OHNE UND MIT WÄRMENETZ UND ERDWÄRMESPEICHER – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS ..	247
ABBILDUNG 92: DARSTELLUNG GESAMTERGEBNIS MIT BILANZINDIKATOR VERMIEDENE UMWELTAUSWIRKUNGEN - EIGENE ENTWICKLUNG UND DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS .....	250
FIGURE 93: RESULTS OF COMPARING ENVIRONMENTAL IMPACTS OF HEAT SUPPLY OPTIONS WITH AND WITHOUT HEAT STORAGE AND GEOTHERMAL POWER - OWN DESCRIPTION BASED ON GEMIS .....	255
FIGURE 94: PRESENTATION OF COMPREHENSIVE INCOME WITH BALANCE INDICATOR AVOIDED ENVIRONMENTAL IMPACT - OWN DEVELOPMENT AND PRESENTATION BASED GEMIS.....	257

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: GENERELLE NACHHALTIGKEITSREGELN UND ZUORDNUNG ZU SUBSTANZIELLEN NACHHALTIGKEITSREGELN (ARMIN GRUNWALD, 2006, S. 29).....	13
TABELLE 2: INSTRUMENTELLE NACHHALTIGKEITSREGELN (GRUNWALD, 2006, S. 29).....	13
TABELLE 3: KOMMUNALE „STÄDTISCHE“ INDIKATOREN.....	34
TABELLE 4: GEGENÜBERSTELLUNG DER BESTEHENDEN SYSTEME UND DEM NALAWI-INDIKATORENSYSTEM DES FORSCHUNGSPROJEKTS „NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFT“ (LEUPHANA UNIVERSITÄT LÜNEBURG, 2011).....	37
TABELLE 5: HAUPTINDIKATORENGRUPPE 1 - URSACHE-WIRKUNGSGRUPPE: INPUT- UND OUTPUTINDIKATOREN (EIGENE DARSTELLUNG).....	57
TABELLE 6: HAUPTGRUPPE 2 - BEWERTUNGSGRUPPE: EFFIZIENZ- UND BILANZINDIKATOREN (EIGENE DARSTELLUNG).....	58
TABELLE 7: EINZELINDIKATOREN - INPUTINDIKATOREN FÜR NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	58
TABELLE 8: EINZELINDIKATOREN - OUTPUTINDIKATOREN FÜR NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	59
TABELLE 9: EFFIZIENZINDIKATOR FÜR NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	59
TABELLE 10: BILANZINDIKATOR VERMIEDENE UMWELTAUSWIRKUNGEN FÜR NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	59
TABELLE 11: WÄRMELEITFÄHIGKEIT UNTERSCHIEDLICHER ERDREICHARTEN (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 20) .	65
TABELLE 12: MÖGLICHE UMWELTAUSWIRKUNGEN THERMISCHE NUTZUNG GRUNDWASSER (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2009, S. 76) .....	94
TABELLE 13: FÖRDERKRITERIEN FÜR UNTERSUCHTE NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN AUF BASIS KFW UND TFZ.....	115
TABELLE 14: ÜBERSICHT VERGLEICH HEIZWERTE FOSSILER UND NACHWACHSENDE PRIMÄRENERGIETRÄGER (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 62).....	119
TABELLE 15: UMRECHNUNGSFAKTOREN DER TREIBHAUSWIRKUNG DER SECHS WICHTIGSTEN EMISSIONEN – EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (IPCC, 2007, S. P. 212, 213).....	129
TABELLE 16: VERGLEICH DER WICHTIGSTEN KENNDATEN FÜR WÄRMEERZEUGUNGSSYSTEME DER DATENSÄTZE GEMIS, VDEW UND IKARUS (HEIDELCK & LAUE, 1999, S. 5) .....	135
TABELLE 17: GEMESSENE JAHRESARBEITSAHLEN AUSGEFÜHRTER WÄRMEPUMPENANLAGEN 1990 BIS 1998 (HEIDELCK & LAUE, 1999, S. 9) .....	136
TABELLE 18: ZUSAMMENFASSUNG INDIKATOREN MIT KERNAUSSAGE UND UMWELTQUALITÄTSZIEL – EIGENE DARSTELLUNG .....	139
TABELLE 19: PRIMÄRENERGIEBEDARF FOSSILE REFERENZ-WÄRMEBEREITSTELLUNG – VARIANTE 1, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 39).....	142
TABELLE 20: DIFFERENZIIERTER WÄRMEBEDARF DES GESAMTEN VERSORGUNGSGEBIETS 1, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 28).....	147
TABELLE 21: WÄRMEBEDARF FÜR VERSORGUNGSGEBIET 1A ALS GRUNDLAGE FÜR DIE BETRACHTETEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 28) .....	147
TABELLE 22: TRASSENLÄNGE UND NETZABSCHNITTE VERSORGUNGSGEBIET 1, EIGENE DARSTELLUNG AUF (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 36).....	153
TABELLE 23: ÜBERSICHT TRASSENLÄNGE, LEITUNGSQUERSCHNITTE, INVESTITIONSKOSTEN, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 37).....	153
TABELLE 24: ÜBERSICHT WÄRMEVERLUSTE NAHWÄRMENETZ FÜR VARIANTE 1 - EINFACH VERSTÄRKTE DÄMMUNG, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 38).....	154
TABELLE 25: ÜBERSICHT WÄRMEVERLUSTE NAHWÄRMENETZ FÜR VARIANTE 2 - ZWEIFACH VERSTÄRKTE DÄMMUNG FÜR DN 25-80, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 38) .....	155
TABELLE 26: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 2 - HACKSCHNITZEL/HEIZÖL, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 40) .....	157
TABELLE 27: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 2A - HACKSCHNITZEL/HEIZÖL/BIOGAS, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 40).....	157

TABELLE 28: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 3 HACKSCHNITZEL/HEIZÖL/SOLARTHERMIE/WÄRMEPUMPE, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 41).....	158
TABELLE 29: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 4 - HACKSCHNITZEL/HEIZÖL/SOLARTHERMIE/ WÄRMEPUMPE, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 42).....	160
TABELLE 30: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 4A - HACKSCHNITZEL/HEIZÖL/BIOGASWÄRME/ SOLARTHERMIE/WÄRMEPUMPE, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 43).....	161
TABELLE 31: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 5 - VERSORGUNGSGEBIET 1A, HACKSCHNITZEL /HEIZÖL, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME, EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 44).....	162
TABELLE 32: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE 5B - VERSORGUNGSGEBIET 1A, HACKSCHNITZEL /HEIZÖL/SOLARTHERMIE, 8% SOLARER DECKUNGSANTEIL, ÜBERSICHT ENERGIEBEDARF, ANTEIL REGENERATIV ERZEUGTE WÄRME EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS (ZAE BAYERN/ZREU, 2010, S. 44) .	163
TABELLE 33: WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN MIT NUTZWÄRME (ENERGIENACHFRAGE) EIGENE BERECHNUNG MIT GEMIS.....	171
TABELLE 34: MASSEGERÜSTE DER WÄRMEPUMPE HWS 32 P UND HWS 46 P, (FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, G. BRESSLER, C. GÜNTHER-POMHOFF, A. SALLER, 1996, S. 41).....	173
TABELLE 35: JAHRESENDENERGIEBEDARF WÄRMEPUMPENANLAGE (FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, G. BRESSLER, C. GÜNTHER-POMHOFF, A. SALLER, 1996, S. 30).....	174
TABELLE 36: SCHÄTZUNG SPEZIFISCHER MATERIALBEDARF UND MATERIALBESTAND VON NAHWÄRMENETZEN (SÖREN STEGER, 2011, S. 166).....	176
TABELLE 37: ERMITTLUNG MATERIALBEDARF FÜR NAHWÄRMENETZ SPEICHERSDORF – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MARESS.....	176
TABELLE 38: ERMITTLUNG MATERIALBEDARF NAHWÄRMENETZ MITTERTEICH – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MARESS.....	177
TABELLE 39: ERMITTLUNG MATERIALBEDARF FÜR ERDWÄRMESPEICHER SPEICHERSDORF – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MARESS.....	177
TABELLE 40: ENERGIEAUFWAND FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS.....	179
TABELLE 41: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 1-4 AUF BASIS GEMIS.....	185
TABELLE 42: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 5, 6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS.....	185
TABELLE 43: LUFTSCHADSTOFFE DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 1-4 AUF BASIS GEMIS.....	186
TABELLE 44: LUFTSCHADSTOFFE DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 5,6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS.....	187
TABELLE 45: CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> - TOPP-ÄQUIVALENT DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1-4 AUF BASIS GEMIS	188
TABELLE 46: CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> - TOPP-ÄQUIVALENT DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V5-6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS.....	189
TABELLE 47: CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> -, TOPP-ÄQUIVALENT WÄRMENETZ SPEICHERSDORF AUF BASIS GEMIS.....	190
TABELLE 48: ABWASSEREMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1-V4 AUF BASIS GEMIS.....	191
TABELLE 49: ABWASSEREMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V5-6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS.....	192
TABELLE 50: ABWASSEREMISSIONEN WÄRMENETZ SPEICHERSDORF AUF BASIS GEMIS.....	194
TABELLE 51: ABFALLAUFKOMMEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1-V4 AUF BASIS GEMIS.....	195
TABELLE 52: ABFALLAUFKOMMEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V5, 6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS.....	196
TABELLE 53: ABFALLAUFKOMMEN WÄRMENETZ SPEICHERSDORF AUF BASIS GEMIS.....	197
TABELLE 54: FLÄCHENBEDARF WÄRMVERSORGUNGSVARIANTEN V1-4 AUF BASIS GEMIS.....	198
TABELLE 55: FLÄCHENBEDARF WÄRMVERSORGUNGSVARIANTEN V5, 6 UND MITTERTEICH AUF BASIS GEMIS	198
TABELLE 56: FLÄCHENBEDARF WÄRMENETZ SPEICHERSDORF AUF BASIS GEMIS.....	199
TABELLE 57: ZUSAMMENFASSUNG ERGEBNIS INDIKATOREN ERDWÄRMESPEICHER IN DEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V3SOLARK40, V4SOLARK20 UND V4ABGSOLAR20 EIGENE DARSTELLUNG AUF BASIS GEMIS.....	201

TABELLE 58: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V1 ÖLGAS - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	202
TABELLE 59: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V1ÖLGAS, - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	203
TABELLE 60: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V1ÖLGAS – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT.....	203
TABELLE 61: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V2 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	204
TABELLE 62: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V2 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	205
TABELLE 63: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V2 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E. V.....	205
TABELLE 64: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V2ABG – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E. V.....	206
TABELLE 65: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V3SOLARK40 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	207
TABELLE 66: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V3SOLARK40 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	208
TABELLE 67: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V3SOLARK40 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E.V.....	209
TABELLE 68: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V4SOLARK20 U.V4ABG SOLAR20 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	210
TABELLE 69: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V4SOLARK20 UND V4ABGSOLAR20 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	211
TABELLE 70: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V4ABGSOLAR20 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E. V.....	211
TABELLE 71: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V5VG1B – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	212
TABELLE 72: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V5VG1B - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	213
TABELLE 73: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V5VG1B – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E. V.....	213
TABELLE 74: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V5BVG1BSOLAR8 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF .....	214
TABELLE 75: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V5BVG1B SOLAR8 - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	215
TABELLE 76: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V5BVG1BSOLAR8 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT UND C.A.R.M.E.N E. V.....	215
TABELLE 77: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V6GEOTH - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF SOWIE (HENTSCHEL-GIESA, 2005, S. 4) UND (KASTIAN, 2010, S. 39).....	216
TABELLE 78: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE V6 GEOTH - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF.....	217
TABELLE 79: VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN VARIANTE V6GEOTH – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS STATISTISCHES BUNDESAMT.....	217
TABELLE 80: INVESTITIONSKOSTEN, KAPITALGEBUNDENE KOSTEN (ANNUITÄT) UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE MITTERTEICH - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE MITTERTEICH .....	218
TABELLE 81: BETRIEBSGEBUNDENE KOSTEN FÜR WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTE MITTERTEICH - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE MITTERTEICH .....	219

TABELLE 82: VERBRAUCHSGBUNDENE KOSTEN VARIANTE MITTERTEICH – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GRÜNWELT ENERGIE UND C.A.R.M.E.N E. V. ....	219
TABELLE 83: ZUSAMMENFASSUNG WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN INKL. WÄRMENETZ OHNE HAUSÜBERGABESTATIONEN - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS MACHBARKEITSSSTUDIE SPEICHERSDORF UND MITTERTEICH .....	220
TABELLE 84: NACHHALTIGKEITSANALYSE - ERGEBNIS DER NORMIERTEN UND GEWICHTETEN INDIKATOREN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1ÖLGAS, V2, V2ABG, V3SOLARK40 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	221
TABELLE 85: NACHHALTIGKEITSANALYSE - ERGEBNIS DER NORMIERTEN UND GEWICHTETEN INDIKATOREN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V4SOLARK20,V4ABGSOLAR20 – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	221
TABELLE 86: NACHHALTIGKEITSANALYSE - ERGEBNIS DER NORMIERTEN UND GEWICHTETEN INDIKATOREN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V5 - 6 UND MITTERTEICH – EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	222
TABELLE 87: ERGEBNIS NACHHALTIGKEITSANALYSE - UMWELTAUSWIRKUNGEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V1 – V2 OHNE UND MIT NAHWÄRMENETZ EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	226
TABELLE 88: ERGEBNIS NACHHALTIGKEITSANALYSE - UMWELTAUSWIRKUNGEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V3SOLARK40, V3MNETZSO, V4SOLARK20, V4MNETZSO, OHNE UND MIT NAHWÄRMENETZ UND ERDWÄRMESPEICHER - EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	227
TABELLE 89: ERGEBNIS NACHHALTIGKEITSANALYSE - UMWELTAUSWIRKUNGEN WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN V4A -V6 UND MITTERTEICH, OHNE/MIT NAHWÄRMENETZ/ERDWÄRMESPEICHER– EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	227
TABELLE 90: GESAMTERGEBNIS BILANZINDIKATOR – VERMIEDENE UMWELTAUSWIRKUNGEN DER NAHWÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN OHNE UND MIT WÄRMENETZ/ERDWÄRMESPEICHER EIGENE ENTWICKLUNG UND BERECHNUNG AUF BASIS GEMIS .....	232
TABELLE 91: ERGEBNIS OUTPUTINDIKATOR CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN IN BEZUG AUF DIE REGION LANDKREIS TIRSCHENREUTH EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS KLIMASCHUTZKONZEPT LANDKREIS TIRSCHENREUTH UND GEMIS .....	234
TABELLE 92: REGIONALE WERTSCHÖPFUNG DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 2-6 UND MITTERTEICH EIGENE BERECHNUNG .....	235
TABELLE 93: ZUSAMMENFASSUNG INDIKATOREN MIT KERNAUSSAGE UND UMWELTQUALITÄTSZIEL .....	245
TABELLE 94: BEZUGNAHME ERGEBNIS OUTPUTINDIKATOR CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN, AUF DIE REGION LANDKREIS TIRSCHENREUTH, EIGENE BERECHNUNG AUF BASIS KLIMASCHUTZKONZEPT LANDKREIS TIRSCHENREUTH UND GEMIS .....	250
TABELLE 95: REGIONALE WERTSCHÖPFUNG DER WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN 2-6 UND MITTERTEICH EIGENE BERECHNUNG .....	251
TABELLE 96: SUMMARY OF THE INDICATORS WITH GIST AND ENVIRONMENTAL QUALITY OBJECTIVE .....	252
TABELLE 97: REFERENCE RESULT OUTPUT INDICATOR CO <sub>2</sub> EMISSIONS OF HEAT-SUPPLY VARIATIONS ON THE REGION TIRSCHENREUTH OWN CALCULATION BASED ON CLIMATE PROTECTION CONCEPT TIRSCHENREUTH AND GEMIS .....	257
TABELLE 98: REGIONAL ADDED VALUE OF THE HEAT SUPPLY OPTIONS 2-6 AND MITTERTEICH - OWN CALCULATION .....	258

## 1 Einleitung

Ausgelöst durch den atomaren Unfall in Fukushima wurde der Beschluss zur Energiewende zum zweiten Mal gefasst. Die Energiewende die bereits in den 90er Jahren ihren Anfang hatte, hat das Ziel das atomare Zeitalter zu beenden und die Energiegewinnung auf erneuerbare Energien umzustellen sowie den Energieverbrauch zu reduzieren.

Der Fokus der derzeitigen Diskussion liegt hauptsächlich auf der Stromerzeugung während die Wärmeerzeugung für Heizzwecke vernachlässigt wird. In einem normalen Endverbraucherhaushalt werden jedoch ca. 80 % des Gesamtenergieverbrauchs für Heizzwecke und ca. 10 % für Warmwasser in Form von Wärme benötigt. Wohingegen nur ca. 8% für elektrische Geräte und 2 % für Beleuchtung in Form von Strom benötigt werden (Energieverbrauch Deutschland).

Ziel dieser Arbeit ist das Augenmerk auf eine nachhaltige Wärmeversorgung zu legen.

Gemäß Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll die Energieproduktivität bis 2020 verdoppelt werden und die Treibhausgasemissionen bis 2012 gegenüber 1990 um 21 % gesenkt werden. Dieses Ziel zur Reduzierung der Treibhausgase wurde in Deutschland bereits 2007 erreicht. Weiterhin soll der Anteil des Ausbaus der erneuerbaren Energien bis 2020 zur Stromproduktion mindestens 30 % und zur Wärmeerzeugung mindestens 14 % betragen (Bundesregierung, 2008).

Die weltweite Reduzierung der Treibhausgase ist weiterhin vordringliches Ziel um die durch den Klimawandel bedingte Temperaturerhöhung auf maximal 2 °C zu begrenzen, um die daraus resultierenden dramatischen Auswirkungen für Mensch und Umwelt abzumildern. Bisher konnten global keine weiteren über die im Kyoto-Protokoll festgelegten hinausreichenden Einsparziele, vereinbart werden. Die EU strebt das Einsparziel von 30 % an, falls sich weitere Länder beteiligen. Die Bundesregierung strebt derzeit eine Reduzierung von 40 % bis 2020 an.

Auch beim Weltklimagipfel Ende November 2012 in Doha, Katar wurden bisher keine weiteren Vereinbarungen gefasst. Die Verpflichtung zur Fortschreibung des Ende 2012 auslaufenden Kyoto-Protokolls wurde bereits beim Klimagipfel 2011 in Durban diskutiert und die Vereinbarung der Staaten zur Entwicklung eines umfassendem internationalen Klima-Abkommen bis 2015 verabschiedet, welches dann 2020 in Kraft treten soll. Umso mehr steht Deutschland mit der beschlossenen Energiewende weltweit unter Beobachtung. Ein Scheitern würde die Bemühungen zum Klimaschutz

zurückwerfen, während der Erfolg als Vorbild und Anstoß für weitere Nationen dienen könnte.

Eine erfolgreiche Energiewende in Deutschland bedingt neben einer nachhaltigen Stromversorgung auch eine nachhaltige Wärmeversorgung. Laut Leitszenario von 2009 vom Bundesumweltministerium, sinkt die Nachfrage nach Wärme bis 2020 mit  $4.335 \text{ PJ/a}^1$  ( $1.204 \text{ TWh/a}$ )<sup>2</sup> auf 85 % des heutigen Bedarfs und bis 2050 auf 59 % (siehe Abbildung 1). Der Anteil erneuerbarer Energien steigt bis 2020 auf 16 % ohne Stromanteil an der Wärmeversorgung sogar auf 17,5 % und bis 2030 auf 26 %. Bis 2050 können 50 % des dann noch verbleibenden Bedarfs von 3.000 PJ/a aus erneuerbaren Energien zur Verfügung gestellt werden. Der Anteil netzgebundener Nah- und Fernwärme inklusive objektbezogener Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ohne industrielle Prozesswärme steigt von heute 370 PJ/a bis 2020 auf 560 PJ/a und längerfristig noch auf voraussichtlich 1000 PJ/a. Der Bedarf an fossilen Brennstoffen geht bis 2050 auf rund 1.300 PJ/a also etwa 30 % des heutigen Verbrauchs zurück (Dr. Joachim Nitsch, 2009, S. 12).

Weiterhin ermöglicht eine Effizienzstrategie mittels Gebäudesanierung und Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung eine hohe Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wärmesektor. Insgesamt werden von 2008 bis 2050 rund 234 Mio. t CO<sub>2</sub>/a im Wärmebereich vermieden. Diese rühren zu 77 % aus dem sinkendem Wärmebedarf und dem Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Dr. Joachim Nitsch, 2009, S. 12).

Demnach erfordert der Raumwärmesektor bis 2050 einen drastischen Strukturwandel, da der Ausbau der KWK und erneuerbarer Energien die Umwandlung von Einzelheizanlagen in Nah- und Fernwärmenetze erfordert. Somit steigt der Anteil netzgebundener Wärmeversorgung bis 2050 von derzeit 15 % auf 65 %. Die Wärmebereitstellung aus erneuerbarer Energien erfolgt bereits heute zu 40 % aus Nah- und Fernwärmenetzen<sup>3</sup> (Dr. Joachim Nitsch, 2009, S. 13).

Die strukturellen Veränderungen sind durch geeignete Instrumentarien zum Ausbau des Wärmemarkts zu unterstützen, da die gesetzten Ziele mit den derzeitigen Förderprogrammen aus wirtschaftlichen Gründen durch die mit dem Umbau verbundenen hohen Investitionen kaum zu erreichen sind. Die Bereitschaft der potentiellen Wärmeabnehmer ist nur gegeben, wenn die Umstellung auf KWK<sup>4</sup> / EE

---

<sup>1</sup> PJ/a = Energieeinheit Petajoule; 1 Petajoule pro Jahr =  $10^{15}$  Joule/Jahr = 277.777,78.MWh

<sup>2</sup> TWh/a = 1 Terrawattstunde pro Jahr entspricht 1 Million Megawattstunden pro Jahr

<sup>3</sup> Das Umweltbundesamt veröffentlichte hierzu bereits im Jahr 2009 eine Studie mit dem Szenario 100% Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien

<sup>4</sup> KWK:/EE Kraft-Wärme-Kopplung/Erneuerbare Energien



Nahwärme keine höheren Wärmekosten als die derzeitigen Kosten auf Basis fossiler Energieträger verursacht.

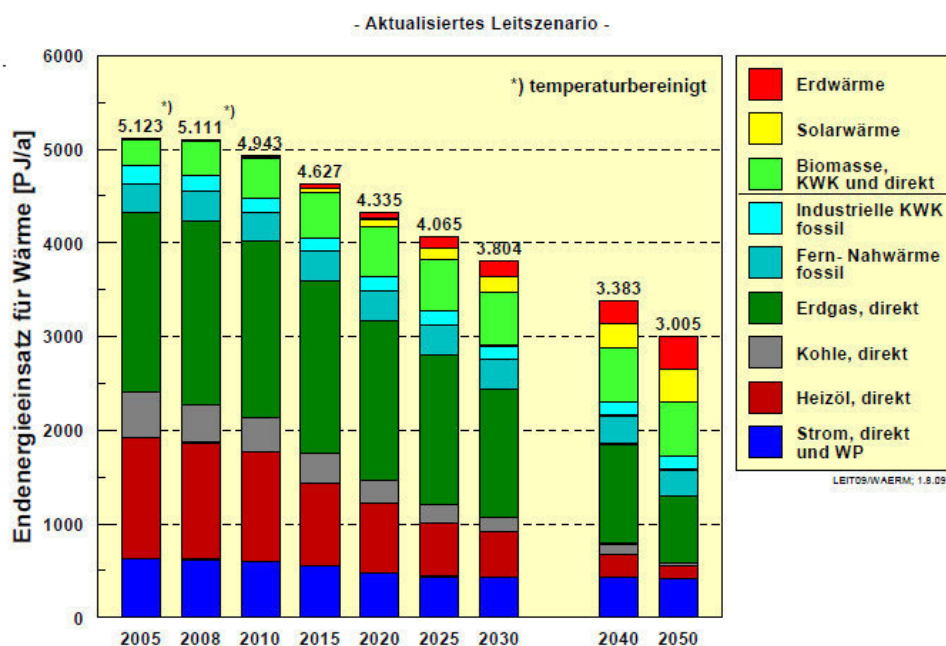


Abbildung 1: Entwicklung des Energieeinsatzes zur Wärmebereitstellung im aktualisierten Leitszenario 2009 nach Energieträgern (Dr. Joachim Nitsch, 2009, S. 13)

Aufgrund dessen wird in der Klimaschutzpolitik der Bundesregierung, wie sie der Leitstudie 2009 zu Grunde liegt, der Einsatz erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz vor allem in der Wärmeversorgung eine bedeutende Rolle. Wegen steigender Preise und knapper werdender fossiler Primärenergieträger, rückt die solare und geothermale Wärmeversorgung neben der Wärmeerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen zunehmend in den Fokus. Während in der Vergangenheit die Solarenergie mittels Photovoltaik hauptsächlich zur Stromerzeugung genutzt wurde, konzentrieren sich die kommunalen Interessen aufgrund steigender Energiepreise und zunehmender Abhängigkeiten auf die Deckung des Wärmebedarfs für Heizung und Brauchwasser mittels Solarthermie. Bei entsprechenden geologischen Gegebenheiten wird zunehmend auch der Einsatz von oberflächennaher und tiefer Geothermie diskutiert. Die effiziente Nutzung dieser Technologien erfordert allerdings ebenso effiziente und wirtschaftliche Speichertechnologien. Das aufkeimende kommunale Interesse entspringt sowohl der deklarierten Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der erneuerbaren Energie, als auch langfristig pekuniärer Vorteile. Bisher liegen zu diesen Aspekten keine konkreten Analysen und Umsetzungsstrategien vor.

## **Forschungsfrage**

**Im Rahmen der Dissertation soll mittels Entwicklung von Nachhaltigkeits-Indikatoren, dazu gehören Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz- Indikatoren, ein Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit mit dem Hauptaugenmerk auf die Ökologie und im weiteren auf wirtschaftliche und soziale Aspekte von Nahwärmenetzen entwickelt werden.**

Eine nachhaltige Wärmeversorgung mittels Nahwärmenetz wird sich demnach auf drei Bausteine stützen. Erstens den Einsatz erneuerbarer Energien, zweitens die möglichst effiziente Nutzung der eingesetzten Rohstoffe / Brennstoffe und drittens den bewussten Umgang mit dem Ressourcenverbrauch und deren Grenzen.

Nachhaltige Wärmenetze für eine zukunftsfähige Energiewirtschaft sollen durch den Einsatz effizienter Infrastruktur und Technik den Wärmebedarf reduzieren und diesen möglichst aus nachwachsenden Rohstoffen aus der Region erzeugen oder mittels Solar- / Geothermie ohne Brennstoffeinsatz und Verbrennung mit minimalen Emissionen bereitstellen.

## **2 Aktueller Forschungsstand**

In Deutschland werden derzeit Nahwärmenetze aus erneuerbaren Energien meist mittels Biogas oder Biomasse und fossiler Spitzenlast betrieben. Der Fokus liegt hierbei hauptsächlich auf der Umstellung der Energieträger von fossilen Energieträgern (Heizöl oder Erdgas) auf Biomasse oder nachwachsende Rohstoffe. Beim Einsatz von Biogas steht bedingt durch das EEG, die Stromproduktion /-einspeisung und nicht die Wärmeerzeugung im Vordergrund. Die Energieeffizienz, sowie potenzielle Umweltbelastungen durch die Entnahme und Nutzung natürlicher stofflicher Ressourcen werden nicht näher betrachtet. Weiterhin werden die direkt eingesetzten Materialinputs und -outputs, die zur Herstellung und Weiterverarbeitung notwendig sind, nicht bewertet. Solar oder geothermal unterstützte Wärmenetze mit reduziertem Primärenergieverbrauch sind derzeit noch die Ausnahme.

Solar unterstützte Nahwärmenetze werden in Europa vereinzelt in Dänemark eingesetzt. Hierbei werden große Solarkollektorfelder zur Reduzierung der Fernwärmenetzverluste und zur Deckung des Warmwasseranteils im Sommer eingesetzt. Durch den solaren Deckungsanteil wird der prozentuale Anteil an fossilen Energien in der Regel um bis zu 10 % reduziert.

Der bisherige Einsatz von Solarkollektoren in Deutschland findet hauptsächlich im Einfamilienhausbereich zur Deckung des Brauchwarmwasseranteils und zur Heizungsunterstützung statt. Bei dem geplanten solaren Nahwärmenetz in Speichersdorf (siehe ab 7.3), soll ein möglichst hoher solarer Deckungsanteil mittels verschiedener Speichertechnologien in Kombination mit dem Einsatz von Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung umgesetzt werden.

Auch mittels Geothermie betriebene Wärmenetze sind aufgrund des Bohrrisikos und der hohen Investitionskosten derzeit noch die Ausnahme. Einzelne Anlagen sind zum Beispiel im südbayerischen Raum zu finden.

### **2.1 Stand des Wissens**

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung von Nahwärmenetzen. Daher ist vorab zu erläutern, was unter den Begriffen Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung und unter dem Begriff Indikator zu verstehen ist.

#### **2.1.1 Wurzeln der Nachhaltigkeit**

„Erstmals wurde das Prinzip der Nachhaltigkeit vor etwa 300 Jahren formuliert. Hans Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann am kursächsischen Hof in Freiberg (Sachsen), forderte 1713 in seinem Werk "Sylvicultura oeconomica", dass immer nur

so viel Holz geschlagen werden sollte, wie durch planmäßige Aufforstung durch Säen und Pflanzen wieder nachwachsen konnte und gilt deshalb als Schöpfer des forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsbegriffes.“ (Aachener Stiftung Kathy Beys)

### **2.1.2 Drei-Säulen-Modell**

Seit der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung von 1992 in Rio de Janeiro besteht allgemeiner Konsens, dass eine nachhaltige Entwicklung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Komponenten getragen wird.

Diese werden durch das sogenannte Drei Säulenmodell im Konzept von Corporate Social Responsibility (CSR) beschrieben. Hiernach sind Ökologie, Ökonomie und Soziales gleichgewichtet und gleichrangig im Hinblick auf eine gesamtwirtschaftliche, politische und globale Betrachtungsweise. Bei der UN-Konferenz in Rio wurde insbesondere ein Aktionsprogramm für eine weltweite nachhaltige Entwicklung - die Agenda 21 verabschiedet. Seither gilt das Konzept für Nachhaltigkeit als Leitbild für die Politik, welches darauf aufbaut, dass weltweiter Umweltschutz nur möglich ist, wenn die Politik gleichzeitig auch soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigt (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Im Vertrag von Amsterdam formulierte 1997 die EU explizit drei Säulen der Nachhaltigkeit, welche neben der Natur die wirtschaftliche Entwicklung sowie gesellschaftliche und soziale Errungenschaften wie z. B. demokratische freiheitliche Strukturen und gerechte Einkommensverteilungen berücksichtigt. Das Drei-Säulenmodell dient als theoretisches Modell dazu, die verschiedenen Interessen zwischen Wirtschaftsunternehmen, dem Umwelt- und Klimaschutz sowie soziale Belange gleichwertig zu berücksichtigen und einen Interessenausgleich mit dem Ziel einer nachhaltige Entwicklung gemäß dem sogenannten Brundtlandbericht der Kommission für Umwelt und Entwicklung von 1987, zu schaffen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

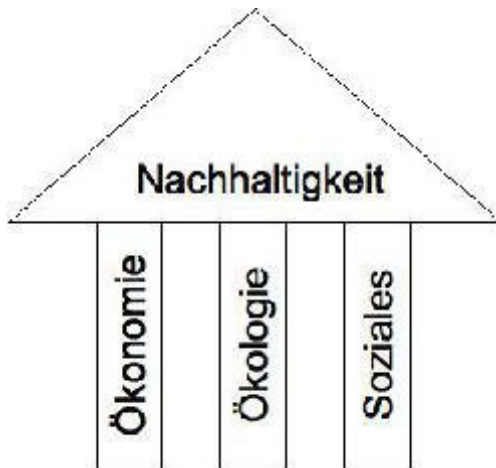


Abbildung 2: Drei-Säulen-Modell (Spindler, 2012, S. 12)

Gemäß Definition des Brundlandt-Berichts, umfasst nachhaltige Entwicklung heute „eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ (Hauff 1987, 42)

Nachhaltigkeit ist somit als das Wunschergebnis einer nachhaltigen Entwicklung zu verstehen. Ziel ist eine „langfristige Ökonomie“ mit dem Leitbild eine dauerhafte Sicherung der Lebensqualität und Wohlstand zu erreichen (Schaltegger et al. 2003, 22). Die Erreichung erfolgt durch den Ausgleich ökologischer, ökonomischer und sozialer Zielsetzungen durch Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Dies soll unter der Forderung inter- und intragenerationeller Verantwortung und Gerechtigkeit erfolgen (Grunwald 2006, 7 f.).

(Rupert J. Baumgartner, Öko-Effizienz. Konzepte, Anwendungen und Best Practices Sustainability Management for Industries 3, 2009), beziehen sich auf den Brundtlandbericht in dem Nachhaltigkeit wie folgt definiert wird:

„Sustainable development is a development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within two key concepts: the concepts of “needs”, in particular the essential needs of the world’s poor, to which overriding priority should be given; and the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environments ability to meet present and future needs. Thus the goals of economic and social development must be defined in terms of sustainability in all countries developed or developing.“ (Rupert J. Baumgartner, Öko-Effizienz. Konzepte, Anwendungen und Best Practices Sustainability Management for Industries 3, 2009, S. 12)

### **2.1.3 Gewichtetes Drei-Säulen-Modell mit starker Nachhaltigkeit für Ökologie**

Nachteil des Drei Säulenmodells ist, dass in der Realität die Gleichgewichtung und Gleichwertigkeit der drei Aspekte aufgrund vielschichtiger komplexer Zusammenhänge, unterschiedlicher Interessen und Motivationen der unterschiedlichen Akteure mit unterschiedlichen kulturellen, wirtschaftlichen, sozialen, gesetzlichen und religiösen Rahmenbedingungen, schwer zu definieren ist. Weiterhin spielen gesellschaftliche, wirtschaftliche, technische und wissenschaftliche Entwicklungen eine Rolle bei der Bewertung. Außerdem liegen keine allgemeingültigen Indikatoren für eine einheitliche Gewichtung vor. Durch die unterschiedlichen Interessenslagen stehen die Politik, Unternehmen, Finanzakteure und soziale Organisationen bei strategischen Entscheidungen oft vor Zielkonflikten. Ziel einer nachhaltigen Entwicklung ist es daher, Lösungen zu finden, die trotzdem einen Ausgleich zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Forderungen finden (Aachener Stiftung Kathy Beys).

In der aktuellen Diskussion wird bei dem Drei-Säulen-Modell kritisiert, dass die Rolle der Ökologie als gleichwertige Säule als zu gering gewichtet ist. Die Gleichgewichtung der Umwelt mit den übrigen Aspekten wird als „schwache Nachhaltigkeit“ bezeichnet. Durch die Gleichgewichtung könnten z. B. endliche natürliche Ressourcen durch zunehmende soziale oder wirtschaftliche Ressourcen ersetzt werden (Aachener Stiftung Kathy Beys).

Daher fordern viele Experten und Umweltorganisationen eine „starke Nachhaltigkeit“ mit einer stärkeren Gewichtung der Ökologie, da diese als maßgebliche Säule als Grundlage oder Fundament für eine nachhaltige Entwicklung dient.

Um die fundamentale Rolle der Ökologie darzustellen, wurde, das Drei-Säulen-Modell zu einem gewichteten Säulenmodell von Professor Stahlmann erweitert. Im gewichteten Säulenmodell hat er die Ökologie durch die Kultur ersetzt. Die drei Säulen Ökonomie, Kultur und Soziales stehen nun auf der Ökologie mit den natürlichen Ressourcen und Klima als Fundament. Demnach bauen Wirtschaft, Kultur und Soziales auf der Ökologie auf und sind somit abhängig von natürlichen Ressourcen und einem intakten Klima mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung (Stahlmann, 2008, S. 61).

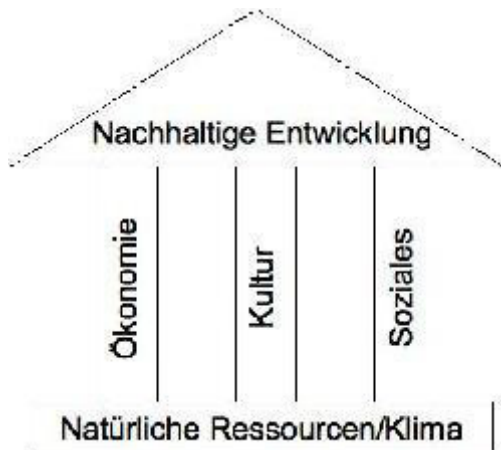


Abbildung 3: gewichtetes Drei-Säulen-Modell (Spindler, 2012, S. 14)

Neben dem Drei-Säulenmodell und dem gewichteten Säulenmodell gibt es weitere Modelle zur Nachhaltigkeit, z. B. das **Ein-Säulen-Modell** oder **Pyramidenmodell** welche wie das gewichtete Säulenmodell die Ökologie als Basisgrundlage sehen. Für den Bereich Wirtschaft gibt es weitere Modelle wie z. B. die Cradle-to-Cradle-Vision als integratives Nachhaltigkeitsmodell sowie die Tripple Bottom Line und Tripple Top Line, welche hier nicht vertiefend behandelt werden (Aachener Stiftung Kathy Beys).

Im Gegenzug zum Drei-Säulenmodell postuliert das Ein-Säulenmodell bzw. Pyramidenmodell die Ökologie als Basis/Fundament als „starke Nachhaltigkeit“, da viele Fachleute und Organisationen die natürliche Ressourcen als Grundvoraussetzung für alle anderen Entwicklungsfelder sehen.

#### 2.1.4 Ein-Säulen Modell & Pyramiden Modell

Im Pyramiden Modell von Carroll von 1979, anders genannt Ein-Säulenmodell, wird von der Annahme ausgegangen, dass die natürliche Umwelt die Grundlage allen Lebens und Wirtschaftens ist. Daher bildet die Umwelt die Basis der Pyramide mit der höchsten Priorität. Die weiteren Stufen der Pyramide bilden menschliche Grundbedürfnisse, sowie soziale und gesellschaftliche Aspekte. Die Ökonomie wird hierbei als Teil des gesellschaftlichen Aspekts verstanden. Der Aspekt, der an der Spitze der Pyramide steht hängt von der jeweiligen Fragestellung und Betrachtungsweise ab.

Neben dem auf der Ökologie basierenden Pyramidenmodell, sieht das CSR Pyramidenmodell von Archie B. Carroll (1979, 1991) die ökonomische Verantwortung eines Unternehmens als Grundlage an, um die anderen Bereiche zu erfüllen. Daher stellt die Ökonomie die Basis der Pyramide dar. Darüber liegen die juristische und ethische Verantwortung und ganz oben die philanthropische Verantwortung.

Wirtschaftsakteure vertraten lange die Auffassung, dass Unternehmen nur verantwortlich handeln, wenn Sie damit auch ökonomische Vorteile erzielen. Diese Auffassung wurde von Wissenschaftlern und gesellschaftlichen Gruppen kritisiert. Mittlerweile besteht Einigkeit darüber, dass CSR nicht das bloße Erfüllen von gesetzlichen Anforderungen ist, sondern weit über diese hinausgeht. Deshalb wurde die CSR-Pyramide von anderen Wissenschaftlern so abgeändert, dass ethische Werte die Basis für die Gewinnerzielung darstellen (Aachener Stiftung Kathy Beys).

### **2.1.5 Integrierter Nachhaltigkeits-Ansatz**

Über die bisher aufgeführten Modelle hinaus, sind nachfolgend weitere Beispiele aufgeführt. Das Drei-Säulen-Modell im integrativen Nachhaltigkeitsansatz, welches von verschiedenen Institutionen wie z. B. dem Forschungszentrum Karlsruhe im Rahmen einer Studie weiterentwickelt wurde.

Kernziel war hierbei die Erweiterung der drei Dimensionen durch die dimensionsübergreifenden Nachhaltigkeitsziele wie die „Sicherung der menschlichen Existenz“, „Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotentials“ und „Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten“ sowie die Integration der intra- und intergenerativen Aspekte von Gerechtigkeit: Diese Aspekte sollten auch mittels Indexierung messbar gemacht werden. Durch den integrierten Ansatz sind als Ergebnis Operationalisierungen für die genannten Aspekte entstanden. Diese repräsentieren gleichrangige grundlegende normative Gerechtigkeitsprinzipien der Nachhaltigkeit bei intra- und intergenerativen Grundsätzen sowie bei der Erhaltung und Entwicklung entsprechender Ziele (J. Jörisen, 1999, S. 27f.).

Die dimensionsübergreifende integrierende Darstellung erfolgt im sogenannten „integrierenden Nachhaltigkeits-Dreieck“, wodurch die kontinuierliche Zusammenfügung der drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales erreicht wird (siehe Abbildung 4).





Abbildung 4: Integrierendes Nachhaltigkeitsdreieck (Aachener Stiftung Kathy Beys)

Das Dreiecksdiagramm wird auch als Gibbsches Dreieck bezeichnet und setzt sich aus drei Variablen zusammen – den drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales ( $x + y + z = 100\%$ ). Hierdurch werden nicht einzelne isolierte Säulen sondern Dimensionen aufgezeigt. Am Beispiel der Ökoeffizienz ist sowohl zu 50 % die Ökologie als auch zu 50 % die Ökonomie berücksichtigt und prozentual bewertet. Die Biodiversität hingegen wäre zu 100% bei der Ökologie anzusiedeln. Das zentrale Feld in der Mitte steht für etwa gleich große Anteile aus den drei Dimensionen. Durch die Darstellung im integrierenden Nachhaltigkeits-Dreieck lassen sich alle Kombinationen abbilden. Dadurch ist es für viele Anwendungen, wie z. B. die Sammlung von Indikatoren oder inhaltliche Gliederungen und Nachhaltigkeitsbewertungen, geeignet (Kleino, 2009, S. 19f.).

### 2.1.6 Integratives Nachhaltigkeitsmodell

Ein Konzept für ein integratives Nachhaltigkeitsmodell, um die zahllosen Wechselwirkungen zwischen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten und Entwicklungen zu berücksichtigen, hat das Bundesumweltministerium, vom Center for Sustainability Management (CSM) der Leuphana-Universität in Lüneburg und Econsense, dem Forum Nachhaltige Entwicklung des BDI, im Rahmen einer Studie entwickeln lassen. Die Nachhaltigkeit wird hierbei integriert dargestellt: Drei Kreise überschneiden sich. Die Schnittmenge in der Mitte ist die Nachhaltigkeit und betont die gegenseitige Verknüpfung und Abhängigkeit der drei Säulen (Benjamin Tobias Peylo, 2008, S. 18).

Darüber hinaus sind bei diesem Ansatz bei Unternehmen die vier Aspekte Steigerung der ökologischen Effektivität, Verbesserung der sozialen Effektivität sowie ökologische und soziale Effizienz und die Integrationsherausforderung von Bedeutung. (Benjamin Tobias Peylo, 2008, S. 21).

### **2.1.7 Integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF)**

Das bekannteste integrative Modell nachhaltiger Entwicklung das von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) aus der Historie des Nachhaltigkeitsdiskurses mit dem Brundtland-Bericht, der Rio Deklaration und der Agenda 21 entwickelt wurde, ist das Integrative Konzept Nachhaltiger Entwicklung (IKoNE) aus dem ganzheitlich integrativen Verständnis von nachhaltiger Entwicklung nach (Jörissen, Kopfmüller, & Brandl, 1999, S. 23ff.):

- **Inter- und Intragenerationsgerechtigkeit** – Hierunter versteht man die gerechte Verteilung der Chancen und Bedürfnisbefriedung unter den Generationen,
- **Anthropozentrischem Ansatz** – Beim HGF-Ansatz steht der Mensch im Mittelpunkt zur Sicherung der menschlichen Existenz,
- **Globalen Perspektiven** – Diese berücksichtigen das nachhaltigkeitsrelevante Probleme vielfach global gelöst werden müssen, Lösungsansätze sind allerdings auf lokale Ebenen zu übertragen.

Daraus postulierte dimensionsübergreifende Ziele des Modells als generelle Nachhaltigkeitsregeln sind die:

- **Sicherung der menschlichen Existenz** - Gegenwärtig lebende Generation darf die Lebensgrundlagen künftiger Generationen nicht verbrauchen
- **Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials** - Hierunter versteht man die Erhaltung von Natur-, Sach-, Human- und Sozialkapital auch für kommende Generationen.
- **Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten** - Darunter fallen z. B. Chancengleichheit, Teilhabe an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen oder die Erhaltung des kulturellen Erbes.

Die generellen Nachhaltigkeitsregeln werden in substantiellen Nachhaltigkeitsregeln als konkrete Anforderungen für eine nachhaltige Entwicklung definiert. Diese können als Prüfkriterien für Indikatoren genutzt werden. In der folgenden Abbildung wird die Zuordnung der generellen zu den substanziellen Nachhaltigkeitsregeln dargestellt.

*Tabelle 1: generelle Nachhaltigkeitsregeln und Zuordnung zu substantziellen Nachhaltigkeitsregeln (Armin Grunwald, 2006, S. 29)*

<b>Generelle Nachhaltigkeitsregeln</b>	<b>Sicherung der menschlichen Existenz</b>	<b>Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotentials</b>	<b>Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten</b>
<b>Substantzielle Nachhaltigkeitsregeln</b>	Schutz der menschlichen Gesundheit	Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen	Chancengleichheit im Hinblick auf Bildung, Beruf, Information
	Gewährleistung der Grundversorgung	Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen	Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen
	Selbstständige Existenzsicherung	Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke	Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt
	Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	Vermeidung unvertretbarer technischer Risiken	Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur
	Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede	Nachhaltige Entwicklung des Sach-Human- und Wissenskaptals	Erhaltung der sozialen Ressourcen

Als letztes werden im HGF-Konzept die substantziellen Regeln weiter in instrumentellen Nachhaltigkeitsregeln konkretisiert, wodurch sozioökonomische und politische Ziele erreicht werden sollen. Diese sind in der nachfolgenden Darstellung zusammengefasst.

*Tabelle 2: instrumentelle Nachhaltigkeitsregeln (Grunwald, 2006, S. 29)*

Regel 1	Internalisierung der ökologischen und sozialen Folgekosten
Regel 2	Angemessene Diskontierung
Regel 3	Begrenzung der Verschuldung
Regel 4	Faire weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen
Regel 5	Förderung der internationalen Zusammenarbeit
Regel 6	Resonanzfähigkeit der Gesellschaft
Regel 7	Reflexivität
Regel 8	Steuerungsfähigkeit
Regel 9	Selbstorganisation
Regel 10	Machtausgleich

### 2.1.8 Starke Nachhaltigkeit

Im Folgenden wird das Modell der starken Nachhaltigkeit herausgestellt, welches auf dem Konzept einer langfristigen umweltgerechten Entwicklung basiert. Die im späteren zu entwickelnden Indikatoren bauen auf diesem Modell auf da, die Autorin die Auffassung vertritt, dass sich letztlich die Zielsetzungen aller Dimensionen wie der Ökonomie und Soziales, unter der Berücksichtigung der starken Nachhaltigkeit mit ökologischen Grundvoraussetzungen für Entwicklung, Wachstum und Wohlstand, erreichen lassen. Dieses Leitbild entstand aufgrund von ökologischen Krisen mit einhergehender drastischer Umweltzerstörung. Daraus resultierte die Verknappung von natürlichen Ressourcen, welche sich eklatant in der Ölkrise von 1973 mit einer darauffolgenden Wirtschaftskrise und steigender Arbeitslosigkeit manifestierte. Seither steigt der Ölpreis im statischen Mittel um jährlich knapp 8%. Aufgrund der guten Konjunkturlage stieg der Ölpreis in 2008 auf ein erneutes Maximum. Durch die in Amerika ausgelöste Finanzkrise mit darauffolgender Wirtschaftskrise, sank der Ölpreis wegen der rückgängigen Nachfrage entsprechend auf das Niveau von 2006. Mit Erholung der weltweiten Konjunktur 2010-2012, stieg der Ölpreis erneut und betrug 2012 im Jahresdurchschnitt für den Marktort München laut Statistischen Bundesamt Fachserie 17 Reihe 2, 90,75 €/MWh bzw. 90,75 €/hl inkl. 19 % MwSt. Umgerechnet in Nutzwärme (abzüglich Umwandlungsverluste durch die chemische Oxidation und unter Berücksichtigung des Anlagennutzungsgrads der Wärmeerzeugungsanlage), liegt der Wärmepreis aus Heizöl bei 118,50 €/MWh.

Trotz der bekannten Konsequenzen und bereits etablierter Leitbilder für eine nachhaltige Entwicklung, existieren derzeit immer noch die rein auf Wachstum ausgelegten Systeme, welche mit einem ungebremsen Ressourcenverbrauch, Umweltzerstörung, Artensterben und der Klimaveränderung einhergehen. Am Beispiel der Überfischung der Meere lässt sich drastisch aufzeigen, dass Wirtschaftsmodelle basierend auf reinem Wachstum zum Scheitern verurteilt sind. Bei Erliegen der Fischbestände bricht somit der Wirtschaftszweig zusammen und die Arbeitsplätze gehen verloren. Das heißt, dass die Wirtschaft per se ein Interesse an einer nachhaltigen Fischerei haben müsste, indem nur so viele Fische gefangen werden, wie durch die jährliche Population nachkommen.

Deshalb basiert die starke Nachhaltigkeit auf dem Erhalt der natürlichen Ressourcen sowie dem Klima- und Artenschutz als Fundament für wirtschaftliche und soziale Aspekte. Die Umsetzung der starken Nachhaltigkeit erfolgt durch die Etablierung von Kreisläufen.

Dies soll nachfolgend am Beispiel der Biomassenutzung zur Wärmeerzeugung aufgezeigt werden. Ein Hackschnitzelheizwerk wird mittels Holzhackschnitzeln welche aus Waldrestholz hergestellt werden, betrieben. Die Waldresthölzer werden nicht für Industrie oder Baugewerbe genutzt und verrotten durch den natürlichen Abbauprozess unter CO<sub>2</sub>-Bildung im Wald. Durch die thermische Nutzung wird nicht mehr CO<sub>2</sub> emittiert als der Baum durch die Photosynthese bindet. Daher ist diese Wärmeversorgung bezogen auf das Kreislaufmodell, als CO<sub>2</sub>-neutral zu bewerten.

Während bei der thermischen Verwertung von Heizöl das über Millionen Jahre gebundene CO<sub>2</sub> zusätzlich in der Atmosphäre angereichert wird und zum bekannten Klimawandel mit einer entsprechenden Klimaerwärmung beiträgt. Aufgrund des enormen CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre im Zuge der zunehmenden Industrialisierung, ist allerdings jegliche Verbrennung mit einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Anreicherung verbunden. Daher ist eine möglichst effiziente, emissionsarme und ressourcenschonende Wärmeversorgung der Leitgedanke einer nachhaltigen Wärmeversorgung.

In der Literatur wird das Prinzip der starken Nachhaltigkeit auch als Retinitätsprinzip bezeichnet. „Die grundlegende ethische Aufgabe wird als Rückbindung der menschlichen Zivilisation an das sie tragende Netzwerk der Natur (Retinität, von lateinisch rete = Netz) umschrieben.“ (Aachener Stiftung Kathy Beys)

Kritiker des Retinitätsprinzips behaupten, dass sich alle großen gesellschaftlichen Gruppen dafür einsetzen müssen. Nur wenn die gesamte Gesellschaft die ökologischen Probleme anerkennt und gemeinsame Lösungswege beschreitet, gelingt eine ökologisch nachhaltige Entwicklung. Sollten ökologische Fortschritte jedoch zu ökonomischen und sozialen Verschlechterungen führen, wären sie nicht zu realisieren (Aachener Stiftung Kathy Beys).

Betrachtet man aber die zivilisatorische Entwicklung der Menschheit, haben sich Neuerungen und technischer Fortschritt niemals gleichzeitig auf der ganzen Welt verbreitet, sondern wurden sukzessive und konsequent in den verschiedenen Ländern mit verschiedenen Geschwindigkeiten etabliert. Daher gilt für die Etablierung einer ökologischen Entwicklung nicht nur der globale sondern zu Beginn der kommunale und regionale Ansatz. Wichtig ist allerdings, dass die grundlegende Rahmengesetzgebung lokale oder regionale Aktivitäten nicht unterbindet. Dies lässt sich am Beispiel der Rekommunalisierung der Energieversorgung vortrefflich belegen. Durch die Gründung der Bioenergie Mitterteich als regionales Stadtwerk seitens der Stadt Mitterteich und der KEWOG Energie- und Dienste GmbH, wurde ein Nahwärmenetz zur Versorgung von öffentlichen und privaten Liegenschaften auf Basis von Biomasse aus der Region

etabliert. Durch den Wärmeverkauf an die eigenen Liegenschaften fließt kein Kapital aus der Region ab, weiterhin werden Arbeitsplätze in der Landwirtschaft sowie für die Anlagenerrichtung und deren Betrieb gesichert bzw. geschaffen. Somit verbleibt die gesamte Wertschöpfung vor Ort. Die Stadt schafft Einnahmen die sie wiederum für ökologische, energieeffiziente Maßnahmen einsetzen kann und löst damit eine stetige Kettenreaktion aus.

Das heutige Verständnis von Retinität basiert auf der Vernetzung von wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Aspekten, welche ethische Maßstäbe als Entscheidungsgrundlage beinhalten.

Die starke Nachhaltigkeit besagt allerdings nicht, dass die Hinterlassenschaft ausschließlich aus Naturgütern bestehen sollte, sondern hält rationelles Investitionsverhalten für kollektive Infrastrukturen für sinnvoll. (SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2008, S. 69)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Vertreter der starken Nachhaltigkeit insbesondere die Bewahrung aller natürlichen Ressourcen für künftige Generationen fordern. Die Vertreter der schwachen Nachhaltigkeit lassen hingegen eine partielle Substitution durch künstliche Ressourcen zu (Schaltegger & Burritt, 2003, S. 23).

### 2.1.9 Kritische Nachhaltigkeit

Die Kompromisslösung aus beiden ist die sogenannte kritische Nachhaltigkeit: Hier liegt der Schwerpunkt auf der Erhaltung kritischer, nicht ersetzbarer Ressourcen. (Endres, 2007, S. 319).

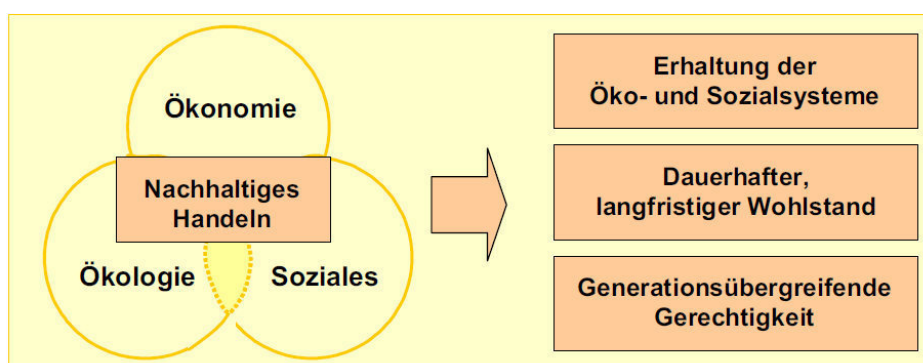


Abbildung 5: Modell kritische Nachhaltigkeit (Benjamin Tobias Peylo, 2008, S. 19)

Gemäß (Grunwald, 2006, S. 76 ff) kann nachhaltiges Handeln verschiedenen Strategien folgen. Sogenannte Effizienzstrategien zielen auf eine Maximierung der Produktivität bei gleichzeitiger Minimierung des Ressourceneinsatzes hin (Weizsäcker, 1996).

Konsistenzstrategien zielen auf eine Harmonisierung zwischen Umwelt und menschlichem Wirtschaften, z.B. durch Einsatz regenerativer Energien. Suffizienzstrategien verneinen das Wachstumspostulat, propagieren Genügsamkeit und betonen den Wert des Vorhandenen für die Lebensqualität (Benjamin Tobias Peylo, 2008, S. 20).

Das durch Nachhaltigkeit angestrebte Ziel von dauerhaftem Wohlstand ist heute aus ökologischer und sozialer Hinsicht in Gefahr. Modellrechnungen zum derzeitigen System zeigen hierfür bereits eine existenzielle Bedrohung auf. Durch zunehmende Aufklärungskampagnen und Bildungsarbeit verändert sich das Bewusstsein der Bevölkerung hierfür zunehmend. Ein Beispiel hierfür ist der aufgrund von massiven Protesten und Demonstrationen letztlich durch die Bevölkerung erzwungene eingeleitete Atomausstieg in Deutschland 2011.

Weiterhin steigen auch zunehmend die Forderungen an Unternehmen nicht nur von dem Gesellschaftssystem kurzfristig zu profitieren, sondern auch zu seiner Erhaltung beizutragen (Benjamin Tobias Peylo, 2008, S. 20).

Ein Beispiel hierfür ist die Zunahme der Produktion von Bioprodukten mit regionaler Herkunft welche einen möglichst minimalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Herstellung erfordern oder die Entwicklung von sogenanntem Ökotourismus, wobei auf eine nachhaltige Nutzung der Natur und Ressourcen mit ebenfalls geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß Wert gelegt wird.

## 2.2 Für Nahwärmeprojekte relevante Rechtsgrundlagen

Nachfolgend sind die Rechtsgrundlagen, welche für Nahwärmeprojekte zu beachten sind, aufgeführt.

Bei der kombinierten Produktion von Wärme und Strom für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mittels BHKW aus Biogas oder flüssiger Biomasse greift das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (**Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG**) vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2101). Hierin sind die Bedingungen für Ausbau, Betrieb und Förderung geregelt. Das KWKG gilt für KWK-Anlagen, die nicht mittels erneuerbarer Energien wie z. B. Erdgas-BHKWs betrieben werden.

Weiterhin das Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften (**Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG 2009**) vom 25. Oktober 2008. Schwerpunkt des EEG ist die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, worin die

Einspeisevergütung geregelt ist. Da bei den Wärmeversorgungsvarianten die reine Wärmeproduktion im Vordergrund steht, wurde die Förderung auf der Wärmeseite nicht berücksichtigt.

Weiterhin relevant bei KWK-Anlagen ist die **Biomassestrom-Nachhaltigkeits-Verordnung - BioSt-NachV** vom 23.07.2009 und Änderung vom 31.7.2010, zur Umsetzung der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009. Diese definiert Nachhaltigkeitsanforderungen für die Verstromung flüssiger Biomasse wie z. B. Palmöl oder Rapsöl mittels KWK, deren Einhaltung Bedingung zum Erhalt der Einspeisevergütung gem. Erneuerbare Energien Gesetz ist. Der Fokus wird nunmehr nicht auf die Verstromung sondern auf die reine Wärmeerzeugung gelegt, da bei KWK-Projekten automatisch die Kriterien der BioSt-NachV einzuhalten sind, die bei der reinen Wärmeerzeugung und Wärmelieferung z. B. aus holzartiger Biomasse nicht greifen. Weiterhin erfolgt die Vergütung bei der Wärmelieferung i.d.R. durch die Weitergabe eines Wärmepreises. Eventuell erhaltene Förderungen, wie z. B. Investitionszuschüsse werden üblicherweise durch Nachlässe im Wärmepreis berücksichtigt. Bei der Nahwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien wird meist feste Biomasse in Form von Holzhackschnitzeln oder Holzpellets als Primärenergieträger eingesetzt. Für Holzhackschnitzel gilt als Qualitätsnorm derzeit die österreichische ÖNorm M7133. (siehe 7.2.1). Die Qualität der Holzzusammensetzung, der Aschegehalt und andere Kriterien. werden bei Holzpellets in der österreichischen und deutschen DIN Norm als Zertifizierungssystem vorgegeben.

Weiterhin gilt das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz - EEWärmeG) vom 7. August 2008 (BGBl I S. 1658). Das EEWärmeG regelt den Mindestanteil der erzeugten Wärme aus erneuerbaren Energien bei Heizungssanierungen und im Neubau.

Für die Verbrennung von Primärenergieträgern in Wärmeerzeugungsanlagen gilt das **Bundesimmissionsschutz-Gesetz / Bundesimmissionsschutz –Verordnung**. Hierin sind die gesetzlichen Grenzwerte der Verbrennungsemissionen (z. B. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub>) der Wärmeerzeugungsanlagen geregelt. Die Einhaltung wird durch die jährliche Emissionsmessung durch die Kaminkehrer überprüft.

Tiefengeothermieprojekte erfordern ein umfangreiches Genehmigungsverfahren. Hier ist zum einen das **Bundesberggesetz (BBergG)** relevant, in dem das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen geregelt wird. Zum anderen greift bei der Nutzung von Grundwasser das Wasser Haushaltsgesetz (**WHG**), wofür eine



wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich ist. Das Lagerstättengesetz (LagerstG) regelt die Anzeigepflicht von Bohrtätigkeiten.

### 2.3 Politische Rahmenbedingungen für Indikatorensysteme

Für die Entwicklung der Nachhaltigkeitsindikatoren sind im Folgenden die relevanten politischen Rahmenbedingungen zusammengefasst.

Die Grundlage bildet das **Kyoto-Protokoll zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen von 1992** mit dem Ziel Minderung der Treibhausgas-Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O: Bezugsjahr 1990, H-FKW, FKW, SF<sub>6</sub>: Bezugsjahr wahlweise 1990 oder 1995) bis 2008 - 2012: Industrie-Länder („Annex-B-Länder“) um mindestens 5 %, EU-15 8 %, Deutschland (EU-Lastenausgleich) 21 % (Umweltbundesamt, 2012).

Daneben der **Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft**. Mit der Ratifizierung und Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen bis 2002 und Erfüllung der dort eingegangenen Verpflichtung, die Emissionen bis 2008-2012 um 8 %, gemessen am Stand von 1990 für die Europäische Gemeinschaft in ihrer Gesamtheit (Umweltbundesamt, 2012).

Weiterhin das vom **Presse- und Informationsamt der Bundesregierung** herausgegebene Konzept **Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Stand: Oktober 2004, Berlin 2004, S. 41**. Reduktion der "Kyoto-Gase" um 21 % bis zum Zeitraum 2008 bis 2012 gegenüber 1990 bzw. 1995 für SF<sub>6</sub>, H-FKW und FKW. Fortentwicklung des nationalen Klimaschutzprogramms (Umweltbundesamt, 2012).

Sowie die **Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft vom 09. November 2000** mit der Verringerung ihrer spezifischen Emissionen über alle sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, HFKW, FKW) insgesamt um 35 % bis 2012 im Vergleich zu 1990 (Umweltbundesamt, 2012).

Außerdem der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herausgegebene: Nationale Allokationsplan (**NAP II**) 2008-2012 für die Bundesrepublik Deutschland vom 28. Juni 2006 (Umweltbundesamt, 2012).

Weiterhin relevant ist das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herausgegebene

**Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung** vom 28. September 2010.

Grundsätzlich verfolgt die nationale und regionale Energiepolitik folgende Ziele:

- Versorgungssicherheit – Deckung der Energienachfrage jederzeit durch ein entsprechendes Energieangebot. Aufgrund der Rohstoffarmut von Deutschland besteht hier derzeit eine große Energieimportabhängigkeit, welche durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Verbesserung der Energieeffizienz sowie durch Energieeinsparung reduziert werden kann.
- Wirtschaftlichkeit – Die Energiepreise müssen auf einem Niveau liegen das die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft nicht beeinträchtigt und weiterhin privaten Konsum ermöglicht. Durch die in den vergangenen Jahren angestoßene Liberalisierung des Strom- und Gasmarkts wurde der Wettbewerb zwischen den Energieversorgern zu Gunsten der Abnehmer verstärkt. Leider greift dieser Mechanismus nur bedingt. Eine dauerhafte Wirtschaftlichkeit ist nur durch einen „möglichst geringen Energiebedarf“ und „möglichst „selbst erzeugter/n Wärme/Strom“, mit geringem oder keinem Primärenergieträgereinsatz möglich.
- Sozialverträglichkeit – Energie als Grundbedürfnis soll für jedermann zugänglich und erschwinglich sein. Durch den Ausbau der erneuerbarer Energien werden Arbeitsplätze gesichert und neue geschaffen wodurch sozialer Wohlstand erreicht wird, durch die soziale Belange wie Infrastrukturen, Gesundheitssystem und Bildung finanziert werden können.
- Umweltverträglichkeit – die Sicherung der natürlichen Ressourcen und die Bekämpfung des Klimawandels sowie die Beendigung der fortschreitenden Umweltzerstörung stellt die wichtigste Zieldimension dar, da Sie die natürliche Lebensgrundlage für sämtliches Leben auf der Erde ist. Daher liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren.

Bei der Festlegung des Umweltqualitätsziels der Nachhaltigkeitsindikatoren (siehe unter 5.2) werden über die derzeitigen gesetzlichen Vorgaben hinaus höhere Ziele definiert, da diese mit der bestehenden Technik bereits erreichbar sind bzw. durch fortschreitende Technik übererfüllt werden können.

### 3 Begriffsdefinition Indikator

Als Basis für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren für Wärmenetze dient, das Modell der starken Nachhaltigkeit, da die Einhaltung ökologischer Grundsätze als Folge zur Erfüllung ökonomischer und sozialer Ziele führt. Daher wird ergänzend jeweils ein zentraler ökonomischer Indikator in Verbindung mit einem sozialen Indikator für Nahwärmenetzprojekte herausgearbeitet (siehe Kapitel 5 und 7). Vor der Entwicklung der Nachhaltigkeitsindikatoren wird erläutert, wozu Indikatoren dienen.

Ziel von Indikatoren ist die Verfolgung komplexer intransparenter Zusammenhänge und Abläufe, um das Erreichen oder Verlassen bestimmter Zustände anzuzeigen. Indikatoren bewerten Zustände und zeigen positive oder negative Veränderungen auf. „Um Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiges Handeln zu erkennen, gesteckte Ziele zu überprüfen, bedarf es Indikatoren die Nachhaltigkeit „anzeigen“. Hier ist man auf Beurteilungskriterien und ein Instrument zur Messung der Erfüllung dieser Kriterien angewiesen, die nicht nur das Monitoring der nachhaltigen Entwicklung ermöglichen, sondern auch deren Anforderungen und Konsequenzen verdeutlichen.“ (Achener Stiftung Kathy Beys)

„Sie können dabei Informationen gezielt zusammenfassen, um eine Bewertung zu erleichtern. Ihre wesentliche Aufgabe ist es, ein komplexes System verständlich und wahrnehmbar zu machen. Indikatoren können dazu motivieren, durch gezieltes Handeln gewünschte Veränderungen zu initiieren. In der breiten Diskussion über Leitbilder und Nachhaltigkeitsziele können sie eine wahrnehmbare und prüfbare Abbildung des aktuellen Zustandes sowie der Entwicklung sein.“ (Achener Stiftung Kathy Beys)

Die von Experten in der Vergangenheit entwickelten Indikatoren bezogen sich in erster Linie auf das Drei-Säulen-Modell mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Indikatoren bei gleicher Gewichtung. Dies führte unweigerlich zu Interessenskonflikten da ein Indikator gegen den anderen Indikator abgewogen bzw. ersetzt werden konnte. Dies führte z. B. bei der Akzeptanz des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen zur Erreichung von wirtschaftlichem Wohlstand und somit zwangsläufig zu Fehlentwicklungen die auf kurzfristige Ziele und Zeithorizonte manifestiert sind (Achener Stiftung Kathy Beys).

Durch die Entwicklung der Nachhaltigkeitsindikatoren auf Basis der starken Nachhaltigkeit sollen Fehlentwicklungen möglichst vermieden und langfristige Ziele definiert werden.

## 4 Bestehende Indikatorsysteme

Aufgrund des Arbeitsschwerpunkts werden im Folgenden wirtschaftliche und soziale Indikatoren exemplarisch dargestellt. Nachfolgend wird ein Überblick über bestehende Indikatoren zu Ökologie, und Ökonomie sowie Soziologie gegeben. Diese werden zur Übersicht in internationale, nationale und lokale sowie in städtische und ländliche Indikatoren unterteilt.

### 4.1 Internationale Indikatoren

Im Folgenden werden zwei Beispiele für internationale Indikatorensätze benannt. Für die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales wurden von der internationalen Kommission für nachhaltige Entwicklung der UN CSD/1996 Indikatoren entwickelt. Weiterhin hat die internationale Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung - OECD, 1998 ein Indikatorenset mit dem Schwerpunkt Ökologie herausgegeben.

### 4.2 Nationale Indikatoren

Das statistische Bundesamt veröffentlichte im Februar 2012 den vierten Nachhaltigkeitsindikatorenbericht. Der alle zwei Jahre herausgegebene Bericht besteht aus einem Indikatorensatz mit 21 Themenbereichen. Diese werden in Ziel, Indikator, Zielwert und Kernaussage beschrieben. Aus dem Bericht wird aufgrund des Arbeitsschwerpunkts der Umweltbereich mit den vom Umweltbundesamt erarbeiteten ökologischen Indikatoren auszugsweise dargestellt (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012).

#### **Umwelthemen:**

**Ressourcenschonung** mit den Indikatoren Energieproduktivität, Primärenergieverbrauch und Rohstoffproduktivität

**Klimaschutz** mit dem Indikator Treibhausgasemissionen,

**erneuerbare Energien** mit den Indikatoren Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch und Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Stromverbrauch,

**Flächeninanspruchnahme** mit dem Indikator Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche

sowie **Artenvielfalt** welche über den Indikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität abgebildet wird.

Nachfolgend werden die vom Umweltbundesamt erstellten Ergebnisse des Indikatorenberichts für die Indikatoren: Energieproduktivität und Primärenergieverbrauch, Treibhausgasemissionen, Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch sowie Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche aufgeführt. Die Symbole in den Abbildungen rechts oben zeigen die Zielerreichung/-verfehlung an. Die Sonne steht für die Zielerreichung. Sonnig/bewölkt steht für eine erkennbare Entwicklung. Bewölkt steht für eine noch zu geringe Erreichung und Gewitter für die Zielverfehlung.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Energieproduktivität.

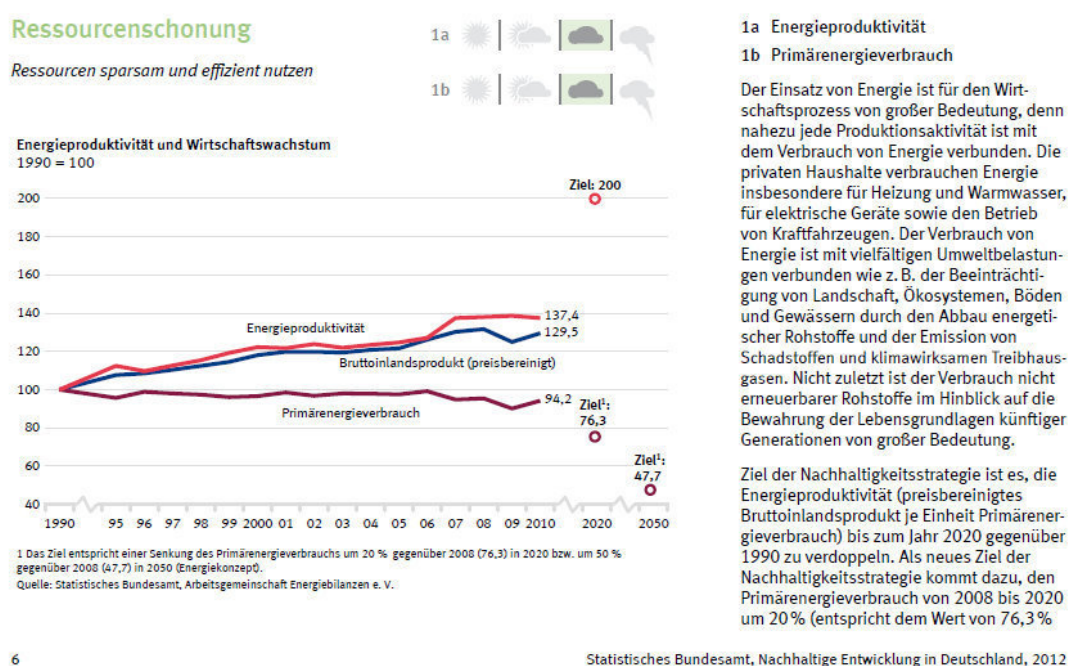


Abbildung 6: Indikator Energieproduktivität, Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 6)

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die definierten Ziele mit der Verdopplung der Energieproduktivität bis 2020 im Vergleich zu 1990 noch nicht erreicht wurden. Außerdem wird die Effizienzsteigerung größtenteils durch den Wirtschaftswachstum aufgezehrt. Das neue Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie mit der Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 20% bis 2020 und 50% bis 2050 im Vergleich zu 1990, wird bisher mit gerade 5,8% bei weitem verfehlt. Daher sind hier enorme Anstrengungen erforderlich um die gesteckten Ziele noch zu erreichen (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 6, 7).

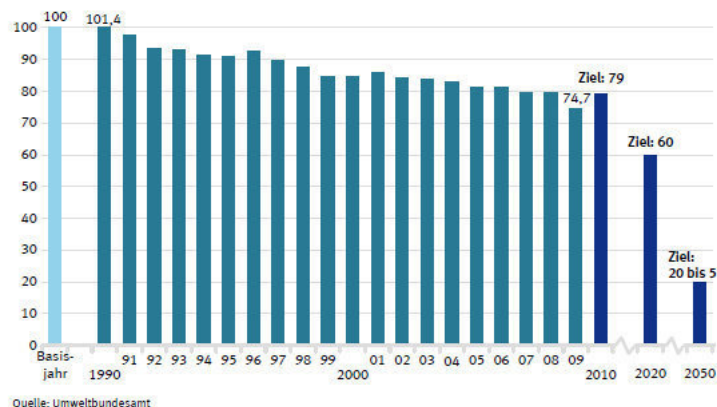
Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen zeigt Abbildung 7.

### Klimaschutz



Treibhausgase reduzieren

Treibhausgasemissionen (sechs Kyotogase) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten  
Basisjahr = 100



### 2 Treibhausgasemissionen

Der Klimawandel ist eine große Herausforderung für die Menschheit. Deutschland hat sich daher verpflichtet, seine Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase und Treibhausgasgruppen im Durchschnitt des Zeitraums zwischen 2008 und 2012 gegenüber dem Jahr 1990 um 21 % zu reduzieren. Die Bundesregierung hat sich darüber hinaus zum Ziel gesetzt, die Emissionen bis 2020 um 40 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Als langfristiges Ziel strebt die Bundesregierung im Rahmen des Energiekonzepts bis 2050 eine Senkung der Treibhausgase um 80 bis 95 Prozent im Vergleich zu 1990 an.

Zu den Treibhausgasen zählen gemäß dem Kyoto-Protokoll folgende Stoffe: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid = Lachgas (N<sub>2</sub>O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW / HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW / PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Emissionen dieser Gase entstehen mengenmäßig vorwiegend bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Sie treten aber auch bei nicht energetischen Aktivitäten, z. B. bei der Erzeugung von Eisen und Stahl,

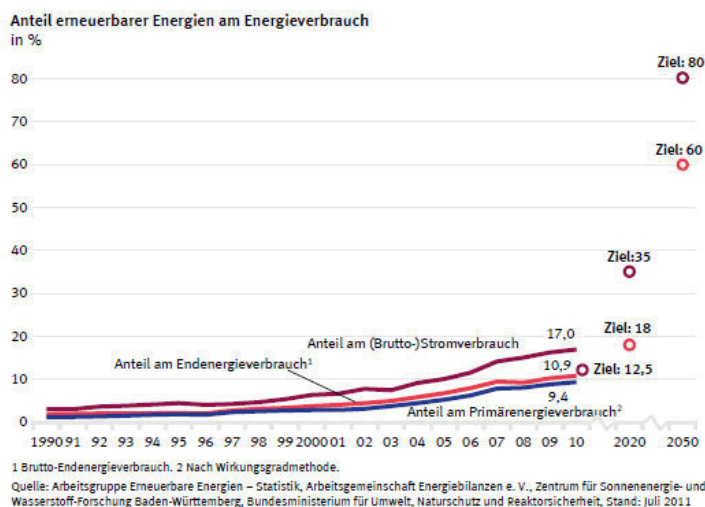
Abbildung 7: Indikator Treibhausgasemissionen (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 10)

Die gesetzten Ziele zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen wurden vor allem durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und wegen des weltweiten Konjunkturreinbruchs, bedingt durch die Wirtschaftskrise 2008/09 erreicht.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist in Abbildung 8 dargestellt.

## Erneuerbare Energien

Zukunftsfähige Energieversorgung ausbauen



3a Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch

3b Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Stromverbrauch

Die Reserven wichtiger fossiler Energieträger wie Öl und Gas sind begrenzt und ihre Nutzung ist mit der Emission von Treibhausgasen verbunden. Ein Umstieg auf erneuerbare Energien (EE), die sich als natürliche Energiequellen ständig regenerieren, verringert die energetisch bedingten Emissionen und damit das Ausmaß des Klimawandels. Er reduziert die Abhängigkeit von Energieimporten, mindert den Ressourcenverbrauch, kann die Versorgungssicherheit erhöhen, fördert technische Innovationen und führt zu Effizienzgewinnen.

Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist es, den Ausbau erneuerbarer Energieträger voranzutreiben. Zu den erneuerbaren Energien zählen u. a. Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie und Geothermie, aber auch Biomasse und der biologisch abbaubare Anteil von Abfällen aus Haushalten.

12

Statistisches Bundesamt, Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, 2012

Abbildung 8: Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 12)

Die Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Energien wird in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung anhand der Indikatoren „Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieverbrauch“ (3a) und „Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch (3b) gemessen. Laut EU-Richtlinie 2009/28/EG, soll der Anteil der erneuerbaren Energien 20 % des gesamten Bruttoendenergieverbrauchs in der EU erreichen. Daraus ergibt sich für Deutschland ein Zielwert von 18 %. Bis 2050 soll der Anteil 50 % betragen. Die Zielwerte wurden in die Nachhaltigkeitsstrategie übernommen. Für die Stromerzeugung war das Ziel für 2010 einen Anteil von 12,5 %, und bis 2020 einen Anteil von 35 % zu erreichen. Bis 2050 sollen laut Zielwert 80 % des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 12, 13).

Bei der Weiterentwicklung des Ausbaus in der bisherigen Geschwindigkeit wird der Zielwert mehr als erreicht. Das positive Ergebnis ist vor allem auf die Einführung des EEG und des EEWärmeG (siehe hierzu unter 2.2) zurückzuführen.

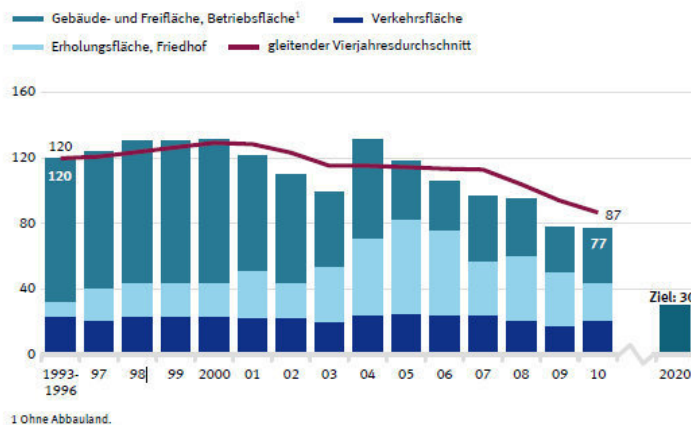
Die Flächeninanspruchnahme ist in der nachfolgenden Abbildung aufgeführt.



## Flächeninanspruchnahme

### Nachhaltige Flächennutzung

#### Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in ha pro Tag



14

Statistisches Bundesamt, Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, 2012

#### 4 Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche

Die unbebaute, unzerschnittene und unzersiedelte Fläche ist eine begrenzte und gleichwohl begehrte Ressource. Um ihre Nutzung konkurrieren z. B. Land- und Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr, Naturschutz, Rohstoffabbau und Energieerzeugung, wobei sich insbesondere die Siedlungs- und Verkehrsflächen stetig ausdehnen.

Zu den direkten Umweltfolgen der Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen zählen der Verlust der natürlichen Bodenfunktionen durch Versiegelung, der Verlust fruchtbarer landwirtschaftlicher Flächen oder der Verlust naturnaher Flächen mit ihrer Biodiversität. Zudem zieht jede Neuerschließung von Bauflächen im Umfeld der Städte und außerhalb der bisherigen Siedlungskerne auch weiteren Verkehr und Flächenzerschneidung nach sich. Dies führt zu Folgekosten wie Lärm und Schadstoffemissionen, aber auch zu erhöhtem Aufwand für die Bereitstellung der nötigen Infrastruktur.

Abbildung 9: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 14)

Ein großes Problem stellt neben dem Klimawandel, auch die zunehmende Flächenversiegelung mit dem damit verbundenen Verlust natürlicher und landwirtschaftlicher Flächen sowie der Biodiversität dar. Bisher wurde das erstrebte Ziel mit einem Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche von max. 30 ha/Tag mit derzeit 87 ha/Tag verfehlt (Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2012, S. 14). Daher ist insbesondere bei der Flächennutzung zur Energieerzeugung besonderes Augenmerk darauf zu legen, keine Nutzungskonkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion zu erzeugen oder zum Wegfall von schützenswerten Naturflächen beizutragen. Weiterhin ist der Flächenbedarf zur Errichtung der Energieerzeugungsanlagen auf das notwendige Minimum zu begrenzen.

### 4.2.1 Umwelt-Kernindikatorensystem (KIS)

Das vom Umweltbundesamt entwickelte über 50 Indikatoren umfassende Umwelt-Kernindikatorensystem, ergänzt die Umweltindikatoren des nationalen Nachhaltigkeits-Indikatorenansatzes und zeigt positive und negative Entwicklungen im Umweltschutz auf. Die Leitthemen - Klimaänderungen, Biologische Vielfalt, Naturhaushalt und Landschaft, Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität sowie Ressourcennutzung und Abfallwirtschaft des sechsten Umweltaktionsprogramms der Europäischen Gemeinschaft, werden durch KIS mit allen Schutzgütern erfasst und aufgezeigt.



Hierbei werden Umwelttrends durch Vergleich mit quantifizierten Umweltzielen bewertet. Bewertungsgrundlage sind die angestrebten Umweltqualitätsziele, die den gewünschten Umweltzustand beschreiben, Umwelthandlungsziele, zur Erreichung der Qualitätsziele und Umweltqualitätsstandards, die den zu erreichenden oder einzuhaltenden Wert für ein vorgegebenes Umweltqualitätsziel kennzeichnen (Umweltbundesamt, 2012).

Aus dem umfangreichen Kernindikatorenset werden beispielhaft die Treibhausgasemissionen mit dem CO<sub>2</sub>-Äquivalent ausgewählt, da diese im weiteren auch für die untersuchten Nahwärmeversorgungsvarianten ermittelt und angewendet werden (siehe ab 7.2.2). Das komplette Indikatorenset ist unter der Internetseite [www.umweltbundesamt.de/daten-zur-umwelt](http://www.umweltbundesamt.de/daten-zur-umwelt) abrufbar.

Maßgeblich für den Klimawandel sind die Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten **Treibhausgase** mit dem Hauptverursacher **CO<sub>2</sub>** (Anteil 2009: 86 %), **als CO<sub>2</sub>-Äquivalent** (siehe hierzu unter 7.2.2.1). Die Berechnung der Emissionsdaten erfolgt nach der Berechnungsformel: Aktivitätsrate (Brennstoffeinsatz) multipliziert mit dem mittleren Emissionsfaktor ergibt Emission. Die politischen Rahmenbedingungen der Indikatoren sind unter 2.3 aufgeführt (Umweltbundesamt, 2012).

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist das Haupt-Klimagas. Bezogen auf die gesamten Treibhausgas-Emissionen betrug der CO<sub>2</sub>-Anteil 2010/2011 über 87 %. Das bedeutet gegenüber 1990 eine Zunahme von knapp 4 Prozentpunkten. Diese resultiert aus einer im Vergleich zu CO<sub>2</sub> erheblich stärkeren Minderung der Emissionen von Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) (Umweltbundesamt, 2012).

Kohlendioxid entsteht fast ausschließlich bei den Verbrennungsvorgängen in Anlagen und Motoren. Darüber hinaus treten Emissionen vor allem im Bereich Steine und Erden durch das Brennen von zur Zement- und Baustoffherstellung verwendetem Kalk auf. Die Emissionen entstehen somit auch in Deutschland entsprechend dem Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Anteile der Brennstoffgruppen. Bezogen auf die Einheit der eingesetzten Energie sind die Emissionen am höchsten für feste Brennstoffe, die überwiegend aus Kohlenstoff bestehen. Für gasförmige Brennstoffe sind sie wegen ihres beträchtlichen Gehaltes an Wasserstoff am niedrigsten. Eine Zwischenstellung nehmen die flüssigen Brennstoffe ein (Umweltbundesamt, 2012).

#### 4.2.1.1 Umwelthandlungsziele als Maßnahmen zur Zielerreichung

Die definierten Umwelthandlungsziele als Maßnahmen zur Zielerreichung der Emissionsreduzierung, sind im Rahmen der internationalen Klimaschutzpolitik: Die Einführung eines Emissionshandelssystems gemäß Art. 17 des Kyoto-Protokolls durch

die EU laut Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003, über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (ABl. EU Nr. L 275 S. 32) (Umweltbundesamt, 2012).

Zusätzlich die Einführung weiterer flexibler Instrumente - Joint Implementation (JI) laut Art. 6 des Kyoto-Protokolls und Clean Development Mechanism (CDM) gemäß Art. 12 des Kyoto-Protokolls: JI und CDM liegt das folgende Prinzip zu Grunde. Durch die Durchführung eines Projekts von einem Investor in einem Gastland, werden Emissionen reduziert, für die der Investor Emissionsgutschriften erhält (Umweltbundesamt, 2012). Ein mögliches Beispielprojekt hierfür ist die Errichtung einer Wärmeerzeugungsanlage auf Basis erneuerbarer Energien.

Im Rahmen der nationalen Klimaschutzpolitik: Die Durchführung des **Gesetzes über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen (Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz – TEHG, BGBl I Nr. 35 vom 14. Juli 2004, S. 1578-1590)**. Zweck dieses Gesetzes gemäß § 1, ist es, für Tätigkeiten, durch die in besonderem Maße Treibhausgase emittiert werden, die Grundlagen für den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen in einem gemeinschaftsweiten Emissionshandelssystem zu schaffen, um damit durch eine kosteneffiziente Verringerung von Treibhausgasen zum weltweiten Klimaschutz beizutragen (Umweltbundesamt, 2012).

Außerdem das **Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (Zuteilungsgesetz 2012 – ZuG 2012 vom 07.08.2007)**

Das Zuteilungsgesetz 2012 (ZuG) baut auf dem zweiten Nationalen Allokationsplan (NAP II) auf und definiert die zuteilungsfähige Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionsberechtigungen, sowie konkrete Festlegungen von Regeln und Mengen der Zuteilung. Die derzeit emissionshandlungspflichtigen Unternehmen fallen fast ausschließlich in die Sektoren Industrie und Energiewirtschaft. Hier dürfen zwischen 2008 und 2012 bis zu 442 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr ausgestoßen werden (Umweltbundesamt, 2012).

Weiterhin das vom Kabinett am 23.08.07 in Meseberg beschlossene **Integrierte Energie- und Klimaprogramm**. In diesem Dokument enthalten sind 29 Maßnahmen, die bei konsequenter und ambitionierter Umsetzung aller Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen um 37 % bis 2020 gegenüber 1990 führen können (Umweltbundesamt, 2012).

Darüber hinaus wurden im Projekt Politikszenarios für den Klimaschutz V vom Forschungskonsortium Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, DIW Berlin und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2005 bis 2030 erarbeitet:

Hierzu wurden zwei Szenarien entwickelt, auf deren Grundlage die bisher ergriffenen und darüber hinausgehenden Maßnahmen zur Treibhausgasminde rung für private Haushalte, Industrie, Verkehr und Umwandlungssektor bewertet werden (Umweltbundesamt, 2012).

- Dies ist zum einen das *Mit-Maßnahmen-Szenario* (MMS), in dem die im Zeitraum 2000 bis Mitte 2007 ergriffenen klima- und energiepolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden;
- Und zum anderen das *Strukturwandel-Szenario* (SWS), in dem zusätzlich die Wirkung weiterer klima- und energiepolitischer Instrumente für die Szenari enentwicklung berücksichtigt wird (Umweltbundesamt, 2012).

Die Entwicklung der sechs wichtigsten<sup>5</sup> im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase sind im nachfolgenden Diagramm als CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Erläuterung siehe Kapitel 7.2.2.1) dargestellt.

---

<sup>5</sup> Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid/Lachgas (N<sub>2</sub>O), Flour-Chlor- Kohlenwasserstoff (FCKW), perfluorierte und teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW und H-FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>).

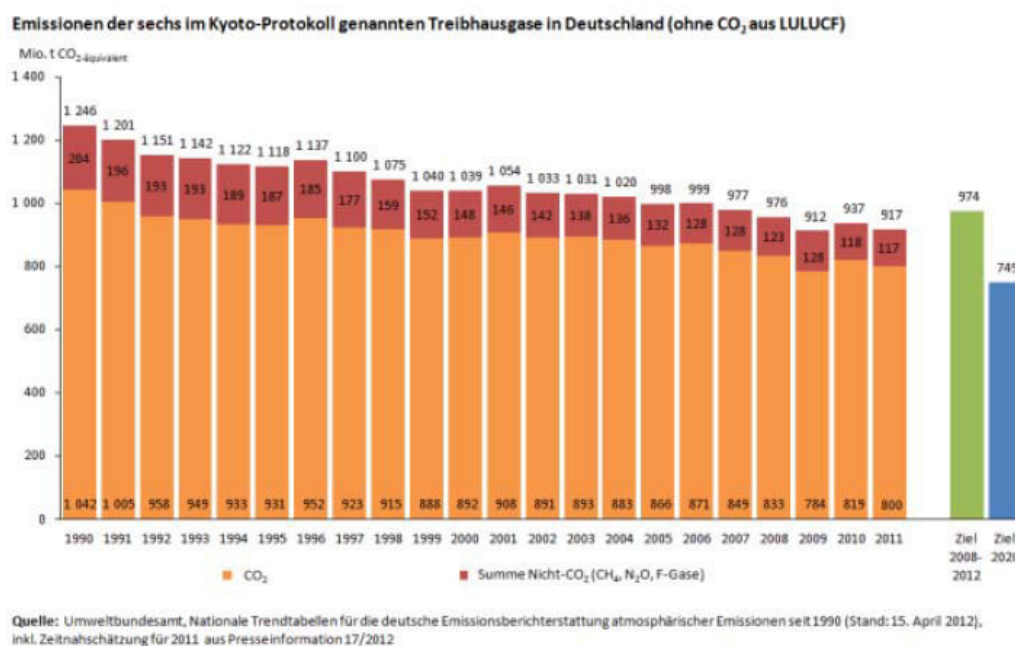


Abbildung 10: Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland (ohne CO<sub>2</sub> aus LULUCF)

Die Treibhausgasemissionen mit dem Hauptverursacher CO<sub>2</sub> sind im Jahr 2010 bedingt durch die Erholung der Weltwirtschaft im Vergleich zu 2009 um 2,7 % gestiegen, nachdem sie zwischen 2008 und 2009 durch die Weltwirtschaftskrise um 6,6 % gesunken waren. Deutschland erreichte bis 2010 eine Minderung von 24 % im Vergleich zu 2007 (Basisjahremissionen 1.232.429,543 Gg<sup>6</sup> CO<sub>2</sub>-Äquivalent). Im Rahmen der europäischen Lastenteilung, gemäß Zeitnauschätzung des Umweltbundesamtes für das Jahr 2011, betragen die Emissionen 917 Mio. to CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Dies entspricht einer Minderung von 26,5 %. Die Kohlendioxid-Emissionen betragen ca. 87 % der Gesamtemissionen. Sie werden hauptsächlich durch stationäre und mobile Verbrennungsprozesse verursacht (Umweltbundesamt, 2012). Daher kann die Hauptreduzierung durch die Abkehr von Verbrennungsprozessen erfolgen.

Der Rückgang der Emissionen ist laut (Umweltbundesamt, 2012) im Wesentlichen auf folgende Tatsachen/Maßnahmen zurück zu führen:

In der ersten Hälfte der 1990er Jahre überwiegend durch Umstrukturierungsprozesse in den neuen Ländern (Neuorientierung der Wirtschaft, dadurch Steigerung der Energieeffizienz, Wechsel zu emissionsärmeren Energieträgern, Stilllegung veralteter Anlagen).

<sup>6</sup> Gg: Einheit Gigagramm entspricht 10<sup>9</sup> Gramm bzw. 10<sup>6</sup> kg

Seit Mitte der 1990er Jahre Minderung durch erfolgreiche klima- und energiepolitische Maßnahmen der Bundesregierung.

Betrachtet man die Emissionsverursacher, erfolgte die relative Minderung zwischen dem aktuellen Basisjahr und 2010, durch die Reduzierung der Emissionen in der Abfallwirtschaft (-72 %) mit einem verbleibenden Anteil von nunmehr 1,3 %. Erreicht wurde dies durch das geringere Abfallaufkommen aufgrund gesetzlicher Regelungen.

Weiterhin konnte die Effizienz der Methangaserfassung verbessert werden.

Aus dem Beschluss der europäischen Staats- und Regierungschefs von 2007 ergibt sich die Notwendigkeit weiterer Minderungsmaßnahmen bis 2020 um 30 % unter der Bedingung, dass sich andere Industrieländer zu vergleichbaren Emissionsreduzierungen verpflichten und weiter fortgeschrittene Entwicklungsländer ihren Beitrag leisten.

Zur Zielerreichung der Emissionsreduzierung um 40 % bis 2020 im Vergleich zu 1990, wurde vom Umweltbundesamt ein 8-Punkte Plan aufgezeigt, welcher die Basis der Regierungserklärung vom 26.4.07 bildet.

Hierzu zählen die Beibehaltung des Ausbaus der erneuerbaren Energien und Steigerung der Energieeffizienz in der bisherigen Geschwindigkeit.

Das Strukturwandel-Szenario geht weiterhin von einer ambitionierten Klimapolitik mit zusätzlichen Maßnahmen zur Einsparung von Strom, Wärme und Treibstoffen sowie einem noch stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien aus. Ergebnis der Maßnahmen wäre die Zielüberfüllung mit einem Minus von 43,1 %.

Das Mit-Maßnahmen-Szenario würde das Ziel verfehlen, da sich die Treibhausgas-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 nur um 29,6 % verringern.

Derzeit werden vom Umweltbundesamt die Daten erarbeitet. Die vorläufigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass bis 2020 etwa 34 % Reduzierung im Vergleich zum Basisjahr erreicht werden. Bei konsequenter Umsetzung des nationalen Energiekonzepts sind die 40 % Einsparung somit erreichbar (Umweltbundesamt, 2012).

#### **4.2.2 ökologischer Rucksack, MIPS-Konzept**

Neben dem Indikatorenbericht vom Rat für Nachhaltigkeit, und dem Kernindikatorensystem vom Umweltbundesamt, sind zwei Leitindikatoren für den Ressourcenverbrauch und Flächenverbrauch für die Herstellung von Produkten und Dienstleistungen zur Beibehaltung des auf Wachstum ausgelegten Lebensstils auf

Kosten der Umwelt relevant. Diese werden unter dem Begriff „ökologischer Rucksack“ und „ökologischer Fußabdruck“ diskutiert.

Der Begriff **ökologischer Rucksack** stammt von Schmidt-Bleek aus dem Jahr 1994 und wurde von ihm zur Erläuterung des MIPS-Konzept entwickelt. Unter **MIPS** versteht man **Material-Input pro Einheit Service**. Dahinter verbirgt sich der Gedanke, dass Güter meistens für Dienstleistungen eingesetzt werden. Daher ist der „Rucksack“ für Dienstleistungen zu berechnen. So trägt jede Tonne Steinkohle die verbrannt wird, einen Rucksack von 5 Tonnen Abraum und Wasser. Der ökologische Rucksack von Steinkohle ist knapp 8,5-mal der von Braunkohle und sogar 10-mal so schwer wie der von Kohle. Laut Schmidt-Bleek ist MIPS das bisher einzige Maß um festzustellen, wie viel Nutzen aus einer bestimmten Menge Ressourcen gezogen wird. Nach Schmidt-Bleek trägt jedes Kilogramm Industrieprodukte in Deutschland durchschnittlich rund 30 kg Natur mit. Dies bedeutet, dass weniger als 10 % des in der Natur bewegten Materials in nützliche Industrieprodukte umgewandelt werden. MIPS ist somit das Maß für den Naturverbrauch eines Produktes oder einer Dienstleistung entlang des gesamten Lebenszyklus von der Gewinnung, über die Produktion, Nutzung und Entsorgung/Recycling. Daher eignet sich der Indikator MIPS zum Vergleich von Umwelteigenschaften von Produkten und Dienstleistungen. Die praktische Anwendung des MIPS-Konzepts erfolgt in Form einer Materialintensitätsanalyse (MAIA) für Unternehmen auf der Mikro-Ebene und für Volkswirtschaften auf der Makro-Ebene (Achener Stiftung Kathy Beys).

Deshalb fordert Schmidt-Bleek eine radikale „Dematerialisierung der Wirtschaft“ – die Reduzierung des Materialverbrauchs mindestens um den Faktor 10, auf ein Maß das die Ökosphäre langfristig nicht schädigt. Falls dies nicht innerhalb weniger Jahrzehnte erfolgt, bleiben den Entwicklungsländern nicht mehr genug Möglichkeiten für eine nachhaltige Entwicklung. Zur Umsetzung dieser Forderung hat er den „Faktor 10-Club“ gegründet, dessen Prinzipien in der Carnoules Deklaration im Oktober 1994 aufgestellt worden sind. Hierin wird die Streichung sämtlicher Subventionen für den Ressourcenverbrauch gefordert und eine Neudefinition von Wohlstand beschrieben. Mitglieder des Clubs sind namhafte Wissenschaftler und Umweltschützer (Achener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Demnach müssen zur sozialen Zukunftssicherung die ökologischen Leitplanken eingehalten werden. Der materiellen Wachstumswirtschaft sind natürliche Grenzen gesetzt. Mehr Arbeitsplätze als derzeit können durch eine Systemerhaltungsgesellschaft geschaffen werden, nicht durch eine ressourcenverschwenderische Produktionswirtschaft. Zu viele neue Produkte helfen

weder dem Wohlbefinden der Menschheit, noch sind sie ökologisch vertretbar. Daher muss die Forderung umgesetzt werden, aus entnommenen Umweltressourcen so lange und so viel wie möglich Nutzen zu ziehen. Jeder Material-, Energie- und Flächenverbrauch muss technisch so gestaltet sein, dass er durch möglichst wenig Natureinsatz ein Maximum an Dienstleistung und damit Wohlstand erzeugt. Die Produkte müssen ihre Rucksäcke loswerden. Zur Erreichung dieses Ziels hat Schmidt-Bleek u. a. eine Checkliste für Produkthersteller für die Verbesserung bestehender Produkte und die Planung neuer Produkte vorgeschlagen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Neben dem ökologischen Rucksack wurde der erstmals von Rees und Wackernagel im Jahr 1994 konzipierte, von diversen Organisationen berechnete „**ökologische Fußabdruck**“ für Regionen, Kommunen und Haushalte ermittelt. Dieser misst in Hektar, wie viel Biokapazitäten bereitgestellt werden müssen, für den Ressourcenbedarf einer Nation, einer Region, eines Haushalts, einer Person und ihre Abfälle aufzunehmen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013). Da dieser Indikator teilweise unvollständig ist und nur bedingt mit MIPS oder dem ökologischen Rucksack vergleichbar ist, wird der ökologische Fußabdruck in der Arbeit nicht angewendet.

#### **4.2.3 kommunale „städtische“ Indikatoren**

Um die internationalen und bundespolitischen Ziele auf die Landesebene zu transferieren, wird nachfolgend das Beispiel Bayern aufgeführt. Die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) veröffentlicht im Energieatlas Bayern ökologische Indikatoren wie den Primärenergieverbrauch oder den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung für Bayern ((AGEE-Stat), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik).

Für die kommunale Ebene, wurden im Rahmen der Agenda 21 zwanzig gemeinsame Basisindikatoren (siehe Tabelle 3) zur kommunalen Nachhaltigkeit von verschiedenen Institutionen<sup>7</sup> in 2003 entwickelt (Aachener Stiftung Kathy Beys). Dies hat zur Folge, dass Kommunen die Arbeit mit Indikatoren erleichtert wird. Die empfohlenen und im Folgenden aufgeführten Indikatoren wurden in Handlungsfelder untergliedert und mit Definitionen und Datenquellen angegeben.

<sup>7</sup> Beteiligte Institutionen: Agenda-Büro der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LUBW Agenda-Transfer/Bundesweite Servicestelle Lokale Agenda 21, B.A.U.M. Consult GmbH, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Projekt "Städte-der-Zukunft", Deutsche Umwelthilfe e.V., ECOLOG-Institut, Energieagentur NRW, Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft e.V. (FEST), GP Forschungsgruppe, Institut für ökologische Raumentwicklung, Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsvereinfachung (KGSt), Servicestelle Kommunen in der Einen Welt.

Tabelle 3: kommunale „städtische“ Indikatoren

Handlungsfeld	Empfohlener Indikator
Abfall	Siedlungsabfälle in kg pro EinwohnerIn und Jahr (ggf. zusätzlich Klärschlämme gesondert ausweisen)
Boden	Siedlungs- und Verkehrsfläche gemessen als Anteil in % der Gesamtfläche
Wasser	Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte (einschließlich Kleingewerbe und Dienstleistungsunternehmen) in Liter/EinwohnerIn/Tag
Niedriger Energie-Einsatz	Stromverbrauch) der privaten Haushalte (einschließlich Kleingewerbe und Dienstleistungsunternehmen) und der kommunalen Liegenschaften (inkl. Straßenbeleuchtung) in kWh pro EinwohnerIn und Jahr
Erneuerbare Energie	Installierte Leistung an erneuerbarer Energie (Photovoltaik, Biomasse, Wind- und Wasserkraft) in kW je EinwohnerIn sowie installierte Fläche solarthermischer Anlagen in qm je EinwohnerIn (getrennt ausgewiesen)
Mobilität	Anzahl der Pkw pro tausend EinwohnerIn
Ökosysteme und Artenvielfalt	Anteil der unter Naturschutz stehenden Flächen (Natura 2000 Gebiete, Naturschutzgebiete und Nationalparke) an der Gesamtfläche; zusätzlich Anzahl und Fläche der Naturdenkmale
Arbeit	Arbeitslosenquote (nach Möglichkeit differenziert nach: a) Geschlecht; b) Alter; c) Dauer)
Ausbildung	Anzahl der Auszubildenden je 1.000 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte
Wirtschaftsstruktur	Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Wirtschaftsabteilungen (alternativ: nur nach Wirtschaftsbereichen)



Öffentliche Haushalte	Kommunale Schulden (Kernhaushalt und Eigenbetriebe) je EinwohnerIn in €
Betrieblicher Umweltschutz	Anzahl der Unternehmen mit zertifizierten Umweltmanagementsystemen (EMAS, DIN ISO 14.001 und Ökoprotit jeweils gesondert ausgewiesen)
Ökologische Landwirtschaft	Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in der Gemarkung
Einkommen und Vermögen	Zahl der EmpfängerInnen von laufender Hilfe zum Lebensunterhalt je 1.000 EinwohnerInnen
Bevölkerungs- und Siedlungsstruktur	Zahl der Zu- und Fortzüge pro 1.000 EinwohnerInnen und Wanderungssaldo
Geschlechtergerechtigkeit	Verhältnis von Frauen und Männern im Kommunalparlament und in Leitungspositionen (Amtsleitung und höher) der Kommunalverwaltung
Internationale Gerechtigkeit	Kommunale Ausgaben für Entwicklungszusammenarbeit in Prozent des kommunalen Haushalts sowie je EinwohnerInnen (Projekte in Entwicklungsländern, Inlandsarbeit, internationale Organisationen und fair gehandelte Produkte)
Sicherheit	Bekannt gewordene Straftaten je 1.000 EinwohnerInnen (differenziert nach Delikten)
Familienfreundliche Strukturen	Zahl der Betreuungsplätze für Kinder (in kommunalen Einrichtungen und Einrichtungen in freier Trägerschaft) für die Altersgruppen „bis unter drei Jahre“ und „drei bis sechs Jahre“ bezogen auf die Gesamtzahl der Kinder in diesen Altersgruppen
Integration	Anteile der ausländischen und deutschen SchulabgängerInnen ohne Hauptschulabschluss mit erfüllter Vollzeitschulpflicht aus Hauptschulen an der Gesamtzahl der ausländischen bzw. deutschen Schulabgänger mit Hauptschulabschluss im Vergleich

Weitere Indikatoren zur nachhaltigen Stadtentwicklung wurden im Rahmen des Forschungsprojekts SPARTACUS entwickelt. „Im SPARTACUS Projekt wurde eine Methodologie zur Abschätzung der Auswirkungen städtischer Flächennutzungs- und Verkehrspolitik auf Nachhaltigkeit entwickelt. Diese werden hier nicht weiter aufgeführt.

Für Energieversorgungskonzepte in Kommunen und Regionen wurde von Prof. Lehmann vom Umweltbundesamt beim 1. Kongress „100 % erneuerbare Energien Regionen“ am 16.-17.6.2009 in Kassel folgendes Indikatorensystem veröffentlicht (Lehmann H. P., 2009). Sein Leitbild der Nachhaltigkeit umfasst folgende Kriterien:

- Umwelt-, Klima- und Gesundheitsverträglichkeit
- Umfassende Wirtschaftlichkeit
- Sozialverträglichkeit
- Dauerhafte Versorgungssicherheit
- Risikoarmut und Fehlertoleranz
- Effektive Ressourcenschonung
- sowie überregionale und internationale Zusammenarbeit

Zur Zielerreichung hat er folgende Strategieelemente definiert:

1. Energievermarktung oder optimierte Energiedienstleistung von der Angebotsorientierung zur Nachfrage nach Nutzenergie
2. Verhaltensänderungen – Energiebedarf der Lebensstile Steigerung des Lebensstandards und nicht der Energieintensität
3. Umwandlungs- und Endenergieeffizienz gemäß Leitstudie 2008: ca. 50% Primärenergieverbrauchs-Minderung bis 2050
4. Deckung 100% des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien durch umweltgerechte integrative Energieträger

#### **4.2.4 „Ländliche“ Indikatoren**

Von der Generaldirektion Landwirtschaft der europäischen Kommission wurden in 2001 Indikatoren der wirtschaftlichen und sozialen Dimension einer nachhaltigen Landwirtschaft und Entwicklung herausgegeben. Da der Schwerpunkt hier auf der Ökonomie und Soziologie mit Indikatoren zur Wettbewerbs-, Lebensfähigkeit und

Chancengleichheit u. a. liegt, wurden Umweltbestände nicht berücksichtigt. Daher wird dieses Konzept für die Entwicklung der Nachhaltigkeitsindikatoren vernachlässigt.

Laut dem Forschungsplan des transdisziplinären Forschungsprojekts „Nachhaltige Landwirtschaft“ der Universität Leuphana Lüneburg, sind in Deutschland und dem deutschsprachigen Ausland schwerpunktartig drei Indikatorensysteme, für die Abbildung Nachhaltiger Landwirtschaft, aufzufinden. Diese sind:

- RISE, Response-Inducing-Sustainability-Evaluation
- KSNL, Kriteriensystem nachhaltige Landbewirtschaftung
- DLG Nachhaltigkeitsstandard, Landwirtschaft zukunftsfähig

Diese wurden zur Entwicklung eines Indikatorensystems für eine nachhaltige Landwirtschaft (NaLawi-Indikatorensystem) für die Region Nordostniedersachsen gegenübergestellt. Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich der Indikatorensysteme mit den jeweiligen Zweck/Ausrichtung und den Systemgrenzen.

*Tabelle 4: Gegenüberstellung der bestehenden Systeme und dem NaLawi-Indikatorensystem des Forschungsprojekts „nachhaltige Landwirtschaft“ (Leuphana Universität Lüneburg, 2011)*

	<b>Bestehende Systeme (DLG, KSNL, RISE)</b>	<b>NaLawi- Indikatorensystem</b>
<b>Ausrichtung/ Zweck</b>	Betriebsmanagement	Regional-Analyse
	Bewertung des Einzelbetriebs oder von Betriebsgruppen.	Integrative Bewertung der Landwirtschaft in der Region Nordostniedersachsen.
<b>Systemgrenzen</b>	(räumlich) Landwirtschaftlicher Betrieb.	Region, natürliche und sozio-ökonomische Umwelt des Betriebs.  Gebiet des BVNON.
<b>Datengrenzen</b>	Einzelbetrieb. Möglichkeit der Analyse von Betriebsgruppen, nur selten Abgleich mit regionalen Strukturdaten.	Umfassender Abgleich mit regionalen Strukturdaten.
<b>Analyse hinsichtlich</b>	Nicht vorhanden	Möglichst umfangreich

<b>umwelt- und sozioökonomischer Beeinflussungsgrößen (Demograph. Wandel, Globale Klimaveränderungen etc.)</b>		
<b>Dokumentation</b>	Teilweise nicht nachvollziehbar (Schwellenwerte).	Umfangreiche, frei zugängliche wissenschaftliche Dokumentation.

Überträgt man die Aspekte daraus auf Nahwärmenetze, ist der Zweck des Indikatorensystems die ökologische Bewertung von Nahwärmenetzen. Die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten mit der Systemgrenze Hausübergabestation, stellen den Betrieb dar. Das Betriebsmanagement und die Regional-Analyse erfolgen durch Anwendung und Vergleich der Indikatoren für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten mit Bezugnahme auf die Region Landkreis Tirschenreuth.

In den erneuerbaren Nahwärmeversorgungsvarianten wurde hauptsächlich Biomasse in Form von Holzhackschnitzeln als Primärenergieträger eingesetzt. Da es derzeit für feste Biomasse kein Zertifizierungssystem zur Überprüfung der Nachhaltigkeitsanforderungen wie in der BioSt-NachV für flüssige Biomasse gibt, werden nachfolgend Zertifizierungssysteme für eine nachhaltige Forstwirtschaft beschrieben. Um zu gewährleisten, dass die Nachhaltigkeitsanforderungen auch für die Hackschnitzelherstellung eingehalten werden, wird empfohlen grundsätzlich auch Nachhaltigkeitsanforderungen für feste Biomasse wie Holzhackschnitzel zu implementieren.

Die Einführung von Zertifizierungssystemen als Indikatoren für eine nachhaltige Forstwirtschaft / Waldwirtschaft verfolgt das Ziel, auch künftigen Generationen die gleichen Funktionen und Nutzungsformen des Waldes wie der jetzigen zu ermöglichen. Hierbei sollen alle materiellen und immateriellen Produktionsziele gleich berücksichtigt werden. Neben der direkten Ernte und Nutzung sind auch die Nichtholzprodukte wie Erhalt des Lebens- und Erholungsraums sowie Sicherung der Existenz zu berücksichtigen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

### **Zertifizierungsverfahren Waldwirtschaft**

Aufgrund des Raubbaus in den tropischen Regenwäldern wurde in den 1980er Jahren von Umweltverbänden zum Boykott von Tropenholz aufgerufen. Da der gewünschte

Erfolg ausblieb, wurde Anfang der 1990er Jahre gemeinsam mit den Waldbesitzern und Vertretern der Forstindustrie ein neuer Lösungsansatz mit einem einheitlichen Label entwickelt. Dies sollte die über 600 vorhandenen Labels mit häufig unklaren Aussagen für Forst-, Holz- und Faserprodukte mit dem Nachweis, dass das eingesetzte Holz nicht aus Raubbau und Urwaldzerstörung stammt, ersetzen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde 1993 das Zertifizierungsverfahren „**Forest Stewardship Council**“ – **FSC mit dem FSC-Label eingeführt** (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Weil sich das FSC Siegel aber vor allem auf Tropenwälder bezieht und die Industrienationen zeigen wollten, dass nicht nur gegenüber den Entwicklungsländern Anforderungen gestellt werden, wurde darauf aufbauend das FSC Siegel auf ein weltweit anwendbares Zertifizierungsverfahren erweitert. Hierbei ist über ein System von Anforderungen und Audits bei Holzprodukten und Papier der Nachweis der Herkunft aus nachhaltiger Waldwirtschaft zu erbringen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Aufgrund der mit dem Zertifizierungsverfahren verbundenen Kosten sowie des Verwaltungs- und Überwachungsaufwands und wegen des gleichen Mitspracherechts der Umweltverbände, lehnten viele europäische Waldbesitzer das FSC-Verfahren ab. Wegen des Drucks der Öffentlichkeit gründeten Waldbesitzerverbände und Forstindustrie ab Mitte der 1990 Jahre ein alternatives Labelsystem in Europa, das **Pan European Forest Certification System (PEFC)**. In Nordamerika wurde die **Sustainable Forestry Initiative (SFI)** ins Leben gerufen. Mittlerweile gibt es auch in Lateinamerika, Asien und Australien derartige Labelssysteme. Aus den verschiedenen Labels haben sich das FSC und PEFC Siegel als die international wichtigsten Zertifizierungssysteme durchgesetzt (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Aus dem Vergleich beider Systeme ergibt sich, dass beide nahezu das gleiche Grundprinzip haben: Ein Kriterienkatalog definiert die Anforderungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung und den Schutz des Waldökosystems. Verschiedene Mechanismen überwachen die Einhaltung der Kriterien. Die Zertifizierung des Holzes erfolgt nach erfolgreicher Auditierung. Unternehmen, die die Label für Ihre Produkte anwenden möchten, müssen ebenfalls bestimmte Anforderungen erfüllen und werden ebenfalls mittels Auditierung geprüft. Die unabhängige Zertifizierungsprüfung erfolgt durch akkreditierte Auditoren. Zwischen den beiden Systemen herrscht eine gewisse Konkurrenzsituation, weil beide einen hohen Anteil an zertifizierten Wäldern und zertifizierten Verarbeitern gewinnen wollen. Außerdem ist strittig, ob beide Systeme gleichwertig und gleich nachhaltig sind (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013).

Insgesamt hat die Fläche zertifizierter Wälder von 1998 mit ca. 12 Millionen Hektar bis 2008 mit ca. 300 Millionen Hektar, was ca. 7,6 % der globalen Waldfläche entspricht, stark zugenommen. Insgesamt sind etwa 50 % der europäischen Waldflächen und 34 % der nordamerikanischen Wälder zertifiziert. Bei den Schwellen- und Entwicklungsländern beträgt der Anteil nur 1 % in Lateinamerika, 0,4 % in Afrika und 0,3 % in Asien. Von den insgesamt zertifizierten 300 Mio. Hektar, sind rund zwei Drittel nach PEFC anerkannten Standards und etwa ein Drittel nach FSC-Standard zertifiziert. Trotz des geringeren Flächenanteils weist das FSC-System eine größere Produktvielfalt sowie ein breiteres und größeres Verteilnetz auf. Diverse Untersuchungen wie Footprint in the Forest von FERN behaupten, dass das FSC-System das nachhaltigere und objektivere System ist und das in PEFC zertifizierten Wäldern teilweise Fällungen in besonders schützenswerten Wäldern zugelassen werden. Eine vom Verband der europäischen Papierindustrie CEPI beauftragte Vergleichsstudie kommt hingegen zu dem Schluss, dass die Anforderungen der beiden Systeme nahezu gleich sind. PEFC vertritt die Auffassung, dass das PEFC System kostengünstiger sei und auf besonders übertriebene Anforderungen des FSC-Siegels verzichte. FSC versteht sich hingegen als das Qualitätslabel, das ein nennenswert höheres Anspruchsniveau garantiert und als einziges System Missstände weitestgehend vermeidet. Die höheren Kosten werden für vertretbar gehalten (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2013). Aufgrund der einseitigen Interessenslage des PEFC-Systems und der geringeren Auditierungsanforderungen empfiehlt die Autorin die Anwendung/Übertragung des FSC- Verfahrens für Holzhackschnitzel.

### **Nachhaltigkeitsanforderungen für flüssige Biomasse**

Für flüssige Biomasse wurden Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe von Lutzenberger 2009 wie folgt aufgestellt. Für den Bereich Ökologie der Klimaschutz, die Erhaltung der Biodiversität sowie der Schutz von Boden und Wasser. Für die Ökonomie die Förderung des ländlichen Raums, die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Reduzierung der Abhängigkeit von Energieimporten und für den Bereich Soziales die Versorgungssicherheit und bezahlbare Preise für Energie und Lebensmittel (Lutzenberger, 2009).

Weitere Nachhaltigkeitsanforderungen für flüssige Biomasse insbesondere der Nachweis des Treibhausgasreduzierungs potentials sind in der BioSt-NachV<sup>8</sup> definiert.

Nachfolgend wird untersucht, welche Nachhaltigkeitsanforderungen aus der BioSt-NachV neben dem Zertifizierungssystem für den Primärenergieträger

---

<sup>8</sup> Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung - BioSt-NachV: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung

Holzhackschnitzel zur Versorgung von Nahwärmenetzen sinnvoll anwendbar sind, bzw. hierfür angepasst werden können. Hierzu werden vorab die Anforderungen der BioSt-Nachverordnung aus § 3 zusammengefasst und bewertet.

Schutz natürlicher Lebensräume nach §§ 4 bis 6. Hierzu zählt der Schutz von Flächen mit hohem Naturschutzwert sowie hoher biologischer Vielfalt. Dazu gehören bewaldete Flächen und Grünland mit großer biologischer Vielfalt. Weiterhin Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand wie z. B. Feuchtgebiete und Torfmoore sowie kontinuierlich bewaldete Gebiete. Das bedeutet, dass diese Flächen nicht für die Biomasseproduktion umgewandelt werden dürfen und die flüssige Biomasse nicht von diesen Schutzflächen stammen darf.

Bei fester Biomasse für Biomasseheizwerke betrifft dies bewaldete Flächen mit einheimischen Baumarten. Das heißt, dass Holzhackschnitzel aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung stammen – maximale Holzentnahme in Höhe der Zuwachsrate. Aufgrund der Naturschutzbestimmungen und hierfür ausgewiesenen Flächen, dürfen besonders schützenswerte Waldgebiete nicht forstwirtschaftlich genutzt werden. Die Hackschnitzelproduktion muss somit in Deutschland aus Wäldern stammen, die nicht diesen Schutzcharakter aufweisen. Um sicher zu stellen, dass dies global ebenso gehandhabt wird, macht die Einführung dieser Nachhaltigkeitsanforderung für feste Biomasse zur Wärmeversorgung Sinn.

Flüssige Biomasse kann bei Nahwärmenetzen in Biogasanlagen (KWK-Anlagen) zum Einsatz kommen. In der nördlichen Oberpfalz sind dies fast ausschließlich landwirtschaftliche NaWaRo-Biogasanlagen<sup>9</sup> mit dem Schwerpunkt auf die Stromeinspeisung. Die produzierte Biomasse darf demnach z. B. nicht von Grünlandflächen mit hoher biologischer Vielfalt (Artenvielfalt), naturbelassenen Flächen (ohne menschliche Eingriffe) oder ausgewiesenen Naturschutzflächen stammen.

Die Biomasse muss aus einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung laut § 7 stammen: „Der Anbau von Biomasse zum Zweck der Herstellung von flüssiger Biomasse muss bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten in einem Mitgliedstaat der Europäischen Union gemäß den Bestimmungen, die in Anhang II Nummer 1 bis 5 und 9 der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe (ABl. L 30 vom 31.1.2009, S. 16) aufgeführt sind, und 2. im Einklang mit den

---

<sup>9</sup> NaWaRo-Biogasanlagen: Biogasanlagen zur Vergärung flüssiger Biomasse aus nachwachsenden Rohstoffen wie z.B. Mais, Getreide, Grünland und Gülle aus landwirtschaftlichen Betrieben.

Mindestanforderungen an den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand im Sinne von Artikel 6 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr.73/2009 erfolgen.“

Die Regelung kann für holzartige Biomasse insofern auf die Forderung abgewandelt werden, dass die Biomasse aus einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung stammt. Hier kann man sich an dem Zertifizierungssystem FSC orientieren.

Die eingesetzte flüssige Biomasse muss nach § 8 das Treibhausgas-Minderungspotenzial von mindestens 35 %, ab 1.1.2017 50 % und ab 1.1.2018 60 % erfüllen. Hierbei hat die Berechnung des Treibhausgas-Minderungspotenzials anhand tatsächlicher Werte gem. der in Anlage 1 der BioSt.-NachV beschriebenen Methode, die nachfolgend auszugsweise dargestellt ist, zu erfolgen:

„1. Die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung, Lieferung und Verwendung von flüssigen Brennstoffen (flüssige Biomasse und Fossilbrennstoffe) werden wie folgt berechnet:

$$E = eec + el + ep + etd + eu - esca - eccs - eccr - eee$$

Dabei sind:

E = Gesamtemissionen bei der Verwendung des flüssigen Brennstoffs,

eec = Emissionen bei der Gewinnung der Rohstoffe, insbesondere bei Anbau und Ernte der Biomasse, aus der die flüssige Biomasse hergestellt wird,

el = auf das Jahr umgerechnete Emissionen auf Grund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen,

ep = Emissionen bei der Verarbeitung,

etd = Emissionen bei der Lieferung,

eu = Emissionen bei der Nutzung des flüssigen Brennstoffs,

esca = Emissionseinsparungen durch Anreicherung von Kohlenstoff im Boden infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken,

eccs = Emissionseinsparungen durch Abscheidung und geologische Speicherung von Kohlendioxid,

eccr = Emissionseinsparungen durch Abscheidung und Ersetzung von Kohlendioxid,

eee = Emissionseinsparungen durch überschüssigen Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung.

Die mit der Herstellung der Anlagen und Ausrüstungen verbundenen Emissionen werden nicht berücksichtigt.

2. Die durch flüssige Brennstoffe verursachten Treibhausgasemissionen (E) werden in Gramm Kohlendioxid-Äquivalent je Megajoule flüssiger Brennstoff (g CO<sub>2</sub>eq/MJ)



angegeben.

3. (nicht belegt).

4. Die durch die Verwendung von flüssiger Biomasse erzielten Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen werden wie folgt berechnet:

$$\text{EINSPARUNG} = (\text{EF} - \text{EB})/\text{EF}$$

Dabei sind:

EB = Gesamtemissionen bei der Verwendung der flüssigen Biomasse,

EF = Gesamtemissionen des Vergleichswerts für Fossilbrennstoffe.

5. Die für die in Nummer 1 genannten Zwecke berücksichtigten Treibhausgase sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>). Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalenz werden diese Gase wie folgt gewichtet:

CO<sub>2</sub>: 1

N<sub>2</sub>O: 296

CH<sub>4</sub>: 23

6. Die Emissionen bei der Gewinnung oder beim Anbau der Biomasse (eec) schließen die Emissionen des Gewinnungs- oder Anbauprozesses selbst, beim Sammeln der Rohstoffe, aus Abfällen und Leckagen sowie bei der Herstellung der zur Gewinnung oder zum Anbau verwendeten Chemikalien ein. Die Kohlendioxid-Bindung beim Anbau der Biomasse wird nicht berücksichtigt. Alternativ zu den tatsächlichen Werten können für die Emissionen beim Anbau Schätzungen aus den Durchschnittswerten abgeleitet werden, die für kleinere als die bei der Berechnung der Standardwerte herangezogenen geografischen Gebiete berechnet wurden.

7. Die auf Jahresbasis umgerechneten Emissionen aus Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen (el) werden durch gleichmäßige Verteilung der Gesamtemissionen über 20 Jahre berechnet. Diese Emissionen werden wie folgt berechnet:

$$\text{el} = (\text{CSR} - \text{CSA}) \times 3\,664 \times 1/20 \times 1/P - \text{eB}$$

Dabei sind:

el = auf das Jahr umgerechnete Treibhausgasemissionen aus Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen (gemessen als Masse an Kohlendioxid-Äquivalent je Energieeinheit der flüssigen Biomasse),

CSR = der mit der Bezugsfläche verbundene Kohlenstoffbestand je Flächeneinheit (gemessen als Masse an Kohlenstoff je Flächeneinheit einschließlich Boden und Vegetation). Die Landnutzung der Bezugsflächen ist die Landnutzung zum

Referenzzeitpunkt oder 20 Jahre vor der Gewinnung des Rohstoffes, je nachdem, welcher Zeitpunkt der spätere ist,

CSA = der mit der tatsächlichen Landnutzung verbundene Kohlenstoff-bestand je Flächeneinheit (gemessen als Masse an Kohlenstoff je Flächeneinheit einschließlich Boden und Vegetation). Wenn sich der Kohlenstoffbestand über mehr als ein Jahr anreichert, gilt als CSA-Wert der geschätzte Kohlenstoffbestand je Flächeneinheit nach 20 Jahren oder zum Zeitpunkt der Reife der Pflanzen, je nachdem, welcher Zeitpunkt der frühere ist,

P = die Pflanzenproduktivität (gemessen als Energie der flüssigen Biomasse je Flächeneinheit je Jahr) und

eB = Bonus von 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ flüssiger Biomasse, wenn die Biomasse nach Maßgabe der Nummer 8 auf wiederhergestellten degradierten Flächen angebaut wird.

8. Der Bonus von 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ wird gewährt, wenn der Nachweis erbracht wird, dass die betreffende Fläche

a) zum Referenzzeitpunkt nicht landwirtschaftlich oder zu einem anderen Zweck genutzt wurde und

b) unter eine der folgenden zwei Kategorien fällt:

aa) stark degradierte Flächen einschließlich früherer landwirtschaftlicher Flächen oder

bb) stark verschmutzte Flächen.

Der Bonus von 29 g CO<sub>2</sub>eq/MJ gilt für einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren ab dem Zeitpunkt der Umwandlung der Fläche in eine landwirtschaftliche Nutzfläche, sofern ein kontinuierlicher Anstieg des Kohlenstoffbestands und ein nennenswerter Rückgang der Erosion auf Flächen nach Satz 1 Buchstabe b Doppelbuchstabe aa gewährleistet werden und die Bodenverschmutzung auf Flächen nach Doppelbuchstabe bb gesenkt wird...“ (BioSt-NachV)

Grundsätzlich lässt sich das Berechnungsverfahren auch für feste Biomasse anwenden. Aufgrund der fehlenden Einspeisevergütung ist die Forderung zur Berechnung an die Produzenten/Betreiber durch Umweltgutachter zu aufwendig und kostenintensiv. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen kann durch die Anwendung des Emissionsfaktors wie unter 4.2.1 beschrieben, ebenso erfolgen. Daher sollten lediglich die Nachhaltigkeitskriterien für die Herkunft des Holzes und die Berechnung der Emissionen mittels Emissionsfaktor, angewendet werden.

Angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Indikatorensysteme von verschiedenen Institutionen und Gruppen mit unterschiedlichen Schwerpunkten, werden für die

Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren für Nahwärmenetze die folgenden Schwerpunkte ausgewählt.

Vor dem Hintergrund welcher Primärenergieträger für die Wärmeversorgung zum Einsatz kommt, sind Indikatoren für die Produktherstellung mit Ressourcen- und Flächenverbrauch, sowie für die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen relevant. Die Methodik zur Indikatorenentwicklung und -auswahl wird im folgenden Kapitel beschrieben.

## 5 Methodik

Ziel der Arbeit ist die Definition von Indikatoren zur Bewertung von Nahwärmeverorgungsnetzen auf Basis regenerativer Energien im Vergleich zum Referenzszenario. Mit Ihnen soll ein Bewertungssystem als Planungshilfe zur Realisierung nachhaltiger und energieeffizienter Nahwärmenetze entwickelt werden. In der Vergangenheit wurde der Aspekt der starken Nachhaltigkeit bei der Planung und Realisierung von Nahwärmeprojekten insbesondere bei Biogasnutzung mittels Kraft-Wärme-Kopplung mit dem Fokus auf die Stromerzeugung und nicht auf die Wärmenutzung, nicht hinreichend berücksichtigt. Dies hat teilweise zu fatalen Auswirkungen für die Umwelt z. B. durch Maismonokulturen oder Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenzen geführt.

Gleiches gilt auch für Biomasseheizkraftwerke, die aufgrund ihrer Größe die benötigte Biomasse über große Strecken transportieren müssen, da diese vor Ort oft nicht in den benötigten Mengen verfügbar sind und die neben dem Strom erzeugte Wärme oft nicht vollständig genutzt werden kann.

Die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien bei Nahwärmeprojekten zielt daher darauf ab, Ressourcen in dem Umfang wie sie sich regenerieren zu nutzen, sowie die erzeugte Wärme möglichst effizient und mit minimalen Emissionen und Ressourcenverbrauch zu produzieren und zu verwenden. Nachhaltige Nahwärmeprojekte können so langfristig einen Beitrag zur Erhaltung von Ökosystemen und zum sozialen Wohlstand leisten.

Die Nachhaltigkeitsindikatoren für Wärmenetze sollen als Beurteilungsinstrument zur Messung der gesteckten Ziele dienen. Hierbei sollen Informationen und Daten gezielt zusammengefasst werden um eine entsprechende Bewertung vornehmen zu können. Als Ergebnis sollten komplexe Systeme und Zusammenhänge verständlich gemacht werden und aktuelle Zustände prüfbar abgebildet werden. Weiterhin sollten die Indikatoren dazu motivieren durch verändertes Handeln nachhaltige Ziele zu erreichen.

Im folgenden Kapitel wird die Methodik für aggregierte Indikatoren welche für die Definition und die Entwicklung der Nachhaltigkeitsindikatoren ausgewählt wurde, erläutert. Hierbei erfolgt die Indikatorenklassifikation in Gruppen- und Einzelindikatoren für die Bereiche Input-, Output-, Effizienz- und Bilanzindikator.

Als Praxisbeispiel zur Entwicklung und Anwendung der Indikatoren für „regenerative“ Nahwärmenetze wurde das Projekt solare Nahwärme-Speichersdorf und das Projekt Biomasse-Nahwärme Mitterteich herangezogen. Um auch den Einsatz der Geothermie zu bewerten, wurde auf der Grundlage der Projektdaten von Speichersdorf eine

hydrothermale Geothermieanlage entwickelt. Als Referenzwert dient die dezentrale Energieversorgung auf Heizöl- und Erdgasbasis. Die einzelnen Versorgungsvarianten sind ab 7.7 beschrieben.

Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung von ökologischen Nachhaltigkeitsindikatoren für Nahwärmenetze, da gemäß Auffassung der Autorin, die Erreichung umweltbezogener Ziele mittel- und langfristig auch zur Verbesserung wirtschaftlicher und sozialer Strukturen führt. Die Anwendung der Indikatoren an den genannten Projektbeispielen soll aufzeigen, welche Umweltauswirkungen die Nahwärmeversorgungsvarianten verursachen. Weiterhin wird gezeigt, welche ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile für die Wärmelieferanten und Wärmekunden (wie z. B. Gemeinden und Nutzer) sich daraus ergeben. Daher werden für den Bereich Wirtschaft und Soziales die Indikatoren aufgezeigt, die die Entwicklung lokaler und regionale Veränderungen aufzeigen.

### **5.1 Nachhaltigkeitsindikatoren zur Vereinfachung komplexer Zusammenhänge**

Die Nachhaltigkeitsindikatoren sollen dazu beitragen, die Komplexität der teilweise gegenläufigen Ziele von Ökologie, Ökonomie und sozialen Aspekten für Steuerungs- und Entscheidungsprozesse für eine nachhaltige Entwicklung, zu vereinfachen.

Die Indikatoren werden als quantitative und qualitative Kenngröße verwendet, um die Auswirkungen des Systems „Nahwärmenetz“ nachvollziehbar abzubilden. Der einzelne Indikator, also der jeweilige Tatbestand (z.B. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmeerzeugung), wird für einen definierten Betrachtungszeitraum, in repräsentativer Form abgebildet und ermöglicht Aussagen über dessen Zustand und Weiterentwicklung.

Insbesondere, wenn das einzelne Projekt im Fokus der Betrachtung steht, sollte ein Indikatorensystem die Wechselwirkungen des Projekts mit den regionalen und überregionalen Herausforderungen systematisch darstellen und nachvollziehbar machen. In jedem Fall wird dabei versucht, einen komplexen Sachverhalt mit unterschiedlichen Aspekten in einfache messbare Zahlen auf einer möglichst normierten Skala zu überführen. Dies ermöglicht Entscheidungen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten für die Projektrealisierung mit ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Gesichtspunkten, sowohl für das Einzelprojekt, als auch auf höher gelagerten Ebenen.

Mit dieser Arbeit sollen Nachhaltigkeitsindikatoren als Indikatorensystem die Wechselwirkung zwischen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension, für die Entwicklung nachhaltiger Nahwärmeversorgungssysteme erfassen.

## 5.2 Forschungsfrage

Die Arbeit befasst sich mit der Fragestellung welche Indikatoren bzw. Indikatorensysteme geeignet sind, um Nahwärmeversorgungssysteme primär auf ihre ökologische Nachhaltigkeit zu überprüfen.

Zur Erreichung der Ziele einer rationellen Umweltpolitik definiert Lehmann folgendes Handlungsraaster: Als erstes wird das mögliche Risiko oder die Gefährdung eines Schutzguts wie z. B. Gesundheit oder von Umweltmedien aufgezeigt und der Istzustand erfasst. Daraus wird das gewünschte Umweltqualitätsziel definiert. Aus dem Istzustand des Schutzguts werden anschließend entsprechende Umwelthandlungsziele entwickelt, die nach Identifizierung der Ursachen entsprechende Gegenmaßnahmen und Instrumente vorgeben. Durch ein entsprechendes Monitoring werden die Wirkungen der eingeleiteten Maßnahmen zur Erreichung der Umweltqualitätsziele dann überprüft (Lehmann H. P., 2010).

Um dieses Handlungsraaster in der Praxis anzuwenden, wird die Vorgehensweise zur Definition und Eingrenzung der Nachhaltigkeitsindikatoren für Nahwärmenetze reduziert übertragen. Das Aufzeigen des möglichen Risikos oder die Gefährdung von Schutzgütern und Erfassung des Istzustands erfolgt über Input- und Outputindikatoren, über die die gewünschten Umweltqualitätsziele definiert werden. Die Wirkungen der eingeleiteten Maßnahmen zur Erreichung der Umweltqualitätsziele soll dann durch Effizienz- und Bilanzindikatoren überprüft werden.

Um hierfür geeignete Indikatoren zu definieren, sind folgende Fragestellungen zur Erreichung der Umweltqualitätsziele und zur Überprüfung der Vorgehensweise und Ergebnisse zu klären.

1. Welche Umweltqualitätsziele sollen erreicht werden?
2. Existieren bereits Indikatorensysteme und Modelle für eine nachhaltige Wärmeversorgung und wo besteht weiterer Entwicklungsbedarf?
3. Welche Kriterien muss ein Indikatoren- und Bewertungsschema erfüllen um verschiedene Wärmeversorgungssysteme vergleichen zu können?
4. Durch welche Indikatoren lässt sich bewerten, ob sich die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzten Umweltqualitätsziele entwickelt?
5. Wie hat die Gestaltung des Indikatorensystems zu erfolgen, um es möglichst praxistgerecht mit verträglichem Aufwand und Kostenrahmen anzuwenden?

## Beantwortung der Fragestellung

1. Als Umweltqualitätsziel wird eine Verbesserung der Umweltauswirkungen und damit Nachhaltigkeit durch die Nahwärmeversorgungsvarianten um mindestens 75 % im Vergleich zum Istzustand der Wärmeversorgung auf fossiler Basis definiert.
2. Es existiert eine Vielzahl von Indikatorsystemen die von verschiedenen Organisationen entwickelt wurden (siehe hierzu auch Kapitel 4). Nachfolgend werden die wichtigsten zusammengefasst. Die internationale Kommission für nachhaltige Entwicklung der UN CSD/1996 hat Indikatoren für die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales entwickelt. Die internationale Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD 1998 hat ihren Schwerpunkt auf die Bildung ökologischer Indikatoren gelegt. Nationale Indikatoren zur Ökologie wurden vom Umweltbundesamt mit dem Kern-Indikatorenset (KIS) veröffentlicht. Der allgemein anerkannte Modellrahmen für Indikatoren ist der Pressure-State-Response-(PSR) Ansatz. Hierbei steht Pressure für den „Druck“ auf die Umwelt z. B. durch Verbrennung fossiler Energien. „State“ bildet den Zustand der Umwelt aufgrund menschlicher Aktivitäten ab und „Response“ steht für Verantwortung und zeigt die eingeleiteten Gegenmaßnahmen auf. Weiterhin wurden auf nationaler und kommunaler Ebene Indikatoren von verschiedenen Institutionen wie dem Wuppertal Institut oder der Helmholtz Gesellschaft für verschiedene Bereiche entwickelt. Für den Bereich Landwirtschaft wurden von der OECD für die Dimension Wirtschaft und Soziales 2001 Indikatoren entwickelt. Weiterhin wurden für Niedersachsen von der Leuphana Universität Indikatoren für eine nachhaltige Landwirtschaft entwickelt. In der Forstwirtschaft ist z. B. das FSC Siegel Ergebnis der Indikatorenbildung. Darüber hinaus wurden allgemeine gesellschaftliche Indikatorsysteme von diversen Institutionen und kirchlichen Einrichtungen erarbeitet. Hieraus hat sich z. B. die AGENDA 2010 auf kommunaler Ebene entwickelt. Für strombasierte Energieerzeugungssysteme wurden in der Arbeit „Grundlagen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Energiesystemen in Baden-Württemberg“ (Marco dos Santos Bernades, 2002) Indikatoren entwickelt. Diese sind jedoch nicht direkt auf Nahwärmeversorgungssysteme anwendbar. Mittels der von BASF entwickelten Ökoeffizienzanalyse wurden Indikatoren entwickelt um in Unternehmen z. B. verschiedene Herstellungsprozesse zu vergleichen. Die Ökoeffizienzanalyse wurde von Wingas angewendet um verschiedene Wärmeerzeugungssysteme für Einfamilienhäuser wie Brennwertkessel, Pelletkessel, BHKW u. a. zu vergleichen. Hierbei ist anzumerken, dass der kumulierte Energieaufwand (siehe hierzu unter 7.2.1.2) für fossile Energieträger gleich bewertet wurde wie für erneuerbare Energieträger. Dadurch schnitt in der Bewertung der Holzpelletkessel schlecht und der

Erdgaskessel gut ab. Weiterhin existieren verschiedene Arbeiten bei denen der kumulierte Energieaufwand von Brennwertkesseln im Vergleich zur Wärmepumpe gesetzt wurde wiederum nur für den Einfamilienhausbereich. Explizit für Nahwärmeversorgungssysteme zur Versorgung vieler Liegenschaften insbesondere zum Wärmenetz selbst, existieren derzeit keine Indikatorensysteme. Daher besteht hier Entwicklungsbedarf. Bei der Bildung der Indikatoren und den Berechnungen wurde der Schwerpunkt deshalb auf die Wärmeerzeugung inkl. Netzverlust sowie auf die Herstellung des Netzes und die Netzlänge gelegt.

3. Um verschiedene Nahwärmeversorgungssysteme vergleichen zu können, wurden Indikatoren ausgewählt, die für verschiedene Wärmeversorgungsarten angewendet werden können (siehe hierzu unter 7.2). Für die Vergleichbarkeit wurden alle Indikatoren auf die kWh Nutzwärme normiert.

4. Die Anforderungen und Prüfkriterien an das Indikatorensystem sind unter 5.3.1 beschrieben.

5. Um den Aufwand und den Kostenrahmen zur Anwendung der Indikatoren auf ein umsetzbares Maß zu minimieren, erfolgte die Entwicklung der Szenarien und Berechnung der Indikatorergebnisse mit dem Programm GEMIS 4.8 welches kostenfrei zugänglich ist. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Excel. Dadurch ist die Anwendung der Indikatoren nachvollziehbar und frei zugänglich.

### **5.3 Entwicklung eines Indikatorensystems für eine nachhaltige Wärmeversorgung**

Wie unter 2.1.8 erläutert, basiert die Entwicklung des Indikatorensystems auf dem Leitgrundsatz der starken Nachhaltigkeit mit dem integrativem Ansatz aus dem HGF-Konzept und dem Ziel, Nahwärmeversorgungssysteme im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit bewerten zu können,

Hierzu werden anhand verschiedener Projektbeispiele (siehe ab 7.2) Gesichtspunkte wie z. B. Energieverbräuche und Emissionen ermittelt und gegenübergestellt.

Ziel ist Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen einem einzelnen Wärmeversorgungsprojekt und einer Region am Beispiel des Energiekonzepts für die Region Landkreis Tirschenreuth aufzuzeigen. Hierbei sollen die Verflechtungen und Wirkungsbeziehungen im Hinblick auf ökologische, ökonomische, und soziale Faktoren von der kommunalen Basis auf die Region und möglichst darüber hinaus transferiert werden. Vervielfacht man einzelne regenerative nachhaltige Projekte mit begrenzter Wirkung, entsteht dadurch eine nachhaltige Entwicklung in der Region.



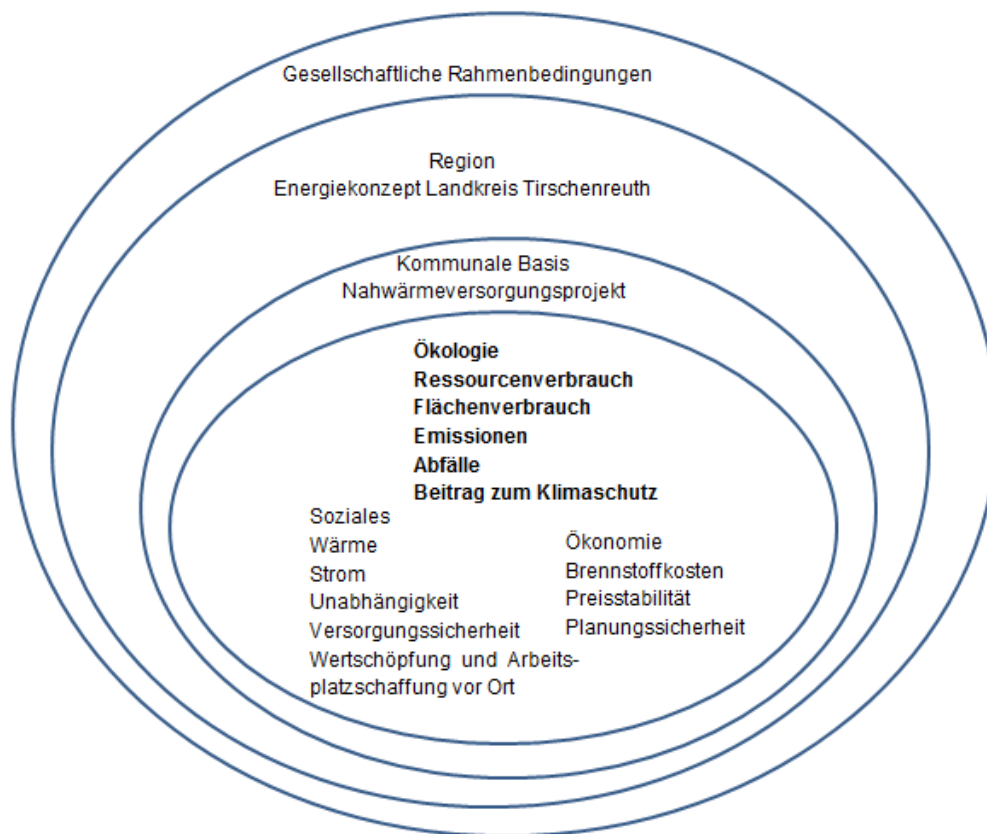


Abbildung 11: Modell Nachhaltigkeitsindikatorensystem für Wärmeversorgung – eigene Darstellung

In Abbildung 11 werden die gegenseitigen Verflechtungen und Beziehungsstrukturen zwischen Region und kommunaler Basis für das Indikatorensystem mit den ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen mit den wichtigsten Handlungsfeldern dargestellt.

Die einzelnen Handlungsfelder (z. B. geringe Emissionen vor Ort - reduzieren den Emissionsanteil in der Region oder Wertschöpfung vor Ort stärkt die Kaufkraft in der Region), haben direkten Einfluss und Rückkopplung auf die Region. Der Landkreis (Lkr.) Tirschenreuth bildet den Bezugs- und Bewertungsrahmen für die Indikatoren. Hierzu arbeitet die Autorin mit den Daten aus dem Klimaschutzkonzept des Lkr. Tirschenreuth (ZREU 2011) und dem kommunalen Nahwärmeversorgungsprojekten am Beispiel der Bioenergie Mitterteich und der Bioenergie Speichersdorf welche in enger Beziehung zum Landkreis Tirschenreuth stehen, mit der Datengrundlage aus der eigenen Projektarbeit.

Das Indikatorensystem orientiert sich am Leitgedanken der starken Nachhaltigkeit mit der Ökologie als Fundament für die wirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkte als integrativer Ansatz, in Anlehnung an das HGF-Konzept wie in Kapitel 2 beschrieben. Aus dem dimensionsübergreifenden Modell ergibt sich der Begründungsrahmen für die

Analyse. Die regionalen Referenzwerte zeigen den Istzustand der Umwelt sowie der Wirtschaft und dem sozialen Bereich an.

Über die Kreissymbole werden die direkten Verflechtungen und Zusammenhänge zwischen dem einzelnen Handlungsfeld mit Wirkung auf die kommunale und regionale und zuletzt gesellschaftliche Ebene dargestellt. Somit ist das einzelne Puzzlestück Teil des ganzen Systems welches nur als Ganzes betrachtet, ein vollständiges Bild ergibt. Vergleichbar mit dem komplexen Aufbau und Zusammenspiel des menschlichen Körpers welcher im „Kleinen“ aus einzelnen Atomen und Zellen und im „Großen“ aus Organen und Gliedmaßen besteht, die über das Nervensystem und durch biologisch chemische Vorgänge in direkter und indirekter Wechselwirkung stehen.

Den äußeren Kreis bilden die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen wie z. B. gesetzliche Vorgaben, Klimaveränderungen und Preisentwicklungen fossiler Energieträger, die mit in den Bewertungsrahmen einbezogen werden und Einfluss auf die regionale und kommunale Ebene haben. Durch diese Einflussgrößen (z. B. Förderung nachhaltiger erneuerbarer Energien) soll dargestellt werden, welche Auswirkungen (Umsetzung von Maßnahmen und Projekten) diese haben können. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sollen Impulse für die Region und die Kommunale Ebene gegeben werden.

### **5.3.1 Kriterien zur Prüfung des Indikatorensystems für Nahwärmenetze (NW-Indikatoren)**

Das Bestreben besteht darin ein Indikatorensystem zu entwickeln, das in den kommenden Jahren für die Bewertung von Nahwärmeversorgungssystemen relevant ist. Dafür ist es notwendig entsprechende Anforderungen aufzustellen.

Als Grundgerüst der Anforderungen dienen die Prüfkriterien der GP-Forschungsgruppe<sup>10</sup>. Diese sind laut (Leuphana Universität, 2011, S. 10):

- Vollständigkeit
- Leitbildbezug
- Kommunizierbarkeit

---

<sup>10</sup> Die GP-Forschungsgruppe des Instituts für Grundlagen und Programmforschung erstellt Studien, Analysen und Gutachten und hat vergleichende Analysen entwickelt zu den fünf verschiedenen Nachhaltigkeits-Indikatorensätzen: Indikatoren im Rahmen einer lokalen Agenda 21 (Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft), Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung in Nordrhein-Westfalen im Bereich „Bau und Energie“ (Energieagentur NRW), Nachhaltigkeitsindikatoren für die Stadt Zürich (Stadtentwicklung der Stadt Zürich), Zukunftsfähige Kommune (Deutsche Umwelthilfe u. a.), Städte der Zukunft (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung). Drei nach dem Top-down-Ansatz (von oben vorgeben) und zwei nach dem Bottom-up-Ansatz (an der Basis entwickelt). Für die Analysen hat die GP-Forschungsgruppe Prüfkriterien entwickelt (Achener Stiftung Kathy Beys).

- Handlungsbezug
- Datenverfügbarkeit
- Konsistenz
- Sensitivität und
- Kompatibilität.

In Bezug auf das Indikatorensystem für Wärmenetze erfolgt erst die Analyse bestehender Indikatoren und Prüfung der Anwendbarkeit für Wärmeversorgungsnetze. Darauf aufbauend erfolgt die Weiterentwicklung der Indikatoren anhand der in ab 7.7 benannten Nahwärmeversorgungsprojekte.

Die ausführliche Strukturierung und Erläuterung der Methodik der Indikatoren welche im Folgenden aufgeführt wird, soll eine zuverlässige Beschreibung der Zustände Ökologie, Ökonomie und Soziales in Bezug auf Wärmeversorgungsnetze darstellen. Die Leitplanke soll im Hinblick auf eine starke Nachhaltigkeit die Ökologie bilden, welche wiederum Auswirkungen auf Ökonomie und Soziologie hat.

Im Umsetzungsprozess spielt später auch die Verfügbarkeit und Messbarkeit der Daten und Indikatoren eine wichtige Rolle.

Nach (Dietrichs, Fritzsche, & Ismaier, 2000) sind folgende Anforderungen an die Datenlage, sinnvoll:

- Aktualität und Fortführbarkeit der Daten
- Konsistenz, Integrität und Redundanzfreiheit der Daten
- Dauerhaft, institutionalisierter Zugriff
- Erweiterungsmöglichkeiten der Informationsbasis
- Flächendeckender Datenbestand
- Kostengünstiger Datenerwerb und –erhaltung
- Zeitnahe Datenerhebung
- Nachvollziehbare Messbarkeit

Bei der Datenerhebung sollte es zwecks der Konsistenz möglichst zu keinen Überschneidungen und Wiederholungen bei der Indikatorfindung kommen. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung von Wärmeversorgungsnetzen sollten die Indikatoren technische Weiterentwicklungen und Veränderungen möglichst wiedergeben können, um Monitoringfunktionen zu erreichen. Die Veränderungen sollen am Beispiel von

lokalen Wärmeversorgungsprojekten ermittelt werden und möglichst auf andere Projekte und Regionen übertragen werden können. Damit wäre das Kriterium der Kompatibilität erreicht.

Ziel ist die Übertragbarkeit der Indikatoren von einzelnen Projekten auf Regionen oder sogar andere Länder. Um eine entsprechende Vergleichbarkeit und damit Koordinationsfunktion zu schaffen, ist es wichtig, die Daten aus verschiedenen Bereichen kombinieren zu können.

### **5.3.2 Formen der Informationsaggregation**

Die Klassifikation von verschiedenen Indikatoren ist hilfreich für das Ziel der Arbeit. Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Wärmeversorgungsnetzen dienen Indizes als Indikatoren. Unter einem Index versteht man eine einzelne dimensionslose und normierte Zahl. Mit dem Schwerpunkt der starken Nachhaltigkeit liegt das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung ökologischer Indikatoren. Die Dimension Ökonomie und Soziales wird deshalb jeweils nur mit einem Indikator abgebildet. Zur Bewertung von Wärmeversorgungsnetzen wird eine Skala entwickelt. Hierzu ist eine Transformation der Primärdaten notwendig. Vorab werden Indikatoren definiert, welche die Ergebnisse der Datenermittlung darstellen.

Die Aggregation von Indikatoren ist die Aufsummierung verschiedener Daten zu einem Erhebungskriterium. Die Zusammenfassung einzelner Indikatoren zu Gruppenindikatoren oder Composite Indikatoren ermöglicht eine Gesamtbewertung. Hierdurch werden mehrdimensionale Aspekte zusammengefasst, um die Beurteilung und Entscheidungsfindung zu erleichtern. Allerdings können zusammengesetzte Indikatoren auch falsch interpretiert und so zu Fehleinschätzungen und Entscheidungen führen. Daher ist bei der Indikatorenauswahl eine ausreichende Transparenz bei der Indikatorendefinition und dem verwendeten Aggregationsverfahren zu beachten. Zur Kontrolle ist die Überprüfbarkeit der Ergebnisse wichtig (DIW Berlin).

### **5.3.3 Indikatoraufbau**

Basierend auf der vorangegangenen Literaturrecherche werden die Systemstrukturen für die zur Anwendung kommenden Indikatoren festgelegt, welche sich an den Kriterien der Global Reporting Initiative (vgl. GRI G3.1 Guidelines 2010) anlehnen.

Die Auswahl der Indikatoren für das Indikatorensystem erfolgt nach der Relevanz für die unter 5.2 genannte Zielfragestellung. Weiterhin wird die den Indikatoren zu Grunde liegende Methodik erläutert. Diese umfasst die Datenermittlung wie z. B.

Projektdatenerhebung aus Vor-Ort-Begehungen und deren Auswertung. Ziel ist die einzelnen Schritte von der Datenaufnahme bis zur Auswertung und Interpretation des Ausgabewertes nachvollziehbar aufzuzeigen. Wichtige Begriffe, welche für das Verständnis des einzelnen Indikators wichtig sind, werden im Abkürzungsverzeichnis zusammengefasst. Um eine möglichst hohe Anwenderfreundlichkeit zu gewährleisten, wurde das nachfolgend beschriebene Aggregationsverfahren anderen Vorgehensweisen wie z. B. der Vektorberechnung vorgezogen.

Die Methodik für aggregierte Indikatoren erfolgt anhand der nachfolgend aufgeführten Prinzipien in Anlehnung an die Leitlinien der OECD von 2005 gemäß (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.).

Aufbauend auf einer klaren Fragestellung wird das Gesamtkonzept in Einzelindikatoren und Untergruppen unterteilt. Die Auswahlkriterien für Einzelindikatoren werden im Hinblick ob sie jeweils Input- oder Output-, Effizienz- oder Bilanzindikatoren abbilden, festgelegt.

Die Indikatorenauswahl erfolgt anhand Ihrer Zuverlässigkeit, Relevanz, Datenverfügbarkeit und Aktualität. Als Datengrundlage dienen Projektdaten und die Zusammenfassung der Erhebungen aus Klimaschutzkonzepten basierend auf Statistiken und Befragungen. Zur Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Projekten und regionalen Gesichtspunkten werden die Indikatoren möglichst auf einheitliche Bezugsgrößen normiert.

Um aufgrund fehlender Daten eine Verzerrung von Ergebnissen zu vermeiden, sollten die verwendeten Datengrundlagen möglichst vollständig sein. Datenlücken müssen daher entsprechend aufgezeigt werden.

Wegen der unterschiedlichen Einheiten der Einzelindikatoren sind diese vor der Aggregation auf die kWh Nutzwärme zu normieren. Hierzu soll eine Skalierung auf der Ebene von Einzel- und Gruppenindikatoren erfolgen. Um zu vermeiden, dass hierbei Informationen von Variablen verloren gehen, wird die Skalierung auf ein Wertesystem von -1 bis + 1 festgelegt.

Um die Ergebnisse im Wertesystem zwischen -1 und 1 darzustellen, erhält das Schlechteste Kriterium in den Wärmeversorgungsvarianten wie z. B. der KEA (siehe 7.2.1.2) nicht erneuerbar bei der Variante ÖGas, den höchsten Wert. Emissionen sollten somit einen möglichst niedrigen Wert erreichen. Um zu verhindern, dass durch diese Einstufung ein hoher Nutzungsgrad oder eine hohe regionale Wertschöpfung mit einem hohen Wert negativ bewertet werden, wird die Wertschöpfung und der Nutzungsgrad mit -1 multipliziert. Dadurch wird ein möglichst hoher Nutzungsgrad mit

einem negativen Vorzeichen in der Gesamtwertung berücksichtigt und kann so das Ergebnis verbessern.

Die Aggregation der Indikatoren erfolgt durch Multiplikation der einzelnen Indikatoren mit einer vorher festgelegten Gewichtung und anschließender Aufsummierung. Hierzu werden nach erfolgter Normierung und Festlegung der Kriterien die Ergebnisse mit der Gewichtung multipliziert und daraus die Summen der einzelnen gewichteten Indikatoren gebildet.

Die Überprüfung der Indikatoren kann in GEMIS durch Überprüfung der Datensätze und Prozesse nachvollzogen werden.

#### **5.4 Konzeptaufbau Nachhaltigkeitsindikatorensystem mit Indikatorgruppen**

Das Konzept für ein Nachhaltigkeitsindikatorensystem für Wärmenetze beschränkt sich auf vier Haupt-Indikatorgruppen mit dem Hauptargument der starken Nachhaltigkeit der Dimension Ökologie. Deshalb werden aus der Dimension Ökonomie nur die Aspekte aufgezeigt die Kosten und Wirtschaftlichkeit aufzeigen. Die Dimension Soziales wird in Verbindung mit der Ökonomie im Hinblick auf die regionale Wertschöpfung berücksichtigt. Aus der Vielzahl von Indikatoren und Gruppen wurden 4 Gruppen ausgewählt, um den Bearbeitungsaufwand auf ein umsetzbares Maß zu beschränken sowie um eine geeignete Übersichtlichkeit und Realisierbarkeit zu erreichen. Ziel ist neben dem theoretischen Ansatz die praktische Anwendbarkeit bei der Projektarbeit mit der Möglichkeit zur Übertragbarkeit auf verschiedene Projekte. Dies wird nur gewährleistet, wenn das System auch für Entscheidungsträger verständlich ist und mit überschaubarem Aufwand und einem vernünftigen Kostenrahmen von den Projektbearbeitern wie z. B. Planungsbüros oder Energieagenturen angewendet werden kann.

Dies erfolgt auch vor dem Hintergrund, dass derzeit viele gute wissenschaftlich orientierte Indikatorensysteme in der Praxis aufgrund ihrer Komplexität nahezu keine Anwendung finden.

Die vier Indikatorengruppen unterteilen sich in zwei Hauptgruppen. Dies ist zum einen die Ursache-Wirkungsgruppe, welche durch Input- und Output-Indikatoren abgebildet wird und zum anderen die Bewertungsgruppe, welche durch Effizienz- und Bilanzindikatoren dargestellt wird. Für Entscheidungsträger ist vor allem die zweite Gruppe relevant, da diese die Ergebnisse und Kennzahlen zur Beurteilung wiedergeben soll. Dadurch müssen sich Entscheidungsträger nicht in die zugehörigen detaillierten Hintergründe einarbeiten, was aus zeitlichen Gründen oft nicht möglich ist. Diese können bei Bedarf über die Input- und Outputindikatoren nachvollzogen werden.

Die erste Gruppe soll vor allem Planern und Beratern eine Hilfestellung geben um Nachhaltigkeitskriterien möglichst vor Projektbeginn mit einzubeziehen und Fehlplanungen und -beratungen wie z. B. Biogasanlagen welche mit Primärenergieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen ohne oder mit unzureichender Wärmenutzung betrieben werden, zu verhindern.

Die Indikatorgruppen setzen sich wiederum aus Einzelindikatoren zusammen welche verschiedene Kriterien und Aspekte abbilden. Die Einzelindikatoren werden auf die Hauptkomponenten Wärmeerzeugung und Netz mit der Systemgrenze Hausübergabestation bezogen, um eine mögliche Kombination verschiedener Technologien, Primärenergien und Wärmequellen zu ermöglichen. Dadurch kann man die Einzelindikatoren aus verschiedenen Wärmeerzeugungssystemen kombinieren und aufaddieren.

Die Skalierung erfolgt in dimensionslosen Zahlen von -1 bis 1 mit dem Hauptaugenmerk auf die starke Nachhaltigkeit. Hierbei werden nicht wieder-bringbare Güter / Ressourcen oder irreparable Umweltschäden am stärksten gewichtet also mit den höchsten Werten. Um die Bewertung möglichst wertneutral darzustellen wurde die dimensionslose Skalierung gewählt.

Die Einzelindikatoren in den Gruppen werden gewichtet und letztlich zu einem Gesamtindikator dem Bilanzindikator, zusammengefasst.

Durch die Gewichtung wird für die Indikatoren eine unterschiedliche Wertigkeit erreicht. So werden die Outputindikatoren höher gewichtet, da diese das Maß der Umweltbelastung darstellen und hier meist stärkere Fakten vorliegen als bei den eher qualitativ zu ermittelnden Inputindikatoren.

In Tabelle 5 ist die Ursache-Wirkungsgruppe und die Einstufung in die Dimensionen aufgeführt.

*Tabelle 5: Hauptindikatorengruppe 1 - Ursache-Wirkungsgruppe: Input- und Outputindikatoren (eigene Darstellung)*

<b>Indikatorgruppe</b>	<b>Inputindikator</b>	<b>Outputindikator</b>
Erläuterung	Aufwand/Verbrauch Ursache Ziel/Maßnahmen	Emissionen Auswirkung Zustand
Ökologie	Ressourceneinsatz	Auswirkungen für die Umwelt
Ökonomie	Monetärer Einsatz	wirtschaftliche Auswirkungen Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu fossiler Wärmeversorgung

Soziales		Regionale Wertschöpfung Regionaler Kapital- kreislauf zur Verbesserung des sozialen Wohlstands
----------	--	--

Tabelle 6 zeigt die Bewertungsgruppe und Dimensionseinstufung.

*Tabelle 6: Hauptgruppe 2 - Bewertungsgruppe: Effizienz- und Bilanzindikatoren (eigene Darstellung)*

Indikatorgruppe		Effizienz- indikator	Bilanzindikator
Ökologie	Erläuterung	Effizienz der ein- gesetzten Technik	Ergebnis Bewertung der Ursachen und Wirkungen
	Verhältnis Ressourcen- verbrauch zu Nutzen	System- nutzungs- grad	Verbesserung der Nachhaltigkeit durch vermiedene Umwelt- auswirkungen

#### 5.4.1 Indikatorenauswahl und Gewichtung

Ausgehend von den vorliegenden Projektdaten dem Istzustand auf Basis dezentraler fossiler Wärmeerzeugung, dem geplanten solaren Biomassenahwärmeprojekt Speichersdorf und dem Biomassenahwärmeprojekt der Bioenergie Mitterteich sowie Literaturdaten zu Geothermieprojekten, werden 12 Einzelindikatoren entwickelt und mit GEMIS berechnet.

Die Einzelindikatoren werden für die weiteren Berechnungen in den beiden Hauptgruppen herangezogen. Weiterhin erfolgt die Festlegung von Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Indikatoren. In den Tabelle 7 bis Tabelle 10 sind die Einzelindikatoren mit der Zuordnung in die jeweilige Indikatorgruppe und dem jeweiligen Gewichtungsfaktor dargestellt.

*Tabelle 7: Einzelindikatoren - Inputindikatoren für Nahwärmeversorgungsvarianten (eigene Darstellung)*

Ursache-Wirkungsgruppe Inputindikator	Einheit	Gewich- tungs- faktor
Kumulierter Energieaufwand (KEA) inkl. Energieaufwand für Rohstoffverbrauch KEA <sub>erneuerbar</sub> (daher minimale Gewichtung)	kWh Energie- verbrauch /kWh Nutzwärme	0,0001 %
KEA <sub>nicht erneuerbar</sub> (nicht wieder bringbar - hohe Gewichtung)	kWh Energie- verbrauch /kWh Nutzwärme	30 %
	m <sup>2</sup> /kWh	7 %



Fläche/Boden	Nutzwärme	
--------------	-----------	--

Tabelle 8: Einzelindikatoren - Outputindikatoren für Nahwärmeversorgungsvarianten (eigene Darstellung)

Ursache-Wirkungsgruppe Outputindikator	Einheit	Gewichtungsfaktor
Produkt/Dienstleistung = Nutzwärme	kWh	-
Kosten/Wärmepreis	€/kWh	
Spezifischer Wärmepreis	Nutzwärme	10 %
Emissionen	je kWh Nutzwärme	ges. 30 %
CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /kWh	-
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg CO <sub>2</sub> /kWh	20 %
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	kg SO <sub>2</sub> /kWh	10 %
TOPP-Äquivalent	kg NMVOC/kWh	10 %
Abwasser	kg/kWh	1 %
Abfall	kg/kWh	2 %

Tabelle 9: Effizienzindikator für Nahwärmeversorgungsvarianten (eigene Darstellung)

Bewertungsgruppe Effizienzindikator	Einheit	Gewichtungsfaktor
Gesamtnutzungsgrad inkl. Netzverlust	%	5 %

Tabelle 10: Bilanzindikator vermiedene Umweltauswirkungen für Nahwärmeversorgungsvarianten (eigene Darstellung)

Bewertungsgruppe Bilanzindikator	Einheit normiert	Gewichtung
Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Vermiedene Umweltauswirkungen	dimensionslos	keine

Im nachfolgenden Kreisdiagramm sind die definierten Nachhaltigkeitsindikatoren mit Ihrer Gewichtung in der Übersicht abgebildet. Bei der Wärmeerzeugung entstehen die Hauptemissionen durch die Verbrennung. Deshalb werden die Luftschadstoffe am stärksten gewichtet. Weitere Erläuterungen warum die nachfolgenden Indikatoren ausgewählt und in dieser Form gewichtet werden, sind ab 7.2 und unter 10 aufgeführt.

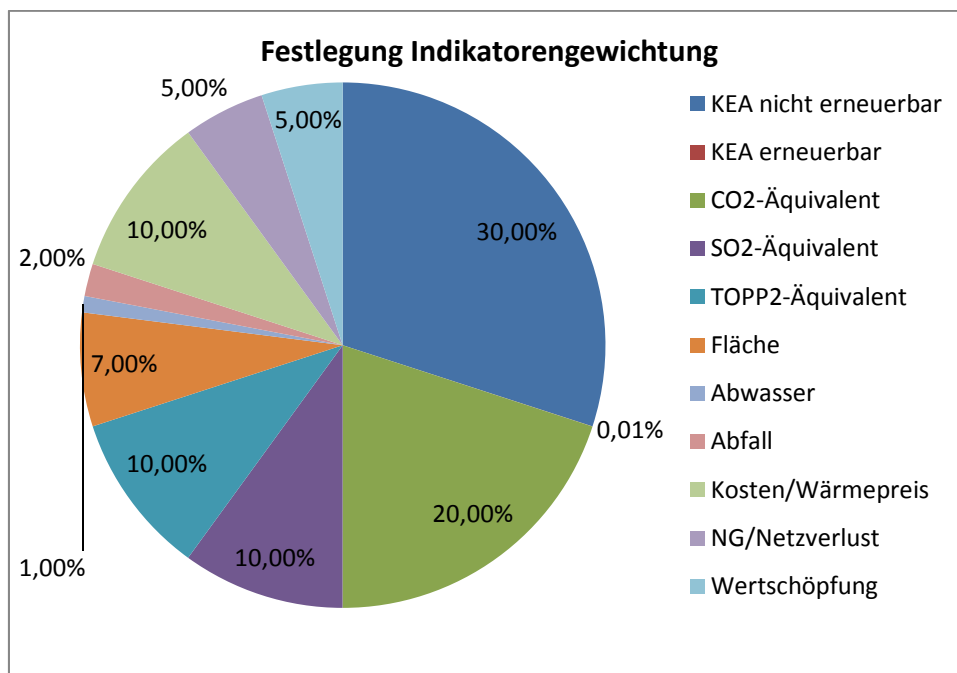


Abbildung 12: Übersicht Indikatoren mit Gewichtung – eigene Darstellung

Zur Berechnung der Indikatoren wird für jede Wärmeversorgungsvariante ein Prozess in GEMIS entwickelt und berechnet. Jeder Prozess enthält jeweils die Aufwendungen und Emissionen für die Wärmeerzeugungsart (Kesselanlagen) sowie die daraus erzeugte Nutzwärme unter Berücksichtigung der Netzverluste und des Betriebsstroms. Darüber hinaus werden die Aufwendungen für die Herstellung des Wärmenetzes ermittelt und berechnet (siehe hierzu Kapitel 7).

## **6 Systemkomponenten im Nahwärmenetz, Funktion, derzeitiger Einsatz und Grenzen**

Um Nachhaltigkeitsindikatoren speziell für Wärmenetze zu entwickeln, werden vorab die Systemkomponenten und die Wärmeerzeugungssysteme aus erneuerbaren und fossilen Energieträgern aufgezeigt, da diese u. a. maßgeblich Einfluss auf die Energieeffizienz, den Ressourcen- und Flächenverbrauch sowie die Emissionen haben. Weiterhin werden die Betriebsweisen und –kosten gegenübergestellt.

Eine Nahwärmeversorgung besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Wärmeerzeuger, z.B. Kesselhaus mit Kesseln, Feuerungen, Schornstein, Brennstofflager, Pumpen, Wasseraufbereitung, Messanlagen und Zubehör. Nahwärme-Rohrnetz, das den Wärmeträger Heißwasser zu den verschiedenen Gebäuden führt; Übergabestationen, in denen die Wärme vom Nahwärme-Rohrnetz an die Hausanlagen übergeben wird; Hauswärme-Rohrnetz, das die Wärme in den Häusern auf die verschiedenen Heizkörper und sonstigen Wärmeverbraucher verteilt. (Recknagel, 2009, S. 738)

Der Unterschied zwischen einem Fern- und Nahwärmenetz besteht im Wesentlichen in der Leitungslänge des Fernwärmeleitungsnetzes und der Anlagengröße. Fernwärmenetze betragen i.d.R. eine Leitungslänge von etlichen Kilometern und versorgen über große Kesselanlagen mit einer Leistung von meist mehreren MW ganze Orts- oder Stadtteile.

Klassische Nahwärmenetze weisen kürzere Netzleitungslängen auf und werden meist durch Wärmeerzeugungsanlagen im mittleren Leistungsniveau zwischen 500 kW und 5 MW betrieben. Klare Begriffsdefinitionen sind nicht festgelegt. Deshalb werden auch größere Netze in ländlichen Gemeinden meist als Nahwärmenetze bezeichnet.

Sowohl Fern- als auch Nahwärmenetze werden entweder zur reinen Wärmeversorgung oder zur kombinierten Strom- und Wärmeversorgung durch Heizkraftwerke betrieben.

Die konventionelle Wärmeerzeugung auf Basis fossiler Energieträger erfolgt durch die Verbrennung von Primärenergieträgern wie Erdgas oder Heizöl, welche zu Nutzwärme umgewandelt werden. Als Wärmeträgermedium dient Warmwasser, welches herkömmlicherweise in erdverlegten isolierten Stahl- oder Kunststoffleitungen (Nahwärmeleitung) vom Wärmeerzeuger zur Wärmeabnahmestelle (Heizkörper, Fußbodenheizung, Warmwasserbereiter) transportiert wird. Sowohl bei der Verbrennung als auch bei der Verteilung entstehen Verbrennungs-, Umwandlungs- und Netzverluste.

Prinzipiell wird die Wärmebereitstellung einer Nahwärmeversorgung aus einem Grund- und einem Spitzenlastanteil bereitgestellt, für die jeweils besondere Anforderungen hinsichtlich ihrer Betriebsstundenzahl und Teillastfähigkeit gelten.

Zur Grundlastdeckung werden bei umweltfreundlichen Nahwärmenetzen kapitalintensive Lösungen aus regenerativen Energien wie Geothermie, Biogas-BHKW-Abwärme, Biomasse-Heizwerke/Heizkraftwerke, Solarthermie oder Abwärmenutzung eingesetzt. Die Spitzenlast- und Reservevorhaltung übernimmt meist ein Öl- oder gasbefuerter Heizkessel, der jedoch nur wenige Betriebsstunden in Betrieb ist und deshalb geringe Primärenergieverbräuche aus fossilen Energien aufweist. Die Grundlastabdeckung stellt i.d.R. 75-95 % des Jahreswärmebedarfs und die Spitzenlast 5-25 %.

Für die ökologische Beurteilung ist deshalb die höhere Jahresarbeit in der Grundlast entscheidend, weshalb eine Auslegung der regenerativen Energien auf die Grundlast in den meisten Fällen die effizientere und volkswirtschaftlich sinnvollere Lösung ist.

### **6.1 Kriterien Nahwärmeleitung**

Die Anforderungen, welche an das Nahwärmenetz gestellt werden, sind abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren. Zu diesen gehören z. B. die Festlegung des Temperaturniveaus und der Temperaturspreizung. Je niedriger die Netztemperatur desto effizienter ist der Einsatz von Solarthermie oder Geothermie möglich und je geringer die Netzverluste.

Weiterhin ist die Versorgungssicherheit zu garantieren. Deshalb wird die Grundlast üblicherweise mittels Redundanz/Spitzenlastkesseln auf Heizöl- oder Erdgasbasis abgesichert.

Die Netzdimensionierung im Hinblick auf eine spätere Erweiterung oder Ausbaufähigkeit und Wirtschaftlichkeit, ist ebenfalls ein wichtiger Faktor. Hier besteht die Problematik, dass zu großzügig dimensionierte Leitungen zwar ein hohes Ausbaupotential haben, gleichzeitig aber höhere thermische Energieverluste verursachen, da diese vom Rohrdurchmesser und der Wärmeabnahmedichte abhängen. Weiterhin steigen auch die Investitionskosten. Wird das Netz hingegen zu klein ausgelegt, steigt hingegen der Pumpenstromverbrauch an.

Deshalb ist eine exakte Auslegung Grundlage für eine optimale Lösung hinsichtlich geringer thermischer und hydraulischer Netzverluste.

### 6.1.1 Berechnung der Netzverluste

Die Verluste im Wärmenetz werden bei mehrschichtigen Rohrleitungen durch den Wärmedurchgang bestimmt, welcher sich aus Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion zusammensetzt. Bei erdverlegten Leitungen erfolgt der Wärmedurchgang hauptsächlich durch Wärmeleitung deshalb kann die Wärmestrahlung und Konvektion bei der Betrachtung vernachlässigt werden. Die Berechnung erfolgt anhand der nachfolgend aufgeführten Formeln laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 18).

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\text{mit: } k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_i} + \sum \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{i+1}}}$$

$$R = \sum \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right)$$

mit:

Q	= Wärmestrom	[W]
k	= Wärmedurchgangskoeffizient	[W/m <sup>2</sup> *K]
A	= Fläche	[m <sup>2</sup> ]
ΔT	= Temperaturdifferenz	[K]
R	= Wärmedurchlasswiderstand	[m <sup>2</sup> *K/W]
λ	= Wärmeleitfähigkeit	[W/m*K]
d <sub>i</sub>	= Innendurchmesser Mediumrohr	[m]
α <sub>1</sub>	= innerer Wärmeübergangskoeffizient	[W/m <sup>2</sup> *K]
α <sub>2</sub>	= äußerer Wärmeübergangskoeffizient	[W/m <sup>2</sup> *K]

Gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik wird durch Wärmeleitung thermische Energie vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedrigerer Temperatur transportiert. Dabei durchströmt der Wärmestrom in gedämmten Rohrleitungen verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten (λ). Je schlechter die Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht, desto geringer ist der Wärmedurchgang und damit Wärmeverlust. In Nahwärmenetzen werden üblicherweise Kunststoffmantelrohre oder Stahlrohre mit Dämmung eingesetzt (siehe hierzu auch 6.1.3).

Nachfolgend ist der Aufbau eines Kunststoffmantelrohrs mit Netzüberwachung sowie die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands aufgeführt.

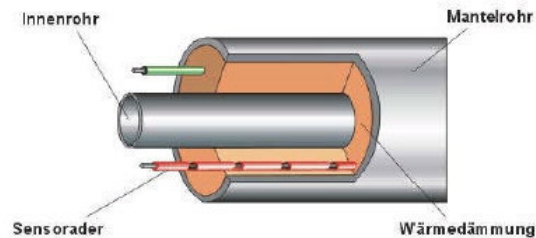


Abbildung 13: Querschnitt durch ein Kunststoffmantelrohr (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 19)

Verwendete Materialien:

Innenrohr (Mediumrohr) aus Stahl

Wärmedämmung aus Polyurethan-Hartschaum (PUR)

Mantelrohr aus Poly-Ethylen High Density (PEHD)

Sensorader zur Netzüberwachung

Der Wärmedurchlasswiderstand für ein mehrschichtiges Rohr errechnet sich nach der folgenden Formel aus der Summe der einzelnen Widerstände der einzelnen Materialien laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 19):

$$R_R = \frac{1}{\lambda_{\text{Med}}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\lambda_{\text{Iso}}} \cdot \ln \frac{D_i}{d_a} + \frac{1}{\lambda_{\text{Mantel}}} \cdot \ln \frac{D_a}{D_i}$$

mit:	$R_R$	=	Wärmedurchlasswiderstand Rohr	[m <sup>2</sup> K/W]
	$\lambda_{\text{Med}}$	=	Wärmeleitfähigkeit Mediumrohr	[W/m <sup>2</sup> K]
	$\lambda_{\text{Iso}}$	=	Wärmeleitfähigkeit Dämmung	[W/m <sup>2</sup> K]
	$\lambda_{\text{Mantel}}$	=	Wärmeleitfähigkeit Mantelrohr	[W/m <sup>2</sup> K]
	$d_i$	=	Innendurchmesser Mediumrohr	[m]
	$d_a$	=	Außendurchmesser Mediumrohr	[m]
	$D_i$	=	Innendurchmesser Mantelrohr	[m]
	$D_a$	=	Außendurchmesser Mantelrohr	[m]

Da die Rohre im Erdreich verlegt werden, muss neben den Wärmeleitfähigkeiten der Rohrmaterialien auch die vom Erdreich berücksichtigt werden. Gemäß Verlegevorschriften der Hersteller sind Wärmenetze zum Schutz vor Beschädigungen im Sandbett zu verlegen. Daher kann die Wärmeleitfähigkeit von Sand mit 1,20 W/mK angesetzt werden. Bei anderen Bodenverhältnissen können die in der Tabelle 11 dargestellten Werte herangezogen werden. Ebenso hat die Feuchtigkeit des Erdreichs

Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit. Diese beträgt bei 10 % Feuchte je nach Bodenart 0,15-0,6 W/mK und bei 20 % Feuchte zwischen 0,75 und 2,7 W/mK (Recknagel, 2009, S. 231). Diese ist für den konkreten Anwendungsfall entsprechend zu berücksichtigen. In den Berechnungen wird vereinfachend die Wärmeleitfähigkeit von Sand mit 1,20 W/mK angenommen.

*Tabelle 11: Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Erdreicharten (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 20)*

Erdreichart	$\lambda_{\text{Erd}}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
reiner Sand 1500 kg/m <sup>3</sup>	1,04
↓	1,20
1800 kg/m <sup>3</sup>	1,70
tonige Erde 1500 kg/m <sup>3</sup>	1,50
↓	2,00
2000 kg/m <sup>3</sup>	2,60

Der Wärmedurchlasswiderstand des Erdreichs errechnet sich nach folgender Formel laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 20):

$$R_{\text{Erd}} = \frac{1}{\lambda_{\text{Erd}}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m}{D_a}$$

mit:	$R_{\text{Erd}}$	=	Wärmedurchlasswiderstand Erdreich	[m <sup>2</sup> K/W]
	$\lambda_{\text{Erd}}$	=	Wärmeleitfähigkeit Erdreich	[W/m <sup>2</sup> K]
	$h_m$	=	Höhe Rohrmitte bis Oberkante Gelände	[m]
	$D_a$	=	Außendurchmesser Mantelrohr	[m]

Der Gesamtdurchlasswiderstand errechnet sich gemäß (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 20) aus der Summe der Einzelwiderstände:

$$R_{\Lambda} = R_{\text{Rohr}} + R_{\text{Erd}}$$

Aus dem Gesamtdurchlasswiderstand errechnet sich der Gesamtwärmeleitwiderstand laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 20) wie folgt:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot R_{\Lambda}$$

Für die endgültige Ermittlung der Wärmeverluste mittels Gesamtdurchlasswiderstand wird weiterhin die wirksame Mitteltemperatur benötigt. Diese wird laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 21) nach der folgenden Formel berechnet:

$$T_m = \frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} - T_{Erd}$$

mit:	$T_m$	=	wirksame Mitteltemperatur	[K]
	$T_{VL}$	=	Vorlauftemperatur Wärmeträger	[K]
	$T_{RL}$	=	Rücklauftemperatur Wärmeträger	[K]
	$T_{Erd}$	=	Erdreichtemperatur	[K]

Somit errechnet sich der spezifische Wärmeverlust gemäß (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 21) wie folgt:

$$q = \frac{T_m}{R_\Sigma} \text{ [W/m]}$$

Abschließend berechnet sich der absolute Wärmeverlust aus dem spezifischen Wärmeverlust laut (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 21) nach folgender Berechnungsvorschrift:

$$Q_{Ver} = \frac{q \cdot L \cdot t}{1000}$$

mit:	$Q_{Ver}$	=	Wärmeverlust	[kWh]
	$L$	=	Rohrlänge (Trassenlänge x 2)	[m]
	$t$	=	Betriebsstunden	[h]

Der Wärmeverlust von Wärmenetzen ist Bestandteil des Effizienzindikators für die Überprüfung der Nachhaltigkeit von Wärmenetzen.

### 6.1.2 Netzarten

Bei Nahwärmeleitungen wird zwischen drei Arten unterschieden, dem Strahlennetz, dem Ringnetz und dem Maschennetz. Das **Strahlennetz** ist die einfachste und kostengünstigste Bauform mit einer vom Wärmeerzeuger abgehenden Leitung zum Abnehmer. Das **Ringnetz** bietet sich an, wenn die Wärmeerzeuger an verschiedenen Standorten stehen, da die Abnehmer über verschiedene Richtungen mit Wärme



versorgt werden können. Dadurch wird eine höhere Versorgungssicherheit erreicht, führt aber auch zu steigenden Investitionskosten. Das **Maschennetz** ist die weiterentwickelte Form des Ringnetzes, bei der die Verbraucher durch mehrere untereinander verbundene Leitungsabschnitte versorgt werden können. Diese Form bietet sich bei hoher Wärmeabnahmedichte an, bei der die Versorgungssicherheit noch weiter erhöht wird. Allerdings sind für diese Netzart die Investitionskosten am höchsten (Recknagel, 2009, S. 754).

### 6.1.3 Verlegeverfahren

Der Neubau von Nahwärmeleitungen erfolgt in Deutschland überwiegend in einem der im Folgenden beschriebenen Verlegeverfahren nach (Recknagel, 2009, S. 754-758).

#### **Erdverlegt**

Beim **Mantelrohrverfahren** erfolgt der kraftschlüssige Verbund durch den wärmedämmenden Hartschaum zwischen Medium- und Mantelrohr. Vorteilhaft ist der geringe Platzbedarf und die einfachen Abdichtungsmöglichkeiten sowie die Möglichkeit der Verlegung in wasserführenden Schichten. Einschränkend ist die Temperaturbeschränkung in Abhängigkeit von der Verlegeart.

**Kunststoffmantelrohr (KMR)** bestehen aus einem Mediumrohr aus Stahl, einem Mantelrohr aus homogenen Kunststoff und der Wärmedämmung aus geschäumten Kunststoff. Vorteilhaft sind mögliche Betriebsdauertemperaturen bis 120 °C und kurzzeitige Temperaturen bis 140 °C. Die Verlegung erfolgt im Sandbett. Die Verbindung des Mantelrohres erfolgt nach Mediumrohrverschweißung und Verbindung der Leckwanddrähte mittels Kunststoffmuffen, welche dann zur Abdichtung von Hohlräumen mit Ortschaum aufgefüllt werden. Die Rohre werden als Fertigware je nach Durchmesser in Längen von 6-16 m angeliefert.

**Flexible Rohrsysteme** dienen für die Unterverteilung und für Hausanschlussleitungen werden üblicherweise in Ringbunden oder Stangen in den Durchmesserbereichen von DN 20 bis DN 80 geliefert. Die maximal zulässige Betriebstemperatur und -druck liegt bei 130 °C bzw. 25 bar. Je nach Verlegesystem bestehen die Mediumrohe aus Stahl, Chromnickel oder Kupfer gewellt oder glatt mit einer Wärmedämmung aus Hartschaum oder komprimierter Glaswolle. Das Mantelrohr besteht aus Kunststoff in gewellter oder glatter Ausführung. Eine Sonderform flexibler Rohrsysteme sind gewellte Mediumrohre aus Edelstahl mit einer Hartschaum-Wärmedämmung, einem gewellten Außenmantel aus Stahl und einem äußeren Korrosionsschutz aus zwei Polymer-Schichten mit aufextrudiertem Kunststoffmantel. Der Einsatz ist bis zu einer Temperatur von 140 °C

und einem Druck von 16 bar möglich. Die Anlieferung erfolgt auf Trommeln in Durchmessern von DN 25 bis DN 150.

Bei **Kunststoffmediumrohren** (PMR) besteht das Mediumrohr aus Kunststoff meist aus Polyethylen (PEX). Aufgrund von temperaturabhängigen Alterungs- und Kriechvorgängen, können Kunststoffleitungen nur bedingt für Nahwärmenetze mit Vorlauftemperaturen von max. 90 °C und 6 bar eingesetzt werden. Weiterhin sind spezielle Beschichtungen gegen die Diffusion von Sauerstoff und Wasserdampf notwendig. Wegen der Anlieferung auf Rollen in Durchmessern von DN 20 bis DN 100, ist eine einfache Verlegung direkt in den Graben möglich. Mit Klemm- und Schraubverbindungen werden T-Stücke für Abgänge mit den Rohren verbunden.

Bei **Glasfaserverstärkten Kunststoffmantelrohren** besteht das Mediumrohr aus glasfaserverstärkten Epoxidharz welche bis 130 °C und 16 bar einsetzbar sind. Durch Verklebung der Rohrenden und mittels Betonfestpunkten wird das Auseinanderdriften bei Knicken und Bögen verhindert.

**Hochtemperatur-Kunststoffmantelrohr-Systeme** werden mit Mineral-, Keramikfaser oder Blähgranulat auf dem Mediumrohr gedämmt, wodurch der Einsatz in höheren Temperaturbereichen möglich ist. Problematisch ist die nicht garantierte Dauerfestigkeit zwischen Medium- und Mantelrohr sowie die fehlende Längswasserdichtheit.

**Stahlmantelrohre** mit Mediumrohren aus Stahl werden konzentrisch in das Stahlmantelrohr eingeschoben und zum Schutz gegen Korrosion mit einer Bitumen- oder Kunststoffumhüllung versehen. Wegen der begrenzten Temperaturbeständigkeit des Hüllmaterial, muss die Wärmedämmung so ausgelegt sein, dass am Außenmantel keine Temperatur von über 50 °C auftritt. Die Verschweißung und anschließende Nachisolierung der Rohre erfolgt auf der Baustelle im Graben. Stahlrohrdehnungen werden durch Axialkompensatoren ausgeglichen oder durch thermische Vorspannung eingeschränkt. Der Einsatz ist für hohe Temperaturen und aufgrund der Dichtheit auch im Grundwasser möglich.

Beim **Bitumengießverfahren** wird um die Stahlrohre ein Block aus Leichtbitumen Kork und anderen natürlichen Bestandteilen gegossen. Die Wärmedämmung dient hier gleichzeitig als Feuchteschutz. Die Grabensohle wird hauptsächlich aus Magerbeton hergestellt. Um die Mediumrohrleitung wird anschließend eine U-förmige Schalung aus verzinktem Blech gelegt, in welche dann die Bitumenmasse bei 180 °C eingebracht wird. Der Einsatz ist bis zu einem Temperaturbereich von 200 °C möglich. Das Verfahren bietet sich vor allem bei der Sanierung alter Kanalsysteme an.

## Sonderbauverfahren

Nachfolgend werden die wichtigsten Sonderbauverfahren, welche z. B. durch die Querung von Straßen, Gleisanlagen oder Wasserläufen eingesetzt werden, zusammengefasst.

**Pressungen** zum unterirdischen Rohrvortrieb erfolgen mit Mindestnennweiten von DN 800 bis hin zu großen begehbaren Stahlbetonrohren.

**Düker** werden zur Unterquerung von Wasserläufen mittels Einziehen/Einschwimmen eingesetzt. Hierzu wird vorab eine Rinne im Wasserlauf und Uferbereich ausgehoben. Die Rohre werden verschweißt und zur Einheit verbunden, dann geflutet gegen Auftrieb gesichert und in die Rinne eingehoben und anschließend verfüllt.

Die grabenlose Verlegung kann mittels **Spülbohrung** erfolgen. Hierbei erfolgt beim Eintritts- und Austrittspunkt eine Pilotbohrung durch die ein Hohlraum freigespült wird. Dieser wird durch einen Aufweitkopf vergrößert und das Nahwärme-Mantelrohr sofort mit eingezogen. Die vom Aufweitkopf eingespülte Betonit-Suspension dient als Gleitmittel und dämmt den Ringraum zwischen Mantelrohr und der aufgeweiteten Bohrung ab. Zur Ermittlung der vorhandenen Ver- und Entsorgungsleitungen erfolgt vorab meist eine Bodenuntersuchung mittels Georadarverfahren. Für dieses Verfahren können flexible Mantelrohre, Kunststoff- und Stahlmantelrohre verwendet werden. Dieses Verfahren ist eine kostengünstige Sonderbauweise.

**Frei verlegte Leitungen** werden nicht unterirdisch verlegt. Hierzu zählen z. B. Leitungen im Freien auf Betonsockeln oder Stützen bzw. Kombinationen auf Brücken, Kellern oder Parkhäusern. Freileitungen sind das kostengünstigste Verlegeverfahren und haben eine leichte Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten. Sie scheitern aber oft an der Genehmigungsfähigkeit bei Behörden und Akzeptanz bei der Bevölkerung.

Daher wird diese Verlegeart bei der Indikatorenbildung nicht näher berücksichtigt. Die Verlegeart und die eingesetzten Materialien haben u. U. Einfluss auf die Umwelt und werden bei der Indikatorenbildung berücksichtigt.

### 6.1.4 Dimensionierung der Rohrleitungen

Zur Dimensionierung des Durchmessers der Mediumrohrleitungen wird das wirtschaftliche Optimum aus Kapitaldienst, Energiekosten und Wärmeverlustkosten ermittelt. Zur technischen Auslegung erfolgt die Wanddickenberechnung unter Innendruckbelastung nach EN 13480 bzw. EN 13941 und unter Beanspruchung bei Temperatur und Reibung (Recknagel, 2009, S. 759). Nachfolgend sind beispielhaft die

Strömungsgeschwindigkeiten in den Mediumrohren für Wasser nach (Recknagel, 2009, S. 759) aufgeführt:

Wasser DN 50 1,0 m/s

Wasser DN 100 1,4 m/s

Wasser DN 150 1,6 m/s

Wasser DN 200 2,1 m/s

Wasser DN 300 2,5 m/s

Wasser  $\geq$  DN 500 3,0 m/s

### **6.1.5 Wärmedämmung**

Um die Nahwärmenetzverluste möglichst gering zu halten, werden die Rohrleitungen gedämmt.

Für die ab 7.3 betrachteten Wärmeversorgungsvarianten und die hierzu erstellten Berechnungen wurden die Daten aus dem Prozess Kunststoff/PUR-Hartschaum-DE-2030 Version GEMIS 4.8 verwendet. Als Dämmmaterial für die Wärmenetze wird PUR-Hartschaum zu Grunde gelegt. „Die Herstellung von Polyurethan-Hartschaum (PUR-MDI) erfolgt über 1. Polyole - Polyetherpolyole aus Propylenoxid (hier nach dem Chlorhydrinverfahren) und Polyetherpolyole aus Propylenoxid und 2. Polyisocyanate (Methylen-diaminisocyanat).“ (GEMIS 4.8) Gemäß Massenbilanz werden für eine Tonne PUR- Hartschaum 326,6 kg Propen, 406,5 kg Benzol und 101,8 kg Ammoniak eingesetzt (GEMIS 4.8).

Die optimale Dämmstärke wird nach folgendem Vorgehen ermittelt:

Die Ermittlung der wirtschaftlichen Gesamtkosten erfolgt durch Gegenüberstellung der Energiekosteneinsparungen zu den Investitionskosten für die Dämmmaßnahmen über die Nutzungsdauer.

Die Bemessung der Dämmdicke erfolgt so, dass bei niedrigstem Durchfluss die minimal notwendige Vorlauftemperatur an einer bestimmten Stelle im Netz nicht unterschritten wird.

Bei beispielsweise Parallelführungen von Starkstromkabeln, Wasserleitungen oder resultierenden Rückwirkungen auf die Vegetation, ist die Wärmedämmung so auszuführen, dass bestimmte Temperaturbeeinflussungen der Umgebung nicht überschritten werden (Recknagel, 2009, S. 760).

Die Wärmeverluste hängen von der jahreszeitlich stark schwankenden Wärmeabnahme und Leistung ab. So betragen die Wärmeverluste im Sommer je nach Warmwasserbedarf und Wärmeabnahmedichte 10 bis 40 %. Im Winter betragen die Verluste bei maximaler Abnahme 3 bis 10 %.

In der nachfolgenden Abbildung sind die häufigsten Dämmmaterialien und Ihre Wärmeleitfähigkeit für Nahwärmeleitungen aufgeführt.

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit W/mK (Betriebswert)	Mitteltemp. °C	Normen	Handelsform Richtlinien
Mineralfaserdämmstoffe			VDI 2055	Versteppt auf Draht, Kunststoffgewebe oder Pappe
Schalen Matten	0,040 0,045	50 50		
PUR-Schaumstoffschalen	0,030*	50		Segmente formgeschäumt oder geschnitten
PUR-Hartschaum Fabrikschaum, diffusionsdicht	0,030	50	DIN 18 164 AGI Q 167	Verbundrohr, Formstücke
Ortsschaum	0,035	50	DIN 18 159 AGI Q 113	
Hyperlite	0,076		nach Mosler	Granulat
Schaumglas	0,060	50	DIN 18 174	
Kalziumsilikat	0,055*	100		

\* Herstellerangaben

Abbildung 14: Dämmstoffe für Nahwärmeleitungen (Recknagel, 2009, S. 760)

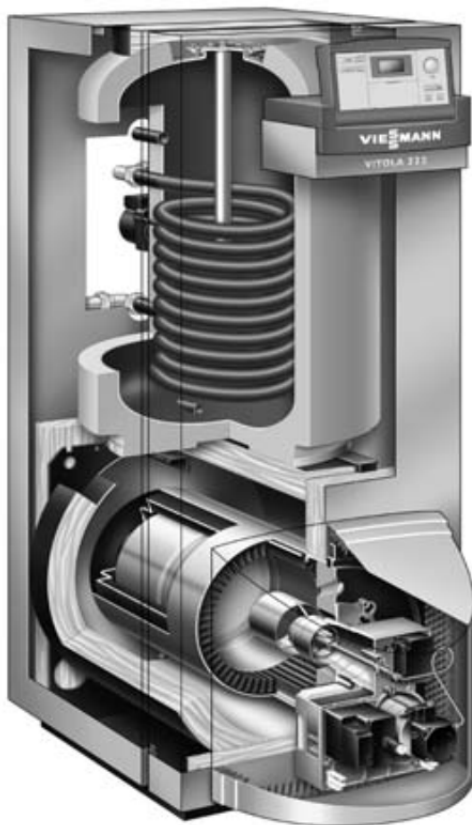
## 6.2 Wärmeerzeuger

Nachfolgend werden die zwei häufigsten Kesseltypen aufgeführt, welche bei der Verbrennung fossiler Energieträger üblicherweise eingesetzt werden. Diese sind Niedertemperatur- und Brennwertkesselanlagen. Im Folgenden werden Nahwärmenetze untersucht die klassisch mittels Warmwasser zur Wärmeversorgung von Raumheizung und Warmwasser für Wohnzwecke und Verwaltungsgebäude wie z. B. Schulen und Krankenhäuser mit einer max. Vorlauftemperatur von 90 °C und einer maximalen Rücklauftemperatur 70 °C, dienen. Industrielle Wärmeerzeugung für Prozesswärme die z. B. Dampf- oder Heizwassersysteme benötigen, sind nicht Untersuchungsgegenstand der Arbeit, da für diese meist. individuelle Lösungen notwendig sind, die sich nicht verallgemeinern lassen.

Durch die Entwicklung von modernen Niedertemperatur- und Brennwertkessel konnten die Emissionen wie CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>, H<sub>y</sub>, CO Ruß und gleichzeitig der Brennstoffverbrauch reduziert werden. Dies erfolgt durch die Erhöhung der Kesselwirkungsgrade und Anlagennutzungsgrade. (Recknagel, 2009, S. 777)

### 6.2.1 Niedertemperatur- und Brennwertkessel

Bei Niedertemperaturkesseln variiert die Temperatur des Wärmeträgermediums zwischen 40 und 75 °C oder tiefer durch selbsttätig wirkende Einrichtungen in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der Zeit. Niedertemperaturkessel sind für niedrige Heizwassertemperaturen konstruiert und werden bei gasförmigen Brennstoffen mittels Brenner mit und ohne Gebläse betrieben. Bei Heizöl werden sie i.d.R. mit Gebläsebrennern betrieben. (Burkhardt, 1992, S. 59)



*Abbildung 15: NT-Öl-/Gas-Heizkessel, abgebildet mit Ölbrenner VITOFLAME 200 für schadstoffarme Verbrennung. Mit aufgesetztem, temperaturgeregelten Speicher-Wassererwärmer. Norm-Nutzungsgrad bis 96% (Viessmann; VITOLA 222, Leistung: 18 bis 27 kW) (Recknagel, 2009, S. 803).*

Bei gasbetriebenen Brennwertkesseln werden die Kesselabgase auf unter 60 °C heruntergekühlt, so dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert. Dadurch wird ein Teil der latenten Wärme (Verdampfungsenthalpie) zurückgewonnen die sonst bei konventionellen Abgastemperaturen über den Schornstein verloren geht (Burkhardt, 1992, S. 59). Hierdurch wird ein höherer Kessel-/Anlagenwirkungsgrad erzielt wodurch der im Brennstoff enthaltene Energieinhalt aufgrund verringerter Verluste besser genutzt wird.

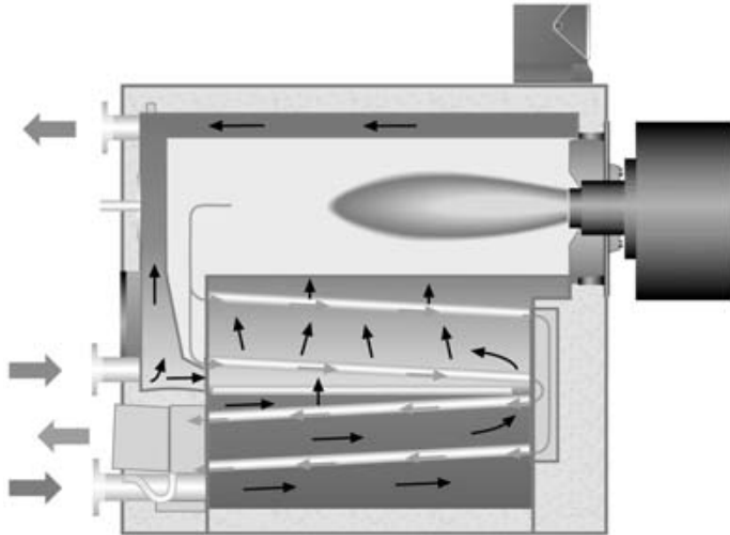


Abbildung 16: Schnittdarstellung eines kompakten Brennwert-Stahlkessels (Buderus Heiztechnik, Logano plus SB315/615, Leistung von 50 bis 640 kW) (Recknagel, 2009, S. 811).

Bei der Verbrennung im Wärmeerzeuger (Kesselanlage) kommt es zu Energieverlusten z. B. über die Wärmeabstrahlung der Anlage und über den Kamin. Die Kesselnutzungsgrade betragen gem. Betreibererfahrung der Autorin bei neuen Niedertemperaturgeräten 83-87 % und bei Gas-Brennwertkessel 90-97 %. Heizölbetriebene Brennwertgeräte erzielen aufgrund des geringeren Wasserstoffgehalts im Brennstoff mit dadurch weniger kondensierbaren Wasserdampfgehalt im Abgas, ca. 5 bis 7 % schlechtere Kesselnutzungsgrade als Gasbrennwertkesselanlagen. (Recknagel, 2009, S. 777)

Die von Kesselherstellern oft propagierten hohen Normnutzungsgrade von bis zu 109 %, welche nicht realistisch sind, liegen an der von der Norm DIN 4702-8 vorgegebenen Bezugsgröße dem Heizwert  $H_i$  früher bezeichnet als  $H_u$ . Wird der Norm-Nutzungsgrad auf den Brennwert  $H_s$  früher bezeichnet als oberer Heizwert  $H_o$  bezogen, erhält man den korrekten Kesselwirkungsgrad (Recknagel, 2009, S. 778). Der Heizwert und der Brennwert des Brennstoffs Erdgas wird in kWh/m<sup>3</sup> bzw. Heizöl in kWh/l angegeben. Das Verhältnis vom Brennwert zum Heizwert  $H_s/H_i$  beträgt 0,954. Demnach geht bei der Verbrennung durch die chemische Umwandlung ca. 9,5 % des Energieinhalts verloren. Der Norm-Nutzungsgrad ist der Wirkungsgrad welcher bei Normbedingungen auf dem Prüfstand erreicht werden kann. Dieser wird im herkömmlichen Anlagenbetrieb kaum erzielt.

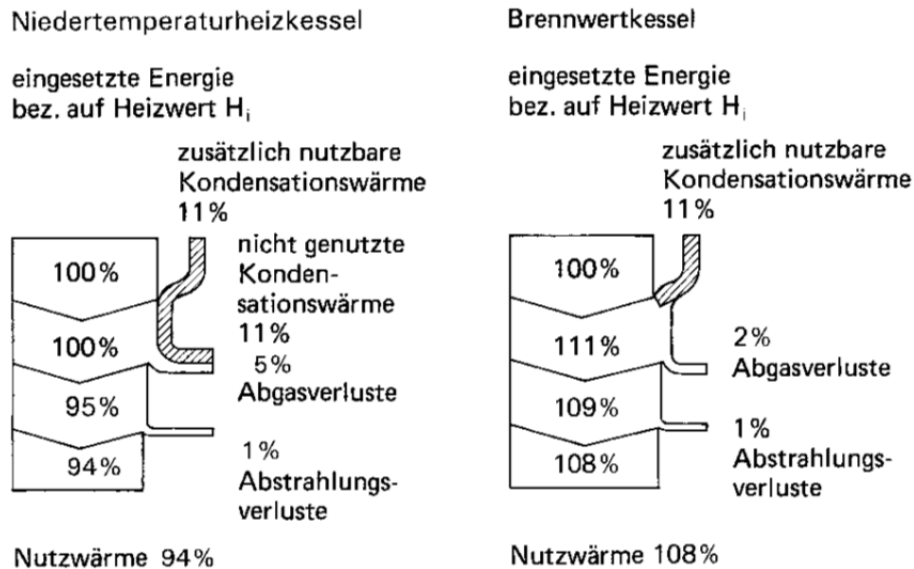


Abbildung 17: Energiebilanz Niedertemperatur-Heizkessel, Öl-BW, Brennwertkessel bei Heizwassertemperatur 40/30 °C (Recknagel, 2009, S. 812).

Gemäß Betreibererfahrung der Autorin aus über 30 Anlagen und Nahwärmenetzen erreicht man bei Niedertemperaturkesseln im realen Betrieb Kesselanlagennutzungsgrade zwischen 83 und 87 % und bei Brennwertkesselanlagen 90 – 97 %.

### 6.2.2 Biomassekessel

Die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wie Holzhackschnitzel oder Holzpellets, erfolgt ebenfalls durch die Verbrennung. Im Unterschied zur Verbrennung fossiler Energieträger erfolgt die Verbrennung nahezu  $\text{CO}_2$ -neutral, da das im Holz gebundene  $\text{CO}_2$  bei der natürlichen Verrottung – biologischer Abbau im Wald ebenfalls frei würde und durch den Biomassezuwachs (nachwachsender Rohstoff) wieder gebunden wird.

Der Kesselanlagennutzungsgrad für Biomasseheizungen welche mit dem genormten Brennstoff Holzpellets mit einem Heizwert von 4,9 kWh/kg betrieben werden, liegt gemäß. Betreibererfahrung der Autorin zwischen 80-87 %. Der Kesselanlagennutzungsgrad für Biomasseheizungen welche mit Holzhackschnitzeln aus Sägereholz oder Waldhackschnitzeln betrieben werden, beträgt bei einem Wassergehalt von bis zu 35 % gem. Betreibererfahrung der Autorin 80-85 %. Die Brennstoffzufuhr aus fester Biomasse zum Kessel erfolgt bei Biomasseanlagen über Rundfederaustragungen oder Schubbodenaustragungssysteme. Nachfolgend ist der Grundriss des Biomassekessels mit Rundfederaustragung des Biomassenahwärmeheizwerks Mitterteich (siehe unter 7.8), exemplarisch abgebildet. Bei der Rundfederaustragung befindet sich in der Mitte ein Teller, welcher über drei



ausklappbare Arme mit Feder die Hackschnitzel aus dem Bunker in eine Schnecke transportiert. Diese fördert den Brennstoff weiter zur Verbrennung in den Kessel.

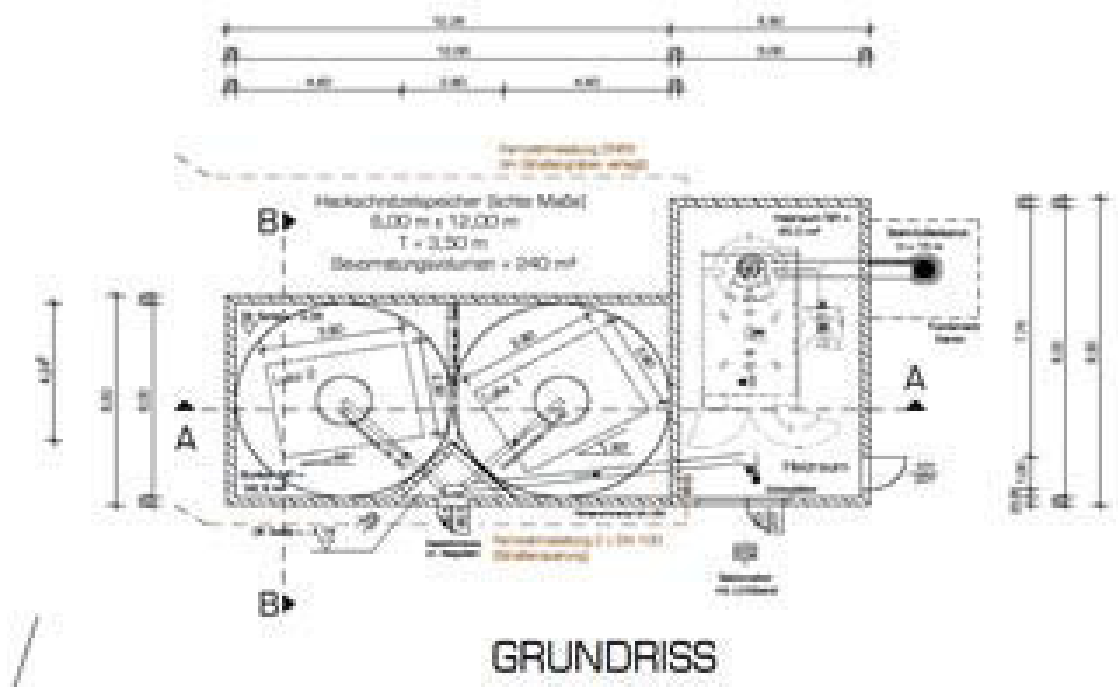


Abbildung 18: Biomassekessel und Biomasselager mit Rundfederaustragung des Biomassenahwärmeprojektes Mitterteich – aus Machbarkeitsstudie Mitterteich

### 6.2.3 Blockheizkraftwerk (Kraft-Wärme-Kopplung)

Neben den Verbrennungsanlagen zur reinen Wärmeerzeugung, werden auch sogenannte Blockheizkraftwerke (BHKW) zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung welche mit Erdgas oder Heizöl betrieben werden können, eingesetzt. BHKWs arbeiten mit Verbrennungsmotoren im elektrischen Leistungsspektrum zwischen 5 und 10.000 kW. Durch weitgehende Nutzung der Motorabwärme erzielen BHKW-Anlagen Gesamtwirkungsgrade von bis zu 90%. Dabei liegen die elektrischen Wirkungsgrade je nach Verbrennungsprinzip zwischen 35% (Otto-Prozeß) und 38% (Diesel-Prozeß) (Recknagel, 2009, S. 768).

Die Wärme- und Stromerzeugung aus holzartigen Brennstoffen erfolgt nicht durch BHKWs sondern über ORC-Technologie oder Holzvergaser. Auf diese Technologien wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Grundsätzlich verbindet die Kraftwärmekopplung die Wärme- und Stromerzeugung und ist somit eine effiziente Art der Energieerzeugung. Einschränkend ist allerdings zu erwähnen, dass Blockheizkraftwerke i.d.R. wärmegeführt betrieben werden müssen, um wirtschaftlich und effizient zu arbeiten. Das heißt nur bei Wärmeabnahme wird gleichzeitig Strom

produziert, der von den Wärmeabnehmern mit genutzt werden kann. Bei der Wärmeversorgung für Wohnzwecke wird während der Sommermonate meist wenig Wärme benötigt, daher werden Blockheizkraftwerke üblicherweise auf den Warmwasserbedarf welcher ganzjährig benötigt wird, ausgelegt. Die Betriebsweise von stromgeführten BHKWs führt dazu, dass die gleichzeitig erzeugte Wärme nicht vollständig genutzt werden kann und ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben wird. Bei dieser Betriebsweise gehen somit bis zu 60 % des eingesetzten Primärenergieinhalts ungenutzt verloren.

Blockheizkraftwerke können auch mit Biogas oder Bioölen betrieben werden. Biogas (Hauptbestandteil Methan) wird mittels Fermentation aus organischen Abfällen wie z. B. Gülle, Grünabfällen, Lebensmittelresten oder nachwachsenden Rohstoffen wie Mais oder Getreide erzeugt. Zu Bioölen gehören Pflanzenöle wie z. B. Raps- oder Palmöl. Um bei der energetischen Verwertung von Getreide und Pflanzen/-ölen nicht die gleichen Fehler wie bei der Nutzung fossiler Energieträger zu begehen, wurde die BioSt-NachV (siehe 2.2) eingeführt, in der die Nachhaltigkeitsanforderungen für flüssige Biomasse definiert sind.

### Biogas-Anlage

Für die Biogasproduktion eignen sich Gülle und feste Biomasse. Mit einem Rind von 500 kg Gewicht kann pro Tag z. B. eine Gasausbeute von maximal 1,5 Kubikmeter erzielt werden. Energetisch entspricht dies in etwa einem Liter Heizöl. Nachwachsende Rohstoffe liefern jährlich zwischen 6 000 Kubikmeter (Wiesengras) und 12 000 Kubikmeter (Silomais/Futterrüben) Biogas pro Hektar Anbaufläche.

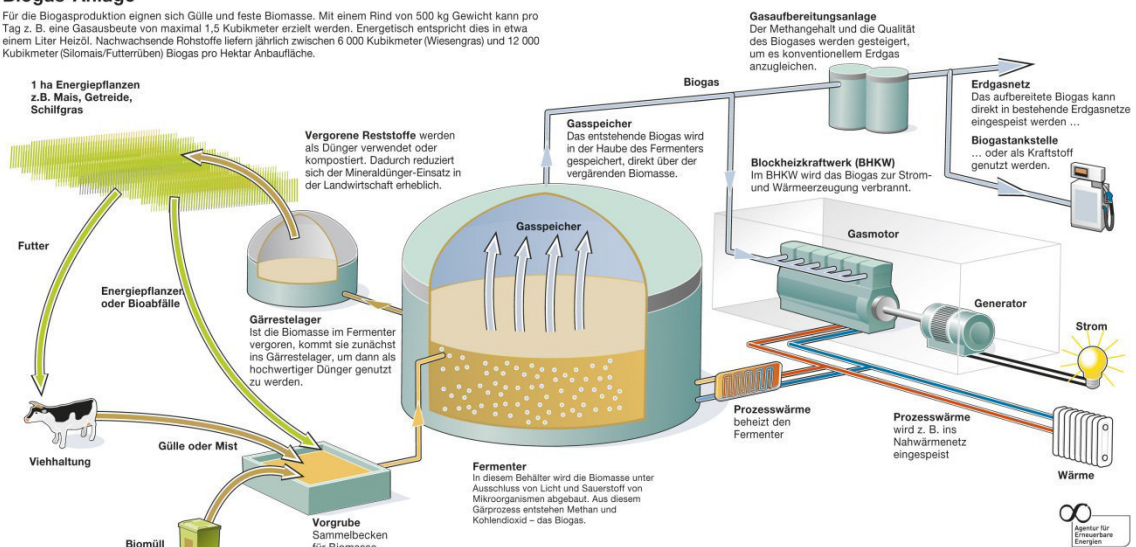


Abbildung 19: Prinzipschema Biogasanlage (V., Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2008)

Die Autorin vertritt die Auffassung dass die Energieerzeugung zur Stromnutzung nicht höher wertig als die Energieerzeugung zur Wärmenutzung ist, da für beide Erzeugungsarten Primärenergieträger und damit Ressourcen verbraucht werden. Wichtig ist vielmehr eine möglichst hohe Effizienz bei jeder Energieerzeugungsart und damit aus dem Primärenergieträger, zu erzielen. Dies gilt auch für die Nutzung

regenerativer / nachwachsender Primärenergieträger. Ziel muss daher sein, möglichst hohe Anlagennutzungsgrade und möglichst geringe Verluste in der gesamten Prozesskette von der Primärenergieträgergewinnung über die Energieerzeugung bis zur Wärmenutzung zu erreichen. Daher sollte der Begriff Abwärmenutzung oder Abfallwärme nicht verwendet werden, da dies eine negative Bewertung der aus dem Primärenergieträger erzeugten Wärme darstellt.

#### **6.2.4 Wärmepumpen**

Von den mittels Strom als Energieträger betriebenen Wärmeerzeugungsanlagen wird nachfolgend die Wärmepumpentechnologie näher beschrieben, da sie die Wärmeenergie der Wärmequelle Luft, Grundwasser, Oberflächenwasser wie z.B. Bächen oder dem Erdreich entzieht und die elektrische Energie nur zur Temperaturerhöhung der aus der Wärmequelle gewonnenen Temperatur benötigt.

Das Funktionsprinzip der Wärmepumpe beruht darauf der Wärmequelle Temperatur zu entziehen und diese auf ein für Heizzwecke geeignetes Temperaturniveau anzuheben. Das gleiche Prinzip wird bei Kälteanlagen umgekehrt angewendet. Hier wird durch den Wärmeentzug die Temperatur für die Kühlung reduziert.

Die Wärmepumpe arbeitet in vier Prozessschritten verdampfen, verdichten, verflüssigen und entspannen. Am Verdampfer erfolgt die Wärmeaufnahme mittels Kältemittel, welches bereits bei niedrigen Temperaturen verdampft. Das verdampfte gasförmige Kältemittel wird anschließend von einem Verdichter welcher die hierfür benötigte Arbeit zur Wärmetransformation von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau leistet, angesaugt und komprimiert. Die Komprimierung des Kältemittels erhöht die Temperatur des Kältemittels auf ein für Heizzwecke nutzbares Niveau. Das erhitzte Kältemittel gibt seine Temperatur an einem zweiten Wärmetauscher, kühlt sich ab und kondensiert. Anschließend wird das verflüssigte und abgekühlte Kältemittel entspannt und mit der Verdampfung beginnt der Prozess von vorn (Informationsdienst, 2000, S. 2).

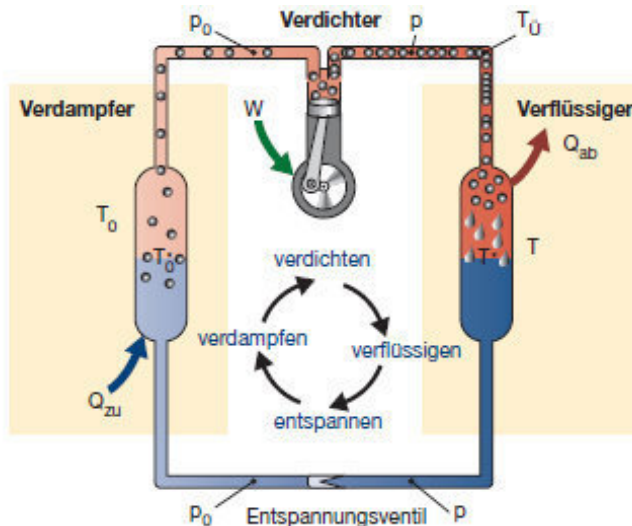


Abbildung 20: Prinzipskizze Wärmepumpe (Informationsdienst, 2000, S. 2)

Der benötigte Strom zum Betrieb der Wärmepumpe als erzeugte elektrische Energie (siehe Kap. 7), wird bisher noch hauptsächlich aus fossilen Primärenergieträgern in Kohle-, Atom-, oder Gaskraftwerken erzeugt. Durch die Umwandlungs-, Wirkungsgrad- und Transportverluste kommen vom eingesetzten Brennstoff jedoch nur zu 30-40 % als nutzbarer Strom (Endenergie) beim Endverbraucher an. Durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wie Windkraft, Photovoltaik u. a. wird Strom zunehmend aus erneuerbaren Primärenergieträgern erzeugt. Dadurch verbessert sich die Ökobilanz des Einsatzes von Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung zunehmend.

Die Leistung einer Wärmepumpe wird mit zwei Kennwerten beschrieben. Zum einen mit der Leistungszahl dem **COP-Wert**, welcher aus dem Verhältnis der Leistungsaufnahme zur abgegebenen Leistung berechnet wird. Dieser stellt den technisch theoretisch erreichbaren Maximalwert dar. Zum anderen mit der **Jahresarbeitszahl**, welche das Verhältnis zwischen der abgegebenen Leistung an den Wärmeabnehmer (erzeugte Nutzwärme) und der hierfür benötigten elektrischen Leistung unter Berücksichtigung aller eingesetzter Hilfsenergien eines Jahres wieder gibt (Thomsen, Liebsch-Dörschner, & Kirsch, 2006, S. 13). Die Jahresarbeitszahl ist vergleichbar mit dem Jahresnutzungsgrad einer Kesselanlage. Dieser ist ein Wert für die Effizienz einer Wärmepumpe.

Aus einer Kilowattstunde Strom lassen sich mittels Wärmepumpe theoretisch bis zu 5 kWh Nutzwärme erzeugen. Jahresarbeitszahlen von 5 werden in der Praxis jedoch nicht erreicht. Wärmepumpen können im Niedrigtemperaturbereich effizient eingesetzt werden, da sie nur eine Vorlauftemperatur von maximal 50-60 °C erreichen. Daher sind sie bei Bestandsgebäuden ohne Sanierungsmaßnahmen auf der Wärmeabnahmeseite

nur für die Wärmenutzung bei Heizwassertemperaturen in niedrigem Temperaturbereich wie z. B. bei Fußbodenheizungssystemen mit 35°C - 50°C Vorlauf-temperatur oder in Niedrigenergiehäusern einsetzbar. Übliche Radiatorenheizsysteme die häufig in Bestandsgebäuden vorhanden sind, benötigen hingegen Vorlauf-(VL) und Rücklauf-temperaturen (RL) von 90°C VL/70 °C RL.

Die Kategorisierung von Wärmepumpen erfolgt zum einen nach der Wärmequelle aus der die Temperatur entzogen wird und der Wärmepumpe zugeführt wird und zum anderem nach der Wärmepumpenbauart.

#### 6.2.4.1 Wärmequelle Luft - Luft-Wärmepumpe

Luft/Luft-Wärmepumpen werden meist im Einfamilienhausbereich eingesetzt und nutzen als Wärmequelle die Abluft aus Wärmerückgewinnungsanlagen oder die Außen-/Umgebungsluft. Der Wärmepumpeneinsatz ist nur bis ca. 0 °C sinnvoll, da im Winter kein genügender Temperaturentzug effizient möglich ist und die Jahresarbeitszahl zu schlecht ist. Der Einsatz ist i.d.R. nur bei Gebäuden mit niedrigem Heizwärmebedarf von ca. 40 kWh/m<sup>2</sup> sinnvoll. Daher ist eine Zusatzheizung mittels Elektroheizpatrone oder Verbrennungsanlage erforderlich. Die Jahresarbeitszahl ist im Vergleich zu anderen Wärmequellen mit 1-2,5 relativ schlecht. Aufgrund der schlechten Effizienz ist nur ein bivalenter Betrieb mit einer entsprechenden Zusatzheizung sinnvoll. Für Wärmenetze ist der Einsatz von Luft-Wärmepumpen ebenfalls nur als Co-Wärmelieferung bei Temperaturen über 0°C sinnvoll. Für diesen Einsatzfall ist der Einsatz von Wasser- oder Erdwärmepumpen aufgrund der besseren Jahresarbeitszahl und damit ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen sinnvoller. Aus diesem Grund wird im Weiteren die Luft-Wärmepumpe nicht weiter berücksichtigt.

#### 6.2.4.2 Wärmequelle Wasser - Wasser-Wärmepumpe

Wasser/Wasser-Wärmepumpen nutzen als Wärmequelle Grundwasser das ganzjährig eine relativ gleichmäßige Temperatur besitzt. Das Grundwasser wird mittels Entnahmebrunnen entnommen und nach der Temperaturentnahme von rund 4°C und Abgabe an die Wärmepumpe zur Temperaturniveauanhebung mittels Förderbrunnen, wieder in den Grundwasserleiter eingeleitet. Der Förderbrunnen muss einen ausreichenden Abstand (ca. 50 m) zum Entnahmebrunnen haben, um eine Temperaturauskühlung des Grundwassers zu vermeiden. Für die Grundwassernutzung ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

#### 6.2.4.3 Wärmequelle Erdreich - Erd-Wärmepumpe

Hier dient das Erdreich als Wärmequelle die Erdwärmennutzung wird unter 6.2.6 Geothermie näher erläutert. Die Wärme aus dem Erdreich wird von Kollektoren oder Sonden aufgenommen in denen Ethylenglykol-, Polyethylenglykol-Wassergemische oder Salzlösungen der Wassergefährdungsklasse 1 zirkulieren (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 6).

#### 6.2.4.4 Kältemittel

Je nach Anwendungszweck und Wärmepumpentechnologie kommen verschiedene Kältemittel zum Einsatz, die unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Umwelt haben. Zu den natürlichen Kältemitteln zählen Wasser, Ammoniak, CO<sub>2</sub>, Propan und Propen. Welche bis zu den 30er Jahren in der Kältetechnik eingesetzt wurden. Diese wurden durch den Einsatz von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKWs) aufgrund der Ungiftigkeit und Nichtbrennbarkeit zunehmend verdrängt. Durch die ozonschädigende Wirkung und damit verbunden Klimaeinflüsse wird der Einsatz von FCKWs zunehmend verboten und wieder vermehrt natürliche Kältemittel eingesetzt (Informationsdienst, 2000, S. 2).

Wasser ist beim Einsatz für Kühltemperaturen über dem Gefrierpunkt einsetzbar. Vorteil ist das kein separater Wärmetauscher /-übertrager notwendig ist. Dadurch wird eine höhere Effizienz der Anlage erreicht. Allerdings müssen höhere Volumenströme und mehr Verdichterleistung erbracht werden was technisch anspruchsvolle Systeme wie Wasserkompressionsanlagen erfordert. (Informationsdienst, 2000, S. 2)

Ammoniak wird seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt und hat den Vorteil, dass es nicht ozonschädigend ist und kein Treibhauspotential hat. Nachteil ist die Brennbarkeit und Toxizität (Informationsdienst, 2000, S. 2) .

Propan wird als Ersatz für die verbotenen FCKWs R502 und R22 in der Kälte- und Wärmepumpentechnik eingesetzt. Es ist nicht ozonschädigend und besitzt ein geringes Treibhauspotential. Wegen der leichten Entflammbarkeit sind zusätzliche sicherheitstechnische Einrichtungen erforderlich (Informationsdienst, 2000, S. 2).

Kohlendioxid ist ebenfalls nicht ozonschädigend und hat im Verhältnis zu anderen Kältemitteln ein geringeres Treibhauspotential. Kohlendioxid ist ab einer Temperatur von 31 °C bereits nicht mehr verflüssigbar daher erfordert der Einsatz hohe Drücke und speziell ausgelegte Verdichter und Wärmeübertrager. Vorteil ist hingegen die hohe Kälteleistung und damit mögliche kompakte Bauweise bei kleinen Rohrquerschnitten. Besonderheit ist die nicht isotherme Kondensation nach der Verdichtung sondern eine

isobare Abkühlung unter gleitender Temperatur. Abbildung 21 zeigt den Überblick samt Eigenschaften „natürlicher“ Kältemittel (Informationsdienst, 2000, S. 2).

Kältemittel	Kürzel	Formel	ODP <sup>1</sup>	GWP <sub>100</sub> <sup>2</sup>	Ersatz für	Brennbarkeit	Toxizität
Kohlendioxid	R744	CO <sub>2</sub>	0	1	Diverse	nein	nein
Ammoniak	R717	NH <sub>3</sub>	0	0	R22, R502	ja	ja
Wasser	R718	H <sub>2</sub> O	0	0		nein	nein
Propan	R290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0	3	R22, R502	ja	nein
Propen	R1270	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	3		ja	nein

**1** = Ozon Depletion Potential; **2** = Global Warming Potential

Abbildung 21: Übersicht Kältemittel (Informationsdienst, 2000, S. 2) <sup>11, 12</sup>

Als Kältemittel werden heute ausschließlich FCKW-freie Kältemittel eingesetzt. Hierzu zählen R410a (besteht zu je 50 % aus Difluormethan (R32) und Pentafluorethan (R125)), R134a (Tetrafluorethan), R407c (aus 23% Difluormethan, 25 % Pentafluorethan und 52 % 1,1,1,2-Tetrafluorethan (R134a)) sowie Propan (R290) u. a. (Krahmer, 2004, S. 3) und (Gasco). Neben den klima- und ozonrelevanten Umweltwirkungen haben Kältemittel auch wassergefährdende Wirkungen und werden je nach Umweltgefährdung in verschiedene Wassergefährdungsklassen eingeteilt. Außer Propan (nicht wassergefährdend), werden diese der Wassergefährdungsklasse 1 zugeordnet. Neben Kältemitteln kommen bei Wärmepumpen weitere Additive wie z. B. Korrosionsinhibitoren in Sonden und Kollektoren oder Schmieröle im Verdichter zum Einsatz, welche ebenfalls wassergefährdend sind (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 6). Anwendungs- und Entsorgungshinweise etc., zum jeweiligen Kältemittel und Inhibitor, sind im zugehörigen Datensicherheitsblatt zu beachten. Diese sind exemplarisch für das Kältemittel Propan (PanGas AG, 2011) und den Inhibitor Ethylenglykol (Tyforop Chemie GmbH, 2011) im Anhang aufgeführt. Daher sollte beim Einsatz auf die Umweltfreundlichkeit von Kältemitteln und Inhibitoren geachtet werden.

Die Umweltrelevanz der eingesetzten Kältemittel und Zusatzstoffe ist bei der Nachhaltigkeitsbewertung grundsätzlich zu prüfen. Bei den ab 7.7 untersuchten Wärmeversorgungsvarianten wird vom Einsatz nicht umweltgefährdender Stoffe ausgegangen.

Nachfolgend werden die Wärmepumpenbauarten näher beschrieben.

<sup>11</sup> Ozon Depletion Potential: Ozonabbaupotenzial, Potenzial/Maßzahl einer chemischen Verbindung zum Ozonabbau beizutragen.

<sup>12</sup> Global Warming Potential: Treibhauspotential - Die vom Weltklimarat IPCC definierten Treibhausgas-Emissionen. Die Treibhauspotenziale beruhen auf der relativen Treibhauswirkung von Treibhausgasen in Relation zu CO<sub>2</sub> unter Einrechnung der jeweiligen atmosphärischen Verweildauer.

#### 6.2.4.5 Kompressionswärmepumpen

Die Kompressionswärmepumpe arbeitet mit einem elektrisch angetriebenen Kompressor und nutzt die aus dem Phasenwechsel des Kältemittels zwischen flüssig und gasförmig entstehende Verdampfungswärme. Neben dem elektrischen Antrieb des Kompressors kann dieser auch mittels Verbrennungsmotor mit Öl oder Gas angetrieben werden.

#### 6.2.4.6 CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe / Expansions-Kompressionsmaschine

Um mittels Wärmepumpe höhere Vorlauftemperaturen zu erreichen, wurde von der TU-Dresden im Rahmen des Forschungsvorhabens COHEPS eine CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe entwickelt welche als Kältemittel CO<sub>2</sub> einsetzt. Hierbei erfolgt ein zweistufiger Verdichter-/Entspannungsprozess wobei die mechanische Entspannungsarbeit zur Verbesserung der Arbeitszahl teilweise genutzt wird (Informationsdienst, 2000, S. 1, 3).

#### 6.2.4.7 Absorptionswärmepumpen

Bei der Absorptionswärmepumpe<sup>13</sup> wird durch das Vermischen / reagieren zweier unterschiedlicher Flüssigkeiten die daraus entstehende Reaktionswärme über zwei Kreisläufe genutzt. In einem Kreislauf zirkuliert das Kältemittel und im zweiten Kreislauf das Lösungs-/Absorptionsmittel. Als Absorptionsmittel kommen Ammoniak/Wasser, Lithium/Bromid oder Lithium/Bromid/Wasser-Gemische zum Einsatz. Als Kältemittel werden Ammoniak (R717) und Lithium/Bromid eingesetzt (Krahmer, 2004, S. 3).

#### 6.2.4.8 Adsorptionswärmepumpen

Die Adsorptionswärmepumpe<sup>14</sup> beruht auf dem gleichen Prinzip wie die Absorptionswärmepumpe mit dem Unterschied das das Lösungsmittels sich hierbei nicht im flüssigen sondern festen Aggregatzustand befindet. Das Kältemittel wird am Lösungsmittel abwechselnd adsorbiert und desorbiert dadurch ist kein zweiter Kreislauf erforderlich.

#### 6.2.4.9 Thermochemische Wärmepumpe

Die Leuphana Universität Lüneburg entwickelt derzeit ein Konzept für eine „thermochemische Wärmepumpe“ welche mit thermochemischer und latenter Wärmespeicherung (siehe unter 6.4), kombiniert werden soll. Geplant ist der Einsatz

---

<sup>13</sup> Unter Absorption versteht man das in sich aufnehmen oder aufsaugen.

<sup>14</sup> Adsorption ist das anlagern an der Oberfläche eines Stoffes / Grenzfläche zwischen zwei Phasen – Desorption ist das Gegenteil davon.



der Wärmepumpe in Kombination mit einem kompaktem Speicher und einem Mikro-BHKW-System zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung für den Einfamilienhaus- und Mehrfamilienhausbereich. Hierzu erfolgt derzeit die Entwicklung und Testung eines Prototyps mit 80 kWh Speicherkapazität und ca. 1 m<sup>3</sup> Speichervolumen, 34 kW Einspeicherleistung und 10 kW Ausspeicherleistung. Dieser Prototyp soll den Wärmebedarf von einem Niedrigenergiehaus bereits über 1 Woche speichern. Endziel und Herausforderung ist die gleichzeitige Stromeinspeisung und Zusammenfassung vieler kleiner BHKWs und Steuerung für den Einsatz als Regelenergie am Strommarkt (Schmidt T. , 2012).

### **6.2.5 Solarthermie, Solarkollektoren**

Solarkollektoren nutzen die thermische Energie der direkten Sonneneinstrahlung für Heizzwecke und Warmwasserbereitung. Solarkollektoren werden als Vakuumröhrenkollektor oder Flachkollektor hergestellt. Aufgrund des günstigeren Preis-Leistungsverhältnisses wird hauptsächlich der Flachkollektor eingesetzt. Die auf die Kollektoroberfläche auftreffende Sonnenstrahlung erwärmt das im Kollektor (Absorber) zirkulierende Wärmeträgermedium, üblicherweise ein Wasser-Propylenglykollgemisch, auf eine mittlere Vorlauftemperatur von max. 50-60°C. Dies gibt die Wärme über einen Pufferspeicher / Wärmetauscher an die Wärmeabnehmer (Heizungssysteme und Warmwasserbereiter) ab. Begrenzend für den Solarthermiejinsatz wirkt die Trinkwasserverordnung welche zur Vermeidung von Legionellenbakterien eine Erhitzung des WW-Bereiters von mind. 65 °C vorgibt. Dadurch ist eine Nachbeheizung auf das geforderte Temperaturniveau erforderlich. Weiterhin liegt das Wärmeangebot vor allem während der Sommermonate vor, während der Wärmebedarf für Heizzwecke vor allem während der Wintermonate besteht. Deshalb sind für den effizienten Einsatz der Solarthermie sinnvolle Wärmespeichertechnologien notwendig die ab 6.4 beschrieben werden. Das Funktionsprinzip einer Solarthermieanlage ist in Abbildung 22 aufgeführt.

## Wärme von der Sonne ...

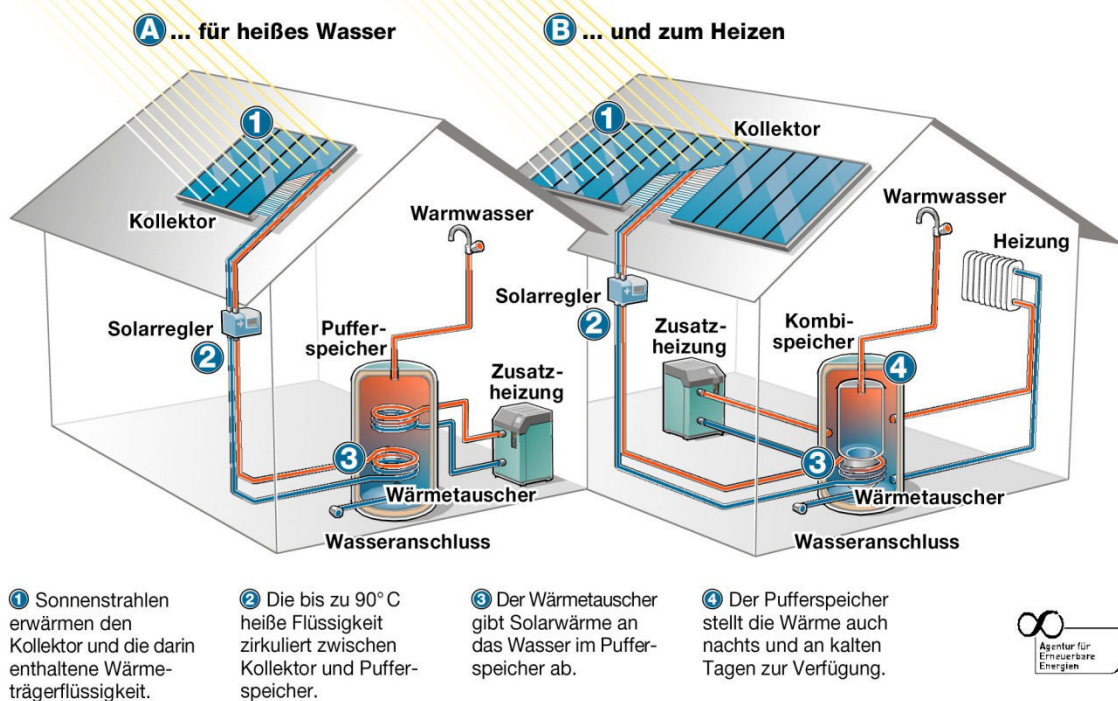
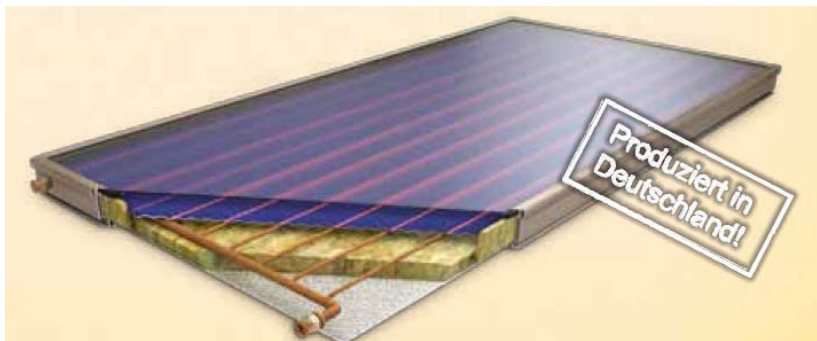


Abbildung 22: Wie funktioniert eine Solarthermieanlage (Agentur für Erneuerbare Energien, 2005)

Durch das Propylenglykollgemisch als Wärmeträgermedium im Kollektor, wird die Siedetemperatur des Wassers erhöht und der Gefrierpunkt gesenkt. Dadurch kann der Solarkollektor in einem größeren Temperaturniveau eingesetzt werden. Propylenglykol ist eine ungiftige wasserlösliche, farblose brennbare Flüssigkeit mit einem Schmelzpunkt von -59 °C und einem Siedepunkt bei 188 °C (siehe Anhang). Es ist als Lebensmittelzusatzstoff unter der Bezeichnung E1520 zugelassen (Krisch Dienst Fluidtechnik). Als Korrosionsschutz werden sogenannte Inhibitoren wie Tyfocor, LS, Antifrogen oder SOL zugegeben aufgrund der Ökotoxizität und Humantoxizität sind bei der Entsorgung die Vorschriften laut Sicherheitsdatenblatt (siehe Anhang), zu berücksichtigen (TYFO, 2013).

Wegen der Marktbeherrschung des Flachkollektors wird bei der Indikatorentwicklung diese Technik berücksichtigt. Der klassische Flachkollektor besteht aus einer Solarglasabdeckung in einem Metallrahmen oder Kunststoffrahmen. Im Inneren befindet sich der Absorber bestehend aus einem Absorberblech aus Kupfer oder Aluminium und einem Kupferröhrensystem (siehe Abbildung 23) (Rädisch, 2012). Solarglas enthält weniger Eisen und lässt mehr Sonneneinstrahlung hindurchtreten als herkömmliches Fensterglas.



CS-Kollektortyp	CS 100 F
Abmessung LxBxH	1985 x 1045 x 93 mm
Bruttofläche	2,07 m <sup>2</sup>
Absorberfläche	1,89 m <sup>2</sup>
Anschlüsse	2 x 18 mm CU; Konusverbindung
Wärmeträgerinhalt	1,3 Liter
Gewicht	38 kg
Abdeckung	Solarsicherheitsglas 3,2 mm
Kollektorrahmen	Alu-Doppelrahmen
Absorber	Kupfer-Absorber mit hochselektiver TINOX Beschichtung

Abbildung 23: Flachkollektor CS 100 F (Citrin Solar, 2013)

### 6.2.6 Geothermie

Die im Erdinneren vorhandene Wärmeenergie für die geothermische Nutzung stammt zu ca. 70 % aus dem laufenden Zerfall radioaktiver Elemente wie Uran-, Thorium-, und Kaliumisotopen und zu ca. 30 % von der Gravitationswärme aus der Entstehung der Erde vor ca. 4,5 Mrd. Jahren. (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 7) Daher ist diese Energieform nach menschlichen Zeiträumen gerechnet nahezu unbegrenzt vorhanden.

Bei der Geothermie erfolgt die Nutzung der Wärme aus dem Erdreich für Heizwecke Kälte- und Stromerzeugung. Hierbei wird zwischen oberflächennaher und Tiefengeothermie unterschieden. Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht der beschriebenen Geothermiesysteme und das Temperaturniveau im Erdreich bei dem diese eingesetzt werden.

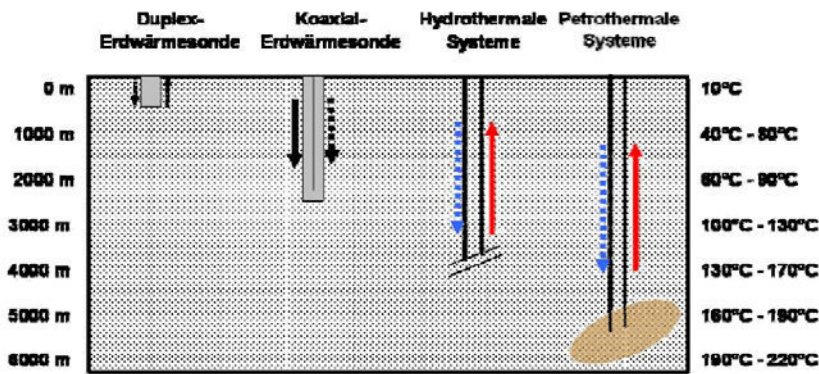


Abbildung 24: Übersicht Geothermiesysteme (Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.), 2009, S. 2)

### 6.2.6.1 Oberflächennahe Geothermie

Unter **oberflächennaher Geothermie** versteht man die indirekte Nutzung der thermischen Energie aus der Sonnenstrahlung über das aufgeheizte Erdreich oder versickerndem Niederschlagswasser bis zu einer Tiefe von ca. 150 m (Thomsen, Liebsch-Dörschner, & Kirsch, Geothermie in Schleswig-Holstein. Leitfaden für oberflächennahe Erdwärmeanlagen, Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden., 2006, S. 6). Diese beträgt anteilig für Prozesse im Erdinneren 0,065 W/m<sup>2</sup>, für Niederschläge ca. 0,58 W/m<sup>2</sup> und Sonneneinstrahlung max. 900 W/m<sup>2</sup> in Mitteleuropa 20 W/m<sup>2</sup> bei Bewölkung im Winter (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 10).

Ab einer Bodentiefe von ca. 15 m herrscht eine relativ konstante Temperatur von 10 °C vor. Pro 100 m Tiefenzunahme steigt die Temperatur durchschnittlich um 3 °C an. Der Boden wirkt somit ausgleichend, im Winter als Wärmespeicher und im Sommer als Kältespeicher (Landesamt für Natur und Umwelt, 2001, S. 7). Die Auslegung und Dimensionierung erfolgt gemäß der VDI 4640.

Technisch gesehen ist die oberflächennahe Geothermie nahezu überall möglich, innerhalb Trinkwassereinzugsgebieten ist eine wasserrechtliche Erlaubnis notwendig, welche erteilt wird wenn Beeinträchtigungen des Grundwassers nicht zu befürchten sind. Abbildung 25 zeigt die Einsatzmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie.

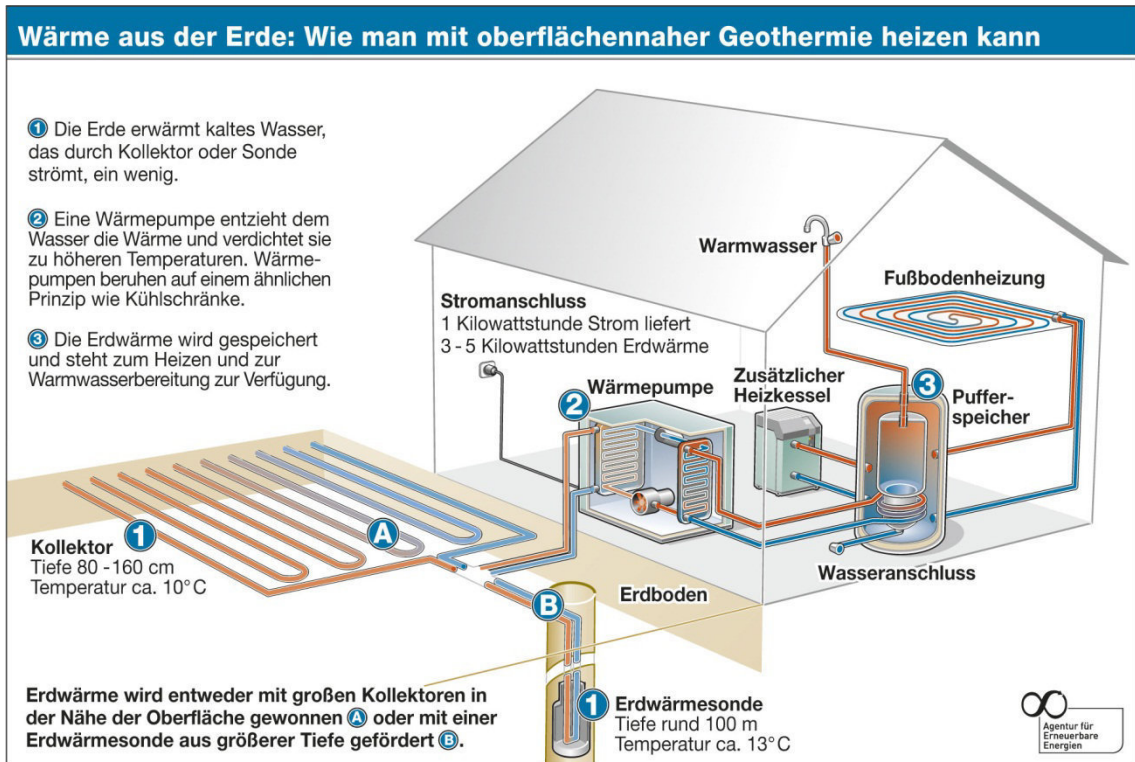


Abbildung 25: Prinzipschema oberflächennahe Geothermie (Agentur für Erneuerbare Energien, 2005; V., Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009)

### 6.2.6.1.1 Erdwärmekollektoren

Je nachdem, welche Technik zum Einsatz kommt, kann die Wärme aus dem oberflächennahen Erdreich mittels Wärmepumpen zur Temperaturniveauanhebung über Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder Energiepfähle entnommen werden. **Erdwärmekollektoren** werden flächenhaft in einer Tiefe von 1 m – 1,5 m verlegt und bestehen aus Kunststoffrohren wie Polyethylen oder Polypropylen. Pro kW-Heizleistung wird eine Bodenfläche zum Entzug der notwendigen Wärme von 25-50 m<sup>2</sup> angesetzt (Thomsen, Liebsch-Dörschner, & Kirsch, 2006, S. 8, 10). Je nach Bodenbeschaffenheit werden Wärmeentzugsleistungen von etwa 35 W pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche erreicht (Krahmer, 2004, S. 4). Der Flächenbedarf beträgt insgesamt ca. das 1,5 – 2 fache der zu beheizenden Fläche. Vorteil der Erdwärmekollektoren ist die unkomplizierte Auslegung und der Einbau. Weiterhin die niedrigen Anschaffungskosten und die vollständige Regeneration. Nachteilig ist der hohe Flächenbedarf, keine Überbaubarkeit der Fläche sowie die Abhängigkeit von jahreszeitlichen Temperatureinflüssen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 12).

Zu Sonderbauformen der Erdwärmekollektoren zählen Vertikalkollektoren, Erdwärmekörbe, Energiepfähle, Grabenkollektoren und Kompaktkollektoren. Bei



diesen Bauformen ist meist ein geringerer Flächenbedarf notwendig. Jedoch verschlechtert sich die Regenerationsfähigkeit mit der Einbautiefe. Weiterhin steigt die Vereisungsgefahr und damit die Gefahr von Hebungen oder Setzungen im Erdreich (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 13). Diese Bauformen werden im Weiteren nicht näher betrachtet.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Direkt- und Indirektverdampfung. Bei der Direktverdampfung fungiert das Wärmeträgermedium im Kollektor gleichzeitig als Kältemittel. Bei der Indirektverdampfung hat das Wärmeträgermedium die sogenannte Sole einen eigenen Kollektor-Kreislauf und überträgt die Wärme an den separaten Kältemittelkreislauf (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 13, 15).

Im Hinblick auf die Wassergefährdung und den derzeitigen wasserrechtlichen Umgang mit Erdwärmekollektoren, besteht bei privaten Anlagen lediglich eine Anzeigepflicht auf Basis des Art. 34 BayWG<sup>15</sup>, bei solebetriebenen und im Grundwasser verlegten Erdwärmekollektoren wegen der möglichen Einflussnahme auf das Grundwasser. Öffentliche und gewerbliche Anlagen unterliegen ebenfalls der Anzeigepflicht wenn von einer Einflussnahme auf das Grundwasser ausgegangen wird. Wenn der Erdwärmekollektor 1 m über dem höchsten Grundwasserstand verlegt ist, erfolgt keine wasserrechtliche Behandlung, da hier von keiner Einflussnahme auf das Grundwasser ausgegangen wird (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 15, 16). Falls die Prüfung durch das Landratsamt ergibt, dass eine Beeinflussung des Grundwassers erfolgt, ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. Beim Bau der Anlagen ist darauf zu achten, dass lösbare Verbindungen in dichten Kontrollschächten angeordnet sind, nicht wassergefährdende Wärmeträgergemische auf Basis Ethylenglykol, Propylenglykol oder Calciumchlorid eingesetzt werden und weiterhin Additive wie Korrosionsinhibitoren nur in solchen Konzentrationen beigegeben werden, dass Sie maximal unter die Wassergefährdungsklasse 1 fallen. Außerdem müssen Leckageüberwachungssysteme vorhanden sein und eine Dichtheitsprüfung bei 0,5 bar durchgeführt werden. Zudem sind PE-Rohre (Temperaturbereich -20 bis 30 °C) im Sandbett zu verlegen bzw. im Grundwasser nur PEX-Rohre (vernetztes Polyethylen, Temperaturbereich -40 bis 90 °C) zu verlegen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 16, 17).

Hierbei ist anzumerken dass derzeit keine Überprüfungen bei nicht anzeigepflichtigen Anlagen erfolgen. D. h. es wird nicht überwacht ob die Anlagen ordnungsgemäß nach dem Stand der Technik verbaut werden und daher Leckagen möglicherweise zu negativen Umweltauswirkungen führen können.

---

<sup>15</sup> BayWG: Bayerisches Wassergesetz

### 6.2.6.1.2 Erdwärmesonden

Die neben Erdwärmekollektoren häufig eingesetzte Form zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie erfolgt mittels **Erdwärmesonden**. Diese sind für den Einsatz in kleinen Nahwärmenetzen geeignet. Deshalb wird diese Technik mit den Einsatzbedingungen detailliert beschrieben. Erdwärmesonden bestehen i. d. R. aus paarweisen gebündelten U-förmigen Kunststoffrohrschleifen und werden über Bohrungen mit Durchmessern von 15-25 cm vertikal bis zu einer Tiefe von rund 150 m eingebracht. Als Wärmeträgermedium dient wie bei Solarkollektoren ein Wasser-Frostschutzgemisch, welches dem Erdreich die Wärme entzieht und diese an die Wärmepumpe zur Temperaturerhöhung abgibt (Thomsen, Liebsch-Dörschner, & Kirsch, 2006, S. 8, 9). Um eine ausreichende Punktlast- und Spannungsbeständigkeit des Sondenmaterials beim Bau und Betrieb zu gewährleisten, ist vernetztes Polyethylen (PE-X) oder unvernetztes erhöht spannungsbeständiges Polyethylen PE 200-RC (PE-RC) zu verwenden (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 25). Die Entzugsleistung beträgt je nach Bodenbeschaffenheit 30 bis 80 W pro m Sondenlänge (Krahmer, 2004, S. 4).

Die notwendige Sondenlänge lässt sich mit Hilfe des Schichtenprofils sowie Informationen der hydrogeologischen Verhältnisse aus geologisch-hydrogeologischen Karten und Bohrungen in der Nähe, unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebsstunden, die Wärmeentzugsleistung ableiten. In Verbindung mit der Wärmepumpenheizleistung und der Wärmepumpenarbeitszahl lässt sich daraus die Sondenlänge gem. VDI 4640 ermitteln (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 20, 21).

Auf die Wärmeentzugsleistung haben örtliche Faktoren wie Höhenlage, Bodenbeschaffenheit, Wind, Wassersättigung und Sonneneinstrahlung Einfluss, welche die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität im Boden verändern (siehe

	$\lambda$ [W/mK]	$C_V$ [MJ/(m <sup>3</sup> ·K)]
Ton/Schluff trocken	0,4-1,0	1,5-1,6
Ton/Schluff, wassergesättigt	1,1-3,1	2,0-2,8
Sand, trocken	0,3-0,9	1,3-1,6
Sand, feucht	1,0-1,9	1,6-2,2
Sand, wassergesättigt	2,0-3,0	2,2-2,8
Wasser	0,59	4,15
Luft	0,02	0,0012
Eis	2,3	1,9

Abbildung 26).

	$\lambda$ [W/mK]	$C_V$ [MJ/(m <sup>3</sup> ·K)]
Ton/Schluff trocken	0,4-1,0	1,5-1,6
Ton/Schluff, wassergesättigt	1,1-3,1	2,0-2,8
Sand, trocken	0,3-0,9	1,3-1,6
Sand, feucht	1,0-1,9	1,6-2,2
Sand, wassergesättigt	2,0-3,0	2,2-2,8
Wasser	0,59	4,15
Luft	0,02	0,0012
Eis	2,3	1,9

Abbildung 26: Auszug aus VDI 4640 Teil 1 (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 11)

Wie Erdwärmekollektoren können auch Erdwärmesonden bei nicht sachgerechter Handhabung negative Auswirkungen auf das Grundwasser haben.

Um schädliche Einflüsse auf das Grundwasser zu vermeiden, ist die Durchteufung eines Grundwasserstauers grundsätzlich nicht zulässig. Ob die benötigte Wärmeleistung durch Erdwärmesonden möglich ist, hängt demnach von der Gesteinsbeschaffenheit und der Tiefenlage grundwasserstockwerk-trennender Schichten ab. Derzeit ist keine zuverlässige Abdichtung grundwasserstockwerk-trennender Schichten gewährleistet, da bautechnisch noch keine wasserdichte Haftung der Verpressmaterialien (z. B. Zement-Bentonit-Suspension) an den Kunststoffsondenrohren möglich ist. Hierdurch entstehen Wasserwegsamkeiten (siehe Abbildung 27), die sich im Laufe der Zeit durch die unterschiedliche Wasserspiegel- und Druckspiegelhöhen verstärken können.

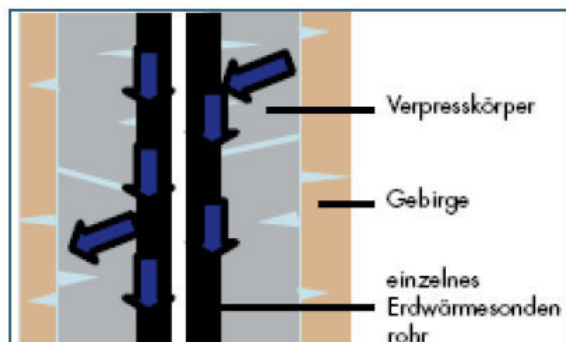


Abbildung 27: Wasserwegsamkeiten infolge Erosion und fehlender Haftung, (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 21)



Die folgende Abbildung zeigt die Anordnung des Bohrlochs und den Sondendurchmesser. Um den Bohrdurchmesser soll ein Ringraum von mindestens 30 mm verbleiben (Bohrdurchmesser  $\geq$  Sondenbündeldurchmesser + 60 mm), bei Lockergestein 40 mm. Um eine gegenseitige Beeinträchtigung der Erdwärmesonden zu vermeiden ist ein Mindestabstand von 6 m zwischen den Sonden einzuhalten. Für eine optimale Wärmeübertragung vom Erdreich auf das Wärmeträgermedium (Sole), ist es wichtig auch bei minimaler Pumpenleistung noch eine turbulente Strömung zu erhalten. Die Betriebstemperatur des aus der Wärmepumpe in die Sonde zurück strömenden Wärmeträgermediums darf im Wochenmittel nicht kleiner als 0°C und bei Spitzenlast nicht kleiner als -5°C sein. Bei der Bauausführung zur Errichtung von Sonden sind im Hinblick auf Fachkenntnis und Sorgfalt, Sicherheits- und Unfallverhütungsmaßnahmen die DVGW Merkblätter 115 und 116 zu beachten. Von Bohrgeräten und Stangen dürfen keine wassergefährdenden Stoffe in den Untergrund gelangen. Daher sind z. B. biologisch abbaubare Schmiermittel zu verwenden (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 21, 22, 24).

Die korrekte Verpressung des Bohrloches mit schadstofffreien, nicht wassergefährdenden Fertig Zement-Bentonit-Suspensionen mit einer Dichte  $\geq 1,4$  kg/l, gewährleistet einen guten Wärmeübergang zwischen Erdwärmesonde und Erdreich und schützt gleichzeitig vor dem Eindringen wassergefährdender Stoffe in den Untergrund. Durch die Bedingungen im Untergrund und der verfügbaren Baumaterialien, sind dauerhaft Frost-Tau-wechselbeständige Verpressungen kaum herstellbar. Zu tiefe Sondentemperaturen führen zu Frostschäden am Ringraumverpresskörper. Thermisch optimierte Verfüllbaustoffe verbessern die Wärmeleitfähigkeit zwischen Erdreich und Sonde und verbessern die Wärmepumpenleistung um bis zu 5 %, wodurch sich die höheren Investitionskosten amortisieren (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 29, 47).

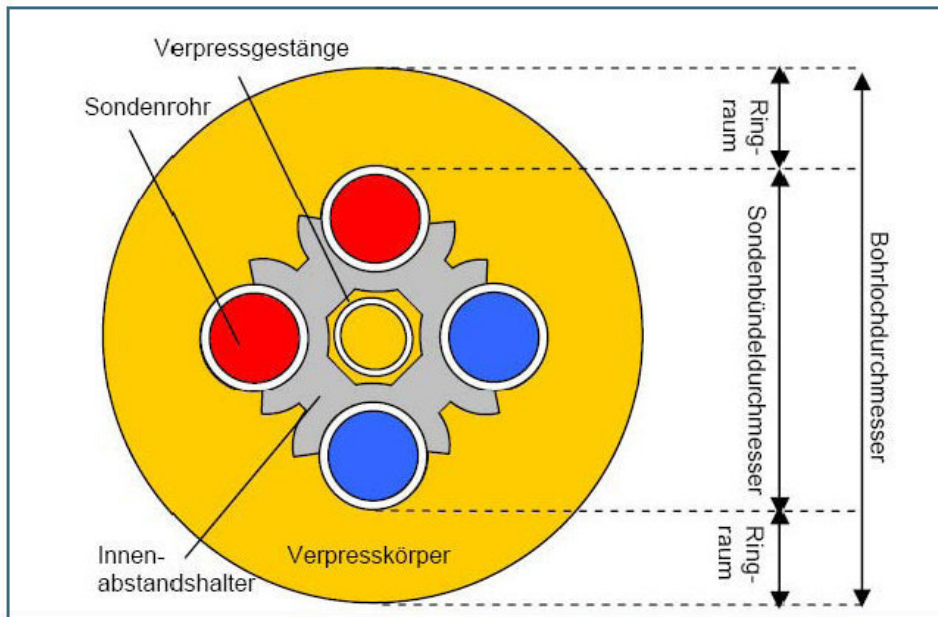


Abbildung 28. Systemschnitt Erdwärmesonde: Bohrlochdurchmesser in Abhängigkeit vom Ringraum und Sondenbündel (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 22)

Beim Auftreten unerwarteter hydrogeologischer Verhältnisse wie z. B. artesisches Grundwasser, Gaszutritte, Hohlräume oder Altlasten, ist die Kreisverwaltungsbehörde unmittelbar zu informieren. Die Sonde darf nicht eingebaut werden. Bei artesischen Verhältnissen ist das Bohrloch mit Zement abzudichten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die derzeit bekannten Umweltauswirkungen von oberflächennaher Geothermie durch Kollektoren und Sonden zum einen eine mögliche Vereisung des umgebenden Erdreichs ist, welche zu einer Verzögerung des Beginns der Vegetation um bis zu zwei Wochen führen kann.

Zum anderen sind durch die Eisbildung und Tauprozesse Hebungen und Setzungen des Erdreichs möglich. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Grundwasserverunreinigung durch den Einsatz wassergefährdender Wärmeträgermedien, Kältemittel und Additive. Das Vereisungsrisiko kann durch eine korrekte Dimensionierung und Bauweise minimiert werden. Weiterhin können Grundwassergefährdungen durch Verwendung nicht wassergefährdender Stoffe wie z. B. Propan vermieden werden. Außerdem ist für den korrekten Einbau vor allem von Erdwärmesonden eine entsprechende Fachkenntnis notwendig, da bei nicht korrektem Einbau die Nutzungsdauer der Materialien reduziert wird und evtl. auftretende Leckagen wiederum zur Gefährdung des Grundwassers führen können. Diese können wiederum durch Leckageüberwachungssysteme kurzfristige erkannt und behoben werden.

Aus verschiedenen Quellen wird die Lebensdauer von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit über 100 Jahren angenommen. Welche Langzeitwirkungen auf das Erdreich entstehen ist derzeit nicht bekannt, daher besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

#### **6.2.6.1.3 Grundwasserwärmepumpen**

Eine weitere Wärmequelle für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie neben dem Erdreich, ist das Grundwasser. Beim Einsatz von Grundwasserwärmepumpen wird oberflächennahes Grundwasser entnommen und Wärme daraus entzogen. Mittels Förderbrunnen wird das entnommene Grundwasser anschließend über einen Schluckbrunnen in das Erdreich zurück geleitet. Die übliche Temperaturentnahme aus dem Grundwasser beträgt ca. 4 °C. Für die Grundwassernutzung ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. Die Begutachtung erfolgt durch private Sachverständige in der Wasserwirtschaft (PSW) und die Erteilung der Erlaubnis über die zuständigen Landratsämter (Hehenberger-Risse, PSW a. D.). Voraussetzungen für die Grundwasserwärmennutzung sind ein geringer Flurabstand zum Grundwasser bis 20 m, sowie das ganzjährige Vorhandensein von Grundwasser in ausreichender Menge und Qualität mit relativ konstanter Temperatur von rund 10 °C. Die Förderrate muss den notwendigen Nenndurchfluss gemäß Datenblatt der angeschlossenen Wärmepumpe erreichen. Um hierbei eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung sicherzustellen, ist die Absenkung des Betriebswasserspiegels auf 1/3 der Grundwassermächtigkeit zu begrenzen (schonender Brunnenbetrieb). Weiterhin soll der Betriebswasserspiegel nicht bis in den Filterbereich absinken (Brunnenalterung). Darüber hinaus ist ein Anstieg oder Absinken des Grundwasserspiegels auszuschließen. Die Temperaturdifferenz zwischen Entnahmetemperatur und Einleittemperatur darf maximal 6 °C betragen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 74, 77).

Um Verunreinigungen des Grundwassers zu verhindern, dürfen nur unbedenkliche Arbeitsmittel der Wassergefährdungsklasse 0 und biologisch abbaubare Schmierstoffe mit max. WGK 1 Verwendung finden. Bei Leckagen im Kältemittelkreislauf muss sich die Wärmepumpe automatisch ausschalten. Hinweise zur Bauausführung sind in der DVGW 118 beschrieben (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 77, 78).

Neben dem Wärmeentzug für die Beheizung kann dem Erdreich umgekehrt für die Kühlung Wärme zugeführt werden, welche im Winter teilweise wieder für den Wärmeentzug genutzt werden kann.

Im Hinblick auf die Umweltauswirkungen der thermischen Nutzung von Grundwasser sind nachfolgend mögliche Auswirkungen und Folgen zusammengefasst dargestellt.

*Tabelle 12: mögliche Umweltauswirkungen thermische Nutzung Grundwasser  
(Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, S. 76)*

<b>Ursache / Auslöser</b>	<b>Umweltauswirkung auf</b>	<b>Mögliche Folgen - Beispiele</b>
Eingriff in gespanntes Grundwasser Hydraulischer Kurzschluss verschiedener Grundwasserstockwerke Zutage Fördern Einleitung	Grundwasserspiegel	Änderung der Grundwasser-Strömungsrichtung Verstärkter Austausch zwischen Grundwasserstockwerken Vernässung/Austrocknung Absenkung/Anstieg des GW-Spiegels
Fördermenge größer als Reinjektion	Grundwasserdargebot	Übernutzung des Grundwasservorkommens
Abkühlung / Erwärmung Druckänderung	Physikalische Beschaffenheit	Einschränkungen der thermischen Nutzung Dritter
Langfristige Energiespeicherung Zu großer Unterschied zwischen Entnahme- und Einleittemperatur	Biologische Beschaffenheit (mikrobiologische Aktivitäten, Artenspektrum)	Reduzierte Reinigungsleistung im Grundwasser
Verunreinigungen aus Leckagen im Bereich der Wärmepumpe Spülungszusätze beim Bohren Direkter Eintrag von Schadstoffen von der Oberfläche Verbindungen hydrochemisch verschiedener Grundwasserstockwerke	Chemische Beschaffenheit	Nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit Grundwasserverunreinigung

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie mittels Erdwärmekollektoren bietet sich wegen des hohen Flächenbedarfs (für 150 m<sup>2</sup> zu beheizende Fläche werden rund 225 – 300 m<sup>2</sup> benötigt), vor allem im Niedrigenergie/Passivhaussektor für 1-2 Familienhäuser an und eignet sich kaum für Nahwärmenetze. Das gleiche gilt für die Grundwasserwärmepumpennutzung wegen der benötigten hohen Entzugsleistung. Die thermische Nutzung von Fließgewässern umfasst das Einleiten von Abwasser z. B. für Kühlzwecke (unterliegt der Fischgewässerqualitätsverordnung) oder Entnehmen von Flusswasser. Für Wärmezwecke. Wegen der Einflussnahme auf das Grundwasser sowie die Fauna und Flora, ist hierfür eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. Aufgrund der benötigten hohen Entzugsleistung ist diese Technik nur vereinzelt im Einsatz und wird in dieser Arbeit nicht weiter untersucht. Um eine nennenswerte Leistung für Nahwärmenetze >100-200 kW zu erhalten, eignen sich Erdwärmesonden

(mehrere Bohrungen erforderlich) oder Tiefengeothermie welche nachfolgend erläutert werden.

### **6.2.6.2 Tiefengeothermie**

Die Tiefengeothermie nutzt die bis zum Erdkern steigende Temperatur - geothermische Energie in den Gesteinsschichten ab einer Tiefe von ca. 400 m und einer Temperatur von ca. 20 °C bis zu mehreren km (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 9). Durch die in den tieferen Schichten vorherrschenden höheren Temperaturen ist i.d.R. keine Temperaturerhöhung für die Nutzung zu Heizwecken und zur Stromerzeugung erforderlich. Theoretisch reichen die im Erdkern vorherrschenden Temperaturen von etlichen 1000 °C um die Wärme- und Stromversorgung der Erde zu decken. Vorteil der Geothermie ist die ganzjährig zur Verfügung stehende Wärme und damit Grundlastfähigkeit. Aufgrund technischer und wirtschaftlicher Begrenzungen wird das geothermische Potenzial derzeit jedoch nur minimal genutzt.

Bei der Tiefengeothermie wird je nach eingesetzter Technik und Herkunft der geothermischen Energie zwischen der hydrothermalen Geothermie mit niedriger Enthalpie aus Aquiferen und der petrothermalen Geothermie unterschieden.

#### **6.2.6.2.1 Hydrothermale Geothermie**

Die hydrothermale Geothermie nutzt das erhitze Thermalwasser im Porenraum eines Gesteinsverbundes in 2000-4000 m Tiefe. Abbildung 29 zeigt exemplarisch die Nutzung der hydrothermalen Geothermie zur Wärme- und Stromerzeugung. Mittels Förderbohrung wird das warme Wasser an die Erdoberfläche gepumpt und durch einen Wärmetauscher die Wärme entzogen. Das abgekühlte Wasser wird anschließend über eine Injektionsbohrung mit einem Abstand von mindestens 500 m zur Förderbohrung in das gleiche Aquifer zurück geleitet, um Temperaturabsenkungen im Bereich der Förderbohrung zu vermeiden. Die Förder- und Injektionsbohrung wird auch als Dublette bezeichnet. Die Wiedereinleitung des abgekühlten Wassers ist aufgrund der hohen Mineralisation des Wassers notwendig (Thomsen, Schenck, & Kirsch, 2004, S. 38).



eine Temperaturabsenkung zu vermeiden und eine Nutzungsdauer von mindestens 30 Jahren zu gewährleisten (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 18).

Wichtige Beurteilungskriterien zur Bewertung thermischer Eigenschaften sind weiterhin die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ], als Maß für das Vermögen eines Stoffes Wärme zu transportieren und die Wärmekapazität  $c$  [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ], als Maß für die Wärmespeicherfähigkeit eines Stoffes. Die Wärmekapazität ist wichtig bei der Beschreibung sich zeitlich verändernder Prozesse. Eine weitere wichtige Größe ist die Wärmestromdichte  $q$  [ $\text{W m}^{-2}$ ] dem Produkt aus der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  und dem Temperaturgradienten  $\text{grad } T$  [ $\text{K m}^{-1}$ ] nach (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 10).

$$\text{Wärmestromdichte: } q = \lambda \times \text{grad } T \quad [\text{W m}^{-2}]$$

Wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit aber guten Wärmespeicherkapazität von Wasser, besitzen hochdurchlässige Grundwasserleiter mit hoher Porosität eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit als Gesteinsschichten mit geringerer Durchlässigkeit und Porosität. Die Quantität (nutzbare Wärmemenge) wird über die thermische Leistung welche mit Hilfe der Bohrung erreicht werden kann, definiert. Die Leistung  $P$  ist proportional zur Förderrate  $Q$  und der Temperatur  $T$  (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 10).

Gebiete zur Nutzung Niedrigthermaler Tiefengewässer für die hydrothermale Geothermienutzung mit Temperaturen zwischen 40 und 100 °C + sind im süddeutschen Molassebecken, im Oberrheingraben und in Teilen der norddeutschen Tiefebene vorzufinden ( GtV Bundesverband Geothermie e.V.). Abbildung 30 zeigt das Wärmeprojekt TH1 und TH2 in Garching von 2008/09, mit hydrothermalen Dublette und einer Bohrtiefe von 2165 und 2450 m. Die Besonderheit hier ist die Ergänzung des Geothermiekraftwerks durch ein Biomasseheizkraftwerk Etwa 60 % der geothermalen Wärme werden zur Versorgung der TU München genutzt und die verbleibenden 40 % zur Deckung der Grundlast des Biomassekraftwerks (Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.), 2009, S. 10).

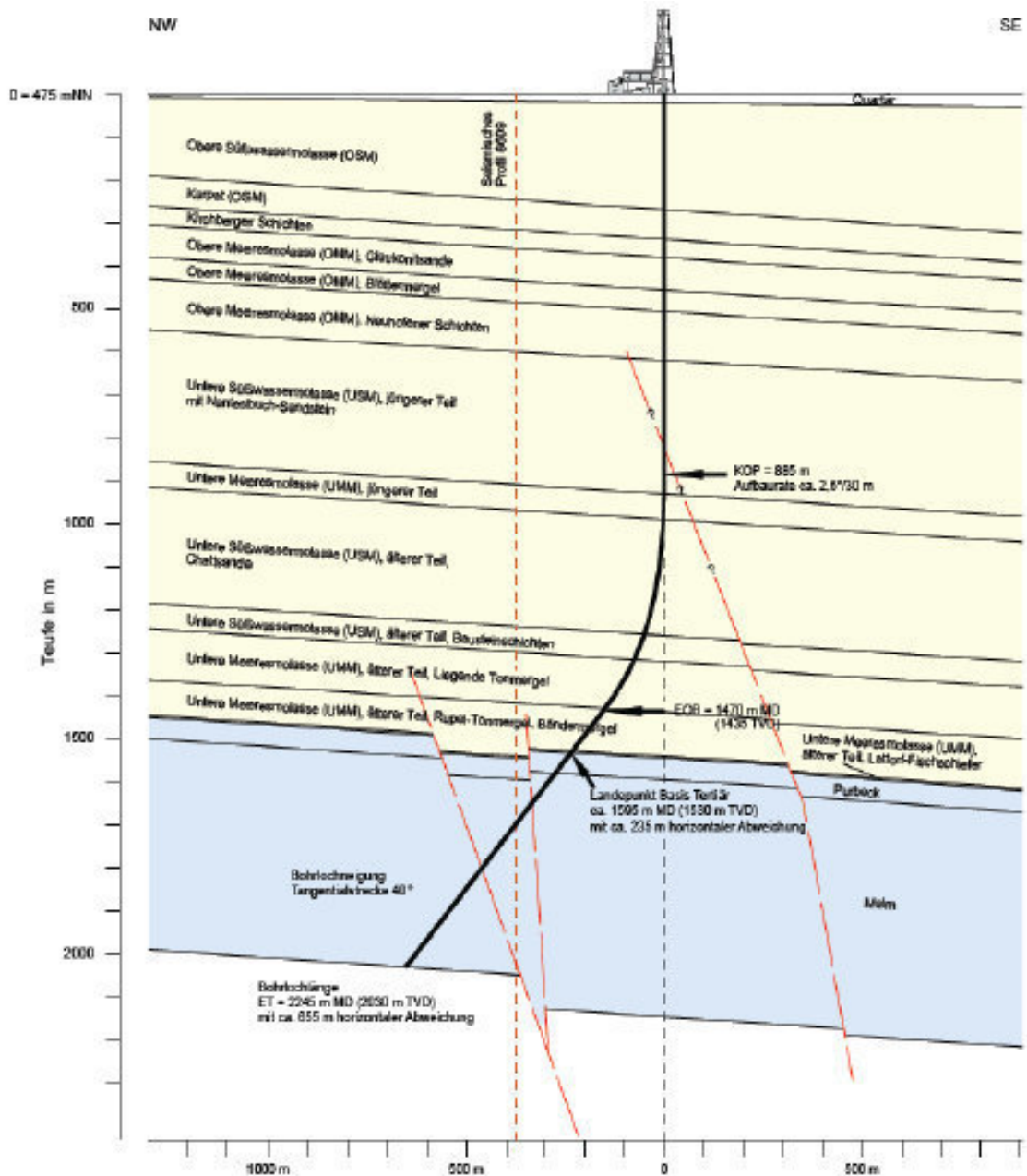


Abbildung 30: Wärmeprojekt Garching mit hydrothormaler Dublette (Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.), 2009, S. 9)

#### 6.2.6.2.2 Petrothermale Geothermie

Bei der petrothermalen Geothermie werden über Hot Dry Rock (HDR)-Technik oder Enhanced-Geothermal-Systems, im Gegensatz zur hydrothermalen Geothermie keine wasserführenden Schichten benötigt (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 9). Bei dieser Technik wird die in geringdurchlässigen Gesteinsschichten gespeicherte Wärme in einer Tiefe von 3000-6000 m verwendet. Über hydraulisch chemische Verfahren werden die Klüfte in den Gesteinsschichten genutzt bzw. erweitert, so dass mittels Injektionsbohrung kaltes Wasser in die heiße Gesteinsschicht verpresst wird. Die heiße



Gesteinsschicht fungiert als Wärmetauscher und erhitzt das eingepresste Wasser. In einem Abstand von mindestens 500 m wird mittels Förderbrunnen das erhitzte Wasser an die Oberfläche zurückgeleitet und über einen Wärmetauscher / Turbine zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt. Das abgekühlte Wasser wird dann wiederum über die Injektionsbohrung in die heißen Gesteinsschichten verpresst und der Kreislauf beginnt von vorn (siehe Abbildung 31).

Als geologische Voraussetzung zur Nutzung der petrothermalen Geothermie müssen die Klüfte und Risse in der kristallinen Gesteinsschicht bestimmte Mindestgrößen aufweisen, um eine genügend große Wärmetauscherfläche zu generieren. Die benötigte Mindesttemperatur in den Gesteinsschichten beträgt rund 200 °C. Weiterhin sollten die Gesteinsschichten eine möglichst große Standfestigkeit und weniger als 10 % Wasserverlust aufweisen (Stober, Fritzer, Obst, & Schulz, 2009, S. 23).

Der Einsatz dieser Technik im großtechnischen Maßstab ist aufgrund der hohen Investitionskosten und vieler geologischer Unwägbarkeiten wie z. B. Erdbebenrisiken durch den Verpressungsdruck schwierig. So kam es Ende 2006 in Basel zu kleineren Beben und Rissen an Gebäuden, als Wasser in eine Tiefe von 5000 m verpresst wurde (Quasching, 2008, S. 245).

Daher ist eine technische Weiterentwicklung notwendig um das Potential nutzbar zu machen und die Risiken einzugrenzen.

Die Umweltaspekte der Nutzung der Tiefengeothermie sind derzeit nicht hinreichend untersucht. Deshalb befassen sich z. B. die Forschungsarbeiten des CiF e. V. an der TU Bergakademie Freiberg, mit den offenen Fragestellungen bei der Entnahme und Einspeisung von Wasserströmen zur geothermischen Nutzung, im Hinblick auf Temperatureinflüsse, geogenen Hintergrund, Hydraulikaspekte, Einfluss auf Mikroorganismen sowie Felduntersuchungen und Probenanalytik zur Geochemie/Mikrobiologie (Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.), 2009, S. 6).

Grundsätzlich ist die hydrothermale und petrothermale Geothermie für den Einsatz in Wärmenetzen geeignet. Um entsprechende Erfahrungen im Großmaßstab zu sammeln und um das wirtschaftliche Risiko für den Wärmenetzbetreiber einzugrenzen, sind für die Umsetzung jedoch entsprechende Fördermittel notwendig. Um bei gegebenenfalls nicht ausreichender Wärmeentzugsleistung eine entsprechende Versorgungssicherheit zu gewährleisten, sind alternative Wärmeerzeuger (Redundanz) zu installieren. Viele Gemeinden und Investoren schrecken derzeit wegen den hohen Vorlaufkosten und dem Bohrrisiko vor der Realisierung von Geothermietprojekten zurück. Daher sollten

vor allem die Planungskosten und die Kosten für die Erkundungsbohrungen im Vorfeld gefördert werden.

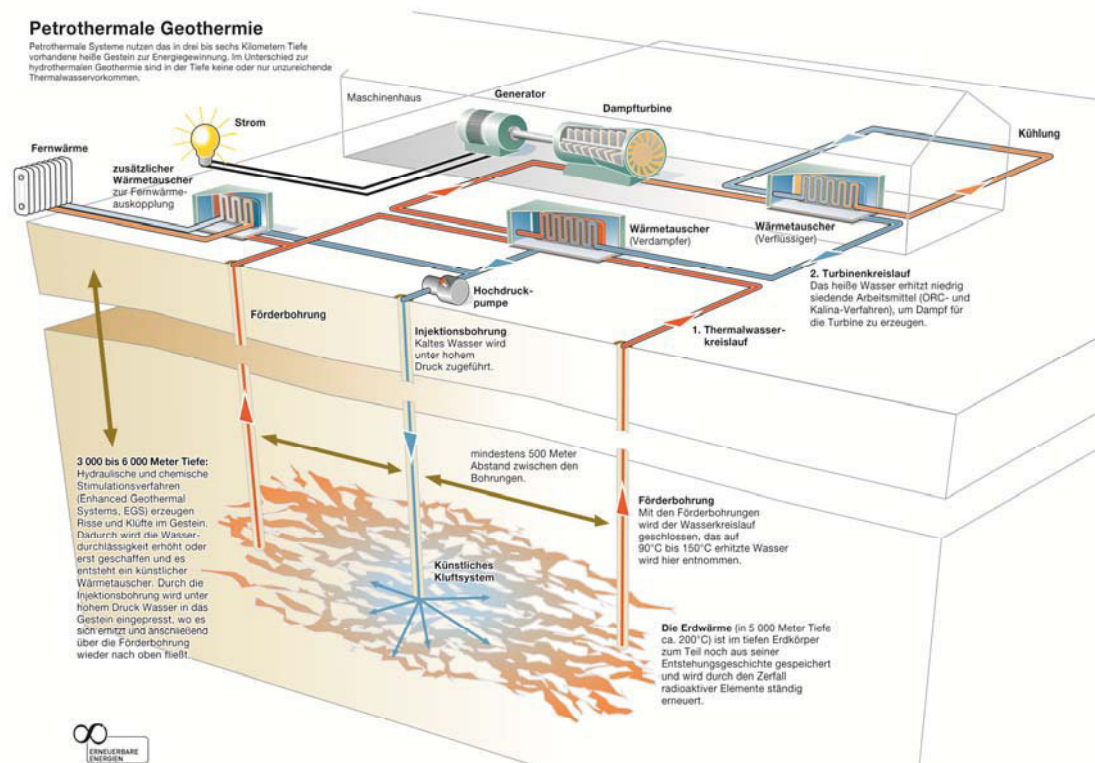


Abbildung 31: Funktionsprinzip petrothermale Geothermie (Agentur für erneuerbare Energien)

#### 6.2.6.2.2.1 Tiefe Erdwärmesonde

Ebenfalls zur Technik der petrothermalen Geothermie zählen sogenannte tiefe Erdwärmesonden die in einer Tiefe ab ca. 400 m bis 3000 m eingebracht werden. Hierbei wird eine verrohrte Tiefbohrung, mit einer doppelten coaxialen Verrohrung errichtet. Zur Wärmenutzung wird ein Wärmeträgermedium z. B. Wasser in die Tiefe gepumpt, das sich hierbei erwärmt und dem Erdreich Wärme entzieht. Über die isolierte Steigleitung (Turbingstrang) wird das Wasser an die Erdoberfläche geleitet und mittels Wärmetauscher und Wärmepumpe für Heizzwecke genutzt, siehe Abbildung 32 (Kastian, 2010, S. 13).

Vorteil hierbei ist, dass aufgrund des geschlossenen Systems kein Kontakt mit dem Grundwasser stattfindet. Weiterhin muss kein hochmineralisiertes Wasser reinjiziert werden. Außerdem entsteht kein Risiko für künstlich hervorgerufene Erdbeben durch das Wiedereinpumpen großer Wassermengen ins Tiefe Erdreich. Allerdings beträgt die Wärmeentzugsleistung aus der Mantelfläche des Bohrlochs max. 150 bis 200 W/m

Bohrtiefe (GtV). Aufgrund der begrenzten Entzugsleistung aus der Mantelfläche eignen sich tiefe Erdwärmesonden nicht für die Stromproduktion und für die Wärmenutzung für Nahwärmenetze mit einem Leistungsbedarf von über 1 MW. Deshalb wird die Dublettentechnik, aufgrund der theoretischen Berechnung eines Projektbeispiels (siehe 7.9) für die Entwicklung und Anwendung der Indikatoren herangezogen.

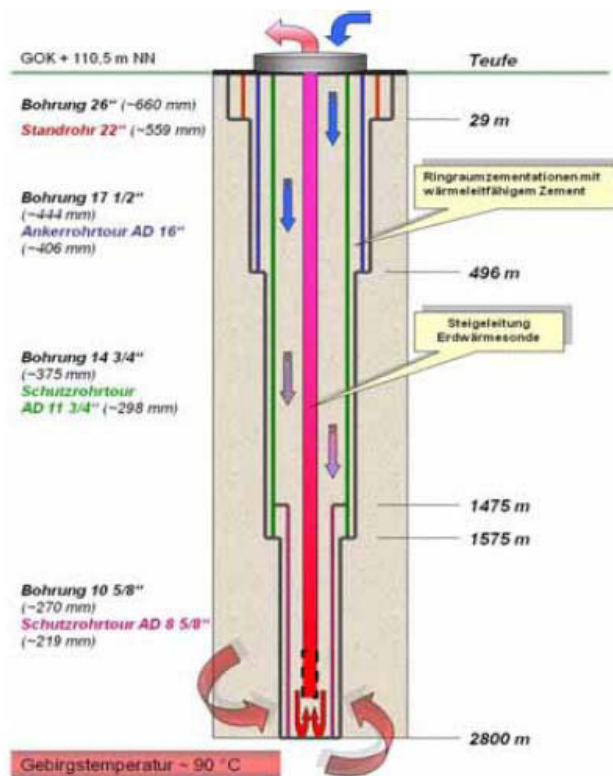


Abbildung 32. Systemskizze tiefe Erdwärmesonde (Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.), 2009, S. 4)

### 6.2.7 Definition des geothermischen Potenzials – mögliche Energieausbeute

Nachfolgend wird die Ermittlung des geothermischen Potenzials als mögliche Energieausbeute beschrieben. Bei den geothermischen Potenzialen wird zwischen theoretischen, technischen, wirtschaftlichen und erschließbarem Potenzial unterschieden. Das *theoretische Potenzial* beschreibt das in einer Region physikalisch vorhandene Energieangebot (zwischen Erdoberfläche und derzeit maximale Bohrtiefe von 7 km). Das *technische Potenzial* umfasst den Teil des theoretischen Potenzials, der unter technischen, ökologischen und gesetzlichen Gegebenheiten nutzbar ist. Das *wirtschaftliche Potenzial* umfasst in Abhängigkeit von fossilen Vergleichssystemen und Energiepreisen als zeitabhängige Größe, den Teil des technischen Potenzials der wirtschaftlich genutzt werden kann. Das letztlich relevante *erschließbare Potenzial* ist

das unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten tatsächlich nutzbare Energieangebot (Kaltschmitt Martin, 2003, S. 21-23).

### 6.2.7.1 Berechnung des geothermischen Energiepotenzials

Die Berechnung des geothermischen Energiepotenzials kann einerseits durch die Ermittlung des theoretischen Potenzials oder andererseits durch Ermittlung des tatsächlich nutzbaren Potenzials erfolgen (Hänel R., 1984, S. 40). Für die Umsetzung von Nahwärmeprojekten ist die Ermittlung des tatsächlich nutzbaren Potenzials relevant.

Nach Hänel et al. 1984 wird das theoretische Potenzial also die vorhandene Energie  $H_o$  (Heat in Place) wie folgt ermittelt:

$$H_o = A \times \Delta z \times ((1 - \emptyset) \times \rho_m \times c_m + \emptyset \times \rho_w \times c_w) \times (T_T - T_o)$$

mit:	A	=	Grundfläche des Aquifers [m <sup>2</sup> ]
	$\Delta z$	=	Aquifermächtigkeit [m]
	$\emptyset$	=	Porosität
	$\rho_m$	=	Dichte der Gesteinsmatrix [kg / m <sup>3</sup> ]
	$\rho_w$	=	Dichte des Wassers [kg / m <sup>3</sup> ]
	$c_m$	=	spezifische Wärmekapazität der Gesteinsmatrix [J / (kg °C)]
	$c_w$	=	spezifische Wärmekapazität des Wassers [J / (kg °C)]
	$T_T$	=	Temperatur am Top (Beginn) des Aquifers [°C]
	$T_o$	=	mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche [°C]

Die Dichte und die Wärmekapazität der Gesteinsmatrix des Wassers werden als Materialkonstanten nach Hänel et al. 1984 übernommen. Die übrigen Parameter werden als Beispielberechnung für Speichersdorf angenommen (siehe unter 7.9).

Von dem theoretischen Wärmepotential ( $H_o$ ) im Aquifer ist nach heutigem Stand der Technik nur ein bestimmter Teil ( $H_1$ ) nutzbar. Dieser Bruchteil wird laut Hänel mit dem Recovery Faktor (R) welcher in Frankreich empirisch von der EG-Arbeitsgruppe „Geothermisches Energiepotential“ für eine Dublette ermittelt wurde, berechnet. Hierbei wurde die Annahme getroffen, dass das entnommene Wasser auf 25 °C abgekühlt wird (Hänel R., 1984, S. 44).

$$H_1 = H_o \times R$$

$$R = 0,33 \left( \frac{T_T - 25 \text{ }^\circ\text{C}}{T_T - 10 \text{ }^\circ\text{C}} \right)$$

Zusammenfassend ist zu sagen, dass für die Technikauswahl für jeden Standort die geologischen Gegebenheiten, die technische Machbarkeit sowie die benötigte und erwartete Energieausbeute zu prüfen sind.

### 6.3 Wärmeübergabe

Als Systemgrenze zwischen Nahwärmenetz und Sekundärnetz im Gebäude fungiert üblicherweise eine Hausübergabestation. Die Nutzwärme wird vom Wärmenetz mittels Hausübergabestation (Wärmetauscher) an die Wärmeabnehmer Warmwasserbereiter und Radiator-/Flächenheizung etc. im Gebäude abgegeben. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise des geringen Wartungsaufwands und wegen der Korrosionsbeständigkeit werden bei Wärmenetzen üblicherweise Plattenwärmetauscher eingesetzt (siehe Abbildung 33).



Abbildung 33: Beispiel Hausübergabestation, 15 kW, Länge ca. 50 cm x Breite ca. 50 cm x Tiefe ca. 30 cm (Rehau Energy Solutions GmbH)

### 6.4 Wärmespeicherung – sensibel, latent, chemisch

Um die zeitlich divergierende Wärmeerzeugung z. B. bei der Solarthermie mit maximaler Erzeugung im Sommer und dem Heizwärmebedarf vor allem während der Wintermonate auszugleichen, sind Wärmespeicher notwendig. Hier wird zwischen verschiedenen Arten und Technologien unterschieden, welche mit stark abweichenden Investitionskosten verbunden sind.

Nachfolgend wird die Art der Wärmespeicherung nach (V., Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009, S. 4-25) beschrieben. Bei der Art der Wärmespeicherung unterscheidet man zwischen sensibler, latenter und chemischer Speicherung. Bei der sensiblen Wärmespeicherung wird die Wärme einem Speichermedium – meistens Wasser zugeführt, welches seine Temperatur entsprechend erhöht. Bei der latenten Wärmespeicherung führt die Wärmezufuhr zur Veränderung des Aggregatzustandes (meist fest nach flüssig) des Wärmeträgermediums ohne Veränderung seiner Temperatur. Es wird daher als Phasenwechselmaterial – PCM (engl. Phase Change Material) bezeichnet. Als PCM kommen anorganische Speichermedien (Salzhydrate, reine Metalle/Salze), organische Speichermedien (Paraffine und Fettsäuren) sowie Mischungen zum Einsatz.

Chemische thermische Energie ist z. B. in den Primärenergieträgern Heizöl oder Erdgas enthalten. Diese wird bei der Verbrennung in Form von Wärme irreversibel freigesetzt. Speichermedien die als thermochemische Wärmespeicher dienen, sind hingegen reversibel einsetzbar. Hierzu zählen Zeolithe, Silikagele und Metallhydride. Bei thermochemischen Speichern wird zwischen Sorptionsspeichern und Reaktionswärmespeichern unterschieden. Sorptionsspeicher arbeiten mit einem Speichermedium und einem Arbeitsmedium. Die Speicherentladung erfolgt durch Verbindung der beiden Medien mittels Adsorption und Absorption. Die Speicherbeladung erfolgt durch Desorption. Dem porösen Speichermedium z. B. Silikagel wird anhaftendes Wasser mittels Wärmezufuhr ausgetrieben, dadurch trennt sich der Wasserdampf vom Speichermedium. Soll der Speicher wieder entladen werden, wird Wasserdampf zugeführt der wieder am Silikagel anhaftet und die Wärme freisetzt. Dieser Vorgang wird als Adsorption bezeichnet.

Beim Einsatz flüssiger statt fester Speichermedien wie z. B. Salzlösungen, wird das Wasser von der Salzlösung aufgenommen. Beim Beladen des Speichers mit Wärme wird das Wasser wieder ausgetrieben. Beim Entladen des Speichers zieht die hochkonzentrierte Salzlösung befeuchtete Luft an. Die Salzlösung nimmt das Wasser in der befeuchteten Luft auf und trockene erwärmte Luft bleibt zurück, welche als Wärmequelle dient (Absorptionsvorgang).

Reaktionswärmespeicher speichern Reaktionswärme oder geben diese wieder ab in dem sich zwei Komponenten eines Speichermediums mittels chemischer Reaktion vereinigen oder teilen Sie können ohne Energieverlust bei Raumtemperatur über längere Zeit gelagert werden (V., Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009, S. 4-25).

In Abbildung 34 ist eine Übersicht der Energiedichten verschiedener Wärmespeicher zusammengestellt. (Agentur für erneuerbare Energien, Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009).

Im Anhang ist ein Überblick über die derzeit gängigen Wärmespeicher samt Einsatzkriterien dargestellt.

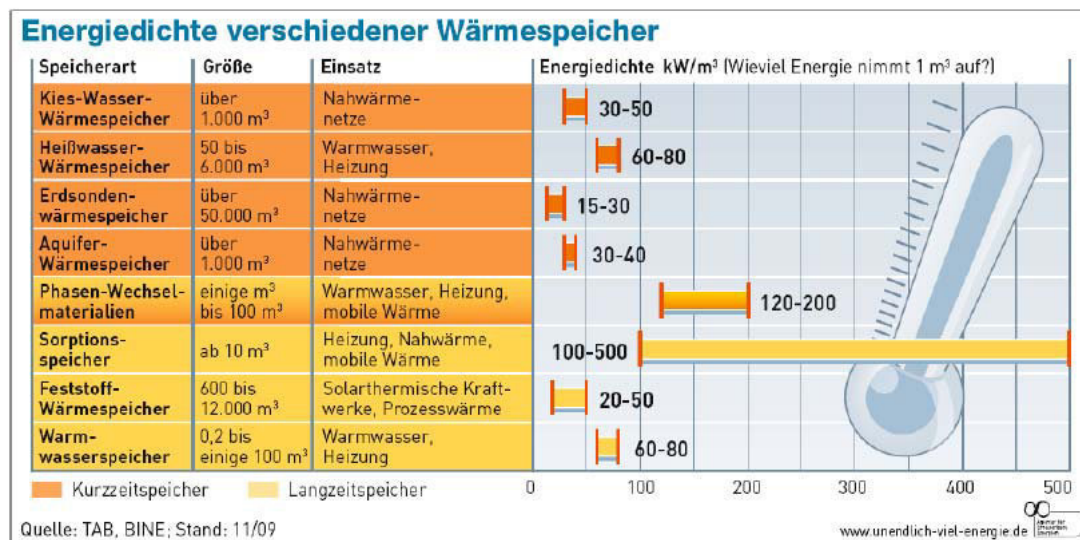


Abbildung 34: Energiedichte verschiedener Wärmespeicher (Agentur für erneuerbare Energien, Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009, S. 4)

Für die Einsetzbarkeit von Wärmespeichern in Wärmenetzen sind folgende Kriterien relevant:

- Gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Speichermediums,
- Speicherung der Wärme im vom Wärmeabnehmer benötigten Temperaturbereich,
- möglichst hohe Energiedichte,
- möglichst kleines benötigtes Speichervolumen,
- sowie die Speicherdauer (über Monate von Sommer zur Heizperiode).

Für die Effizienzbewertung von Speichern sind der Wirkungsgrad und die Lebensdauer sowie die aus den verschiedenen Kriterien spezifischen Investitionskosten je kWh gespeicherte Wärme/Energie relevant. Bei der Kombination von Wärmenetzen mit Solarthermie, ist der solare Deckungsgrad, der Anteil der aus Solarthermie erzeugten Wärme zur Gesamtjahreswärmemenge von Bedeutung. Zur Bewertung der Umweltrelevanz von Speichermedien sind der Aufwand zur Gewinnung der Speichermedien, die chemische Zusammensetzung, die biologische Abbaubarkeit und die Emissionen relevant.

Für die weitergehende Entwicklung von Nachhaltigkeitssindikatoren anhand der in Kapitel 7 beschriebenen Wärmeversorgungsvarianten wurde ein Aquiferspeicher (Erdsondenspeicher) betrachtet. Dieser wird zur besseren Ausnutzung der solaren Wärme im Sommer genutzt. Die Speicherverluste wurden hierbei nicht berücksichtigt, da für die Solarthermie kein Brennstoff verbraucht wurde und die solare Wärme sonst nicht in dem Umfang nutzbar wäre.

Der Einsatz von Wärmespeichern die für solarthermische Groß- Kraftwerke z. B. in Wüstengegenden zur Stromerzeugung Verwendung finden bleibt unberücksichtigt, da diese für die gängigen Nahwärmenetze in Deutschland aufgrund der geringeren Sonneneinstrahlungsdauer und Flächenbedarfs meist nicht geeignet sind.

Wärmespeicher dienen dazu das zeitlich und räumlich divergierende Wärmeangebot und die Wärmeabnahme auszugleichen. Dies ist vor allem bei dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung mittels Solarthermie oder Biogasanlagen notwendig, um das Überangebot im Sommer mit dem Wärmebedarf im Winter anzupassen.

Der Einsatz von Wärmespeichern in Nahwärmenetzen ist trotz der technischen Weiterentwicklung aber immer noch die Ausnahme. Dies liegt an den hohen Investitionskosten der einzelnen Bausteine. Kostenintensiver im Vergleich zu konventionellen dezentralen Energieerzeugungsanlagen sind die Netzkosten, die Kosten der Wärmeerzeuger aus erneuerbaren Energien und die Kosten für Speicherung.

Welcher Wärmespeicher für das jeweilige Nahwärmenetz am besten geeignet ist, hängt von vielen Faktoren ab wie den geologischen Gegebenheiten, dem jahreszeitlichen Wärmebedarf der Wärmekapazität möglicher Speicher, der Infrastruktur, Platzverhältnissen u. a.. Effizienzsteigerungen lassen sich durch Kombinationen von regenerativer Wärmeerzeugung mit Solarthermie und Wärmepumpen und Speicher erreichen. Durch abgestimmte Kombinationen lassen sich hohe solare Deckungsanteile erzielen.

Grundsätzlich lässt sich über Nahwärmenetze die Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energieträger insbesondere mit einem hohen solaren oder geothermalen Deckungsanteil wirtschaftlich leichter realisieren als dezentrale Lösungen in Einfamilienhäusern mit Wärmepumpe, Solarkollektor/Speicher und Zusatzheizung oder Erdkollektor und Zusatzheizung. Die Gesamtkosten für die Wärmeerzeugung, Netz und Speicher werden so auf viele Abnehmer verteilt. In der Gemeinschaft lassen sich niedrigere spezifische Wärmepreise als bei Einzelrealisierungen erzielen. Weiterhin



lassen sich Wärmespeicher nur dann effizient mit geringen Verlusten betreiben, wenn sie eine möglichst kleine Oberfläche im Verhältnis zum Volumen besitzen.

## 6.5 Umwälzpumpen

Um den Aufwand zur Ermittlung der Indikatoren auf ein umsetzbares Maß zu beschränken, werden zur Ermittlung der Indikatoren nur die Hauptsystemkomponenten Kesselanlagen, Solarkollektor und Wärmenetz herangezogen. Die Pumpen werden aufgrund ihres geringen Anteils an den Gesamtemissionen und am Herstellungsenergieaufwand vernachlässigt. Der benötigte Betriebsstrom zum Betrieb des Netzes wird in den Berechnungen berücksichtigt.

## 6.6 Vorgehensweise zur Ermittlung der Wärmekosten und spezifischer Wärmepreis für Nahwärmenetze

Um Gesamtwärmekosten für Nahwärmenetze mit den Gesamtkosten für herkömmlichen Gas- /Öl- Einzelfeuerungsanlagen vergleichen zu können, wird für die verschiedenen Versorgungskonzepte der spezifische Wärmepreis je MWh ermittelt.

Zur Ermittlung des spezifischen Wärmepreises werden die Wärmekosten gemäß VDI 2067 zur Berechnung der Kosten für Wärmeerzeugungsanlagen ermittelt, welche durch die Gesamtjahreswärmemenge geteilt werden.

Die Wärmekosten setzen sich aus kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchsgebundenen Kosten zusammen.

Die **kapitalgebundenen Kosten** ( $K_K$ ) sind die Kosten für den jährlichen Kapitaleinstrom der Investitionen. Die Investitionskosten setzen sich aus den kompletten Anlagenherstellungs- und Planungskosten abzüglich möglicher Fördermittel zusammen. Die Höhe der Kapitalkosten hängt von der Finanzierungsart, von der Höhe des Zinssatzes und der Darlehenslaufzeit ab. Diese werden über den Annuitätsfaktor mit welchem die jährlichen Kapitalkosten in Abhängigkeit vom Zinssatz und der Laufzeit ermittelt werden, berücksichtigt.

$$\text{Kapitalkosten } K_K \quad K = I \times a \quad [€]$$

$$I \quad = \quad \text{Investitionskosten} \quad [€]$$

$$a \quad = \quad \text{Annuitätsfaktor} \quad [\%]$$

$$a = \frac{q^n \times (q-1)}{q^n - 1}$$

q	=	Zinsfaktor mit $q = 1 + i$
p	=	Zinsfuß [%]
i	=	Einheitszinsfuß mit: $i = p/100$
n	=	Nutzungsdauer (Darlehenslaufzeit)

Nachfolgend ist am Beispiel Speichersdorf die Abschätzung der Investitionskosten auf Basis 2010, für das Biomasse-Nahwärmenetz mit solarer Unterstützung dargestellt zur Versorgung des Gebietes 1B dargestellt.

Biomasseanlage: ca. 3.000 kW	
Spitzenlastkessel: ca. 2.000 kW	
Brennstofflager Biomasse/Öl: 350 m <sup>3</sup> / 45.000 l	
Errichtung Heizhaus, Kamin, Anfahrt:	
Austragung:	
Regelung:	
Entaschung	
Pumpen, Armaturen:	
Mischer, Rohrleitungen:	
Kernbohrung/Durchbrüche	
Isolierung, Elektro:	
Fernwärmeleitung: 5.900 m: 146 HÜS	
Solkollektor 1800 m <sup>2</sup> , Pufferspeicher 150 m <sup>3</sup>	
Wärmemengenzähler, DFÜ:	
Druckhaltung, Speicher WW	
Planungskosten (LPH 1-9)	
<b>Gesamt Invest netto rund:</b>	<b>6.465.000 €</b>



*Abbildung 35: Beispiel Investitionskosten Projekt Speichersdorf: Biomasse-nahwärmenetz mit solarer Unterstützung (KEWOG Energie und Dienste GmbH, Bürgerinformationsveranstaltung Speichersdorf - Planung Nahwärmenetz Speichersdorf, 2011)*

Die **betriebsgebundenen Kosten** ( $K_B$ ) sind die Kosten die für den laufenden Betrieb der Anlage anfallen. Hierzu zählen die Kosten für jährliche Wartung, Instandhaltung, Bedienung, Reinigung, Überwachung und Betriebsstrom. Die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten werden gemäß VDI 2067 in Prozent der Investitionskosten angesetzt. Hierfür werden für Wartung i. d. R. 0,5-1 % und für Instandsetzung 1-2,5 % angesetzt. Die Kosten für Bedienung, Reinigung und Überwachung ergeben sich aus dem jährlichen Stundenaufwand und dem Stundenlohn.

$$K_B = K_W + K_I + K_{Be} + K_R + K_{\ddot{U}} + K_S \quad [€]$$

$$K_W = \text{Kosten für Wartung} \quad [€]$$

$K_I$	=	Kosten für Instandhaltung	[€]
$K_{Be}$	=	Kosten für Bedienung	[€]
$K_R$	=	Kosten für Reinigung	[€]
$K_{Ü}$	=	Kosten für Überwachung	[€]
$K_S$	=	Kosten für Betriebsstrom	[€]

Die kapitalgebundenen und betriebsgebundenen Kosten werden bei Wärmelieferprojekten meist in einem jährlichen Grundpreis dargestellt.

Zu den betriebsgebundenen Kosten zählen auch die Kosten für die Messung und den Einbau der geeichten Wärmemengenzähler zur Abrechnung der gelieferten Wärme. Diese werden bei Wärmenetzen an der Hausübergabestation (= vertragliche Übergabestelle) eingebaut. Für Kontrollzwecke sowie zur Überprüfung des Kesselanlagenleistungsgrads und der Netzverluste werden zusätzlich Wärmemengenzähler an den Wärmeerzeugungsanlagen installiert. Die Abrechnungswärmemengenzähler für die Wärmekunden müssen alle 5 Jahre getauscht werden.

Aus Transparenzgründen werden die Messkosten neben dem Grundpreis oft in einem separaten Messpreis ausgewiesen.

Die verbrauchsgebundenen Kosten - Kosten Arbeitspreis ( $K_A$ ) sind die Kosten für die die Primärenergieträger wie z. B. Heizöl oder Holzhackschnitzel. Diese ergeben sich aus dem Produkt von Energiepreis und Energieverbrauch.

$K_A$	=	$P_B \times V_B$	[€]
$P_B$	=	spezifischer Brennstoff- oder Energiepreis	[z. B. in € je l / m <sup>3</sup> / kWh]
$V_B$	=	Brennstoff-/Energieverbrauch	[z. B. in l / m <sup>3</sup> / kWh]

Aufgrund verschiedener Aggregatzustände und Einheiten wie z.B. Heizöl, flüssig in l oder Erdgas gasförmig in m<sup>3</sup>, werden die spezifischen Energiepreise je Verbrauchseinheit zur Vergleichbarkeit in € je kWh bzw. MWh umgerechnet.

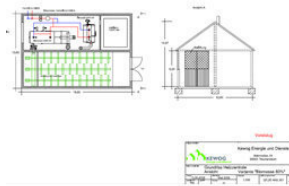
Die Jahresgesamtkosten ( $K_{ges}$ ) ergeben sich aus der Summe der kapitalgebundenen, der betriebsgebundenen und der verbrauchsgebundenen Kosten.

$$K_{ges} = K_K + K_B + K_A \quad [€]$$

Der spezifische Wärmepreis ( $W_P$ ) ergibt sich aus dem Quotient der Jahresgesamtkosten und dem Energieverbrauch.

$$W_P = \frac{K_{ges}}{V_B} \quad [€/kWh \text{ oder } €/MWh]$$

Nachfolgend sind die Jahresgesamtkosten und der spezifische Wärmepreis abgebildet am Beispiel Nahwärmenetz Speichersdorf bezogen auf die vorn genannte Investitionssumme, welche im Rahmen einer Bürgerinformationsveranstaltung durch die Autorin vorgestellt wurden.



Grundpreis (47.989 €/Monat)	575.868 €/a
incl. Instandhaltung 1,5% vom Invest	
Kapitaldienst p 4,5%, LZ 20 a	
<b>Arbeitspreis Biomasse:</b>	
7.921 MWh x <b>42,18 €/MWh</b>	334.108 €/a
incl. Betriebsstrom und Leitungsverluste	
<b>Arbeitspreis Heizöl 479 MWh x 73,07 €/MWh</b>	35.000 €/a
incl. Betriebsstrom und Leitungsverluste	
<b>Arbeitspreis Solare Wärme (593 MWh) x 0,0 €/MWh</b>	
<b>Wärmekosten netto:</b>	944.976 €/a
<b>spez. Wärmepreis inkl. Förd. (netto):</b>	<b>112,50 €/MWh</b>
<b>spez. Wärmepreis inkl. Förd. (inkl. MwSt.):</b>	<b>133,87 €/MWh</b>

KEWOG Energie und Dienste GmbH




Abbildung 36: Jahresgesamtkosten, spezifischer Wärmepreis (KEWOG Energie und Dienste GmbH, Bürgerinformationsveranstaltung Speichersdorf - Planung Nahwärmenetz Speichersdorf, 2011)

Bei gewerblicher Wärmelieferung werden den Gesamtkosten die entsprechenden Margen hinzuaddiert, welche dann im Wärmepreis mit weiter berechnet werden. Anzumerken ist, dass die verbrauchsgebundenen Kosten (Kosten Arbeitspreis) nicht mit dem Preis für Nutzwärme zu verwechseln sind, da hierbei zusätzlich die Umwandlungsverluste durch die Verbrennung sowie die Verluste des Anlagennutzungsgrads und Netzverluste berücksichtigt sind. Dadurch ist der Preis je MWh Nutzwärme (Arbeitspreis Wärme) höher als der Preis für Primärenergieträger (Kosten Arbeitspreis). Dies ist vor allem bei Vergleichsberechnungen zu berücksichtigen.

Bei der Wärmelieferung werden die Brennstoffkosten in Nutzwärme umgerechnet.

#### Arbeitspreis Wärme

$$AP_{\text{Wärme}} = K_A \times H_0/H_U \times \text{Kesselanlagenutzungsgrad} \times \text{Netzverlust}$$

[€/kWh oder €/MWh]

$$H_0/H_U = \text{chemischer Umwandlungsverlust bei Oxidation} \quad [-]$$

oberer zu unterem Heizwert bei Heizöl z. B. 0,901

Die wirtschaftliche Realisierbarkeit von Nahwärmenetzen hängt u. a. von der Höhe der Vergleichswärmekosten des Istzustandes der potentiellen Wärmekunden ab. Dies wird

in einem Vollkostenvergleich gegenübergestellt. Nachfolgend ist eine Kostengegenüberstellung für einen klassischen Einfamilienhauskunden (Bestandsgebäude) mit einer Anschlussleistung von 15 kW und einem voraussichtlichen Jahreswärmebedarf von 20 MWh dargestellt. Hierbei wird der Betrieb einer dezentralen Anlage mittels Eigenversorgung auf Basis fossiler Energien den Wärmekosten mittels Biomassenahwärmenetz und Solarunterstützung gegenübergestellt. Der Primärenergieträger Heizöl wurde zur Vergleichbarkeit mit der Nahwärmelösung in Nutzwärme umgerechnet.

### Kostenvergleich am Beispiel Heizöl zu Bioenergie (Preismodell Klassik)

[Eigenversorgung – Wärmelieferung]

Wohnfläche: 150 – 180 m<sup>2</sup>  
Wärmebedarf: ca. 20 MWh/Jahr

Anschlusswert: 15 kW

	Eigenversorgung	Bioenergie
1. Anschaffungskosten/ Investitionskosten	15.000 €	5.550 €
2. Brennstoffkosten	1.888 €	1.046 €
3. Betriebskosten		
Grundpreis	0,00 €	2,070 €
Wartung/Instandhaltung/Betrieb/Schornsteinfeger	1.012 €	0,00 €
Betriebsstrom für Kessel etc.	88 €	0,00 €
4. Sonstige Kosten		
Versicherungen und Haftpflicht	30 €	0,00 €
<b>Jahreswärmekosten einschließlich Mehrwertsteuer [Summe 2+3+4]</b>	<b>3.014 €</b>	<b>3.116 €</b>
Gesamtkosten bei Fremdfinanzierung [5% Zinsen und 20 Jahre Laufzeit]	1.433 €	445 €
<b>Jährliche Kosten [Fremdfinanzierung 1+2+3+4]</b>	<b>4.447 €</b>	<b>3.561 €</b>
Gesamtkosten bei Eigenfinanzierung [4 % Zins – entgangener Zins]	800 €	222 €
<b>Jährliche Kosten[Eigenfinanzierung 1+2+3+4]</b>	<b>3.814 €</b>	<b>3.338 €</b>

KEWOG Energie und Dienste GmbH

**BIOENERGIE**  
Speichersdorf

Abbildung 37: Kostenvergleich Nahwärme zu Eigenversorgung (KEWOG Energie und Dienste GmbH, Bürgerinformationsveranstaltung Speichersdorf - Planung Nahwärmenetz Speichersdorf, 2011)

Die Ermittlung des Jahreswärmebedarfs für ein Nahwärmenetz erfolgt nach folgender Vorgehensweise:

Von den potentiellen Anschließern werden die bisherigen Brennstoffverbräuche Gebäudedaten und Nutzerverhalten abgefragt (siehe Anhang Fragebogen). Über die Heizwerte der verwendeten Primärenergieträger, z. B. Heizöl wird der Brennstoffenergieinhalt ermittelt. Unter Berücksichtigung durchschnittlicher Kesselnutzungsgrade für Bestandsanlagen wird daraus die Nutzwärme berechnet. Der Warmwasserbedarf wird über die geschätzte Personenzahl ermittelt

Der Raumheizungsbedarf wird über die Gradtagszahlen vom deutschen Wetterdienst des jeweiligen Standorts witterungsbereinigt und anschließend mit dem Warmwasserbedarf zum Jahresgesamtwärmebedarf aufsummiert.

Um den durchschnittlichen Jahresgesamtwärmebedarf zu ermitteln, wird das arithmetische Mittel von mindestens zwei, besser drei Jahren gebildet.

Um zusätzlich Änderungen des Nutzerverhalten, Klimaveränderungen, Sanierungsraten oder demografische Veränderungen zu berücksichtigen, werden weitere Abschläge am Jahreswärmebedarf aufgrund vorliegender Statistiken angenommen, um den zukünftig erwarteten Gesamtjahreswärmebedarf abzubilden.

Der somit ermittelte Gesamtjahreswärmebedarf wird in einer geordneten Jahresdauerlinie dargestellt, welche als Grundlage für die Auslegung der benötigten Heizleistung / Ermittlung der Anschlussleistung dient. Nachfolgend ist die Jahresdauerlinie am Beispiel Speichersdorf exemplarisch aufgeführt.

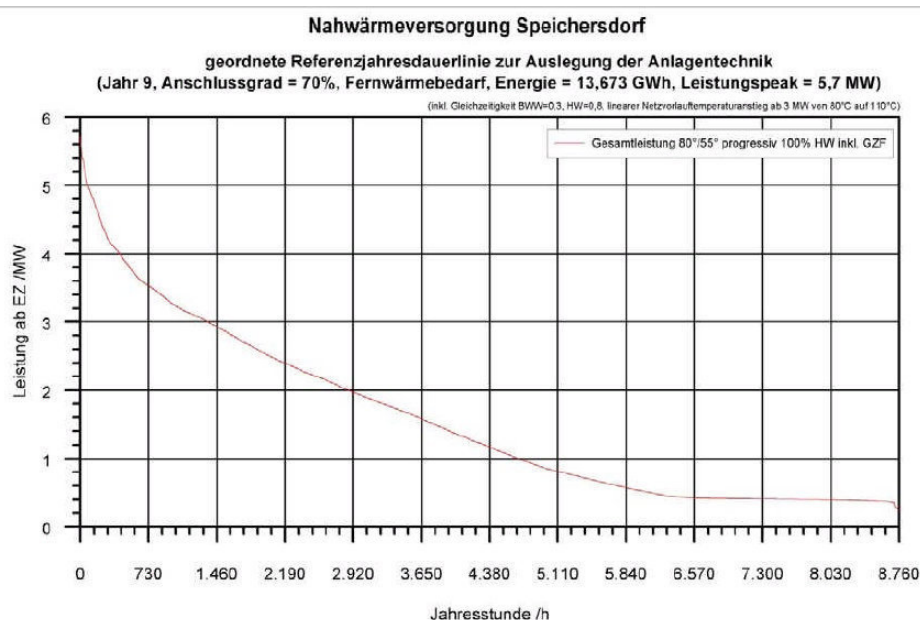


Abbildung 38: Jahresdauerlinie (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 32)

## 6.7 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen unabhängig von der Wärmeerzeugungsart hängt in erster Linie vom Vergleichswärmepreis des Istzustands der potentiellen Abnehmer ab. Bei hohen Energiepreisen ist die Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen deutlich leichter zu erreichen als bei niedrigen. Daher werden bei Vergleichsbetrachtungen Sensitivitätsanalysen erstellt, die eine Brennstoffpreissteigerung berücksichtigen. Diese berücksichtigt i. d. R. die Preisentwicklung der letzten 10 Jahre als durchschnittliche Steigerung.

Die größten Kostenfaktoren bei Wärmenetzen auf Basis erneuerbarer Energien sind zum einen die Kosten für die Erstellung der Nahwärmeleitung, weiterhin die im

Vergleich zu herkömmlichen fossilen Gas- oder Ölkesseln teureren Wärmeerzeugungsanlagen wie z. B. für Biomassekessel, Blockheizkraftwerke oder Wärmepumpen. Zu diesen kommen die hohen Kosten für Wärmespeicher z. B. für die Nutzung von Solarthermie hinzu.

Der Vorteil von Wärmenetzen auf Basis erneuerbarer Energien ist dagegen die höhere Preisstabilität. Durch die hohen Investitionen besteht der Wärmepreis zum Großteil aus dem Kapitaldienst mit meist langfristig abgeschlossenen festen Zinskonditionen. Durch den Primärenergieträgerwechsel bzw. der Einsparung von Primärenergie ergeben sich hingegen deutlich niedrigere Brennstoffkosten. Dies bedeutet je mehr Anteile des Wärmepreises von der Investition und nicht vom Brennstoffpreis abhängen, desto stabiler und planbarer die Wärmekosten, was ein wichtiges Instrument gegen die anhaltende Preisspirale für die Endverbraucher darstellt.

Laut Recknagel ist, um Nahwärmenetze im Vergleich zur herkömmlichen Gas- /Öl-Einzelfeuerungsanlagen wirtschaftlich betreiben zu können, eine Wärmebedarfsdichte von mindestens 20...30 MW/km<sup>2</sup> für neue Siedlungen sowie eine Wärmebedarfsdichte von 40...100 MW/km<sup>2</sup> für Stadtkerngebiete erforderlich. Als Liniendichten werden 1...6 MW/km angegeben (Recknagel, 2009, S. 763).

Die Wirtschaftlichkeit von Biomasseheizwerken im Nahwärmenetz hängen neben den Investitionskosten für die Netz- und Anlagenerrichtung maßgeblich vom Biomassepreis ab. Übliche Vollwärmepreise von Biomassenahwärmenetzen liegen zwischen 85 und 140 €/MWh. Die Brennstoffkostensparnis für Biomasse im Vergleich zu Heizöl refinanziert die höheren Investitionskosten. Hierzu ist im Vergleich zu Heizöl ein Preisunterschied von 35-50 % erforderlich. Je größer der Brennstoffbedarf desto leichter amortisiert sich das Nahwärmenetz im Vergleich zu fossilen Anlagen.

Einflussfaktoren für die Wirtschaftlichkeit von Geothermieanlagen sind die hydraulischen und thermischen Eigenschaften des mittels Bohrung zu nutzenden Aquifers und der Chemismus des Wassers. So können Standorte mit höheren Temperaturgradienten zur Kostenreduzierung durch geringere Bohrtiefen führen. Aufgrund der durchschnittlichen Temperaturverhältnisse in Deutschland eignet sich die Geothermie vor allem für den Wärmemarkt mittels Nah- und Fernwärmenetzen aufgrund des nutzbaren Temperaturniveaus von 100-150 °C. Ziel ist eine möglichst ganzjährige Wärmenutzung. Dies kann z. B. durch die Wärmenutzung in verschiedenen Temperaturniveaus mit verschiedenen Nutzungsarten erfolgen, wie Nah- oder Fernwärme für Bestandswohn- und Geschäftsgebäude (VL/RL) 90 – 70 °C, Niedrigenergie/Passivhausbereich (VL/RL 60-30 °C), forst- und landwirtschaftliche Nutzung z. B. für Fischzucht oder Biomassetrocknung (unter 30 °C) (Stober, Fritzer,

Obst, & Schulz, 2009, S. 19). Generell gilt, je höher die Temperatur der zur Verfügung stehenden Wärme, je wirtschaftlicher lässt sich diese in wettbewerbsfähigen Wärmepreisen vermarkten und desto vielfältiger die Einsatzmöglichkeiten.

Die Stromerzeugung aus Wärme ist erst ab einem Temperaturniveau von über 100 °C möglich. Ab diesem Temperaturniveau kann der Strom z. B. mittels ORC-Anlagen oder Kalina-Prozess erzeugt werden. Dampfturbinen hingegen benötigen Temperaturen von weit über 100 °C. Auch hier gilt je höher das Temperaturniveau aus der Wärme, desto höher der Wirkungsgrad aus der Stromerzeugung. Abbildung 39 zeigt beispielhaft die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung in Kombination mit der Methanisierung zur Speicherung der Überschüsse als Gas im Gasnetz. Hierzu hat das Umweltbundesamt in 2010 ein Konzept erarbeitet indem 100% der Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien für Strom, Wärme und Verkehr erfolgt.

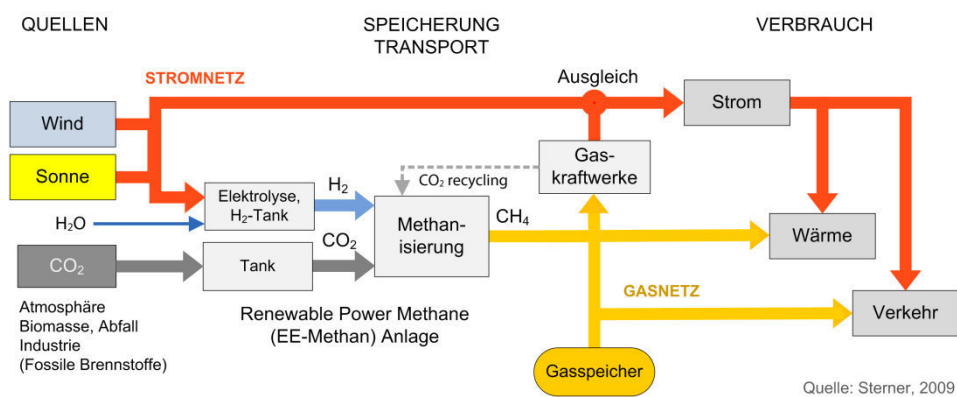


Abbildung 39: Prinzipschema Strom- und Wärmeerzeugung mit Methanisierung (Sterner, 2009)

## 6.8 Fördermittel für Nahwärmeversorgungsvarianten

Aufgrund der hohen Investitionskosten für die Errichtung von Nahwärmenetzen und Wärmeerzeugungsanlagen für erneuerbare Energien, wurden von staatlicher Seite verschiedene Förderinstrumente implementiert.

Diese sind für KWK-Anlagen im KWKG über Zuschüsse für die Errichtung und im EEG über die Einspeisevergütung für den eingespeisten Strom geregelt. Für die untersuchten Nahwärmeversorgungsvarianten sind diese nicht relevant.

Zur Errichtung von Biomasse-, Solar- und Geothermieanlagen sowie für die Errichtung des Netzes, greifen die Förderbedingungen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW-Bank) mit dem Programm erneuerbare Energien Standard und Premium Programmnummer 272/281 und 272/282. Die KfW-Bank gewährt hier Tilgungszuschüsse und verbilligte Darlehen. Die Zuschüsse werden gemäß der



aktuellen Bedingungen Stand April 2013 für die Wärmeversorgungsvarianten berechnet und durch die Reduzierung der Wärmegestehungskosten und des spezifischen Wärmepreises berücksichtigt.

Der jeweilige Zinssatz wird nach einer Risikoprüfung durch die Hausbank ggfs. mit Risikoaufschlägen an den Kreditnehmer weiter gereicht. Aufgrund dessen wird in den Wärmeversorgungsvarianten mit einem durchschnittlichen Zinssatz von 4% gerechnet. Dieser wird aufgrund des historisch niedrigen Zinsniveaus auch für das Referenzszenario welches durch Eigenmittel finanziert wird, angenommen.

Neben der KfW-Förderung gibt es für Biomasseanlagen in Bayern Fördermittel vom Technologie Förderzentrum (TFZ), mit Sitz in Straubing. Die in den Wärmeversorgungsvarianten berücksichtigten Fördermittel sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

*Tabelle 13: Förderkriterien für untersuchte Nahwärmeversorgungsvarianten auf Basis KfW und TFZ*

<b>KfW-Förderkriterien Programm f. Erneuerbare Energien, April 2013</b>			
Fördergegenstand	Förderbetrag	Förderbedingungen	
Kessel + Zubehör	20 €/kW	Nennwärmeleistung	50.000 € max. Förderung je Kesselanlage
Pufferspeicher	10 €/kW	mind. 30 l/kW	100.000 € max. je Kessel und Pufferspeicher
Staubfilter < 5 mg/m <sup>3</sup>	20 €/kW	zusätzlich	
Nahwärmenetz	60 €/m Trasse	durchschnittl. mind. 500 kWh/(a*m Trasse)	1.000.000 € max. Förderung Netz
Wärmepumpe >100 kW	80 €/kW	max. 50.000 €	500.000 € max. Förderung Netz > 3 MWh/(m*a)
Wärmespeicher > 20 m <sup>3</sup>	250 €/m <sup>3</sup>	max. 30 % v. Invest und max. 300.000 €	
Solarthermie > 40 m <sup>2</sup>	30 % v. Invest	max. 1.000.000 €	
Geothermie > 300 kW	200 €/kW	mind 400 m Tiefe, max 1.500.000 €	
Bohrkostenförderung	375 €/kW	400-1000mTiefe, 1000-2500m 500 €/m , >2500m-Endteufe 750 €/m, max. 2,5 Mio. € /m vertik. Tiefe u. max 5 Mio. € /Bohrung	
Mehraufwendungen Geoth.	50% v. Invest	Förderung max. 50% der nachgew. Mehraufw./ max. 50% der ursprünglichen Planungskosten	
Hausübergabestation	1.800 €/Stck	bei Anschlussvertrag ohne Anschlusszwang	
<b>Förderkriterien TFZ für Biomasseheizwerke, April 2013</b>			
Heizwerk:	40 €/MWh		
Nahwärme:	25 €/m Trasse	durchschnittl. mind. 1.500 kWh/(a*m Trasse)	

Die Berechnung der Wärmegestehungskosten sowie des spezifischen Wärmepreises für die untersuchten Wärmeversorgungsvarianten, erfolgt unter 9.1.2.11.

## **7 Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren zur umwelttechnischen Analyse von Nahwärmenetzen**

Um die Umweltauswirkungen von Nahwärmenetzen auf Basis erneuerbarer Energien im Vergleich zu herkömmlichen Wärmeversorgung die durch fossile Energieträger gespeist werden bewerten zu können, sollen verschiedene Nachhaltigkeitsindikatoren dazu gehören Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz-Indikatoren zur Identifikation von Umwelteinflüssen entwickelt werden. Die Indikatoren werden zur Bewertung und Quantifizierung der Emissionen / Umwelteinflüsse herangezogen: Materialinput und Output zur Herstellung und Verarbeitung der Kesselanlagen und des Nahwärmenetzes, der Verbrennung aus fossilen und nachwachsenden Energieträgern sowie für den Betriebsstromverbrauch.

### **7.1 Berechnung der Indikatoren**

Vom Ökoinstitut wurde als Instrument zum Vergleich von Umwelteffekten, der Energiebereitstellung und -nutzung die Datenbank GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) zur ganzheitlichen Bilanzierung von Umwelt und Kostenaspekten im Energie-, Stoff- und Verkehrssektor entwickelt. In dieser Arbeit wurde für die Ermittlung der Prozessketten die Version 4.8 verwendet, welche unter <http://www.GEMIS.de> erhältlich ist. Weiterhin bietet das Umweltbundesamt in dem Projekt „ProBas“ - Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente unter <http://www.probas.umweltbundesamt> den Zugriff auf über 4.000 Datensätzen aus GEMIS an. Weitere Datenbanken mit entsprechenden Datensätzen sind im Programm IKARUS und VDEW hinterlegt. Der Vergleich der verschiedenen Datensätze ist unter Tabelle 16 aufgeführt. Da das Umweltbundesamt auf GEMIS verweist und dies allgemein anerkannter Standard ist, wurden die Berechnungen mit diesem Programm erstellt. GEMIS berechnet für alle Prozesse und Szenarien Lebenszyklen siehe hierzu unter 7.2.4. Die Bilanzindikatoren stellen die Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse der Gesamtbetrachtung über die Umweltnutzung dar. Hierzu werden die Ergebnisse aus den genannten Input- und Outputindikatoren verwendet. Die Berechnungen erfolgen auf Basis einer Ökobilanz welche den kompletten Lebensweg der Systemkomponenten aufzeigt. Ausgehend von dem Energieaufwand für Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung, werden alle wesentlichen Schritte berücksichtigt und darüber hinaus auch der Hilfsenergieenergieaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen.

Für die ab 7.7 aufgeführten Nahwärmeversorgungsvarianten aus Projektbeispielen erfolgt die Berechnung der Emissionsfaktoren/CO<sub>2</sub>-Äquivalents sowie des kumulierten Energieaufwands. Hierzu wird für jede Wärmeversorgungsvariante ein Prozess entwickelt und berechnet. Der Wirkungsgrad für die Energieumwandlung wird zur Vergleichbarkeit der verschiedenen Energieträger auf 100 % gesetzt, da der Systemnutzungsgrad als separater Indikator gewichtet wird. Die Netzverluste wurden über die Ermittlung des höheren Primärenergiebedarfs zur Erzeugung der Nutzwärme in den Prozessen berücksichtigt.

## **7.2 Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz-Indikatoren für Systemkomponenten im Nahwärmenetz**

Derzeit bestehen keine einheitlichen Bewertungsverfahren und Systemgrenzen zum Vergleich von Nahwärmeprojekten. Bei biogenen Energieträgern wird meist das Treibhauspotenzial der Primärenergieverbrauch, die Versauerung und der Einfluss auf die Ozonschicht oder den Pflanzenschutz betrachtet.

Um die Anwendbarkeit der Indikatoren zum Vergleich verschiedener Wärmeversorgungsvarianten zu gewährleisten, werden nachfolgend die wichtigsten Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz-Indikatoren definiert. Diese werden in Relation zum Referenzszenario auf Basis fossiler Energieträger gesetzt. Da die Wärmeerzeugung bisher hauptsächlich mittels Verbrennung erfolgt, sollen die Indikatoren die daraus entstehenden Emissionen bzw. die Verbesserung durch den Einsatz verbrennungsfreier Technologien aufzeigen. Als Indikator für den Energieverbrauch wird der kumulierte Energieaufwand gewählt. Weiterhin wird der für die Energiebereitstellung notwendige Flächenverbrauch herangezogen.

Nachfolgend werden die nach der im Kapitel 5 beschriebenen Methodik erarbeiteten Indikatoren beschrieben.

### **7.2.1 Inputindikatoren / Verbrauchsindikatoren**

Inputindikatoren bei Nahwärmenetzen messen den Aufwand sowie den Material- und Ressourceneinsatz der für die Systemkomponenten des Wärmenetzes, die Wärmeerzeugung und -bereitstellung eingebracht werden muss. Der eigentlichen Energienutzung sind Prozessketten sogenannte Vorketten vorgelagert, die bei der Rohstoffförderung beginnen und die Aufbereitung den Transport sowie den Verarbeitungsprozess und Herstellungsaufwand von Energieträgern bis zur Endenergiestufe beinhalten.

### 7.2.1.1 Primärenergieeinsatz

Der Primärenergieeinsatz als Maß für die Ressourcenbeanspruchung aus den gesamten nachgefragten Energiemengen, fließt als Grundlage in die Berechnung des wichtigsten Inputindikators – dem kumulierten Energieaufwand (KEA) (siehe Abbildung 42 und unter 7.2.1.2), für den Ressourceneinsatz ein, da dieser zum Großteil nicht reversibel ist. Das bedeutet das verbrauchte Güter wie bei der Verbrennung von Erdgas oder Heizöl nach der Nutzung nicht mehr zur Verfügung stehen. Deshalb wird der KEA für nicht erneuerbare Energieträger „KEA nicht erneuerbar“, mit 30 % am stärksten gewichtet. Der KEA für erneuerbare Energien „KEA erneuerbar“, wird aufgrund der Reversibilität nur mit 0,0001 % und zur Vergleichsdarstellung gewichtet, da dieser indirekt auch über die Outputindikatoren gewichtet wird. Um den Verbrauch fester, flüssiger und gasförmiger Energieträger (Primärenergien) miteinander vergleichen zu können, wird der Energieinhalt je kWh für die verschiedenen Brennstoffe dargestellt.

Die nachfolgend aufgeführten Primärenergieträger weisen folgende Energieinhalte die als Brenn- und Heizwerte angegeben werden, auf. Der Brennwert wird auch als der obere Heizwert bezeichnet. Durch die vollständige Oxidation (Verbrennung) gehen ca. 10 % der Energie zur Verdampfung des im Brennstoff enthaltenen Wasserstoffs in Form von Wasserdampf als Umgebungswärme verloren. Der reduzierte Wert wird als unterer Heizwert  $H_i$  in der Vergangenheit  $H_u$  bezeichnet.

Brennstoffart	Brennwert $H_s$ kWh/m <sup>3</sup>	Heizwert $H_i$ kWh/m <sup>3</sup>	$H_s/H_i$	$H_s/H_i$	Kondens. (theoret.) kg/m <sup>3</sup>
Erdgas L	9,87	8,83	1,11	1,04	1,53
Erdgas H	11,46	10,35	1,11	1,11	1,63
Propan	28,28	25,99	1,09	2,29	3,37
Butan	37,22	34,31	1,08	2,91	4,29
Heizöl <sup>*)</sup>	10,68	10,08	1,06	0,6	0,88

<sup>\*)</sup> Bei Heizöl-EL sind die Angaben auf die Einheit „Liter“ bezogen.

Abbildung 40: Energieinhalt fossiler Brennstoffe (Recknagel, 2009, S. 812)

Daher wird für die weiteren Betrachtungen der Heizwert als der tatsächlich nutzbare Energieinhalt gemäß Tabelle 14 herangezogen. Der Energieinhalt von Erdgas variiert leicht in Abhängigkeit vom gemessenen Druck und Temperatur. Der Heizwert von Holz und Holzhackschnitzeln hängt von der Holzart, dem Wassergehalt und dem Verarbeitungszustand ab. In den später aufgeführten Projektbeispielen werden

Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 30-35 % zu Grunde gelegt. Holzpellets die nach der deutschen DIN Norm produziert werden, weisen einen Heizwert von 4,9-5,3 kWh/kg und einen Wassergehalt von weniger als 10 % auf.

*Tabelle 14: Übersicht Vergleich Heizwerte fossiler und nachwachsender Primärenergieträger (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 62)*

Energieträger	Bezug	Wert	Einheit
Heizöl EL	Hi=Hu	10,08	kWh/l
Erdgas	Hi=Hu 2007	10,038	kWh/m <sup>3</sup>
	Hi=Hu 2008	10,038	kWh/m <sup>3</sup>
	Hi=Hu 2009	10,1209	kWh/m <sup>3</sup>
Scheitholz	Hi=Hu	15490	kJ/kg
Holzpellets	Hi=Hu	17000,0	kJ/kg
Hackschnitzel	Hi=Hu	15000	kJ/kg
Kohle	Hi=Hu	5,4	kWh/kg

Um den benötigten Primärenergieeinsatz für eine kWh Nutzwärme zu erhalten, ist die gesamte Herstellungs- und Transportkette einzubeziehen, welche auch bei der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Primärenergieträgers zu berücksichtigen ist. In den späteren Projektbeispielen wird für die Grundlastwärmeerzeugung hauptsächlich feste Biomasse und für die Spitzenlast Heizöl eingesetzt. Deshalb wird auf diese Primärenergieträger detailliert eingegangen.

Die Verluste bei der Herstellung von Heizöl von der Rohölproduktion über die Raffinerie und Transport bis zur Umwandlung von Primärenergie in Nutzwärme, sind in der nachfolgend abgebildeten Prozesskette aus der GEMIS-Datenbank dargestellt. Als Energieumwandlungsanlage von Heizöl in Wärme wird hier ein atmosphärischer Brenner zu Grunde gelegt. Für die Effizienz werden im GEMIS-Programm 100% angenommen gemäß der unter Punkt 7.2.1.2 beschriebenen Regel, um verschiedene Energieträger vergleichen zu können.

Aufgrund der Betreibererfahrung der Autorin, ist für die Effizienz der Kesselanlage ein Abschlag je nach Alter der Anlage von 15-40 % zu berücksichtigen. D. h. das bei alten Heizölanlagen mit einem Alter von über 15-20 Jahren nur ca. 60 – 75 % des eingesetzten Heizöls in Form von Wärme im Gebäude ankommen, der Rest geht als Umwandlungs- und Abwärmeverluste verloren.

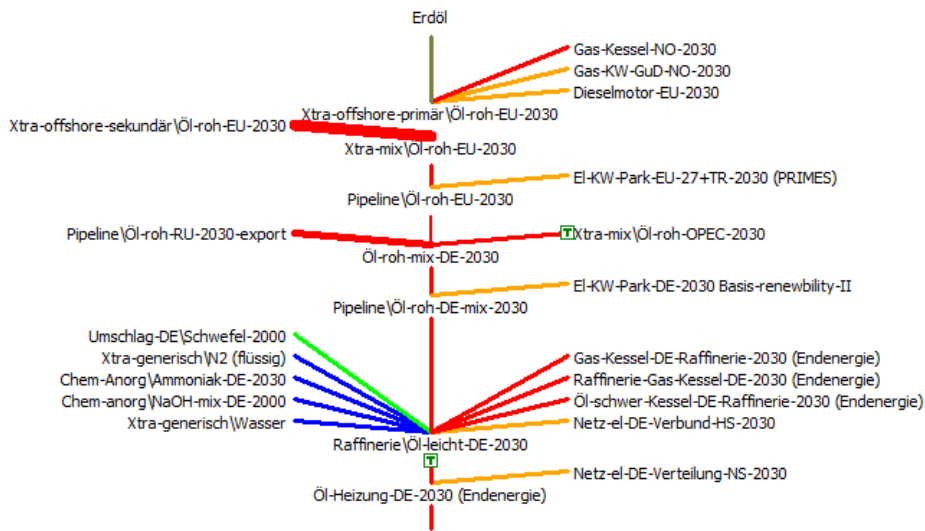


Abbildung 41: Zentralheizung für leichtes Heizöl mit atmosphärischen Brenner inkl. Wärmeverteilung Hilfsstrom und Tank. Daten für 100 % Effizienz (endenergiebezogen) zur direkten Berechnung von Brennstoffbedarfen. Prozesskette aus GEMIS 4.8, Prozess Öl-Heizung-DE-2030 (Endenergie)

Die Prozesskette zur Erzeugung der Endenergie (Nutzwärme) aus Heizöl besteht aus der Rohölförderung, dem Transport mittels Pipeline, der chemischen Umwandlung / Verarbeitung des Rohöls zu Schweröl und Diesel sowie Heizöl. Für die Umwandlungsprozesse wird Schwefel ( $S_2$ ), Stickstoff ( $N_x$ ), anorganischer Ammoniak ( $NH_3$ ), Natriumhydroxid (NaOH) und Wasser eingesetzt. Nach der Umwandlung in der Raffinerie erfolgt der Transport zum Handel und zum Endkunden (Nutzer), welcher das Heizöl mittels atmosphärischen Brenner (Öl-Heizung-DE-2030) in Wärme zur Endenergie umwandelt / verbrennt.

Nachfolgend ist der Ressourcenaufwand für die Erzeugung einer kWh Nutzwärme aus Heizöl gemäß der oben beschriebenen Prozesskette aus GEMIS 4.8 dargestellt.

<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	
KEA-nichterneuerbar	1,1631924 kWh
KEA-erneuerbar	13,973*10 <sup>-3</sup> kWh
KEA-andere	3,1685*10 <sup>-3</sup> kWh
KEA-Summe	1,1803335 kWh
<b>Kumulierter Energieverbrauch</b>	
KEV-nichterneuerbar	1,1627162 kWh
KEV-erneuerbar	13,973*10 <sup>-3</sup> kWh
KEV-andere	3,1685*10 <sup>-3</sup> kWh
KEV-Summe	1,1798574 kWh
<b>Kumulierter Stoff-Aufwand</b>	
KSA-nichterneuerbar	5,5801*10 <sup>-3</sup> kg
KSA-erneuerbar	250,71*10 <sup>-3</sup> kg
KSA-andere	935,14*10 <sup>-6</sup> kg
KSA-Summe	257,23*10 <sup>-3</sup> kg

Abbildung 42: Ergebnisse Ressourceninanspruchnahme aus GEMIS 4.8, Prozess Öl-Heizung-DE-2030 (Endenergie), die globalen Ergebnisse für '1,000000 kWh Raumwärme' geliefert von 'Öl-Heizung-DE-2030 (Endenergie)'

Um eine 1 kWh Nutzwärme (Raumwärme) aus einem atmosphärischen Ölbrenner zu erhalten, ist der in Abbildung 42 aufgeführte Energie- und Stoffaufwand erforderlich.

Die Abbildung zeigt den Ressourcenaufwand normiert auf kWh zur Erzeugung einer kWh Nutzwärme. Hierbei wird als kumulierter Energieaufwand (siehe hierzu auch unter 7.2.1.2), der gesamte Energieaufwand zur Nutzwärmeerzeugung inkl. Heizwert des Primärenergieträgers bezeichnet. Die Unterscheidung in erneuerbar und nicht erneuerbar zeigt auf, welcher Anteil daraus z. B. aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt wird und welcher Anteil aus fossilen, nicht wieder bringbaren fossilen Rohstoffen erzeugt wird. Die Untergliederung in andere ist z. B. der Anteil der Erzeugung aus Abwärme wobei nicht direkt zwischen erneuerbar und nicht erneuerbar unterschieden werden kann.

Der Unterschied zwischen kumulierten Energieaufwand (KEA) und Energieverbrauch (KEV) ist beim KEA die Einbeziehung des Heizwerts des Brennstoffs. Deshalb ist der KEV um den Heizwert geringer als der KEA. Der kumulierte Stoff-Aufwand (KSA) zeigt den reinen Stoffaufwand zur Erzeugung einer kWh Nutzwärme an.

Nachfolgend ist die Prozesskette zur Herstellung von Holzhackschnitzeln mittels Grosshacker Chipperwood exemplarisch aufgeführt.

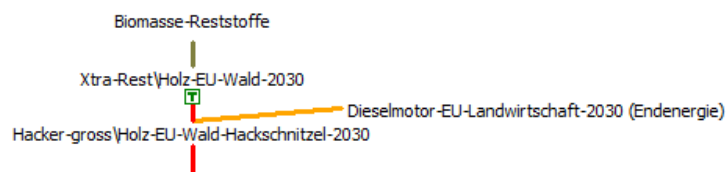


Abbildung 43: Prozesskette zur Herstellung von Holzhackschnitteln EU-Wald, aus GEMIS 4.8, Hackschnitzel Hacker-gross/Holz-EU-Wald-Hackschnitzel-2020

In der Prozesskette für die Herstellung von Hackschnitzeln aus Waldrestholz aus GEMIS, ist das Hacken sowie der Transport mittels Landwirtschaftlichen Fahrzeug berücksichtigt. Die Trocknung der Biomasse auf einen Wassergehalt von 30 %-35 % kann vorab frei Waldstrasse an der Luft erfolgen oder nach dem Hacken im Biomasselager. Hierbei erfolgt die Lufttrocknung mittels Lagerung in Hallen oder offen in Pyramidenform. Weiterhin ist die Lufttrocknung auch durch Abdeckung mittels atmungsaktiven Geotextilfolien auf eine Restfeuchte von 25-35 % möglich. Die Trocknungsphase benötigt je nach Luftfeuchtigkeit und Temperatur etwa 3-9 Monate.

Mittlerweile wird zur Beschleunigung des Trocknungsvorgangs und zur Nutzung der Wärme aus Biogasanlagen, häufig die technische Trocknung genutzt. Hierbei wird z. B. warme Luft in Biomasselagerhallen oder in Container mit Siebboden eingeblasen. Dadurch kann der Trocknungsprozess auf wenige Tage reduziert werden. Die technische Trocknung ist insoweit sinnvoll, da der Heizwert der Biomasse nach der Trocknung von nassem Holz von weniger als 1 kWh/kg auf bis zu 4,5 kWh/kg je nach Holzart ansteigt, ansonsten wird der Heizwert hauptsächlich zur Trocknung des enthaltenen Wassers benötigt. Dadurch ist die drei- bis vierfache Menge an Holzhackschnitteln zur Wärmeerzeugung notwendig. Weiterhin können die meisten Biomasseanlagen mit einer Kesselleistung von bis zu 1 MW Holzhackschnittel schlechter Qualität mit einem Wassergehalt von 50-60 % und hohem Feinanteil nur mit einem schlechten Wirkungsgrad von weit unter 80 % und bei erhöhtem Anlagenverschleiß verbrennen. Zusätzlich erhöhen sich die Schadstoffemissionen durch den erhöhten Stickoxidanteil.

Darüber hinaus ist die Nutzung der Abwärme aus den vorhandenen Biogasanlagen, welche in der Vergangenheit leider oft ohne sinnvolles Wärmekonzept konzipiert wurden und so ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben wird, hilfreich um deren Ökobilanz zu verbessern.

So betrug allein im Landkreis Tirschenreuth im Jahr 2009 die installierte Biogasanlagenleistung kleiner landwirtschaftlicher Biogasanlagen bereits 7 MW, mit



dem Schwerpunkt im östlichen Landkreis aufgrund der höheren Viehdichte (KEWOG Städtebau GmbH Geschäftsbereich ZREU, 2010).

Bei den untersuchten Wärmeversorgungsvarianten zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern wird außer bei der Variante V6 Geothermie, die meiste Nutzwärme aus Holzhackschnitzeln erzeugt. Deshalb wird nachfolgend auf die notwendigen Brennstoffeigenschaften näher eingegangen.

Um 1 kWh Heizwert aus Holzhackschnitzeln zu erhalten, ist der folgende Energieaufwand erforderlich.

„Die globalen Ergebnisse für '1,000000 kWh Holz-EU-Wald-Hackschnitzel (berechnet) (Heizwert)' geliefert von 'Hacker-gross\Holz-EU-Wald-Hackschnitzel-2020' sind“ laut GEMIS:

<b>Ressourceninanspruchnahme</b>	
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	
KEA-nichternewerbar	16,050*10 <sup>-3</sup> kWh
KEA-erneuerbar	1,0098707 kWh
KEA-andere	1,5471*10 <sup>-3</sup> kWh
KEA-Summe	1,0274674 kWh
<b>Kumulierter Energieverbrauch</b>	
KEV-nichternewerbar	14,286*10 <sup>-3</sup> kWh
KEV-erneuerbar	1,0098707 kWh
KEV-andere	1,5471*10 <sup>-3</sup> kWh
KEV-Summe	1,0257035 kWh

Abbildung 44: Energieaufwand für Herstellung Hackschnitzel mittels Hacker-gross/Holz-EU-Wald-Hackschnitzel-2030

Da die Hackschnitzelqualität durch den Wassergehalt und Feinanteil erheblich beeinflusst wird und sich damit der Energieinhalt entsprechend verändert, sind nachfolgend die Qualitätsklassen mit den wesentlichen Parameter der österreichischen ÖNORM 7133 abgebildet. Wegen der fehlenden deutschen Normierung werden bei Brennstofflieferverträgen meist die ÖNorm Kriterien gefordert.

A) Hackgutklasse	Zulässige Massenanteile und jeweilige Bandbreite für Teilchengröße (Siebanalyse) in mm				zulässige Extremwerte für Teilchen	
	max. 20 %	60 – 100 %	max. 20 %	max. 4 %	max. Querschnitt	max. Länge
G 30	> 16	16 – 2,8	2,8 – 1	< 1	3 cm <sup>2</sup>	8,5 cm
G 50	> 31,5	31,5 – 5,6	5,6 – 1	< 1	5 cm <sup>2</sup>	12 cm
G 100	> 63	63 – 11,2	11,2 – 1	< 1	10 cm <sup>2</sup>	25 cm

	Hackgutklasse	Klassengrenzen	Erläuterungen
B) Wassergehaltsklassen: (Wassergehalt bezogen auf feuchte Masse)	W 20	< 20 %	„lufttrocken“
	W 30	20 – 30 %	„lagerbeständig“
	W 35	30 – 35 %	„beschränkt lagerbeständig“
	W 40	35 – 40 %	„feucht“
	W 50	40 – 50 %	„ernte frisch“
C) Schüttdichteklassen: (Angaben für wasserfreien Zustand)	S 160	< 160 kg/m <sup>3</sup>	„geringe Schüttdichte“
	S 200	160 – 250 kg/m <sup>3</sup>	„mittlere Schüttdichte“
	S 250	> 250 kg/m <sup>3</sup>	„hohe Schüttdichte“
D) Aschegehaltsklassen:	A 1	> 1 %	„geringer Aschegehalt“
	A 2	1 – 5 %	„erhöhter Aschegehalt“

Abbildung 45: Hackgutklassen nach ÖNorm M7133 Parameter und Grenzwerte aus (Marutzky, 1999)

„Der Wassergehalt ( $w$ ) ist definiert als das Gewicht der im Holz enthaltenen Wassermenge im Verhältnis zum Gewicht des feuchten Holzes:  $w = (G_w - G_o) / G_w$ , mit  $G_w$ : Gewicht des Holzes bei  $w$  % Wassergehalt,  $G_o$ : absolutes Trockengewicht (= Darrgewicht). Alternativ kann die Holzfeuchte ( $u$ ) angegeben werden. Sie ist definiert als das Gewicht der im Holz enthaltenen Wassermenge im Verhältnis zum Gewicht des absolut trockenen Holzes:  $u = (G_u - G_o) / G_o$ , mit  $G_u$ : Gewicht des Holzes bei  $u$  % Wassergehalt.“ (LfU, 2001, S. 7)

Gemäß Betreibererfahrung der Autorin eignen sich Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 25-35 %, einem geringem Feinanteil sowie der Größenordnung G30-G50 am besten für kleine und mittlere Biomasseheizwerke zwischen 500 kW und 2,5 MW Kesselleistung. Bei zu trockenem Hackgut mit 10-20 % Wassergehalt geht trotz der Regeltechnik der Anlagen ein Teil des Heizwerts durch die bei der Rostfeuerung vorgeschaltete Vortrocknung über das Abgas verloren. Weiterhin besteht bei zu trockenem Hackgut vermehrt die Gefahr eines Rückbrands in der Hackgutzubringung (Schneckenkanal). Die derzeit gängige Technik für Biomassefeuerungen bis 2,5 MW Kesselleistung, ist für mittlere bis gute Qualitäten konzipiert. Hoher Feinanteil z. B. in Landschaftspflegebegleitgrün sowie ein hoher Wassergehalt führen zu deutlich höherem Anlagenverschleiß, schlechteren Nutzungsgraden und höheren Schadstoffemissionen.

### 7.2.1.2 Kumulierter Energieaufwand für Nahwärmenetze

Unter dem kumulierten Energieaufwand (KEA) versteht man die Summe der bei allen Prozessen erfolgten Energieumsätze. Diese werden aus Kennzahlen wie Nutzungsgraden, Ressourcen-, Material- und Hilfsenergieaufwendungen ermittelt oder über direkte Messungen erfasst. In der VDI-Richtlinie 4600 ist die Berechnungsvorschrift zur Ermittlung des KEA beschrieben. Nachteilig hierin ist das bei der Berechnung des Primärenergieaufwands keine einheitliche Verfahren, sondern verschiedene Definitionen von Nutzungsgraden für Ressourcen angegeben sind, die sich je nach Anwendung unterscheiden können. Dies trifft vor allem bei der Ermittlung des Primärenergiebedarfs für regenerative Energieträger und für Abwärme zu (Uwe R. Fritsche, 1999, S. 7).

Hierbei wird die Vergleichbarkeit der Ressourcen-Nutzungsgrade der eingesetzten Primärenergieträger erschwert und erfordert deshalb einen hohen Aufwand für die Umrechnung der verschiedenen Nutzungsgrade. Weiterhin ist keine direkte Kompatibilität zur Deutschen Energiebilanz (AGEB) und der IEA/OECD sowie EU-Statistik gegeben. Bei der Anwendung der KEA-Richtlinie zur Berechnung der Primärenergieaufwendungen anhand von Prozessketten oder Input-Outputrechnungen, erfolgt eine Festlegung auf das Berechnungsverfahren, da die „100%“-Regel für die Primärenergieumrechnung bei der Erstellung der Statistiken als Basisannahme diente (Uwe R. Fritsche, 1999, S. 7).

In der Datenbank GEMIS wird um alle Energieträger gleich zu behandeln und eine entsprechende Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ebenfalls die 100%-Regel anstatt der VDI-Richtlinie 4600 angewandt. Hierzu werden alle Energieträger zur Energiegewinnung auf 100 % gesetzt. Diese wird auch für die erstellten Prozesse angewandt. Dies vor dem Hintergrund das in der VDI-Methode wie oben erläutert z. B. Öl- und Kohleförderung als 100 % effizient angesetzt werden, während bei der Windkraftnutzung in Abhängigkeit von der eingesetzten Technik, eine Effizienz von 20-35 %, bei der Photovoltaik 5-10 % und bei der Solarthermie 25-40 % angenommen werden.

Mittels Globalschalter kann die Berechnung in GEMIS nach der 100 % Regel oder nach der traditionellen VDI-Methode gewählt werden (Schmidt U. R., August 2008, S. 45).

Für die aus den Datensätzen in GEMIS berechneten Vorketten und Prozessketten sind für die Prozesse folgende Kenndaten in der Datenbasis enthalten:

- Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Nutzungsdauer gem. VDI 2067 über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren
- direkte Luftschadstoffemissionen
- Treibhausgasemissionen
- feste Reststoffe
- flüssige Reststoffe
- Flächenbedarf

Die Methodik zur Berechnung des KEA ist in dem Arbeitspapier KEA-Methodik in GEMIS 4.4 erläutert und unter <http://www.oeko.de/service/kea/files/kea-methodik.pdf> abrufbar.

Systemgrenze des KEA bei den Nahwärmeversorgungsvarianten ist vor der Hausübergabestation im Gebäude ohne Hilfsenergie z. B. für die Wärmeverteilung im Gebäude der Wärmeabnehmer. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von strombetriebenen Wärmeerzeugungsanlagen wie Wärmepumpen sowie die Stromerzeugung im BHKW werden in der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Strombezuges berücksichtigt. Bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ist der Emissionsfaktor auf den Brennstoffeinsatz bezogen. Bei gleichzeitiger Bereitstellung von Elektrizität (KWK-Anlagen) wird eine Gutschrift eingerechnet.

Eine ähnliche Herangehensweise zur Ermittlung des KEA hat die (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 19 ff) für den Vergleich von Wärmepumpen mit Erdgasbrennwertkesseln zusammengestellt. Hierbei setzt sich der KEA aus den drei Teilen zusammen:

- KEA Herstellung inkl. Betriebs- und Hilfsmittel,
- KEA Betrieb - Energieaufwendungen über die Nutzungsdauer und
- KEA Entsorgung – Energieaufwand für die Entsorgung (Recycling/Verbrennung)

Dieser besteht wiederum aus dem kumulierten Prozessenergieverbrauch als Maß für den primärenergetisch über Bereitstellungsnutzungsgrade bewerteten Endenergieverbrauch für Wärme-, Licht und sonstige Nutzelektrizitätserzeugung sowie dem kumulierten nichtenergetischen Aufwand, als Maß des stoffgebundenen Energieinhalts. Weiterhin aus dem nichtenergetischen Verbrauch - dem stofflichen Verbrauch an Energieträgern die in den nationalen Energiestatistiken geführt werden. Sowie als letztes den stoffgebundenen Energieinhalt aller über den Heizwert

bewertbaren Stoffe, die nicht in den nationalen Energiestatistiken als Energieträger ausgewiesen sind (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 20).

#### 7.2.1.2.1 Ermittlung KEA Systemkomponenten Wärmenetz

Relevant für die Bewertung ist der Anteil des Energieaufwands in den Wärmeversorgungsvarianten der nicht erneuerbar und damit nicht nachhaltig aus fossilen Energieträgern wie Erdgas oder Heizöl hergestellt wird, der  $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$ . Je höher der  $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$  ist, desto negativer wird die Variante mit der anteiligen Gewichtung von 30 % bewertet. Die übrigen Anteile des Gesamtenergieaufwands der Versorgungsvarianten  $KEA_{\text{erneuerbar}}$  und  $KEA_{\text{andere}}$  werden indirekt durch die Emissionen bewertet.

#### 7.2.1.3 Flächenbedarf

Als weiteren Inputindikator wird der Flächenbedarf für die Systemkomponenten und die Brennstoffherzeugung ausgewählt. In der Bewertung erfolgt eine stärkere Gewichtung der Fläche im Vergleich zu den Outputindikatoren Abwasser und Abfall, da diese bei der energetischen Nutzung meist nicht mehr für andere Zwecke wie die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung steht. Die im Erdreich verlegten Leitungen haben auf die oberflächliche landwirtschaftliche Nutzung keinen Einfluss d.h. diese ist weiterhin möglich. Allerdings ist aufgrund der notwendigen Zugänglichkeit der Leitungen die Bebauung nicht möglich. Deshalb werden Innerorts die Leitungen meist unterhalb der Straße oder Gehwegen verlegt. Daher fällt für die Verlegung des Netzes nahezu kein zusätzlicher Flächenverbrauch an. Der Flächenbedarf wird mit einer Gewichtung von 7 % berücksichtigt.

### 7.2.2 Outputindikatoren / Ergebnisindikatoren

Outputindikatoren messen die Ergebnisse und Wirkungen die sich aus dem Ressourcenverbrauch bzw. eingesetzten Aufwand/Arbeit ergeben. Diese werden durch die im nachfolgenden beschriebenen ausgewählten Einzelindikatoren erfasst.

#### 7.2.2.1 CO<sub>2</sub>-Äquivalent, SO<sub>2</sub>-Äquivalent, TOPP-Äquivalent

Als Ergebnis/Output der Wärmeerzeugung (Verbrennung), entstehen die verschiedenen Luftemissionen, aus denen mit GEMIS neben den Einzelemissionen drei aggregierte Summenparameter berechnet werden. Diese untergliedern sich nach:

Klimarelevanz als CO<sub>2</sub>-Äquivalent von Treibhausgasen,

### Versauerungspotenzial als SO<sub>2</sub>-Äquivalent und als

relatives bodennahes Ozon-Vorläufer Potenzial (tropospheric ozone precursor potentials – TOPP).

Nachfolgend sind die einzelnen Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der Äquivalente aus GEMIS dargestellt:

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente von Treibhausgasen (THG) werden massebezogen, relative Treibhauspotenziale (THP) verwendet, die für jedes Treibhausgas angeben, welcher äquivalenten Menge von CO<sub>2</sub> seine Treibhauswirkung entspricht. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente für alle THG werden nach folgender Formel berechnet.

$$THP_{\text{Äqui}} = \sum (e_i * THP_i)$$

mit  $e_i$  = Masse des THG  $i$  in kg und  $THP_i$  = Treibhauspotenzial der Emission  $i$ , in [kg/kg]

#### *Abbildung 46: Berechnungsformel für CO<sub>2</sub>-Äquivalent aus GEMIS 4.8*

Für die Versorgungsvarianten aus den Projektbeispielen sowie für die Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern als Referenzwert, werden die spezifischen Emissionen an Treibhausgasen errechnet, welche durch den Betrieb der Anlagen entstehen. Hierbei werden auch die Emissionen für die Erzeugung von verbrauchtem Hilfs- und Antriebsstrom gemäß dem bundesdeutschen Strom-Mix berücksichtigt.

Die Emissionen von CO<sub>2</sub> sowie die wichtigsten klimawirksamen Treibhausgase welche bei den in dieser Arbeit beschriebenen Nahwärmenetzen und Versorgungsvarianten entstehen, werden durch das CO<sub>2</sub>-Äquivalent bemessen. Die Angabe des CO<sub>2</sub>-Äquivalents erfolgt in Tonnen Emissionen oder als spezifisches CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Tonnen Emissionen pro erzeugter kWh Nutzwärme. Somit erfolgt die Umrechnung aller Emissionen der sechs wichtigsten Treibhausgase – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, PFC, HFC in die jeweilige äquivalente Menge CO<sub>2</sub>, wodurch sich die Emissionsmengen verschiedener Treibhausgase zum CO<sub>2</sub>-Äquivalent addieren lassen. Die Treibhausgaspotenziale beruhen auf der relativen Treibhauswirkung im Vergleich zu CO<sub>2</sub> unter Einrechnung der jeweiligen atmosphärischen Verweildauer von 100 Jahren gemäß IPCC-Bericht von 2007. Die Gewichtung des Treibhauspotentials einzelner Emissionen erfolgt anhand der in Tabelle 15 angegebene Werte. Die angegebenen relativen Treibhauspotenziale (GWP), beziehen sich dabei auf einen Zeithorizont von 20 und 100 Jahren.

*Tabelle 15: Umrechnungsfaktoren der Treibhauswirkung der sechs wichtigsten Emissionen – eigene Darstellung auf Basis (IPCC, 2007, S. p. 212, 213)*

Treibhausgas	Summenformel	Entstehung bei Nahwärmenetzen	GWP gemäß IPCC AR4 (bezogen auf 20 Jahre)	GWP gemäß IPCC AR4 (bezogen auf 100 Jahre)	Verweildauer [Jahre]
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	Verbrennung fossiler Energieträger (Heizöl, Erdgas), Verbrennung von Biomasse	1	1	30-95
Methan	CH <sub>4</sub>	Erdgas- und Erdölproduktion, Biogasproduktion	72	25	12
Distickstoffoxid (Lachgas)	N <sub>2</sub> O	Verbrennung von Biomasse	289	298	114
Tetrafluorethan (R-134-a, HFC-134a)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	Kältemittel in Wärmepumpen (früher)	3830	1430	14
Flourchlorkohlenwasserstoffe FCKW	z. B. CClF <sub>3</sub>	Kältemittel in Wärmepumpen (früher)	10.800	14.400	640
Flourkohlenwasserstoffe FKW/HFKW	z. B. CHF <sub>3</sub>	Kältemittel in Wärmepumpen (früher)	12.000	14.000	270
Stickstofftrifluorid	NF <sub>3</sub>	Herstellung von Halbleitern, Solarzellen	17.200	17.200	270
Schwefelhexafluorid	SF <sub>6</sub>	-	22.800	22.800	3.200

Für die Berechnung der Nutzwärme werden die Schadstoffemissionen auf Basis der Endenergie ermittelt. Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strom-Mix beträgt für 2010 0,544 t/MWh (Berechnungsbasis) und gemäß Schätzungen des Umweltbundesamts für 2011 0,559 t/MWh (Umweltbundesamt, S. 4). Der Strombedarf für die im späteren benannten Projektbeispiele bezieht sich im Wesentlichen auf den Hilfsenergieeinsatz.

Als Maß für das Versauerungspotenzial (acidification potential = AP) werden die Äquivalente über die Molekulargewichte und das Bindungspotential für Protonen der jeweiligen Emission nach GEMIS errechnet.

Für das SO<sub>2</sub>-Äquivalent mit SO<sub>2</sub> AP = 1,0

Schadstoff	AP
NO <sub>x</sub>	0.696
HF	1.601
HCl	0.878
H <sub>2</sub> S	0.983
NH <sub>3</sub>	3.762

Das AP<sub>Äqui</sub> ergibt sich aus  $\sum (e_i * AP_i)$  mit

$e_i$  = Masse der Emission i in kg und  $AP_i$  = Versauerungspotenzial der Emission i, in [kg/kg]

Abbildung 47: Umrechnungsfaktoren für SO<sub>2</sub>-Äquivalent und Berechnungsformel aus GEMIS 4.8

Das relative bodennahe Ozon-Vorläufer Potenzial (tropospheric ozone precursor potentials – TOPP-Äquivalent) mit NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) = 1,0 wird nach GEMIS, wie folgt ermittelt.

Schadstoff	TOPP
NO <sub>x</sub>	1.220
NMVOC	1.000
CO	0.110
CH <sub>4</sub>	0.014

Das OPP<sub>Äqui</sub> ergibt sich als  $\sum (e_i * OPP_i)$  mit

$e_i$  = Masse der Emission i in kg und  $OPP_i$  = Ozon-Vorläufer-Potenzial der Emission i, in [kg/kg]

Abbildung 48: Luftschadstoffe Ozonbildungspotenzial, Umrechnungsfaktoren zum TOPP-Äquivalent aus Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), NMVOC, Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH<sub>4</sub>), Berechnungsformel aus GEMIS 4.8

Als Output-Indikatoren für die Luftschadstoffe werden die Summenparameter für Klimarelevanz (Treibhausgaspotenzial), das CO<sub>2</sub>-Äquivalent, für das Versauerungspotenzial das SO<sub>2</sub>-Äquivalent und für das Ozonbildungspotenzial das TOPP-Äquivalent ausgewählt. Weil die Luftemissionen bei der Wärmeerzeugung die Hauptemissionen ausmachen, werden diese mit 40 % am stärksten gewichtet. Hiervon wird das CO<sub>2</sub>-Äquivalent als Leitgas mit 20 % wieder am stärksten gewichtet. Das SO<sub>2</sub>-Äquivalent und TOPP-Äquivalent fließt jeweils mit 10 % in die Bewertung ein.



### 7.2.2.2 Abwasseremissionen

Die Wassernutzung wird durch die Abwasseremissionen angezeigt. Bei der Verbrennung fällt i.d.R. kaum Abwasser an. Weiterhin wird das Abwasser über die Kanalisation der entsprechenden Klärtechnik zugeführt. Deshalb werden die Abwasseremissionen in der Bewertung mit 1 % gewichtet.

Die Ressource Wasser wird als Indikator nicht ausgewählt, da der Wasserverbrauch am Gesamtenergieaufwand sehr gering ist und weil das Wasser (Wärmeträgermedium) während der Nutzung im System verbleibt. Bei der Tiefengeothermie wird das Wasser im Kreislauf gefahren d. h. entnommenes Wasser wird wieder reinjiziert. Auch hier fällt im normalen Betrieb kein Abwasser an. Das hochmineralisierte Wasser aus den tiefen Gesteinsschichten müsste bei nicht wieder Einleitung allerdings gesondert behandelt werden. D. h. der Hauptwasserbedarf fällt während der Herstellung an. Dieser fällt jedoch auch bei der Herstellung von Techniken für die Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern an.

### 7.2.2.3 Abfälle

Die aus den Wärmeversorgungsvarianten anfallenden Abfälle werden mit einer relativ geringen Gewichtung von 2 % berücksichtigt. Grund hierfür sind zum einen die möglichen langen Nutzungszeiten eines Nahwärmenetzes von 40-50 Jahren. Weiterhin haben erdverlegte Komponenten wie Kunststoffmantelrohre sowie Erdkollektoren und Sonden ebenfalls eine Nutzungsdauer von über 30 Jahren. Die Kunststoffe sind nicht abbaubar und haben ohne UV-Einwirkung (laut Langzeitsimulation der Fa. Rehau) eine angenommene Lebensdauer von über 100 Jahren. Darüber hinaus sind petrothermale oder hydrothermale Wärmequellen nahezu unbegrenzt nutzbar.

Aufgrund des nicht genau definierbaren Nutzungszeitraums der einzelnen Systemkomponenten kann die Systemgrenze und der Entsorgungsaufwand nicht exakt festgelegt werden. Für die Berechnungen wird deshalb ein Zeitraum von 20 Jahren angenommen. Weiterhin ist der Aufwand für die Herstellung der Erzeugungsanlagen im Vergleich zum Energieaufwand für den Betrieb/Nutzung sehr gering, siehe hierzu Abbildung 68: Vergleich des kumulierten Energieaufwands (KEA) von Wärmepumpe und Erdgasbrennwertkessel über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 68).

Außerdem sind beim Netzausbau und bei den Bohrungen die Tiefbauarbeiten die höchsten Kostenfaktoren. Daher verbleiben die erdverlegten Materialien nach der Nutzung oft im Erdreich und werden lediglich stillgelegt. Der Ausbau/Erneuerung

erfolgt meist nur, wenn Sanierungsarbeiten z. B. an ebenfalls im Erdreich verlegten Rohren wie z. B. Wasserleitungen oder Stromleitungen anstehen. Außerdem werden nach der Nutzung Metalle wie Stahl oder Eisen aus den oberflächlich installierten Erzeugungsanlagen aufgrund ihrer Werthaltigkeit recycelt, so dass der Aufwand für die Entsorgung am Gesamtenergieaufwand sehr gering ist. Aufgrund der Nichtabbaubarkeit von Kunststoff und der Langlebigkeit sind derzeit keine langfristigen Erfahrungen beim Verbleib der Materialien im Erdreich verfügbar. Daher besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Der Abfallanfall bei Wärmeerzeugungsanlagen wird vernachlässigt, da die werthaltigen Metalle recycelt werden und nicht verwertbare Reststoffe der thermischen Verwertung in der Müllverbrennung zugeführt werden, deren Abwärme wiederum zur Wärmeversorgung genutzt werden kann.

Nachfolgend werden die Emissionen am Beispiel Heizöl aus GEMIS aufgezeigt.

<b>Emissionen in die Luft</b>			
	direkt	Vorkette	Summe
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	74,419*10 <sup>-6</sup>	184,91*10 <sup>-6</sup>	259,33*10 <sup>-6</sup> kg
TOPP-Äquivalent	115,73*10 <sup>-6</sup>	177,28*10 <sup>-6</sup>	293,01*10 <sup>-6</sup> kg
SO <sub>2</sub>	16,864*10 <sup>-6</sup>	111,26*10 <sup>-6</sup>	128,13*10 <sup>-6</sup> kg
NO <sub>x</sub>	82,664*10 <sup>-6</sup>	104,42*10 <sup>-6</sup>	187,08*10 <sup>-6</sup> kg
HCl		175,44*10 <sup>-9</sup>	175,44*10 <sup>-9</sup> kg
HF		16,876*10 <sup>-9</sup>	16,876*10 <sup>-9</sup> kg
Staub	5,6831*10 <sup>-6</sup>	16,823*10 <sup>-6</sup>	22,506*10 <sup>-6</sup> kg
CO	92,997*10 <sup>-6</sup>	95,144*10 <sup>-6</sup>	188,14*10 <sup>-6</sup> kg
NMVOC	4,6498*10 <sup>-6</sup>	38,774*10 <sup>-6</sup>	43,424*10 <sup>-6</sup> kg
H <sub>2</sub> S		826,9*10 <sup>-12</sup>	826,9*10 <sup>-12</sup> kg
NH <sub>3</sub>		407,45*10 <sup>-9</sup>	407,45*10 <sup>-9</sup> kg
As (Luft)		2,1978*10 <sup>-9</sup>	2,1978*10 <sup>-9</sup> kg
Cd (Luft)		5,1370*10 <sup>-9</sup>	5,1370*10 <sup>-9</sup> kg
Cr (Luft)		3,4881*10 <sup>-9</sup>	3,4881*10 <sup>-9</sup> kg
Hg (Luft)		574,4*10 <sup>-12</sup>	574,4*10 <sup>-12</sup> kg
Ni (Luft)		100,58*10 <sup>-9</sup>	100,58*10 <sup>-9</sup> kg
PAH (Luft)		7,843*10 <sup>-12</sup>	7,843*10 <sup>-12</sup> kg
Pb (Luft)		15,150*10 <sup>-9</sup>	15,150*10 <sup>-9</sup> kg
PCDD/F (Luft)		17,94*10 <sup>-15</sup>	17,94*10 <sup>-15</sup> kg

Abbildung 49: Emissionen in die Luft zur Erzeugung 1 kWh Nutzwärme mittels atmosphärischen Ölbrenner, Prozess Öl-Heizung-DE-2030 (Endenergie) aus GEMIS 4.8

<b>Treibhausrelevante Emissionen in die Luft</b>			
	direkt	Vorkette	Summe
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	268,64*10 <sup>-3</sup>	41,173*10 <sup>-3</sup>	309,81*10 <sup>-3</sup> kg
CO <sub>2</sub>	267,99*10 <sup>-3</sup>	39,578*10 <sup>-3</sup>	307,57*10 <sup>-3</sup> kg
CH <sub>4</sub>	206,66*10 <sup>-9</sup>	46,565*10 <sup>-6</sup>	46,771*10 <sup>-6</sup> kg
N <sub>2</sub> O	2,1699*10 <sup>-6</sup>	1,3846*10 <sup>-6</sup>	3,5545*10 <sup>-6</sup> kg
Perfluormethan		1,9692*10 <sup>-9</sup>	1,9692*10 <sup>-9</sup> kg
Perfluoraethan		249,8*10 <sup>-12</sup>	249,8*10 <sup>-12</sup> kg

Abbildung 50: Treibhausrelevante Emissionen in die Luft für 1 kWh Nutzwärme mittels atmosphärischen Ölbrenner, Prozess Öl-Heizung-DE-2030 (Endenergie) aus GEMIS 4.8

#### 7.2.2.4 spezifischer Wärmepreis

Um die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Wärmeversorgungszenarien zu vergleichen, wird der spezifische Wärmepreis in €/MWh aufgezeigt. Um den Aspekt der starken Nachhaltigkeit zu berücksichtigen, wird dieser geringer als die ökologischen Indikatoren gewichtet und fließt mit 10 % in die Bewertung ein (siehe hierzu unter 9.1.2.11).

#### 7.2.2.5 regionale Wertschöpfung

Dieser Indikator zeigt auf, wie viel Kapital und damit Kaufkraft in €/MWh Nutzwärme durch die Wärmeversorgungsvarianten vor Ort bzw. in der Region verbleiben. Dieser fließt mit 5 % in die Gewichtung ein. Die regionale Wertschöpfung ergibt sich aus der Summe der verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten dividiert durch die Jahreswärmemenge. Die verbrauchsgebundenen Kosten sind die Brennstoffkosten für die regionalen Brennstoffe Holzhackschnitzel und Biogaswärme (siehe hierzu unter 9.1.2.11).

### 7.2.3 Effizienzindikatoren

Das nationale Energiekonzept von 2010 strebt die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland bis 2020 um ein Fünftel und bis 2050 um 50 Prozent an, ohne Verschlechterung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und des Lebensstandards. Diese Ziele lassen sich nur durch eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz erreichen (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., S. 3).

Das Fraunhofer Institut definiert Energie-Effizienz-Indikatoren als Kennziffern zur Beschreibung der Entwicklung des Energieverbrauchs und zur internationalen

Vergleichbarkeit im Hinblick, darauf inwieweit die Verbrauchsentwicklung auf wirtschaftlichen Wachstum, Strukturwandel und Verbesserungen der Energieeffizienz zurückzuführen sind (Diekmann J., 1999).

Unter der Kennziffer für Energieeffizienz versteht man die Messung der Energieproduktivität. Um Indikatoren zur Energieeffizienz zu ermitteln, wird der Energieverbrauch ins Verhältnis zu einer Bezugsgröße gesetzt (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.). Bei der Bildung von Indikatoren werden für den Primär-, Umwandlungs- und Endverbrauch unterschiedliche Bezugsgrößen für die verschiedenen Sektoren herangezogen. Dies ist u. a. den verschiedenen Aggregatzuständen und Einheiten der Energieträger geschuldet. Daher werden die verschiedenen Bezugsgrößen zur Ermittlung der Effizienz zur Normierung auf die Bezugsgröße MWh Nutzwärme umgerechnet. Effizienzindikatoren setzen den Aufwand / Energieeinsatz in Bezug zum Output / Ergebnis.

Gemäß dem Bericht zu Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland wird die gesamtwirtschaftliche Energieeffizienz angegeben als Primärenergieverbrauch pro Kopf und als das Verhältnis zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftsleistung (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., S. 3).

#### 7.2.3.1 Gesamtnutzungsgrad

Als Effizienzindikator für die Nahwärmeversorgungsvarianten wird der Gesamtanlagen-nutzungsgrad/Systemnutzungsgrad gewählt. Dieser gibt das Maß der Effizienz der eingesetzten Technik inkl. Netzverluste wieder und fließt mit 5% in die Bewertung ein.

##### **Kesselanlagen-nutzungsgrad**

Die Effizienz von Kesselanlagen wird durch den Kesselanlagen-nutzungsgrad dargelegt. Ziel ist ein Kesselanlagen-nutzungsgrad von mindestens 80 %.

Ein Kesselanlagen-nutzungsgrad von 80 % gibt an das 100 % Primärenergie notwendig ist um 80 % Nutzwärme zu erhalten.

Um neben der eigenen Betreibererfahrung auch Vergleichswerte aus der Literatur zu überprüfen, sind nachfolgend die wichtigsten Kennwerte aus den Datensätzen GEMIS, VDEW und IKARUS gegenübergestellt. Als Ergebnis aus der Literaturrecherche sind die in den verschiedenen Datenbanken für die Berechnungen verwendeten Nutzungsgrade für Kesselanlagen aufgeführt (Heidelck & Laue, 1999, S. 5). Der Primärenergiefaktor (PE-Faktor) wurde durch den KEA abgelöst und dient heute als Grundlage für die Berechnung von Energiepässen.

Tabelle 16: Vergleich der wichtigsten Kenndaten für Wärmeerzeugungssysteme der Datensätze GEMIS, VDEW und IKARUS (Heidelck &amp; Laue, 1999, S. 5)

Wärmeerzeugungssystem	Nutzungsgrad*	PE-Faktor	CO <sub>2</sub> -Emis. kg/MWh	CO <sub>2</sub> -Äq. kg/MWh
<b>Gasheizungsanlage – atmosphärisch</b>				
VDEW	85,0 %	1,39	269,0	298,6
IKARUS	88,0 %	1,25	242,7	269,2
GEMIS	85,0 %	1,29	251,0	279,5
<b>Gasheizungsanlage – Brennwert</b>				
VDEW	100,0 %	1,21	233,2	258,6
IKARUS	96,7 %	1,14	221,6	245,7
GEMIS	100,0 %	1,13	221,0	245,7
<b>Ölheizungsanlage</b>				
VDEW	85,0 %	1,35	354,1	358,3
IKARUS	91,2 %	1,23	328,4	331,1
GEMIS	85,0 %	1,32	351,7	356,0
<b>EI-Speicher-Heizungsanlage</b>				
VDEW	99,0 %	3,07	666,9	724,3
GEMIS	99,0 %	3,00	836,4	938,3
<b>EI-Wärmepumpen-Heizungsanlage</b>				
VDEW-Luft	330,0 %	0,97	195,8	207,6
VDEW-Erdsonde	400,0 %	0,82	165,7	175,7
VDEW-Erdkollektor	400,0 %	0,82	165,7	175,7
VDEW-Wasser	450,0 %	0,74	149,0	157,9
VDEW-JAZ 3,2	320,0 %	1,01	203,5	215,7
VDEW-JAZ 4,0	400,0 %	0,82	165,7	175,7
GEMIS-bivalent	235,0 %	1,24	403,7	452,4
GEMIS-monovalent	300,0 %	1,00	322,5	361,1
GEMIS-mix JAZ 3,2	320,0 %	1,00	220,4	234,2
GEMIS-mix JAZ 4,0	400,0 %	0,82	179,8	191,1
<b>Gas-Absorption-Wärmepumpen-Heizungsanlage</b>				
VDEW	130,0 %	0,94	181,9	201,7
GEMIS	120,0 %	0,98	191,4	212,4
<b>Gasmotor-Wärmepumpen-Heizungsanlage</b>				
VDEW	160,0 %	0,73	144,4	160,9
GEMIS	160,0 %	0,67	132,4	148,1

\* bzw. Jahresarbeitszahl, Jahresheizzahl

Für die Berechnungen wird das Programm GEMIS herangezogen, da die in den Datensätzen der verschiedenen Datenbanken nicht mit der Betreibererfahrung der Autorin korrelieren. In GEMIS werden alle Energieträger auf 100 % gesetzt. Daher werden in den Berechnungen die Jahresnutzungsgrade für Biomasseanlagen mit 80 %, und für Heizölkesselanlagen und Gaskesselanlagen mit 85 % angenommen.

### Netzverlust

Die Effizienz des Nahwärmenetzes wird durch den Netzverlust aufgezeigt. Ziel ist ein Nahwärmenetzverlust von max. 10 % im Jahr.

### Jahresarbeitszahl / Leistungszahl

Bei den Wärmepumpen wird die Effizienz durch die Jahresarbeitszahl und den COP-Wert beschrieben. (Heidelck & Laue, 1999, S. 8) haben im Betrieb aus 125 Wärmepumpenanlagen die Jahresarbeitszahlen ermittelt, die nachfolgend dargestellt sind. Aus der Abbildung wird deutlich das die Arbeitszahlen bei niedrigen

Vorlauftemperaturen bis 40°C bei (NTH) größer sind als bei höheren Vorlauftemperaturen (MTH). Im Durchschnitt führt die Erhöhung der Vorlauftemperatur von 35 auf 55 °C zur einer Verschlechterung der Arbeitszahl um 0,5 (Heidelck & Laue, 1999, S. 9). Ziel sollte eine Arbeitszahl von mindestens 4 sein.

*Tabelle 17: Gemessene Jahresarbeitszahlen ausgeführter Wärmepumpenanlagen 1990 bis 1998 (Heidelck & Laue, 1999, S. 9)*

	Wärmevert. -System	Anzahl	Jahresarbeitszahl		
			Minimum	Mittel	Maximum
Wasser/Wasser	NTH	13	3,5	<b>4,17</b>	4,7
	MTH	-	-	-	-
Erdreich/Wasser	NTH	49	3,0	<b>3,72</b>	4,8
	MTH	6	2,6	<b>3,07</b>	3,5
Luft/Wasser <sup>#</sup>	NTH	7	2,8	<b>3,15</b>	3,5
	MTH	4	2,5	<b>2,67</b>	3,0

NTH = Niedertemperaturheizung; MTH = Mitteltemperaturheizung; # auch Luft/Luft

Die Arbeitszahl der Wärmepumpe wird in den Nahwärmeversorgungsvarianten nicht berücksichtigt, da diese zur Verbesserung des solaren Wärmeertrags dient und somit im Solarkollektornutzungsgrad berücksichtigt ist.

### **Solarkollektornutzungsgrad**

Bei Solarkollektoranlagen ist zwischen dem solaren Deckungsgrad und dem Kollektornutzungsgrad zu unterscheiden. Ein hoher solarer Deckungsgrad zur Wärmezeugung von Raumwärme und Warmwasser führt zu großem Flächenbedarf für Solarkollektoren und hohen Investitionskosten. Durch die Überdimensionierung der Anlagen entsteht im Sommer ein solarer Überschuss der gespeichert werden muss. Ziel ist daher einen möglichst hohen solaren Ertrag aus möglichst wenig Kollektorfläche zu erwirtschaften. Solarthermiekollektoren werden durch den Kollektornutzungsgrad auf ihre Effizienz bewertet. Für die Berechnungen in den Prozessen wird ein Solarkollektornutzungsgrad von 25 % angenommen.

### **BHKW-Nutzungsgrad**

Der BHKW-Nutzungsgrad setzt sich aus dem thermischen Nutzungsgrad für die erzeugte Nutzwärme und dem elektrischen Nutzungsgrad (44% im Prozess) für den erzeugten Strom zusammen. Der Gesamtnutzungsgrad liegt bei über 90 %.

Aufgrund der einzelnen Nutzungsgrade der Hauptsystemkomponenten Kesselanlagen, BHKW, Solarkollektor und Netzverlust wird gemäß Betreibererfahrung der Autorin der Gesamtnutzungsgrad für die Referenzvariante V1GasÖl mit 85 % und für die Nahwärmeversorgungsvarianten mit 70 % angenommen.

## 7.2.4 Bilanzindikatoren

Die Bilanzindikatoren stellen die Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse der Gesamtbetrachtung über die Umweltnutzung dar. Hierzu werden die Ergebnisse aus den genannten Input- und Output- und Effizienzindikatoren verwendet. Die Berechnungen erfolgen auf Basis einer Ökobilanz welche den kompletten Lebensweg der Systemkomponenten aufzeigt.

### 7.2.4.1 Ökobilanz - LCA Lebenszyklusanalyse

Die Methodik der Ökobilanzierung, auf der auch die Datensätze von GEMIS basieren, umfasst den gesamten Lebensweg von der Rohstoffentnahme (Geburt) über die Nutzung bis hin zur Entsorgung aller Endprodukte bis zum (Tod) (Stefan Majer, 2008, S. 7). In Bezug auf Nahwärmenetze betrifft das den Energie- und Ressourcenaufwand für die Herstellung der Komponenten, die Nutzung – Betrieb des Nahwärmenetzes und die Entsorgung. Dies wird mit dem Kumulierten Energieaufwand dargestellt, der sich aus den Aufwendungen für die Herstellung, Nutzung/Betrieb und Entsorgung zusammensetzt.

Unter dem Begriff Ökobilanz wird im Deutschen auch die „Lebenszyklusuntersuchung“ oder „ganzheitliche Bilanzierung“ verstanden. Der englische Begriff hierfür lautet „Life Cycle Assessments“ (LCA). Die Methodik zur Erstellung einer Ökobilanz ist in den internationalen Normen DIN ISO 14040 und 14044 (2006) definiert. Demnach setzt sich eine Ökobilanz aus den vier Schritten: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung zusammen (Stefan Majer, 2008, S. 7). Diese sind in Abbildung 51 dargestellt.

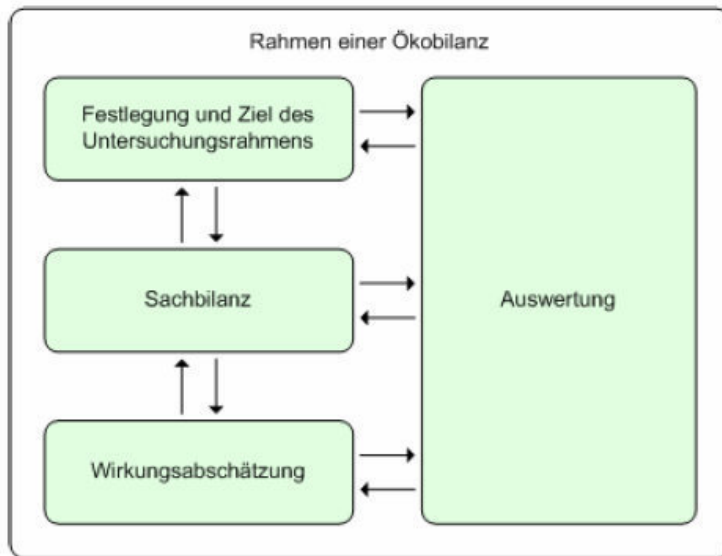


Abbildung 51: Aufbau einer Ökobilanz (Stefan Majer, 2008, S. 7)

#### 7.2.4.2 Vermiedene Umweltauswirkungen

Um das Gesamtergebnis abzubilden, werden als Bilanzindikator die vermiedenen Umweltauswirkungen definiert. Diese zeigen in Summe die vermiedenen Umweltauswirkungen wie verringerte/r Emissionen und Energieaufwand gegenüber dem Referenzszenario und damit die Verbesserung der Nachhaltigkeit im Vergleich zur Ausgangssituation auf. Der Bilanzindikator fließt nicht in die Gewichtung ein, da dieser das Gesamtergebnis darstellt.

Insgesamt werden für das Indikatorenset zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Nahwärmeversorgungsnetzen 12 Indikatoren ausgewählt. Für die Bewertung fließen 11 Indikatoren in die Gewichtung ein. Die nachfolgende Tabelle fasst die Indikatoren samt Kernaussage mit dem definierten Umweltqualitätsziel zusammen.



Tabelle 18: Zusammenfassung Indikatoren mit Kernaussage und Umweltqualitätsziel – eigene Darstellung

Indikatorgruppe	Indikator	Kernaussage
Input-Indikator	Kumulierter Energieaufwand $KEA_{\text{erneuerbar}}$	Energieaufwand für Ressourcenverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe und erneuerbarer Energien – reversibel
	$KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$	Energieaufwand für Ressourcenverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung fossiler Energiequellen wie Heizöl, Erdgas etc., nicht erneuerbar – nicht reversibel
	Fläche/Boden	Zeigt auf wie viel Flächenbedarf in $m^2$ je kWh Nutzwärme für Herstellung der Anlagen und Primärenergieträger notwendig ist
Output-Indikator	$CO_2$ -Äquivalent	Klimawandel - Maß für das Potenzial der Treibhausgasemissionen in $kg\ CO_2/kWh$ Nutzwärme als relative Treibhauspotenziale (THP), die für jedes Treibhausgas angeben, welcher äquivalenten Menge von $CO_2$ seine Treibhauswirkung entspricht
	$SO_2$ -Äquivalent	Versauerung - Maß für das relative Potenzial 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
	Spezifischer Wärmepreis	Gibt an was die kWh Nutzwärme gemäß der derzeitigen Energiepreise inkl. Kapitaldienst Betrieb, Wartung und Instandsetzung kostet
	Regionale Wertschöpfung	Zeigt auf wie viel Kapital/Kaufkraft in €/kWh als Beitrag zum sozialem Wohlstand vor Ort verbleibt
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-/Istsituation
<b>Umweltqualitätsziel</b>	Reduzierung der Umweltauswirkungen um mindestens 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation	

### **7.3 Projektbeispiele für die Entwicklung und Anwendung der Nachhaltigkeitsindikatoren – solare Nahwärmeversorgung Speichersdorf, Biomassenahwärmenetz Mitterteich und Geothermieprojekt**

Die vorn beschriebenen Indikatoren sollen nunmehr an verschiedenen Projektbeispielen angewendet werden. Hierzu hat die Autorin als Geschäftsführerin der KEWOG Energie und Dienste GmbH sowie der ZREU GmbH zwei Projekte aus der eigenen Projektarbeit ausgewählt. Dies ist zum einen die geplante Nahwärmeversorgung in Speichersdorf und zum anderen das in 2011 realisierte Biomassenahwärmenetz der Stadt Mitterteich. Um auch Geothermieprojekte anhand der Indikatoren zu bewerten, hat Sie anhand der Projektdaten Speichersdorf ein Geothermieprojekt entwickelt. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Das erste Projekt solare Nahwärmeversorgung in Speichersdorf hat die Besonderheit, dass dieses Projekt nicht von der Gemeinde oder externen Beratern sondern von der Bürgerinitiative INKAS+ aus Speichersdorf initiiert wurde. Der Wunsch der Bürgerinitiative war ein Nahwärmenetz für die Gemeinde Speichersdorf auf Basis erneuerbarer Energien mit einem möglichst großen solaren Deckungsanteil zu realisieren. Um die grundsätzliche Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungsvarianten zu überprüfen, wurde die ZAE Bayern und die KEWOG Städtebau GmbH Geschäftsbereich ZREU (mittlerweile ZREU GmbH), zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie seitens der Gemeinde Speichersdorf beauftragt. Die spätere Umsetzung sollte bei einem positiven Ergebnis von der KEWOG Energie und Dienste GmbH als Know-How-Geber in Form einer kommunalen Projektgesellschaft umgesetzt werden. Aufgrund der grundsätzlichen Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit des Nahwärmenetzes, hat die KEWOG Energie und Dienste GmbH gemeinsam mit der Gemeinde Speichersdorf die Bioenergie Speichersdorf GmbH & Co. KG gegründet. Das Haftorgan und die Geschäftsführung erfolgt hierbei durch die KEWOG Verwaltungs- GmbH und die Geschäftsbesorgung für die technische und kaufmännische Betreuung durch die KEWOG Energie und Dienste GmbH. Eigentümer und Hauptgesellschafter der Bioenergie Speichersdorf ist zu 100 % die Gemeinde Speichersdorf. Durch den Einkauf von Dienstleistungen spart die Gemeinde gerade in der Aufbauphase die ansonsten deutlich höheren Kosten für eigenes Personal und nutzt gleichzeitig die Fachkompetenz von einem erfahrenen Wärmenetzbetreiber/Contractor.

Die in der Machbarkeitsstudie untersuchten Versorgungsvarianten dienen als Grundlage zur Entwicklung und zur Anwendung der Nachhaltigkeitsindikatoren diese sind im Einzelnen:

- Solaranlage, Kurzzeitspeicher (Pufferspeicher), Biomasseanlage (Holzhackschnitzel), Heizölspitzenlast/Notversorgung, Nahwärmenetz
- Solaranlage, Aquiferspeicher (saisonaler Wärmespeicher), Nahwärmenetz, Absorptionswärmepumpe, Biomasseanlage (Holzhackschnitzel), Heizölspitzenlast-/Notversorgung
- Solaranlage, Aquiferspeicher (saisonaler Wärmespeicher), Wärmepumpe, Biomasseanlage, Heizölspitzenlast/Notversorgung, Nahwärmenetz, BHKW.

Als Referenzwert und zur Entwicklung der Vergleichsindikatoren dient die dezentrale Wärmeversorgung (Istzustand Bestandsgebäude) mit Erdgas und Heizöl.

Um auch die Bewertung von Geothermieanlagen zu berücksichtigen wird anhand der Projektdaten aus der Machbarkeitsstudie zusätzlich die Variante

- Geothermieanlage mit Heizölspitzenlast-/Notversorgung entwickelt.

Das zweite Projektbeispiel der KEWOG Energie und Dienste GmbH ist das Nahwärmenetz der Stadt Mitterteich, welches mittels Biomasseanlage und Erdgasspitzenlastversorgung die Grund- und Hauptschule, die Mehrzweckhalle sowie die Förderschule mit Wärme versorgt. Vor der Realisierung erfolgte die Erstellung einer Machbarkeitsstudie mit Überprüfung der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Istzustand – dezentrale Wärmeversorgung auf Erdgasbasis, durch die KEWOG Energie und Dienste GmbH.

Für die Umsetzung hat die KEWOG Energie und Dienste GmbH eine Projektgesellschaft mit der Stadt Mitterteich gegründet. Die Stadt ist hierbei wiederum zu 100 % Eigentümer der Bioenergie Mitterteich GmbH & Co. KG. Die kaufmännische und technische Geschäftsbesorgung erfolgt durch die KEWOG Energie und Dienste GmbH.

Dieses Projekt dient als Grundlage zur Entwicklung der Indikatoren für die Versorgungsvariante Biomassenahwärmeversorgung und im weiteren für soziale und ökonomische Indikatoren wie z. B. regionale Wertschöpfung und Kaufkraftstärkung.

Unterschied zwischen beiden Projekten ist die Projektgröße. Bei dem Projekt Speichersdorf waren im letzten Planungsstand bis zu 209 hauptsächlich private Wärmeabnehmer mit einer Netzlänge von über 11 km berücksichtigt. Während bei dem Projekt in Mitterteich 5 größere öffentliche Wärmeabnehmer bei einer Netzlänge von 360 m versorgt werden.

Nachfolgend werden die Projektdaten und Ergebnisse für das Projekt Speichersdorf als Indikatorengrundlage zusammengefasst.

#### 7.4 Vergleich Betrieb Nahwärmenetz aus fossiler und nachhaltiger Wärmeerzeugung am Projektbeispiel Speichersdorf als Grundlage zur Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren

Um den Unterschied zwischen der Wärmeversorgung mittels Nahwärmenetzen auf Basis erneuerbarer Energien im Vergleich zur Wärmeversorgung auf Basis fossiler Energien mittels Heizöl und Erdgas herauszuarbeiten, wird zur Ermittlung der Indikatoren die fossile Energieversorgung am Beispiel Speichersdorf als Referenzszenario angenommen.

Hierfür werden die Energieverbräuche aus der Befragung mittels Fragebogen und vor Ort-Begehungen in Speichersdorf mit den aus 2008 und 2009 ermittelten Primärenergieträgern zu Grunde gelegt. Aus der Datenermittlung bei der Projektarbeit ergab sich, dass die bestehende dezentrale Wärmeversorgung in den Bestandsgebäuden zu einem Teil aus Holzbrennstoffen in Kaminöfen oder Pelletöfen und im Wesentlichen zu etwa gleich großen Teilen aus Erdgas und Heizöl in Einzelfeuerungsanlagen erzeugt wird (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 39).

Grundlage für die Referenz-Wärmebereitstellung (**Variante 1**) ist der Fernwärmebedarf der nicht aus Holzbrennstoffen erzeugt wird. Bei diesem wurden die Netzverluste welche bei der dezentralen Wärmeversorgung wegfallen herausgerechnet.

*Tabelle 19: Primärenergiebedarf fossile Referenz-Wärmebereitstellung – Variante 1, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 39)*

Energiebedarf ab Wärmeerzeugungs- anlage	Bedarf in MWh		Aufteilung Primärenergieträger	
	Nutzwärme	Netzverluste	Heizöl	Erdgas
für Versorgungs- gebiet 1	10.507	0	5.253	5.253
für Versorgungs- gebiet 1a	7.047	0	3.524	3.524

Die Summe des Leistungsbedarfs ab Energiezentrale beträgt 5,7 MW und die gesamte thermische Anschlussleistung beträgt 7,5 MW als Summe der dezentralen Kesselleistung. Diese werden auch für die betrachteten Wärmeversorgungsvarianten ab 7.7 für das Versorgungsgebiet 1 zu Grunde gelegt (KEWOG Städtebau GmbH - Geschäftsbereich ZREU, 2010).

#### 7.5 mögliche Versorgungsgebiete für geplante Nahwärmeversorgung in Speichersdorf

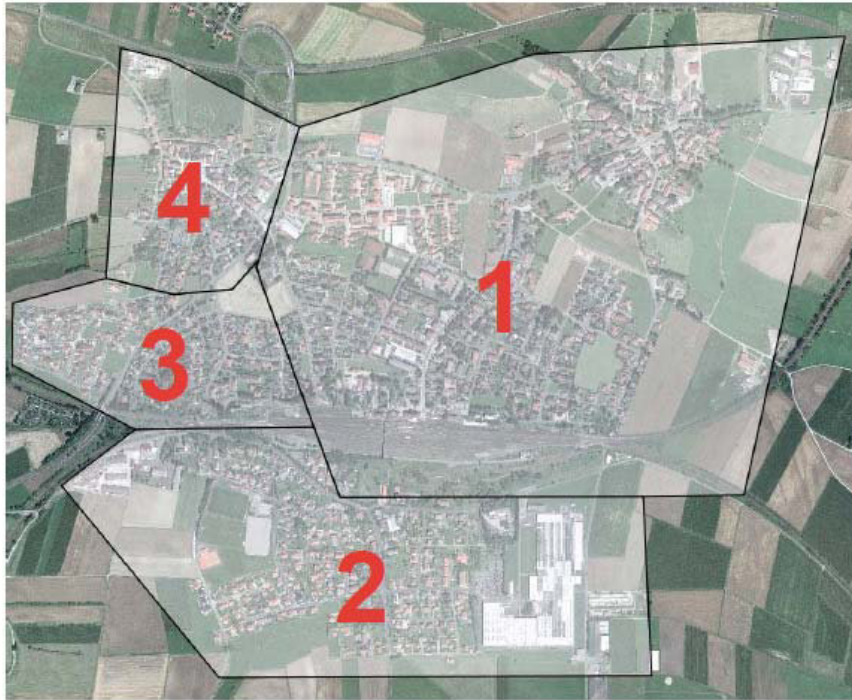
Die Gemeinde Speichersdorf liegt im oberfränkischen Landkreis Bayreuth zwischen Bayreuth und Weiden/Oberpfalz neben dem Landkreis Tirschenreuth. Sie besteht aus 31 Gemeindeteilen und hat derzeit ca. 6.200 Einwohner. Der Kernort Speichersdorf

mit rund 3.760 Einwohnern, liegt 460 m ü. NN und wird durch eine Bahntrasse in den größeren nördlichen und kleineren südlichen Bereich geteilt (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 9).



*Abbildung 52: Orthofoto des Untersuchungsgebiets Speichersdorf (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 9)*

Bei der Machbarkeitsstudie der ZAE / ZREU für das geplante Nahwärmenetz in Speichersdorf wurde die bestehende Wohnbebauung untersucht und in vier mögliche Versorgungsgebiete aufgeteilt. Aus den vier Versorgungsgebieten wurden aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus die Gebiete mit der größten Bebauungs- und damit Anschlussdichte als Berechnungsgrundlage für die Wärmeversorgungsvarianten betrachtet.



*Abbildung 53: Aufteilung von Speichersdorf in vier mögliche Versorgungsgebiete als mögliche Netzausbaustufen (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 11)*

Um eine möglichst hohe Anschlussdichte und damit niedrigere Nahwärmenetzkosten je Wärmekunde zu erreichen, wird für die Nahwärmeversorgungsvarianten nur das Versorgungsgebiet 1 weiter betrachtet. Das Versorgungsgebiet 1 wurde aufgrund unterschiedlicher Bebauungsdichten wiederum in zwei Gebiete (Ausbaustufen) 1a und 1b unterteilt. Als erste Ausbaustufe ist das Versorgungsgebiet 1a geplant, da hier eine größere Energie- und Leistungsdichte möglich ist (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 11).



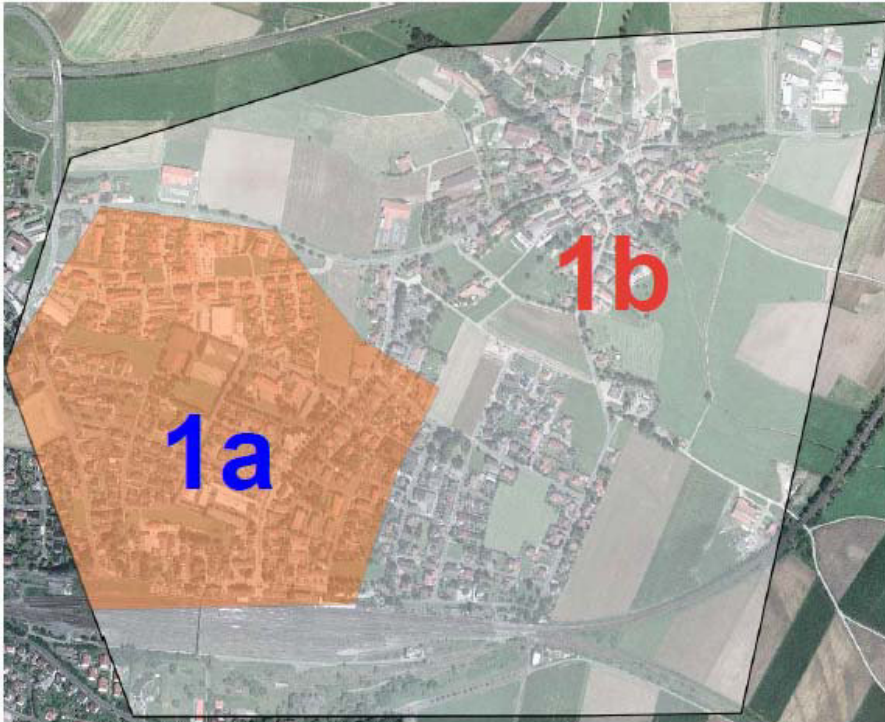


Abbildung 54: Versorgungsgebiet 1 - Altspeichersdorf und Teil östlich der St2184 sowie nördlich der Bahngleise, untergliedert in den Bereich 1a und 1b (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 11)

Für die im weiteren betrachteten Nahwärmeversorgungsvarianten wurde als erste Ausbaustufe das Gebiet 1a als Versorgungsgebiet in der Machbarkeitsstudie betrachtet, da hier die größte Energie- und Leistungsdichte und damit niedrigsten spezifischen Investitionskosten resultieren. Alle weiteren Gebiete wurden nicht näher untersucht, da aufgrund der längeren Netze und geringeren Anschlussdichten die Wirtschaftlichkeit zunehmend in Frage gestellt wird (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 10).

### 7.5.1 Überprüfung möglicher Nahwärmeversorgungsvarianten in Speichersdorf

Ziel der Projektarbeit in Speichersdorf war die Nahwärmeversorgung über einen möglichst großen solaren Deckungsbeitrag bereit zu stellen. Um die Problematik des Wärmeangebots im Sommer und des Wärmebedarfs im Winter mittels Wärmespeicher zu lösen, wurde der Untergrund der Gemeinde Speichersdorf in einer ersten Analyse im Zuge der Machbarkeitsstudie untersucht.

Zur Lage und Geologie der Gemeinde Speichersdorf ist zu sagen, dass sich diese direkt auf der kontinentalen Wasserscheide befindet. Die Datenauswertung aus 18 vorhandenen Brunnenbohrungen und Grundwassermessstellen ergab, dass der Untergrund bis zu einer potenziell für die Wärmespeicherung nutzbaren Tiefe von 200

m aus einer einzigen geologischen Formation, hauptsächlich aus Sand- und Tonstein des mittleren Keupers besteht (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 9).

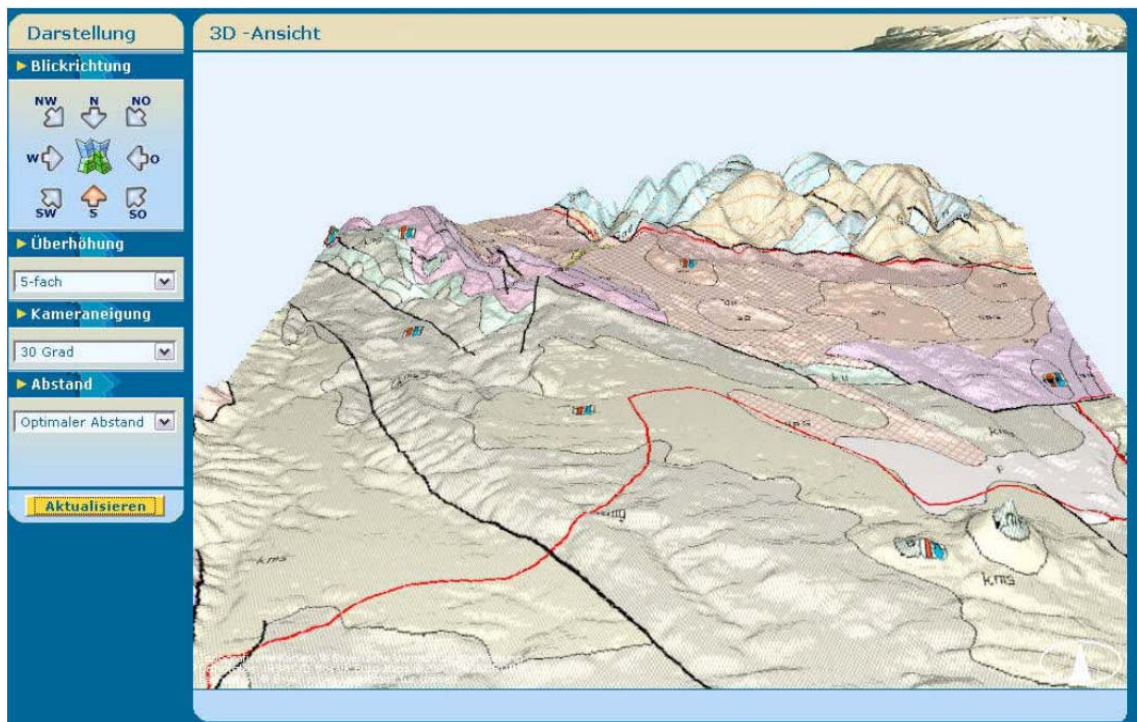


Abbildung 55: Geologie des Untersuchungsgebietes Speichersdorf, zwischen zwei tektonischen Störungen, Untergrundabfolge Sandsteinkeuper und Gipskeuper, Bildquelle: GeoFachdatenAtlas LfU (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 10)

### 7.5.2 Wärmebedarfsermittlung

Das favorisierte Versorgungsgebiet 1 besteht aus 426 Gebäuden und entspricht einer typischen Mischbebauung wovon rund 70% vor der WSchV`95<sup>20</sup> errichtet wurden. Diese wurden im Rahmen der Studie nach Nutzungsklassen, Größen und energetischen Verteilungen eingestuft. Nach der energetischen Zuordnung entspricht dies 42 % Altbaubestand, 16 % teilsaniert, 2% saniert und 40 % neuwertig. Die Hauptnutzfläche beträgt ca. 135.190 m<sup>2</sup> hiervon entfallen rund 95.950 m<sup>2</sup> auf Wohn- und 39.240 m<sup>2</sup> auf Gewerbeflächen (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 27).

Auf der Grundlage des bisherigen Primärenergieverbrauchs aus der Datenerhebung (Istzustand), wurde der witterungsbereinigte Fernwärmebedarf inkl. Netz- und Verteilverluste ermittelt. Dieser stellt sich für das gesamte Versorgungsgebiet 1 unterteilt in Gesamtwärmebedarf und eigenen Solaranteil (installierte Solarthermie im Bestand) und verbleibenden Fernwärmebedarf wie folgt dar:

<sup>20</sup> WSchVO: Wärmeschutzverordnung von 1995 als Vorgänger Verordnung der Energieeinspar- Verordnung (EnEV), hierin wird der Primärenergiebedarf und der Bauzustand von Gebäuden bewertet.



*Tabelle 20: differenzierter Wärmebedarf des gesamten Versorgungsgebiets 1, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 28)*

<b>Bezeichnung</b>	<b>Wärmebedarf für Raumheizung [MWh/a]</b>	<b>Wärmebedarf für Brauchwarmwasser [MWh/a]</b>	<b>Summe [MWh/a]</b>
Gesamtwärmebedarf	17.043	2.082	19.126
Gesamtwärmebedarf o. Eigensolar	17.011	1.988	18.999
Fernwärmebedarf (100 %)	16.422	1.988	18.410

Die öffentlichen Liegenschaften haben einen Anteil von 5,7 % der Bebauungsfläche, mit einem Wärmebedarf von rund 1.100 MWh und liegen größtenteils im Versorgungsgebiet 1a. Dadurch reicht der Anschluss der öffentlichen Liegenschaften allein nicht aus um einen hohen Anschlussgrad zu erreichen. Deshalb hängt die Realisierbarkeit des Projekts von der Anschlussbereitschaft der privaten Wärmeabnehmer ab.

Als mögliches Versorgungsgebiet für die betrachteten Wärmeversorgungsvarianten wurde das Versorgungsgebiet 1 und 1a betrachtet. Als mögliche erste Ausbaustufe, wurde das Versorgungsgebiet 1a ausgewählt, da es die höchste Wärmebedarfsdichte aufweist und im Weiteren die öffentlichen Liegenschaften welche zuerst angeschlossen werden können, in diesem Bereich liegen.

*Tabelle 21: Wärmebedarf für Versorgungsgebiet 1a als Grundlage für die betrachteten Wärmeversorgungsvarianten, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 28)*

<b>Bezeichnung</b>	<b>Wärmebedarf für Raumheizung [MWh/a]</b>	<b>Wärmebedarf für Brauchwarmwasser [MWh/a]</b>	<b>Summe</b>
Gesamtwärmebedarf	10.680	1.382	12.062
Fernwärmebedarf	10.473	1.382	11.855

Aufgrund der demographischen Entwicklung der Bevölkerung und durch die energetische Gebäudesanierung ist davon auszugehen, dass der Wärmebedarf langfristig zurück geht. Daher wurde für den Fernwärmebedarf und die benötigte Anschlussleistung ein Referenzszenario entwickelt, was im nachfolgenden Diagramm dargestellt ist. Die angegebene Leistung ist die Summe aller Hausanschlussleistungen. Zur Ermittlung der benötigten Gesamtkesselleistung ist der Gesamtwärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser mit entsprechenden Gleichzeitigkeitsfaktoren (GZF)<sup>21</sup>

<sup>21</sup> GZF: Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist der Quotient aus der Summe der tatsächlichen Abnahmeleistung und der Summe der Maximalabnahmeleistung. Gemäß Erfahrung der ZAE beträgt die Gleichzeitigkeit für den Warmwasseranteil bei solaren Nahwärmenetzen 3 %. (ZAE Bayern/ZREU, ZAE Bayern und KEWOG Städtebau GmbH - Geschäftsbereich ZREU, 2010) Er berücksichtigt das in einem Wärmenetz mit vielen Wärmeabnehmern statistisch gesehen nur ein bestimmter Kundenanteil gleichzeitig Wärme benötigt, wodurch sich die vorzuhaltende Kesselleistung reduziert, da nicht der komplette Wärmebedarf gleichzeitig abgefragt wird.

zu multiplizieren und der Netzwärmeverlust hinzuzurechnen. Aus dem Diagramm kann man weiterhin den zu erwartenden Spitzenwärmebedarf bei variablem Netzausbaubeginn und –fortschritt ablesen (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 29).

Im Referenzszenario wurde der Gleichzeitigkeitsfaktor für den Raumheizungsbedarf mit 0,8 und für den Warmwasserbedarf mit 0,03 angenommen. Weiterhin wurde von einem Anschlussgrad (Anzahl der möglichen Kunden) von 65 % ausgegangen. Die jährliche Sanierungsrate und der Bevölkerungsrückgang wurden mit 1 % berücksichtigt. Im Szenario würde der größte Fernwärmebedarf mit 6,897 GWh/a bzw. 6.897 MWh/a im 9. Jahr nach Projektbeginn benötigt, welcher über die Zeit sukzessive zurückgeht (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 31).

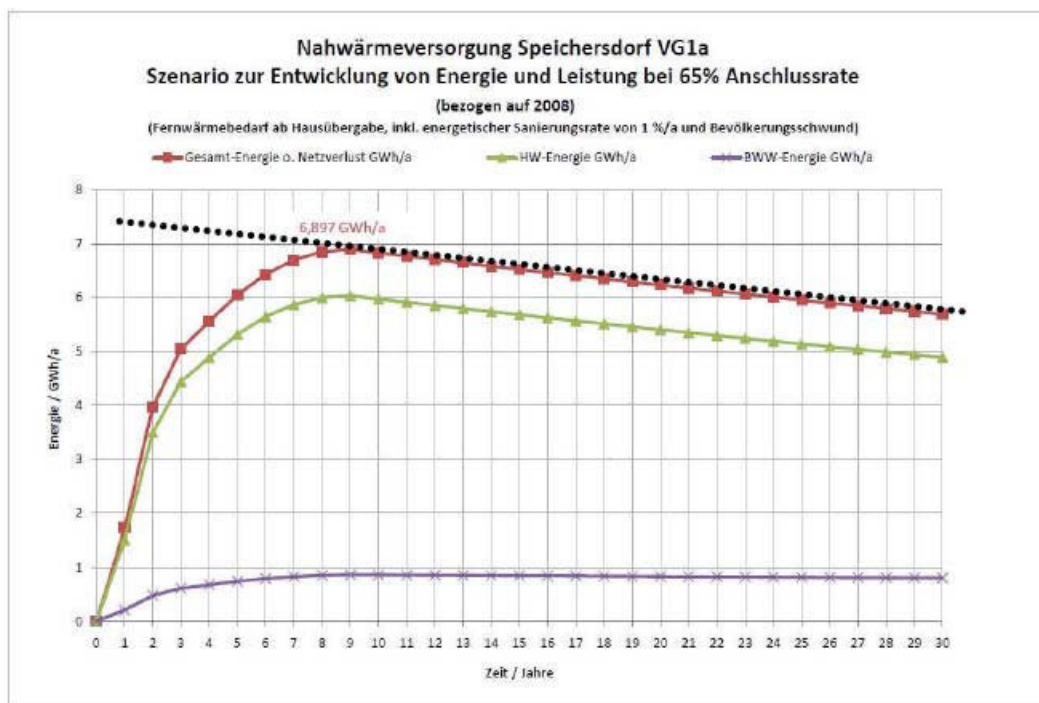


Abbildung 56: Referenzszenario für Versorgungsgebiet 1a, mit Anschlussgrad von 65 %, (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 31)

Um aus dem Fernwärmebedarf die benötigte Kesselanschlussleistung zu ermitteln, wurde eine geordnete Jahresdauerlinie (JDL) für die thermische Leistung ab Energiezentrale und aus den Begehungen die Summe der Anschlussleistung für das Versorgungsgebiet 1 und 1a erstellt. In der Jahresdauerlinie sind die Energieverbräuche geordnet beginnend mit dem höchsten Bedarf und höchster Kesselleistung meist im Januar und Februar sowie abfallend bis zum minimalen Bedarf im Juli und August. Die Ordinate zeigt die maximal benötigte Leistung an und die Abszisse zeigt die Vollaststunden, die Stundenzahl an, wie viele Stunden die jeweilige Anlagenleistung benötigt wird.

Aus Gründen der Versorgungssicherheit (Reserveleistung) und wegen der am Markt verfügbaren Größenkategorien für Hausübergabestationen und Kesselanlagen, ist die Anschlussleistung (Summe der zu installierenden Kesselleistung und Hausübergabestationen) größer als die thermisch benötigte Leistung ab Energiezentrale.

Die Abbildung 57 zeigt die geordnete Jahresdauerlinie für das Versorgungsgebiet 1 mit dem um 10 % reduzierten Raumheizungsbedarf auf Basis des Wettertrends der letzten 15 Jahre. Die thermische Leistung ab Energiezentrale beträgt 5,7 MW. Die thermische Leistung der Kesselanlagen wird mit 7,5 MW festgelegt (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 32). Diese stellt die Basis für die im späteren folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Wärmeversorgungsvarianten des Versorgungsgebiet 1 und 1a dar.

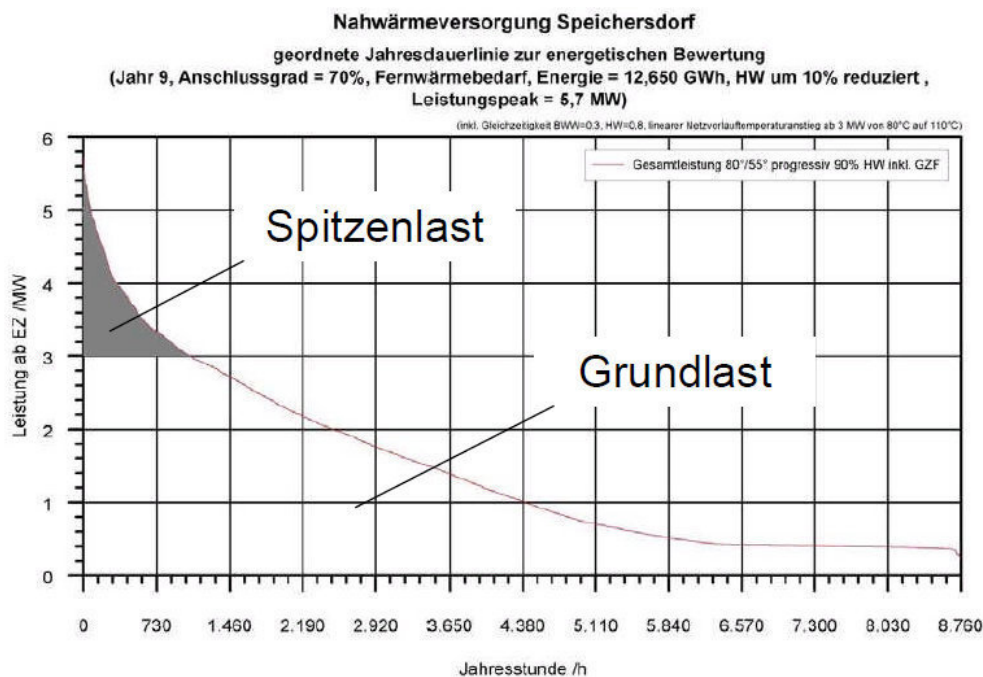


Abbildung 57: geordnete Jahresdauerlinie für Versorgungsgebiet 1 (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 33)

Die erste Jahresdauerlinie für das Versorgungsgebiet 1a zeigt den witterungsbereinigten Wärmebedarf. Diese wurde als Basis für die technische Auslegung / Anlagendimensionierung der Wärmeerzeugungsvarianten heran gezogen, siehe Abbildung 58 (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 33). Die in Abbildung 59 dargestellte zweite JDL berücksichtigt zusätzlich den klimabereinigten Wärmebedarf über den Trend der letzten 15 Jahre mit einem 10%igem Rückgang des Heizwärmebedarfs. Diese reduzierte JDL wurde im Weiteren als Grundlage für die konservativen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verwendet. Weiterhin wurde der Bedarf für das

Versorgungsgebiet 1a aus dem Jahr 2008 für die weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 32).

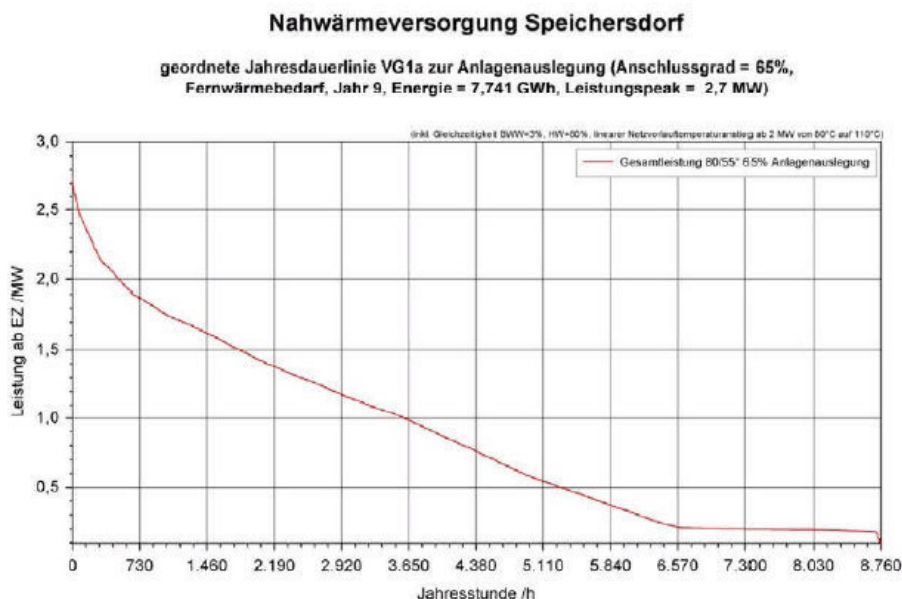


Abbildung 58: geordnete JDL für VG1a zur Anlagendimensionierung, Anschlussgrad 65%, Fernwärmebedarf Jahr 9, Bedarf 7,741 GWh, Anlagenleistungs-peak 2,7 MW (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 33)

Die benötigte maximale Gesamtanlagenleistung liegt bei 2,7 MW.

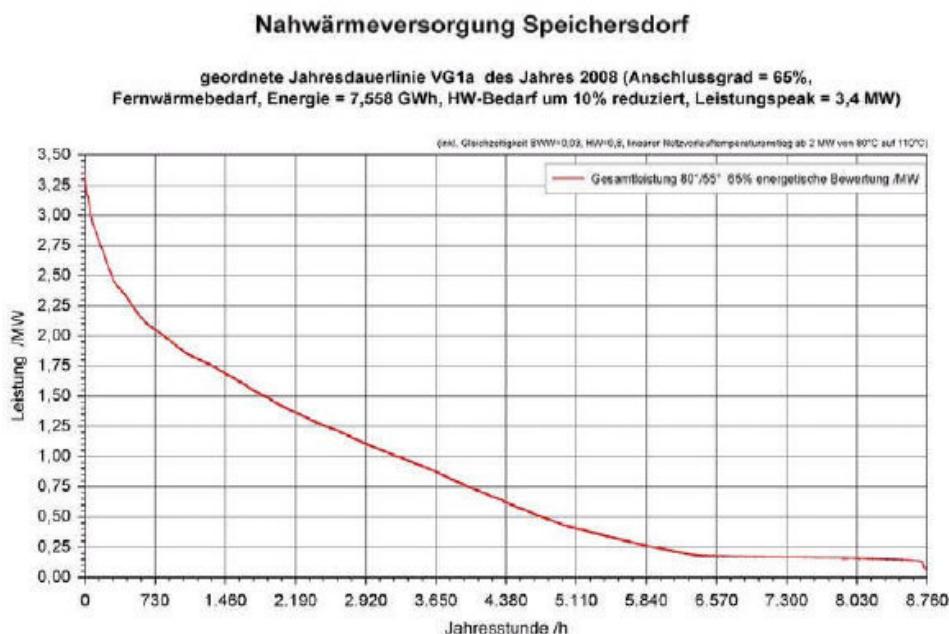


Abbildung 59: Grundlage Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen - geordnete Jahresdauerlinie für VG 1a mit um 10% reduziertem Raumheizungsbedarf entspricht dem Bedarf von 2008 (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 34)

Die benötigte maximale Gesamtanlagenleistung liegt bei 3,4 MW.

## **7.6 Planung Nahwärmenetz und Standort Wärmeerzeugungszentrale**

Nach der Festlegung des Versorgungsgebietes mit der Ermittlung der potentiellen Wärmekunden aus den Datenerhebungen, wurde der Standort der möglichen Wärmeerzeugungszentrale festgelegt. Von ihr ausgehend wurde der mögliche Netzplan für das komplette Versorgungsgebiet 1 mit Erfassung der Netzlängen, der Übertragungsleistungen und der Leitungsquerschnitte geplant. Für die Netzplanung wurde das komplette Versorgungsgebiet 1 einbezogen, um eine spätere Erweiterung des potentiellen ersten Bauabschnitts (Versorgungsgebiet 1a), zu berücksichtigen. Die Netzplanung wurde als Grundlage für die weitere energetische Bilanzierung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verwendet (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 35).

Der mögliche Standort für die Wärmeerzeugungszentrale wurde mit den Vertretern der Gemeinde, der KEWOG Energie und Dienste GmbH und Inkas+ nach den Kriterien zentrale Lage, möglichst großes Flächenpotential für Solarkollektoren sowie saisonale Wärmespeicher und Grundstückskosten ausgewählt (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 35). Hier bot sich das ehemalige Bahnhofsgelände an, da auch eine alternative Nutzung des Geländes z. B. für Wohnbebauung etc. aufgrund möglicher Altlasten schwierig ist. Daher stellt dieser Standort zusätzlich eine sinnvolle Nutzung einer Konversionsfläche dar.

### **7.6.1 Netzaufbau**

Ausgehend von der Wärmeerzeugungszentrale soll die Nahwärmenetzverlegung mit einem Strang durch die vorhandene Durchlassstelle zur Gleisquerung und anschließender Aufteilung in zwei Hauptstränge erfolgen. Der Hauptstrang 1 (westliches Teilgebiet) dient zur Versorgung des geplanten ersten Bauabschnitts - Versorgungsgebiets 1a. Der Hauptstrang 2 (östliches Teilgebiet) dient zur Versorgung des Versorgungsgebiets 1b. Aus dem Trassenplan in Abbildung 60 ist ersichtlich, dass das Versorgungsgebiet 1a (rot markiert) aufgrund der höheren Bebauungsdichte eine höhere Anschlussdichte mit ca. 1,17 MWh pro Trassenmeter und Jahr aufweist. Das Versorgungsgebiet 1b weist hingegen eine Anschlussdichte von rund 0,72 MWh pro Trassenmeter und Jahr auf. Die gesamte Netzlänge beträgt rd. 10.828 m mit einem Anteil von rd. 3.300 m bzw. 30 % für Hausanschlussleitungen (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 35). Außerdem weist das Versorgungsgebiet 1a eine kürzere Netzlänge auf,

dadurch lassen sich aufgrund geringerer Investitionskosten derzeit wirtschaftlichere Wärmepreise für das Versorgungsgebiet 1a erzielen.

Die Übersicht in Tabelle 23 zeigt die Trassenlängen der jeweiligen Nennweiten sowie die zugehörigen Investitionskosten. Die Investitionskosten beinhalten die Gesamtverlegekosten je Meter inkl. Tiefbauarbeiten, Rohrleitungsbau inkl. Montage und Material sowie Armaturen, Regelung, Dehnungsausgleich, Umverlegung von Fremdleitungen, Wiederherstellung der Straßen und Planungskosten (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 36, 37).

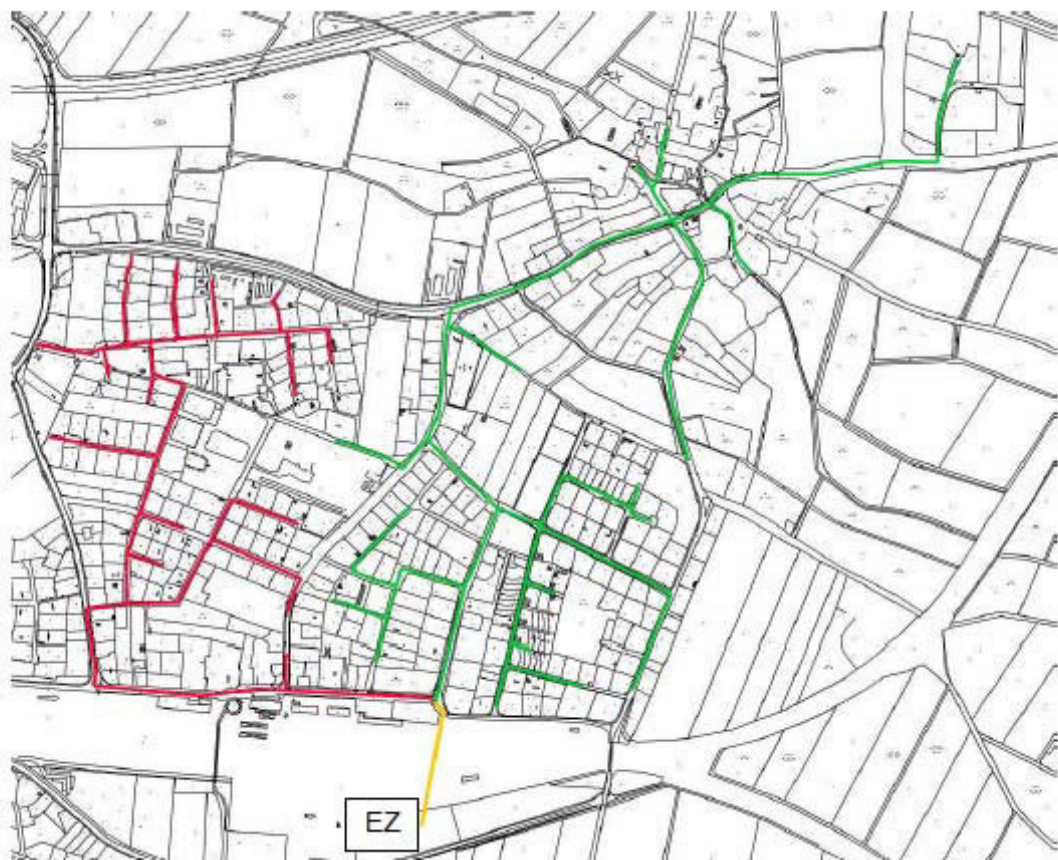


Abbildung 60: Entwurf Trassenplan VG1 - in rot markiert Trassenplan VG1a, und grün markiert VG 1b, gesamte Netzlänge 10,83 km (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 36)

Die einzelnen Netzabschnitte mit Trassenlänge sind in Tabelle 22 aufgeführt.



*Tabelle 22: Trassenlänge und Netzabschnitte Versorgungsgebiet 1, eigene Darstellung auf (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 36)*

<b>Bezeichnung Netzabschnitt</b>	<b>Trassenlänge</b>
Verbindungsleitung zur Gleisquerung	190 m
Hauptstrang westliches Teilgebiet Versorgungsgebiet 1a	3.060 m
Hauptstrang östliches Teilgebiet Versorgungsgebiet 1b	4.251 m
Hausanschlussleitungen im privaten Bereich	2.071 m
Hausanschlussleitungen im öffentlichen Bereich	1.256 m
<b>Gesamtnetzlänge</b>	<b>10.828 m</b>

*Tabelle 23: Übersicht Trassenlänge, Leitungsquerschnitte, Investitionskosten, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 37)*

<b>DN [mm]</b>	<b>Trassenlänge [m]</b>	<b>Spezifische Investitionskosten [€/m Trasse]</b>	<b>Investitionskosten [€]</b>
25 – 32	5718	410	2.344.380
40	958	444	425.352
50	703	468	329.004
65	815	498	405.870
80	470	540	253.800
100	854	600	512.400
125	1120	672	752.640
150	190	774	147.060
<b>Gesamt</b>	<b>10.828</b>		<b>5.170.506</b>

## 7.6.2 Wirtschaftliche Dämmstärke des Nahwärmenetzes

Neben dem Ziel der Effizienz eines Nahwärmenetzes mit möglichst geringen Wärmeverlusten, steht auch das Ziel, wirtschaftliche Wärmekosten mit einem wirtschaftlichen Wärmepreis zu erzielen, um die Realisierbarkeit von Nahwärmeprojekten welche von der Akzeptanz und dem Anschlussinteresse der Wärmekunden abhängt, zu erreichen.

Nach dem unter 6.1.1 und 6.6 beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Wärmeverluste sowie der Wärmekosten und des spezifischen Wärmepreises, wurden in der Machbarkeitsstudie für das Versorgungsgebiet 1 zwei Varianten zur Ermittlung des Wärmeverlusts und der wirtschaftlichsten Dämmstärke berechnet.

Hierzu wurde der geringere Wärmeverlust bei besserem Dämmstandart in Relation zu den damit verbundenen höheren Investitionskosten gesetzt. Bei der Variante 1 wurde eine einfach verstärkt gedämmte Rohrleitung angesetzt. Bei der Variante 2 wurden für die Nennweiten ab DN 25 bis DN 80 eine zweifach verstärkt gedämmte Rohrleitung angenommen. Die Berechnungen erfolgten auf der Annahme einer Netzauslegungstemperatur von 110 °C mit welcher das Netz 760 Stunden im Jahr

betrieben wird. Die übrigen 8000 Stunden wird das Netz mit einer Vorlauftemperatur von 80 °C betrieben (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 36, 37).

Die berechneten Wärmeverluste betragen für die

Variante 1 (einfach verstärkte Dämmung) jährlich  $Q_{\text{Verlust}} = 2.173$  MWh/a und für die

Variante 2 (zweifach verstärkte Dämmung DN 25-80) jährlich  $Q_{\text{Verlust}} = 2.007$  MWh/a.

Die stärkere Dämmschicht führt zu einer Reduzierung der Wärmeverluste von 166 MWh/a und Investitionsmehrkosten von rund 52.000 €. Der reduzierte Wärmeverlust führt zu einer Primärenergieeinsparung mit reduzierten Brennstoffkosten von rund 5.500 € pro Jahr auf der Preisbasis von 2008 (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 37). Bei gleichbleibenden Brennstoffkosten hätten sich die Investitionsmehrkosten nach rund 9,5 Jahren amortisiert.

*Tabelle 24: Übersicht Wärmeverluste Nahwärmenetz für Variante 1 - einfach verstärkte Dämmung, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 38)*

Wärmeverlust Dämmstandard Variante 1						
			Bei Temperaturspreizung $\Delta T = 55$ K bei VL 110°C und RL 55 °C		Bei Temperaturspreizung $\Delta T = 25$ K bei VL 80 °C und RL 55 °C	
Leitungs- quer- schnitt DN [mm]	Länge Netz- abschnitt	Dämmart	Spezifischer Wärme- verlust [W/m]	Wärme- menge [kWh/a]	Spezifischer Wärme- verlust [W/m]	Wärme- menge [kWh/a]
25-32	5718	1-fach	11,42	99.255	9,05	827.966
40	958	1-fach	12,95	18.857	10,27	157.419
50	703	1-fach	14,54	15.537	11,53	129.689
65	815	1-fach	16,38	20.292	12,99	169.390
80	470	1-fach	17,18	12.273	13,63	102.498
100	854	1-fach	18,03	23.404	14,30	195.395
125	1120	1-fach	20,90	35.580	16,58	297.114
150	190	1-fach	25,28	7.301	20,05	60.952
Gesamt	10.828	1-fach		232.499		1.940.423

Der Gesamtwärmeverlust beträgt 2.172.922 kWh/a bzw. rund 2.173 MWh/a.



*Tabelle 25: Übersicht Wärmeverluste Nahwärmenetz für Variante 2 - zweifach verstärkte Dämmung für DN 25-80, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 38)*

<b>Wärmeverlust Dämmstandard Variante 2</b>						
			Bei Temperaturspreizung $\Delta T = 55 \text{ K}$ bei VL $110^\circ\text{C}$ und RL $55^\circ\text{C}$		Bei Temperaturspreizung $\Delta T = 25 \text{ K}$ bei VL $80^\circ\text{C}$ und RL $55^\circ\text{C}$	
<b>Leitungs- querschnitt DN [mm]</b>	<b>Länge Netz- abschnitt</b>	<b>Dämmart</b>	<b>Spezifischer Wärme- verlust [W/m]</b>	<b>Wärme- menge [kWh/a]</b>	<b>Spezifischer Wärme- verlust [W/m]</b>	<b>Wärme- menge [kWh/a]</b>
25-32	5718	2-fach	10,32	89.695	8,19	749.287
40	958	2-fach	11,56	16.833	9,17	140.558
50	703	2-fach	12,56	13.421	9,96	112.030
65	815	2-fach	14,16	17.541	11,23	146.439
80	470	2-fach	15,16	10.830	12,03	90.466
100	854	2-fach	18,03	23.404	14,30	195.395
125	1120	2-fach	20,90	35.580	16,58	297.114
150	190	2-fach	25,28	7.301	20,05	60.952
<b>Gesamt</b>	<b>10.828</b>	<b>2-fach</b>		<b>214.605</b>		<b>1.792.241</b>

Der Gesamtwärmeverlust beträgt 2.006.846 kWh/a bzw. rund 2.007 MWh/a.

Geht man von einer möglichen Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer von rund 40 Jahren für das Nahwärmenetz aus, stellt sich die höhere Dämmstärke für die Variante 2 als wirtschaftlich dar. Allerdings besteht die Problematik das die meisten Wärmekunden keinen langfristigen Vollkostenvergleich sondern bestenfalls nur einen Kostenvergleich mit der Ist-Situation mit den derzeitigen Energiepreisen ansetzen und zumeist die Kosten für die Investitionen und Betrieb der Heizzentrale nicht mit in Betracht ziehen. Dadurch lassen sich höhere Investitionskosten trotz der langfristigen Wirtschaftlichkeit oft nur schwer durchsetzen.

## **7.7 Untersuchte Nahwärmeversorgungsvarianten Speichersdorf mit hauptsächlich regenerativen Energieträgern**

Nachfolgend werden die untersuchten regenerativen Nahwärmeversorgungsvarianten beschrieben, die sich an dem Anteil regenerativ erzeugter Wärmemenge aus Biomasse, Solarthermie, Biogas und Geothermie sowie durch die Netzlänge unterscheiden.

Die benötigte Kesselleistung ergibt sich aus dem ermittelten Wärmebedarf und der geordneten Jahresdauerlinie (siehe 7.5.2 Wärmebedarfsermittlung). Die zur Verfügung stehende Kesselleistung eines Biomassekessels reduziert sich um bis zu 30% beim Einsatz nasser Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von bis zu 50 %, im Vergleich zu Hackschnitzeln mit einem Wassergehalt von 30 %. Da aus logistischen und produktionstechnischen Gründen nicht immer sichergestellt werden kann, dass die Lieferanten uneingeschränkt gleichbleibende Biomassequalitäten liefern, wird aus Gründen der Versorgungssicherheit und wirtschaftlichen Erwägungen heraus, der Heizölspitzenlastkessel meist größer dimensioniert. Außerdem ist es für einen

möglichst effizienten Betrieb eines Biomassekessels mit einem guten Kesselanlagennutzungsgrad notwendig, den Biomassekessel möglichst viele Stunden im Jahr unter Volllast zu betreiben und hierzu möglichst knapp zu dimensionieren. Die Biomasseanlagen wurden in der Studie deshalb als Grundlastkessel ausgelegt. Die Investitionskosten des Biomassekessels betragen ca. das 2,5 – 3 fache des Heizölkessels daher wird dieser mit einer Reserve geplant. Dies auch vor dem Hintergrund das der Wärmelieferant die AVB-Fernwärme VO gemäß seiner Lieferpflichten erfüllen muss und bei Ausfall der Wärmelieferung Konventionalstrafen oder Schadensersatzansprüche der Wärmekunden zu begleichen hat. Daher wird die Spitzenlastversorgung als mögliche 100 % Redundanz vorgesehen und der Ölkessel größer als der Biomassekessel dimensioniert. Dennoch erzeugt der Biomassekessel mit weit über 80 % den weitaus größten Teil des Jahreswärmebedarfs.

Aufgrund dieser Erwägungen wurde für das gesamte Versorgungsgebiet 1 die benötigte Anschlussleistung (Gesamtkesselleistung) mit 7.500 kW thermischer Leistung geplant. Für das Versorgungsgebiet 1a wurde die benötigte Anschlussleistung (Gesamtkesselleistung) mit 4.450 kW festgelegt. 1a. Die Varianten 7.7.1 bis 7.7.5 beziehen sich auf das komplette Versorgungsgebiet 1 und die Varianten 7.7.6 und 7.7.7 beziehen sich auf das Versorgungsgebiet 1a (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 40-45).

### **7.7.1 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung und 0 % solare Deckung – Variante 2**

Die Variante 1 ist die Referenz-Wärmebereitstellungsvariante auf fossiler Basis mit dezentralen Einzelanlagen wie unter 7.4 beschrieben.

Bei der Variante 2 wird die Wärme hauptsächlich über eine Biomasseanlage welche mit Waldhackschnitzeln aus der Region (Landkreis Bayreuth und Landkreis Tirschenreuth) befeuert wird, erzeugt. Die Notversorgung und der Spitzenlastanteil wird über Heizölkessel bereitgestellt. Für die Auslegung wurden die Energieverbräuche und Verluste gerundet ermittelt.

**Tabelle 26: Wärmeversorgungsvariante 2 - Hackschnitzel/Heizöl, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 40)**

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetzverluste [GWh]	Heizöl	Hackschnitzel	Solarthermie
	10,5	2,1	1,0	11,6	0
Gesamtbedarf [GWh]	12,6	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	7,9	92,1	0

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme beträgt bei der Variante 1 rund 92,1 %. Im späteren wird eine Differenzierung und Bewertung der regenerativ erzeugten Wärme aus den verschiedenen Primärenergieträgern auf ihre ökologische Nachhaltigkeit hin vorgenommen.

### 7.7.2 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung, Biogaswärme und 0 % solare Deckung – Variante 2a

In der Variante 2a wird ein Teil der Wärme über eine in Speichersdorf bestehende Biogasanlage bereitgestellt, die noch eine verbleibende freie Leistungskapazität von rund 100 kW hat. Die aus der Biogasanlage erzeugte Wärme wird aus nachwachsenden Rohstoffen sowie Gülle erzeugt.

**Tabelle 27: Wärmeversorgungsvariante 2a - Hackschnitzel/Heizöl/Biogas, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 40)**

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:			
	Nutzwärme	Wärmenetzverluste [GWh]	Heizöl	Biogas	Hackschnitzel	Solarthermie
	10,5	2,1	0,7	0,8	11,1	0
Gesamtbedarf [GWh]	12,6	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	5,5	6,3	88,1	0

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme beträgt bei der Variante 2a rund 94,4 %.

### 7.7.3 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung, Solarkollektoren (40 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 3

Die Variante 3 besteht aus einem Biomassekessel, Heizölspitzenlastversorgung, Solarkollektor und Erdsonden-Wärmespeicher, Pufferspeicher und Absorptionswärmepumpe. Sie soll mittels Langzeitwärmespeicher einen solaren Deckungsanteil von knapp 40 % erreichen. Die technisch anspruchsvolle Lösung besteht aus einem 17.350 m<sup>2</sup> großem Solarkollektorfeld, einem 1.500 m<sup>3</sup> Pufferspeicher sowie einem Erdsonden-Wärmespeicher mit rund 23.000 m Gesamtsondenlänge. Die solare Wärme wird zunächst mit einer hohen Temperatur in den Pufferspeicher eingespeist und dem Netz zur Abnahme bereitgestellt. Die nicht benötigte überschüssige Solarwärme (vornehmlich im Sommer), wird in einem saisonalen Erdsonden-Wärmespeicher auf niedrigerem Temperaturniveau gespeichert. Wenn im Winter die aus der Solaranlage über den Pufferspeicher bereitgestellte Wärme nicht ausreicht, wird aus dem Biomassekessel die benötigte Wärme zum Betrieb einer 750 kW Lithium-Bromid-Absorptions-Wärmepumpe (AWP) erzeugt. Die Wärmepumpe wiederum hebt in 2 Stufen die im Erdsonden-Wärmespeicher vorhandene Niedertemperatur-Wärme auf die für das Wärmenetz benötigte Nutztemperatur von über 80 °C an. Durch das Zwischenschalten der Wärmepumpe kann ein Großteil der im Sommer nicht benötigten solaren Wärme genutzt werden und ein solarer Deckungsanteil von bis zu 40 % erreicht werden. Dadurch wird weniger Brennstoff für den Betrieb der Biomasseanlage und der Ölspitzenlastversorgung benötigt. Der Wirkungsgrad (COP-Wert) der Wärmepumpe liegt bei rund 1,4.

*Tabelle 28: Wärmeversorgungsvariante 3  
Hackschnitzel/Heizöl/Solarthermie/Wärmepumpe, Übersicht Energiebedarf,  
Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE  
Bayern/ZREU, 2010, S. 41)*

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Heizöl	Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetz- verluste [GWh]		Biogas	Hackschnitzel	Solarthermie
	10,5	2,1	0,8	0	6,8	5,0
Gesamtbedarf [GWh]	12,6	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	6,3	0	54	39,7

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme beträgt bei der Variante 3 rund 93,7 %.

Die Systemkomponenten der Variante 3 sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

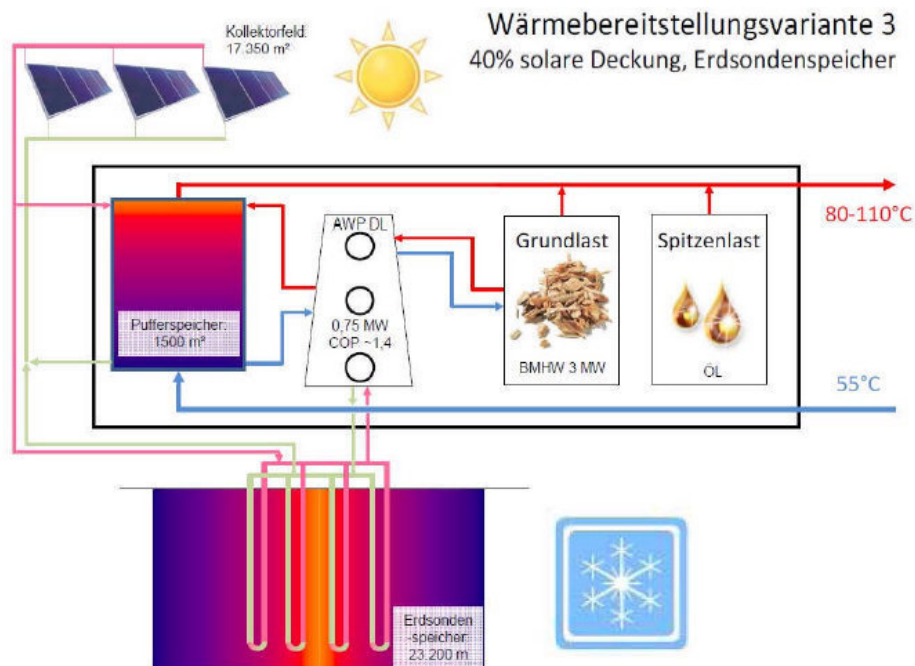


Abbildung 61: Prinzipskizze der Wärmeversorgungsvariante 3 mit rund 40 % solarem Deckungsanteil, direkte Solarnutzung im Sommer, indirekte Solarnutzung im Winter mittels thermisch angetriebener Absorptionswärmepumpe (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 41)

#### 7.7.4 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung, Solarkollektoren (20 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 4

Die Variante 4 wurde mit einem geringeren solaren Deckungsanteil von 20 % geplant, wodurch sich die Investitionskosten deutlich verringern. Die reduzierten Systemkomponenten bestehen aus Solarkollektorfeld mit 8.750 m<sup>2</sup>, einem 1.500 m<sup>3</sup> Pufferspeicher, einem Erdwärmesondenspeicher mit einer Gesamtsondenlänge von 8000 m und einer Absorptionswärmepumpe mit 250 kW Leistung. Unterschied zur Variante 3 ist die Betriebsweise. Die solare Wärme aus dem Wärmespeicher wird mittels Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau von über 60 °C angehoben und in den Rücklauf der Nahwärmeleitung eingespeist. Dadurch wird weniger Antriebsenergie aus dem Hackschnitzelanlage für die Wärmepumpe benötigt und mit 1,62 ein besserer Wirkungsgrad (COP-Wert) erreicht. Die weitere Anhebung der für das Nahwärmenetz benötigten Vorlauftemperatur von über 80 °C erfolgt durch den Biomassekessel.

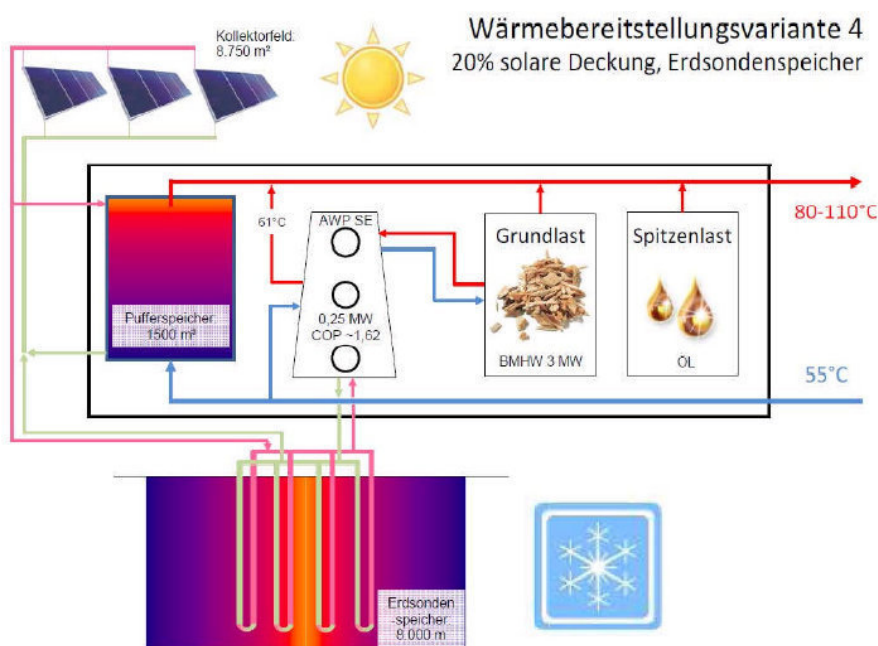
**Tabelle 29: Wärmeversorgungsvariante 4 - Hackschnitzel/Heizöl/Solarthermie/Wärmepumpe, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 42)**

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]			Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetzverluste [GWh]	Heizöl	Biogas	Hackschnitzel	Solarthermie
	10,5	2,1	0,8	0	9,3	2,5
Gesamtbedarf [GWh]	12,6	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	6,3	0	73,8	19,9

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme beträgt bei der Variante 4 wie bei der Variante 3 gerundet 93,7 %.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Prinzipskizze der Systemkomponenten zur Variante 4.



**Abbildung 62: Prinzipskizze der Wärmeversorgungsvariante 4 mit rund 20 % solarem Deckungsanteil, direkte Solarnutzung im Sommer, Rücklaufanhebung durch Speichernutzung über thermisch angetriebene Absorptionswärmepumpedirekte (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 42)**

### 7.7.5 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1 aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung, Biogaswärme, Solarkollektoren (20 % solare Deckung), saisonaler Wärmespeicher, Wärmepumpe – Variante 4a

Bei der Variante 4a wird die Variante 4 durch 100 kW Biogasleistung wie in der Variante 2a ergänzt. Problematisch ist hierbei das die Biogaswärme im Sommer mit der solaren Direktnutzung konkurrieren und der Biogasanteil nachteilige Auswirkungen auf den solaren Deckungsanteil hätte. Deshalb wird die solare Wärme vorrangig gegenüber der Biogaswärme aus dem BHKW genutzt. Im Winter ersetzt die Biogaswärme hauptsächlich den Anteil aus der Hackschnitzelanlage.

*Tabelle 30: Wärmeversorgungsvariante 4a - Hackschnitzel/Heizöl/Biogaswärme/Solarthermie/Wärmepumpe, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 43)*

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Heizöl	Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetzverluste [GWh]		Biogas	Hackschnitzel	Solarthermie
	10,5	2,1	0,8	0,5	8,8	2,5
Gesamtbedarf [GWh]	12,6	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	6,3	3,9	69,9	19,9

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme beträgt bei der Variante 4a wie bei der Variante 3 und 4 rund 93,7 %. Die Prinzipskizze zur Variante 4a ist nachfolgend dargestellt.

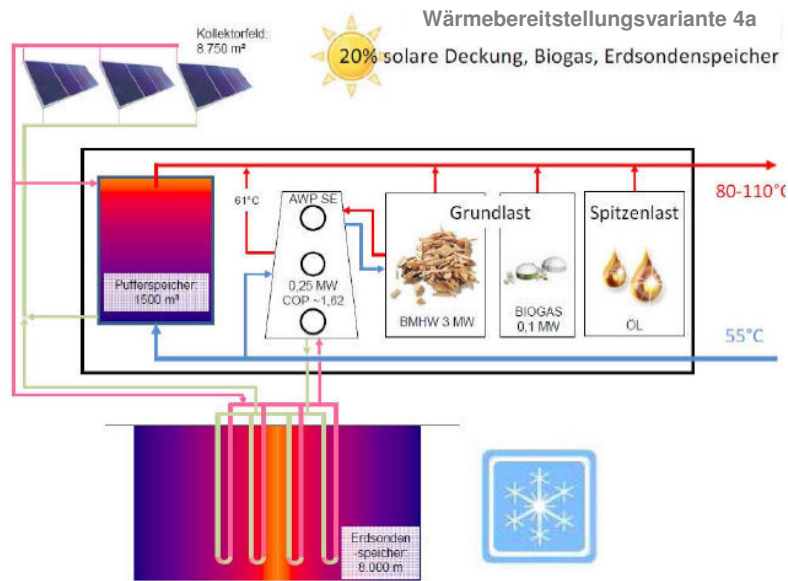


Abbildung 63: Prinzipskizze der Wärmeversorgungsvariante 4a mit rund 20 % solarem Deckungsanteil, direkte Solarnutzung im Sommer, Rück-laufanhebung durch Speichernutzung über thermisch angetriebene Absorptionswärmepumpe, Biogaswärme (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 43)

### 7.7.6 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1a aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung und 0 % solare Deckung – Variante 5

Die Variante 5 zur Wärmeversorgung des Versorgungsgebiets 1a, entspricht von den technischen Komponenten und der Betriebsweise der Variante 2. Sie weist durch das kleinere Versorgungsgebiet einen geringeren Wärmebedarf mit geringeren Leistungsgrößen und Investitionskosten auf.

Tabelle 31: Wärmeversorgungsvariante 5 - Versorgungsgebiet 1a, Hackschnitzel /Heizöl, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme, eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 44)

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetz-verluste [GWh]	Heizöl	Hackschnitzel	Solarthermie
	7,0	0,5	0,3	7,2	0
Gesamtbedarf [GWh]	7,5	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	4	96	0

1 GWh = 1000 MWh

Der Anteil an regenerativ erzeugter Wärme für das Versorgungsgebiet 1a beträgt bei der Variante 5 gerundet 96 %.



### 7.7.7 Wärmeerzeugung für Versorgungsgebiet 1a aus Biomassekessel und Heizöl-Spitzenlastversorgung, Solarkollektor mit 8 % solare Deckung – Variante 5b

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und eine spätere Realisierbarkeit wurde für das Versorgungsgebiet 1a (als möglichen ersten Bauabschnitt), eine verkleinerte Solarvariante entwickelt. Diese kommt ohne Langzeitwärmespeicher aus und puffert Abnahmeschwankungen mittels Pufferspeicher. Die solare Wärme wird im Sommer in den Vorlauf des Wärmenetzes beigemischt und im Winter wird sie dem Rücklauf des Wärmenetzes zur Anhebung der Rücklauftemperatur zugefügt. Dadurch ist eine geringere Anhebung der Vorlauftemperatur durch den Biomassekessel bzw. die Ölspitzenlastversorgung erforderlich.

*Tabelle 32: Wärmeversorgungsvariante 5b - Versorgungsgebiet 1a, Hackschnitzel /Heizöl/Solarthermie, 8% solarer Deckungsanteil, Übersicht Energiebedarf, Anteil regenerativ erzeugte Wärme eigene Darstellung auf Basis (ZAE Bayern/ZREU, 2010, S. 44)*

Energiebedarf ab Heizzentrale	Energiebedarf [GWh]		Wärmeerzeugung aus Primärenergieträger:		
	Nutzwärme	Wärmenetz- verluste [GWh]	Heizöl	Hackschnitzel	Solarthermie
	7,0	0,5	0,3	6,6	0,6
Gesamtbedarf [GWh]	7,5	Anteil regenerativ erzeugte Wärme [%]	4	88	8

1 GWh = 1000 MWh

Nachfolgend wird neben den beschriebenen Nahwärmeversorgungsvarianten am Beispiel Speichersdorf als zweites Projekt das Biomassenahwärmenetz Mitterteich vorgestellt. An den beiden Projektbeispielen mit verschiedenen Versorgungsszenarien sollen anschließend die herausgearbeiteten Nachhaltigkeitsindikatoren berechnet und auf ihre Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit überprüft werden.

### 7.8 Biomassenahwärmeprojekt Mitterteich

Als zweites Projektbeispiel hat die Autorin das unter Ihrer Leitung in 2011 realisierte Projekt der Bioenergie Mitterteich GmbH & Co. KG ausgewählt. Die Planung und Projektbegleitung erfolgte durch die KEWOG Energie und Dienste GmbH. Die in 2010 gegründete Bioenergie Mitterteich GmbH & Co. KG ist eine kommunale Projektgesellschaft im Eigentum der Stadt Mitterteich und Betreiber des Projekts. In der nachfolgenden Abbildung ist die Gesellschaftsstruktur und das Betreibermodell dargestellt.

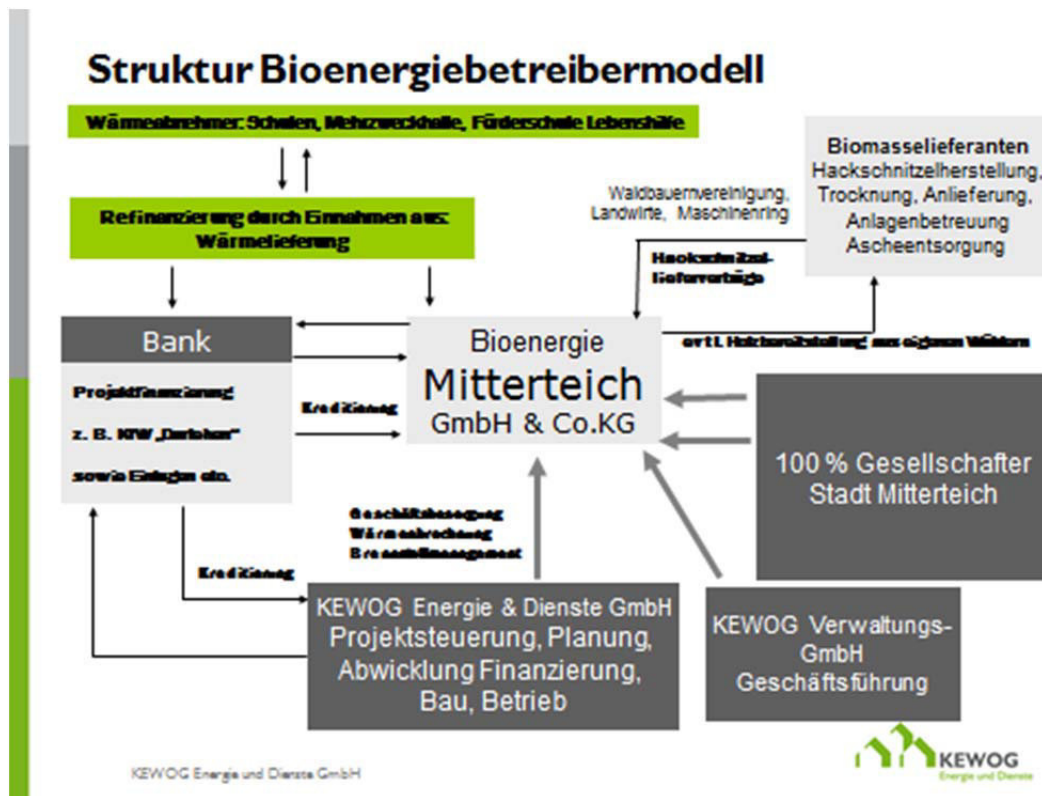


Abbildung 64: Struktur Betreibermodell Biomassenahwärmenetz Mitterteich (KEWOG Energie und Dienste GmbH, Machbarkeitsstudie / Realisierungskonzept für Biomasse-Nahwärmeversorgung im Betreibermodell für die Stadt Mitterteich - Mehrzweckhalle, Hauptschule mit Hallenbad und Grundschule, Förderschule Lebenshilfe, 2010)

Bei dem Projekt handelt es sich um ein Nahwärmenetz zur Versorgung der Mehrzweckhalle, Hauptschule mit Hallenbad und Grundschule sowie der Förderschule Lebenshilfe mittels Biomassekessel und Erdgasspitzenlast-/Notversorgung. Der Anschluss des Kindergartens ist optional vorgesehen, wurde aufgrund der bestehenden relativ neuwertigen dezentralen Erdgasanlage jedoch zurückgestellt. Die installierte Kesselleistung des Biomassekessels beträgt 600 kW und vom Erdgasspitzenlastkessel 1000 kW. Die Länge des Nahwärmenetzes beträgt 360 m und der durchschnittliche Leistungsquerschnitt beträgt DN 100. Das Projekt wurde vom Freistaat Bayern gefördert. Nachfolgend ist die bisherige Kesselleistung der Bestandsanlagen sowie die benötigte Fernwärmeanschlussleistung und der voraussichtliche Wärmebedarf der Wärmeabnehmer dargestellt.

## Biomasse-Nahwärmekonzept zur Wärmeversorgung

Biomasseanlage zur Wärmeversorgung benötigte Kesselleistung für: Mehrzweckhalle, Hauptschule mit Hallenbad und Grundschule, Förderschule, (optional Kindergarten)

### Benötigte Kesselleistung / voraussichtlicher Wärmebedarf:

Zu versorgende Liegenschaft	vorhandene Kesselleistung in kW	benötigte Leistung (Fernwärmeanschluss) in kW	voraussichtlicher Wärmebedarf in MWh
Städtischer Kindergarten	100	100	215
Hauptschule (Versorgung mehrerer Liegenschaften)	1750	1170	652
Mehrzweckhalle	489		292
Grundschule			316
Hallenbad			
Alte Turnhalle			
Förderschule Lebenshilfe	356	250	404
<b>Gesamt:</b>	<b>2.695</b>	<b>1.520</b>	<b>1.878</b>

KEWOG Energie und Dienste GmbH



Abbildung 65: benötigte Leistung Fernwärmeanschluss und voraussichtlicher Wärmebedarf Biomassenahwärmenetz Mitterteich (KEWOG Energie und Dienste GmbH, 2010)

Die Abbildung 66 zeigt das skizzierte Nahwärmenetz und die Wärmekunden. Die Wärme wird an der Übergabestelle im Gebäude des Abnehmers übergeben.

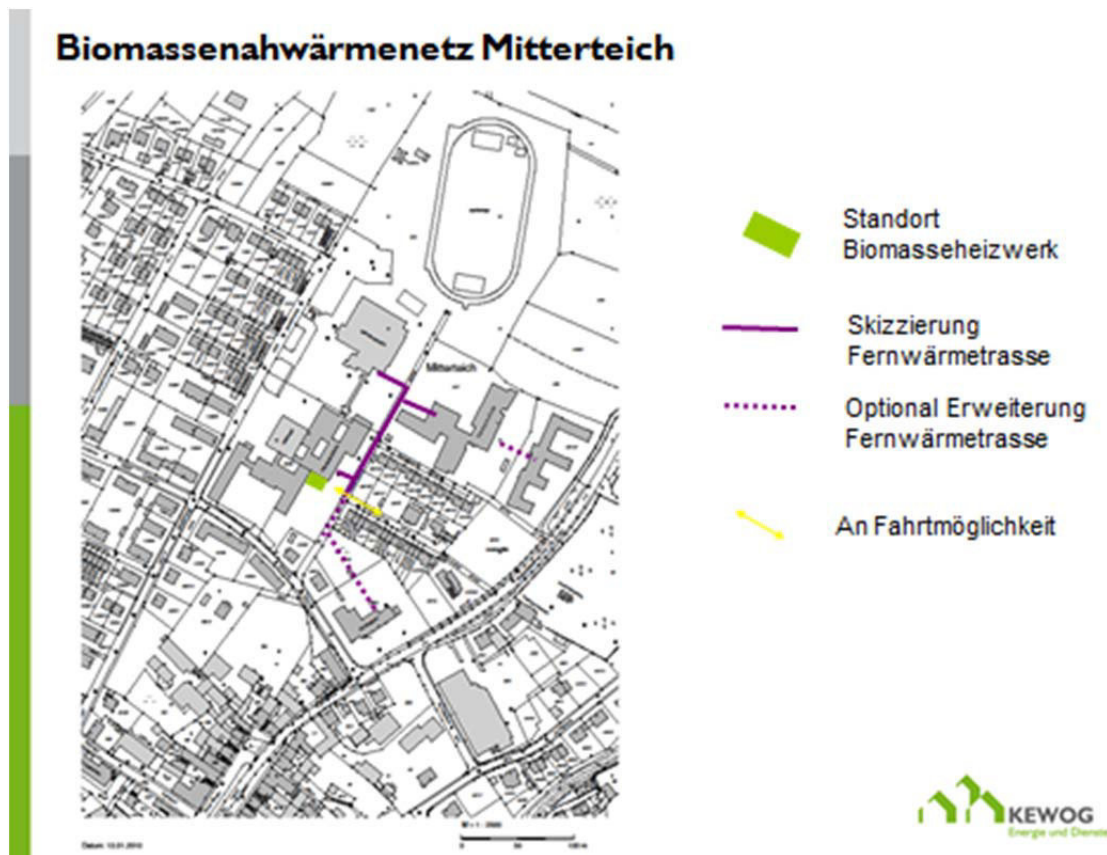


Abbildung 66: Biomassenahwärmenetz Mitterteich, Standort Heizzentrale, Wärmeabnehmer Grund- und Hauptschule, Mehrzweckhalle, Förderschule Lebenshilfe (KEWOG Energie und Dienste GmbH, 2010)

## 7.9 Projektbeispiel Geothermie

Um bei der Bewertung der Nachhaltigkeit der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten mittels Nachhaltigkeitsindikatoren auch ein Beispiel für die Nutzung der tiefen Geothermie aufzuzeigen, wurde anhand des Projekts Speichersdorf die folgenden Annahmen und Berechnungsgrundlagen welche sich auf Literaturrecherchen stützen, für die Wärmeversorgungsvariante Geothermie (V6 Geoth) entwickelt.

Aufgrund der Projektgröße wurde das Wärmeversorgungsszenario auf der Grundlage des Wärmebedarfs sowie der Fernwärmenetzlänge von Speichersdorf berechnet. Dies auch um eine direkte Vergleichbarkeit von Solarthermie, Biogas, holzartige Biomasse und Geothermie zu veranschaulichen.

Im Zuge der Machbarkeitsstudie in Speichersdorf wurden keine tiefgehenden geologischen Erkundigungen durchgeführt. Prinzipiell ist für eine exakte Planung einer Geothermieanlage sowie für die anderen aufgeführten Wärmeversorgungsvarianten eine fundierte Planung erforderlich. Hierzu ist für jeden Anwendungsfall im Zuge der Detailplanung welche mit entsprechenden Kosten verbunden, ist eine

Simulationsberechnung zur Abbildung der Temperaturverläufe für die Netzplanung, Anlagenhydraulik und Regelung erforderlich. Diese sind nicht Thema dieser Arbeit. Das gleiche gilt für die notwendigen geologischen Erkundigungen des Untergrundes für eine exakte Planung zur Auslegung der Geothermieanlage nach der VDI 4640.

Daher werden vereinfachend folgende Annahmen getroffen.

Vorliegen der geologischen Voraussetzungen: wasserführende Sandschicht mit Nutzporositäten von 20 % und Mächtigkeit von 25 m. Thermalwasservolumenstrom von über 50 – 100 m<sup>3</sup>/h.

Für das Projektbeispiel Speichersdorf wird der Einsatz einer hydrothermalen Geothermieanlage mit Dublette angenommen. Aufgrund der Erfahrungen aus dem Bergbau steigt die Temperatur im Erdreich je 1000 m um rund 30 °C an. (Claudia Thomsen, 2004, S. 53). Die im Nahwärmenetz benötigte Vorlauftemperatur liegt bei 80°C – 90 °C. Das berechnete Temperaturniveau liegt bei einer Tiefe von 3000 m bei 100 °C. Zieht man die Umwandlungsverluste vom Wärmetauscher mit durchschnittlich 10 °C ab, liegt man bei einem Temperaturbereich von 90 °C. Im Winter ggfs. benötigte höhere Temperaturspitzen werden durch die Spitzenlastversorgung abgedeckt. Für die Ermittlung der Investitionskosten wird von einer Bohrtiefe von 3000 m ausgegangen.

Aufgrund der getroffenen Annahmen wird nachfolgend das theoretische Energiepotenzial  $H_0$  wie unter 6.2.7.1 beschrieben, ermittelt.

### **Berechnung theoretisches Energiepotenzial $H_0$ pro m<sup>2</sup> in Speichersdorf**

$$H_0 = A \times \Delta z \times ((1 - \varnothing) \times \rho_m \times c_m + \varnothing \times \rho_w \times c_w) \times (T_T - T_0)$$

mit:	A	=	Grundfläche des Aquifers 1 [m <sup>2</sup> ]
	$\Delta z$	=	Annahme 25 m
	$\varnothing$	=	Annahme 20 %
	$\rho_m$	=	2,6 x 10 <sup>3</sup> [kg / m <sup>3</sup> ]
	$\rho_w$	=	1,1 x 10 <sup>3</sup> [kg / m <sup>3</sup> ]
	$c_m$	=	840 [J / (kg °C)]
	$c_w$	=	4.190 [J / (kg °C)]
	$T_T$	=	100 [°C], 30 °C pro 1000 m inkl. $T_0$ bei Tiefe 3000 m
	$T_0$	=	10 [°C]

$$H_0 = 1 \text{ m}^2 \times 25 \text{ m} \times ((1 - 0,20) \times 2,6 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^3 \times 840 \text{ J} / (\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}) + 0,20 \times 1,1 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^3 \times 4.190 \text{ J} / (\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C})) \times (100 \text{ } ^\circ\text{C} - 10 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 2.1177 \times 10^9 \text{ J pro m}^2 = 2,2 \text{ GJ pro m}^2$$

Als Standort für die Geothermieanlage mit Dublette wird die Konversionsfläche des Bahngeländes angenommen. Die benötigte unterirdische Aquiferfläche wird mit 75.000 m<sup>2</sup> angenommen.

Daraus ergibt sich das theoretische Energiepotential mit 75.000 m<sup>2</sup> x 2,2 GJ pro m<sup>2</sup> = 1,65 10<sup>14</sup> J.

Theoretische Annahme Berechnung R für Geothermieprojekt Speichersdorf:

$$R = 0,33 \left( \frac{100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}} \right) = 0,275$$

Theoretische Annahme Berechnung technisch nutzbares Energiepotenzial H<sub>1</sub> für Geothermieprojekt Speichersdorf:

$$H_1 = H_0 \times R$$

$$H_1 = 1,65 \cdot 10^{14} \text{ J} \times 0,275 = 4,538 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Auf Basis der getroffenen Annahmen ergibt der Recovery Faktor für Speichersdorf 0,275 und das technisch nutzbare Wärmepotential H<sub>1</sub> 4,538 \* 10<sup>13</sup> J. H<sub>1</sub> entspricht somit dem für das Nahwärmeprojekt benötigten Nutzwärmebedarf von 12.600 MWh. Daher werden für eine mögliche Geothermieanlage die folgenden Annahmen getroffen.

Die Anlagengröße der Geothermieanlage mit Dublette, bestehend aus Filter, -Slopsystem, Boden, Thermalwasserkreislauf, Förder- und Injektionsbohrung, wird mit einer Leistung von 10 MW zur Versorgung des Versorgungsgebiets 1 mit einer Netzlänge von 10.824 m festgelegt. Die Heizöl-Spitzenlastkesselleistung/Redundanz wird analog der übrigen Versorgungsvarianten des Projekts Speichersdorf mit 6 MW dimensioniert. Insgesamt werden an das Netz im Versorgungsgebiet 1 268 Hausübergabestationen angeschlossen. Als Systemgrenze wird bei allen Varianten das Versorgungsnetz vor der Hausübergabestation definiert, wegen des zu vernachlässigenden Anteils am KEA für die Übergabestationen. Die Berechnung der Prozesse der einzelnen Versorgungsvarianten erfolgt mit GEMIS. Der spezifische Wärmepreis je Versorgungsvariante wird ohne Investitionskosten für die Hausübergabestationen ausgewiesen. Grundsätzlich verteuern die Kosten der Hausübergabestationen den spezifischen Wärmepreis mit 1,87-6,83 €/MWh unwesentlich und führen nicht zu einer grundsätzlichen Veränderung der Wirtschaftlichkeit. Die Prinzipskizze einer Geothermieanlage mit Dublette ist in Abbildung 67 dargestellt.

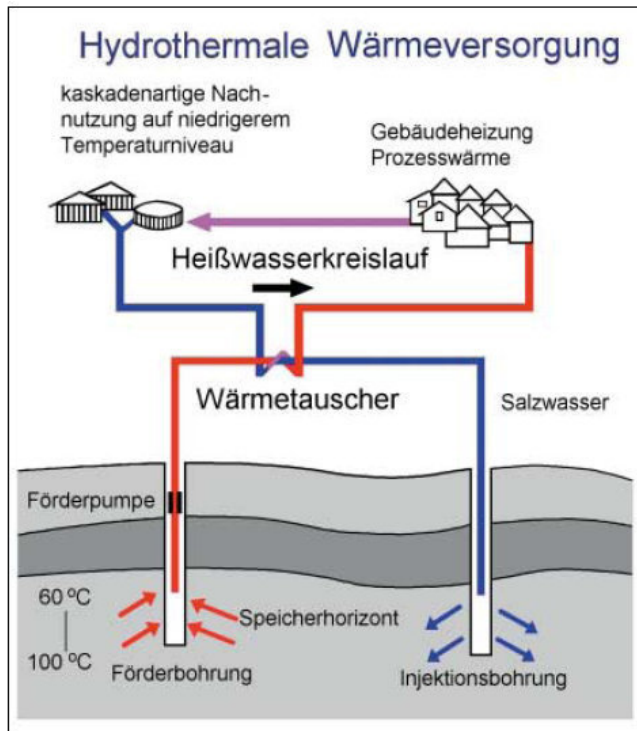


Abbildung 67: Prinzipskizze hydrothermales System mit Dublette (Claudia Thomsen, 2004, S. 38)

Im nachfolgenden Kapitel werden die beschriebenen Indikatoren angewendet und die Ergebnisse aufgezeigt.

## **8 Nachhaltigkeitsindikatoren als Planungshilfe für Nahwärmenetze**

Mit Hilfe der entwickelten Nachhaltigkeitsindikatoren erfolgt die Bewertung in Relation zum Ist-Zustand. Dies bedeutet die Substitution der fossilen Wärmeversorgung der Gebäude durch eine „nachhaltige“ Versorgung unter Berücksichtigung der Effizienz.

Durch die Entwicklung und den Vergleich von Nachhaltigkeitsindikatoren soll eine Bewertungsmatrix für ein umwelttechnisches und betriebswirtschaftliches Optimum erarbeitet werden. Diese soll wiederum als Planungshilfe für weitere Projekte zur Entwicklung nachhaltiger Wärmeversorgungsnetze mit minimalen Ressourcenverbrauch bzw. „ökologischen Rucksack,, dienen.

### **8.1 Bewertung verschiedener Nahwärmeversorgungsvarianten mittels Nachhaltigkeitsindikatoren**

Insgesamt wurden 10 Wärmeversorgungsvarianten untersucht. Die Technik ohne Nahwärmenetz bildet die bisherige Versorgung für vergleichende Betrachtungen (Referenzvariante), ab.

#### **Techniken ohne Nahwärmenetz (Referenz)**

Die Variante V1ÖIGas dezentrale Feuerung mit Gas- und Ölkessel stellt das Referenzszenario dar. Hiervon wird die Kostenseite zu 100 % auf Basis Heizöl berechnet. Während die Emissionsseite zu jeweils 50 % aus der Wärmeerzeugung mit Erdgas und Heizöl betrachtet wird.

#### **Techniken mit Nahwärmenetz**

Für das Projekt Speichersdorf werden für das große Versorgungsgebiet 1 die Varianten V2, V2aBG, V3Solark40, V4Solark20, V4aBGSolark20 sowie die Wärmeversorgung auf Basis Geothermie in der Variante V6Geoth berechnet. Weiterhin werden für das kleinere Versorgungsgebiet 1a in Speichersdorf mit höherer Abnahmedichte, die Varianten V5VG1b und V5VG1bSolar8 berechnet. Um verschiedene Projekte zu vergleichen, wird zusätzlich das Nahwärmeprojekt Mitterteich für die Berechnungen herangezogen.

Die nachfolgend beschriebenen Prozesse zur Ermittlung der Emissionen werden für die 10 Versorgungsvarianten mit GEMIS erstellt und berechnet.

Als Basis für die Berechnungen der Wärmeversorgungsvarianten wird auf Grundlage der benötigten Nutzwärme (bezogen auf Endenergie), ein Szenario mit den folgenden Prozessen für die Hauptsystemkomponenten Kesselanlagen, Solarkollektor, Biogas-



BHKW, Wärmenetz und Erdsondenwärmespeicher (Aquiferspeicher) entwickelt und berechnet.

*Tabelle 33: Wärmeversorgungsvarianten mit Nutzwärme (Energienachfrage) eigene Berechnung mit GEMIS*

Nr.	Optionen / Varianten	Darstellung aus GEMIS Energienachfrage [kWh]	Endenergie (Nutzwärme) [MWh]
1	V1ÖIGas	1,05E+7	10.500
2	V2	1,26E+7	12.600
3	V2aBG	1,26E+7	12.600
4	V3Solark40	1,26E+7	12.600
5	V4Solark20	1,26E+7	12.600
6	V4aBGSolar20	1,26E+7	12.600
7	V5VG1b	7,5E+6	7.500
8	V5VG1bSolar8	7,5E+6	7.500
9	V6Geoth	1,26E+7	12.600
10	Mitterteich	1,878E+6	1.878

Die Wärmeerzeugung für die dezentrale **Referenzvariante V1ÖIGas** erfolgt zu 50 % mittels atmosphärischen Öl-Brenner (mit dem Prozess Öl-Heizung-DE 2030 (Endenergie)) und zu 50 % mittels atmosphärischen Gas-Brenner (mit dem Prozess Gas-Heizung-DE2030 (Endenergie)), Nutzungsdauer jeweils 15 Jahre. Die Anteile der jeweils erzeugten Nutzwärme der verschiedenen Energieträger sind in den Versorgungsvarianten ab 7.7 beschrieben.

Berechnungsgrundlage für die **Variante V2** - Biomassekessel und Öl-Spitzenlastversorgung, sind die Prozesse Öl-leicht-HW-mittel-DE-2030 (Endenergie)Var2VG1 und Holz-HS-Waldholz-Heizwerk-5MW-3030 (Endenergie) V2VG1.

Die Anlagenleistung des Hackschnitzelheizwerks beträgt 3 MW bei 4.000 Vollbenutzungsstunden und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren. Die Hackschnitzelherstellung erfolgt mittels Grosshacker-Chipperwood (siehe hierzu Abbildung 43: Prozesskette zur Herstellung von Holz hackschnitzeln EU-Wald, aus

GEMIS 4.8, Hackschnitzel Hacker-gross/Holz-EU-Wald-Hackschnitzel-2020 Abbildung 43). Die Anlagengesamtleistung der Öl-Spitzenlastkesselanlage beträgt 6 MW bei 2.500 Vollbenutzungsstunden und einer Nutzungsdauer von 15 Jahren. Die integrierte Prozesskette für die Heizölherstellung siehe Abbildung 41.

Die **Variante V3Solark40** mit 40 % solarer Deckung, basiert neben den Prozessen aus V2 – Biomasseanlage und Heizöl-Spitzenlastversorgung auf dem Prozess Solarkollektor-Flach-DE-2030V3VG. Der Anteil der aus der Solarthermieanlage erzeugten Wärme ist unter 7.7.3 aufgeführt. Der Anlagennutzungsgrad wird mit 25 % angenommen (da kein Brennstoffeinsatz /Primärenergieträger) und die Nutzungsdauer mit 20 Jahren. Der Flächenbedarf je MW beträgt 5.200 m<sup>2</sup>. Die Wärmepumpe trägt zur Unterstützung der Solaranlage zwecks besserer Nutzung der Solarwärme in einem höheren Temperaturniveau bei. Die daraus erzeugte Nutzwärme wird dem Solarkollektor hinzu gerechnet. Deshalb wird der KEA für die Herstellung der Wärmepumpe vernachlässigt. Ein weiterer Grund hierfür wird im Folgenden beschrieben. Der Aufwand für den Betriebsstrom und die Hilfsenergien ist in den Prozessen berücksichtigt.

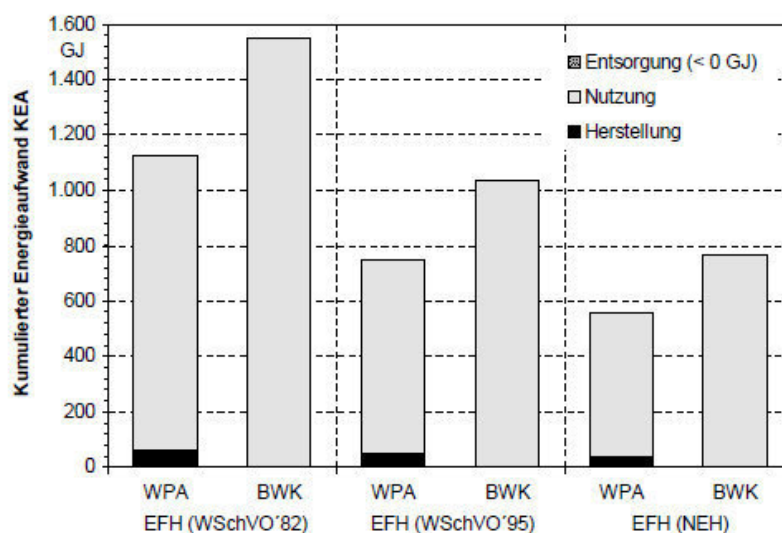
In der Literatur ist als Basis zur Ermittlung des KEA das Massengerüst für die Herstellung einer Wärmepumpe im Vergleich zum Brennwertkessel aufgeführt. Für die Wärmepumpe wurden die beiden Fabrikate HWS 32 P mit einem Leistungsbereich von 7,8 kW und HWS 46 P mit einem Leistungsbereich von 10,9, kW verglichen. Als Wärmequellenanlage fungierte eine Erdwärmesonde aus PE-HD-Rohr mit einer Tiefe von 40 m. Bei der Wärmepumpe hat das Gehäuse mit 52 % bei HWS 32P und mit 43 % bei HWS 46P, den größten Anteil am Gewicht. Verdichter und Kältekreis inkl. Verrohrung aller Armaturen zum Verschalten von Verdichter und Wärmetauschern innerhalb der Wärmepumpe, verursachen rund 25 % des Gewichts. Die Gewichtsverteilung der Hauptbauteile ist in der folgenden Tabelle dargestellt (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 5, 7 u. 41).

*Tabelle 34: Massengerüste der Wärmepumpe HWS 32 P und HWS 46 P, (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 41)*

Baugruppe	HWS 32 P		HWS 46 P	
	Gesamtgewicht der Baugruppe	Anteil am Gesamtgewicht der WP	Gesamtgewicht der Baugruppe	Anteil am Gesamtgewicht der WP
	[kg]	[-]	[kg]	[-]
Verdichter	30,2	21,3 %	45,4	26,1 %
Gehäuse	73,9	52,1 %	73,9	42,5 %
Kältekreis	32,8	23,2 %	49,8	28,6 %
Sonstiges	4,8	3,4 %	4,8	2,8 %
Summe	141,7	100 %	173,9	100,0 %

In der Arbeit wurden für die Haustypen Einfamilienhaus(EFH) gemäß WSchVO 1982, EFH gemäß WSchVO 1995 und Niedrigenergiehaus (NEH) welche sich aufgrund der verschiedenen Dämmstandards durch den Primärenergiebedarf unterscheiden, verglichen. Hierbei wurde der KEA für die Wärmepumpenanlage inkl. Erdsondenanlage (Tiefe 40 m), mit dem KEA für einen Brennwertkessel verglichen. Die Ergebnisse hieraus lassen sich verhältnismäßig auch auf größere Anlagen wie in den Wärmeversorgungsvarianten beschrieben, übertragen.

Abbildung 68 zeigt, dass der KEA für die Entsorgung bei Kesselanlagen und Wärmepumpenanlagen um den Faktor 1000 geringer als der KEA für die Nutzung (während des Betriebs) ist. Auch der KEA für die Herstellung ist im Vergleich zum KEA Nutzung zu vernachlässigen. Der KEA für die Nutzung basiert im Wesentlichen auf dem Strombedarf für die Wärmepumpe bzw. dem Brennstoffbedarf für den Erdgas-Brennwertkessel welche in den Prozessen berücksichtigt sind.



*Abbildung 68: Vergleich des kumulierten Energieaufwands (KEA) von Wärmepumpe und Erdgasbrennwertkessel über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 68)*

Nachfolgend ist die Aufteilung des Strombedarfs für die eben beschriebenen Wärmepumpen dargestellt. Diese sind qualitativ auch auf größere Anlagen übertragbar. Hieraus wird ersichtlich, dass der Strombedarf der Solepumpe (für Wärmequellenanlage) und für die Regelung im Vergleich zum Strombedarf der Wärmepumpe sehr gering ist.

*Tabelle 35: Jahresendenergiebedarf Wärmepumpenanlage (Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller, 1996, S. 30)*

	Einheit	WSchVO'82	WSchVO'95	NEH
Solepumpe	kWh/a	147,5	131,9	98,6
Regelung	kWh/a	70,1	70,1	70,1
Wärmepumpe	kWh/a	4.739,0	3.092,0	2.296,0
<b>Gesamt</b>	<b>kWh/a</b>	<b>4.956,6</b>	<b>3.294,0</b>	<b>2.464,7</b>

Aufgrund des geringen Anteils des KEA für die Herstellung und Entsorgung der Wärmepumpe wird nur der KEA Nutzung welcher aus dem Betriebsstrombedarf herrührt, berücksichtigt.

Die **Variante V4Solark20** mit 20 % solarer Deckung, unterscheidet sich von der Variante V3Solark40 durch den Anteil der aus der Solaranlage erzeugten Nutzwärme. Daher sind die gleichen Prozesse mit veränderten Anteilen der erzeugten Nutzwärme hinterlegt.

Für die **Variante V4aBGSolar20** unterscheidet sich von der Variante V4Solark20 indem hier zusätzlich für eine Leistung von 100 kW Wärme aus einer NaWaRo-Biogas-Anlage<sup>22</sup> ganzjährig geliefert werden. Dadurch verringert sich der solare Anteil der erzeugten Wärme im Sommer und der Spitzenlast-Anteil für Heizöl im Winter. Hierzu wurde der Prozess Biogas-Mais/Gülle-BHKW-GM 500-DE-2005-th/enhe mit einer gesamt BHKW-Leistung von 450 kW, einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und 6.000 Vollbenutzungsstunden erstellt.

Die **Variante V5VG1b** die ebenfalls für das Wärmeprojekt Speichersdorf entwickelt wurde, basiert auf dem kleineren Nahwärmenetz mit geringerem Wärmebedarf aber höherer Wärmeabnahmedichte. Die Wärmeerzeugung erfolgt aus Biomasse und Heizöl-Spitzenlastversorgung aus den Prozessen Öl-leicht-HW-mittel-DE-2030

<sup>22</sup> NaWaRo-Biogasanlage: Biogasanlage die mit nachwachsenden Rohstoffen wie z. Mais, Getreide sowie Gülle betrieben wird.

(Endenergie)Var2VG1 und Holz-HS-Waldholz-Heizwerk-5MW-3030 (Endenergie) V2VG1.

Bei der Variante **V5VG1bSolar8** wird zusätzlich zur Biomasse und Heizöl-Spitzenlastversorgung ein solarer Deckungsanteil von 8 % durch den Prozess Solarkollektor-Flach-DE-2030V3VG1 erzeugt.

Für das Versorgungsgebiet 1 des Projekts Speichersdorf, wurde das Geothermieprojekt mit Dublettenbetrieb die **Variante V6Geoth** mit Heizöl-Spitzenlastversorgung auf Basis der Prozesse Geothermie-HW-DE-2010he und Öl-leicht-HW-mittel-DE-2030 (Endenergie) Var2VG1 entwickelt.

Um verschiedene Nahwärmeprojekte zu vergleichen, wurde als letztes die **Variante Mitterteich** für das Biomassenahwärmeprojekt mit Erdgas-Spitzenlastversorgung Mitterteich herangezogen. Die hierfür entwickelten Prozesse sind Gas-HW-klein-DE-2030 (Endenergie)he und Holz-HS-Waldholz-Heizwerk-5 MW-2030 (Endenergie)V2VG1. Das Projekt Mitterteich hat das kleinste Wärmenetz mit der größten Wärmeabnahmedichte.

## 8.2 Berechnungsgrundlage Material- und Ressourcenbedarf Nahwärmenetze Speichersdorf und Mitterteich

Auf der Datengrundlage des Arbeitspakets 2.3 (MaRess<sup>23</sup>) welches auf dem MIPS-Konzept (siehe unter 4.2.2) basiert, erfolgte die Berechnung des Materialbedarfs für die Nahwärmenetze Projekt Speichersdorf und Mitterteich. Schätzungen zu Folge existieren derzeit rund 75.000 km Nahwärmenetze (Sören Steger, 2011, S. 166). Die Materialbestandteile und Verlegungsarten von Nahwärmenetzen sind grundsätzlich mit der von Fernwärmenetzen vergleichbar.

Tabelle 36 zeigt den spezifischen Materialbedarf je m Nahwärmeleitung für verschiedene Nenndurchmesser. Diese wurden für die Projektbeispiele als Basis genommen und anhand der Nennweiten und der Netzlänge der Gesamtmaterialbedarf berechnet.

---

<sup>23</sup> MaRess steht für den Begriff Materialeffizienz und Ressourcenschonung. In verschiedenen Arbeitspaketen wurden vom Wuppertal Institut der Material- und Ressourcenverbrauch für verschiedene Produkte ermittelt.

Tabelle 36: Schätzung spezifischer Materialbedarf und Materialbestand von Nahwärmenetzen (Sören Steger, 2011, S. 166)

in t/km		ND	Stahl (Mediumrohr)	PE (Mantelrohr)	PUR-Hartschaum
Kunststoffmantelrohr	0-65	50	3	1	2
	80-125	100	9	2	2
	150-200	150	14	3	4

in t	ND	Netzlänge in km	Stahl (Mediumrohr)	PE (Mantelrohr)	PUR-Hartschaum
Kunststoffmantelrohr	0-65	25.000	84.225	32.500	40.775
	80-125	25.000	213.975	57.500	62.025
	150-200	25.000	360.050	67.500	99.950
<b>Summe</b>		<b>75.000</b>	<b>658.250</b>	<b>157.500</b>	<b>202.750</b>

Nachfolgend sind die Nennweiten, die Trassenlänge und der Materialbedarf für die Errichtung des Nahwärmenetzes Speichersdorf dargestellt.

Tabelle 37: Ermittlung Materialbedarf für Nahwärmenetz Speichersdorf – eigene Berechnung auf Basis MaRes

Nahwärmenetz		Stahlrohr	Stahlbedarf	PE-Mantelrohr	PE-Bedarf	PUR	PUR-Bedarf
DN [mm]	Trassenlänge [m]	kg/m	kg	kg/m	kg	kg/m	kg
25 -32	5.718,7	3	17.156,1	1,00	5.718,70	2	11.437,4
40	958,6	3	2.875,8	1,00	958,60	2	1.917,2
50	702,7	3	2.108,1	1,00	702,70	2	1.405,4
65	815,3	3	2.445,9	1,00	815,30	2	1.630,6
80	469,5	9	4.225,5	2,00	939,00	2	939,0
100	853,8	9	7.684,2	2,00	1.707,60	2	1.707,6
125	1.120,3	9	10.082,7	2,00	2.240,60	2	2.240,6
150	189,5	14	2.653,0	3,00	568,50	4	758,0
<b>Gesamt</b>	<b>10.828,4</b>	<b>gesamt</b>	<b>49.231,3</b>		<b>13.651,0</b>		<b>22.035,8</b>

Die gleiche Vorgehensweise wird zur Ermittlung des Materialbedarfs für das Nahwärmenetz Mitterteich angewendet. Dieser ist nachfolgend zusammengefasst dargestellt.

Die Emissionen der Nahwärmenetze werden mit GEMIS aus dem Prozess für Stahlrohr, Polyethylen und PUR-Hartschaum je kg für den gesamten Materialbedarf hochgerechnet.

*Tabelle 38: Ermittlung Materialbedarf Nahwärmenetz Mitterteich – eigene Berechnung auf Basis MaRes*

Nahwärmenetz		Stahlbedarf	PE-Bedarf	PUR-Bedarf
DN [mm]	Trassenlänge [m]	Kg	kg	kg
100	360,0	3.240,0	720,00	720,0
<b>Gesamt</b>	<b>360,0</b>	<b>3.240,0</b>	<b>720,00</b>	<b>720,0</b>

Neben den Materialkomponenten für das Wärmenetz wird nachfolgend der Materialbedarf für den Erdwärmespeicher / Aquiferspeicher, welcher in den Versorgungsvarianten V3Solark40, V4Solark20 und V4aBGSolar20 zum Einsatz kommt, ermittelt.

*Tabelle 39: Ermittlung Materialbedarf für Erdwärmespeicher Speichersdorf – eigene Berechnung auf Basis MaRes*

Erdwärmesondenspeicher			PE-Mantelrohr	PE-Bedarf
Variante	DN [m]	Gesamtsondenlänge	kg/m	kg
V3Solark40	0,25	23.000	1,00	23.000
V4Solark20	0,25	8.000	1,00	8.000
V4aBGSolar20	0,25	8.000	1,00	8.000

Die Emissionen des Erdwärmespeichers werden mit GEMIS aus dem Prozess für Polyethylen je kg für den gesamten Materialbedarf hochgerechnet.

## **9 Entwicklung und Anwendung eines Bewertungssystems für nachhaltiges/umwelttechnisches Optimum**

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit der untersuchten Versorgungsvarianten werden die entwickelten Indikatoren herangezogen und im Vergleich zur Referenzvariante aus fossilen Energieträgern gesetzt.

Input- und Outputindikatoren, Effizienz- und Bilanzindikatoren sollen auch dazu dienen bereits bestehende Projekte zu bewerten und ggfs. zu verbessern.

### **9.1 Nachhaltigkeitsanalyse**

Zur Entwicklung des Bewertungssystems wurde die von BASF entwickelte Ökoeffizienzanalyse herangezogen und für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren überarbeitet und weiter entwickelt.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Einzelindikatoren aufgeführt. Die Ergebnisse resultieren aus der Produktion der Gesamtnutzwärme der Versorgungsvarianten inklusive Netzverluste und Wärmeerzeuger ohne Wärmenetz und Erdwärmespeicher.

#### **9.1.1 Ergebnis Inputindikatoren Wärmeversorgungsvarianten**

Der Energie- und Rohstoffaufwand wird in kWh Energieeinheiten berechnet. Für die Produktion der Nutzwärme der verschiedenen Versorgungsvarianten ist der gemäß Tabelle 40 aufgeführte Energie- und Rohstoffaufwand für die jeweilige Versorgungsvariante notwendig.



Tabelle 40: Energieaufwand für Wärmeversorgungsvarianten eigene Berechnung auf Basis GEMIS

	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3Solark40	V4Solark20	V4aBG Solar20	V5VG1b	V5bVG1b Solar8	V6Geoth	Mitterteich
Abwärme andere	-0,76	-0,17	-0,13	-0,15	-0,15	-0,15	-0,06	-0,06	-0,12	0,00
Atomkraft nichterneuer bar	131.834,48	27.852,27	34.655,69	64.291,18	44.125,97	52.100,38	10.697,92	15.554,50	94.568,65	1.862,55
Biomasse- Anbau erneuerbar	20.790,58	59.111,69	704.716,15	57.718,44	58.370,18	461.931,17	35.094,68	34.927,88	18.032,15	8.571,81
Biomasse Reststoffe erneuerbar	32.952,47	11.799.899,40	11.569.193,8	6.955.639,64	9.478.597,33	9.145.304,45	7.321.503,10	6.715.985,60	46.310,30	1.729.190,91
Braunkohle nicht erneuerbar	21.310,40	41.673,04	50.291,60	48.109,37	44.751,96	50.383,09	24.419,37	25.218,62	208.535,32	6.077,89
Effizienz andere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eisen- Schrott andere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdgas nicht erneuerbar	6.009.194,13	89.843,44	104.867,25	149.297,57	118.669,11	129.687,93	50.829,17	58.169,37	102.246,58	213.197,93
Erdöl nicht erneuerbar	5.874.239,42	1.258.895,80	959.536,55	1.108.540,69	1.072.914,58	1.092.575,39	423.865,24	432.154,41	933.797,94	21.394,41
Erze nicht erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe-Schrott nicht erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Geothermie erneuerbar	2.273,33	3.014,79	2.769,06	3.565,33	3.267,11	3.156,68	1.726,45	1.797,94	11.800.408,80	422,11
Luft erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mensch- liche Arbeit erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineralien nicht erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Müll andere	10.627,03	22.369,26	21.911,73	27.484,54	24.862,91	24.693,83	13.129,29	13.756,72	37.800,22	3.260,13
NE-Schrott andere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Primär- energie (aggreg.) nicht erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sekundär- rohstoffe andere	18.737,55	19.475,92	18.593,64	19.732,25	19.681,26	18.985,53	11.813,20	11.824,91	19.521,88	2.883,94
Sonne erneuerbar	19.501,59	44.225,17	41.187,71	5.048.784,70	2.546.395,24	2.544.703,06	25.997,12	626.568,67	9.633,71	6.448,98
Steinkohle	121.452,72	140.817,22	145.326,72	230.012,41	185.543,21	187.923,74	84.499,68	95.117,27	304.683,14	20.719,91

nicht erneuerbar										
Wasser erneuerbar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wasser- kraft erneuerbar	19.214,88	15.791,61	15.230,68	39.776,40	27.582,11	27.611,22	8.801,40	11.727,77	14.473,53	2.156,60
Wind erneuerbar	40.895,56	92.474,97	86.728,64	101.705,02	96.861,63	93.707,72	54.351,23	55.512,42	25.905,02	13.481,29

Für genutzte Abwärme erfolgt eine Gutschrift, da durch die Nutzung Primärenergieträger eingespart werden. Der Hauptenergiebedarf entsteht bei der Verbrennung zur Wärmeerzeugung während der Nutzungsphase. Für die Variante V1 ÖlGas aus Erdöl und Erdgas. Für die Varianten V2 – V6 und Mitterteich fällt ein wesentlich geringerer Erdölanteil für die Spitzenlastversorgung an. Der Hauptanteil für die Wärmeerzeugung stammt aus nachwachsender Biomasse bzw. Solar- und Geothermie. Der unterschiedliche Biomasseanteil resultiert aus dem solaren Deckungsanteil der keine Primärenergieträger für die Wärmeerzeugung (lediglich Betriebsstrom) benötigt. Der Atomkraft- und Braunkohleanteil in den Varianten resultiert aus dem Hilfsenergieeinsatz (Betriebsstrom) für die Wärmeversorgungsvarianten. Aus dem folgenden Diagramm ist ersichtlich, dass die Geothermieanlage in der Variante 6 den mit Abstand geringsten Energie- und Rohstoffaufwand benötigt. Die Summe des nicht erneuerbaren Anteils resultiert aus dem Stromverbrauch für den Anlagenbetrieb.

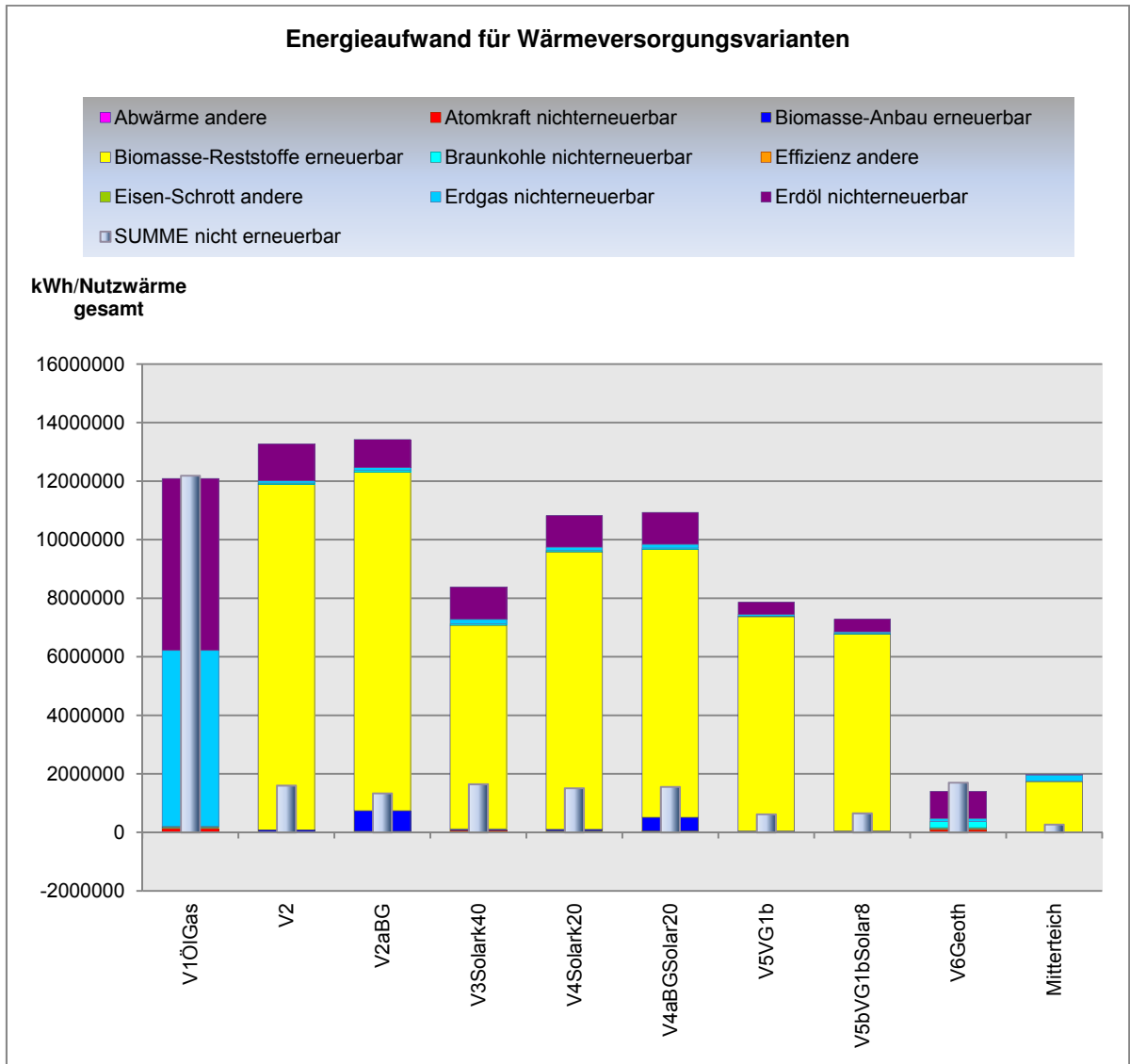


Abbildung 69: Vergleich Energieaufwand in kWh für die gesamte erzeugte Nutzwärme der Versorgungsvarianten V1-6 und Mitterteich - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Die Summe des kumulierten Energieaufwands ist bei der dezentralen Variante 1ÖlGas geringer als bei den Varianten V2-4 und 6, weil hierfür die Netzverluste mit gerundet 2.100 MWh zur Erzeugung der Gesamtnutzwärme von 10.500 MWh entfallen. Diese müssen in den anderen Varianten mit insgesamt 12.600 MWh erzeugt werden. Die Varianten 5 und 5b versorgen das kleinere Versorgungsgebiet 1a Speichersdorf und benötigen inklusive Netzverlust 7.500 MWh Nutzwärme. Das Projekt Mitterteich benötigt insgesamt 1.878 MWh Nutzwärme und daher den geringsten Energiebedarf.

Vergleicht man die Versorgungsvarianten 1-4 für das große Versorgungsgebiet Speichersdorf, benötigt die Variante 6 Geothermie den geringsten Energiebedarf, da außer für die Erzeugung des Betriebsstroms keine Primärenergieträger aufgewendet werden. Allerdings wird der verbleibende Energiebedarf für die Spitzenlastversorgung

und den Betriebsstrom hauptsächlich aus nicht erneuerbaren Energieträgern erzeugt. In den Varianten 2 und 2a wird die Nutzwärme hauptsächlich aus Holzhackschnitzeln erzeugt. Daher ist der Anteil des erneuerbaren kumulierten Energieaufwands um den Betrag des solaren Deckungsanteils der Varianten V3Solark40 und V4Solark20, höher.

Vergleicht man in Summe den Anteil des kumulierten Energieaufwands, welcher erneuerbar und nicht erneuerbar ist, ergibt sich folgendes Bild.

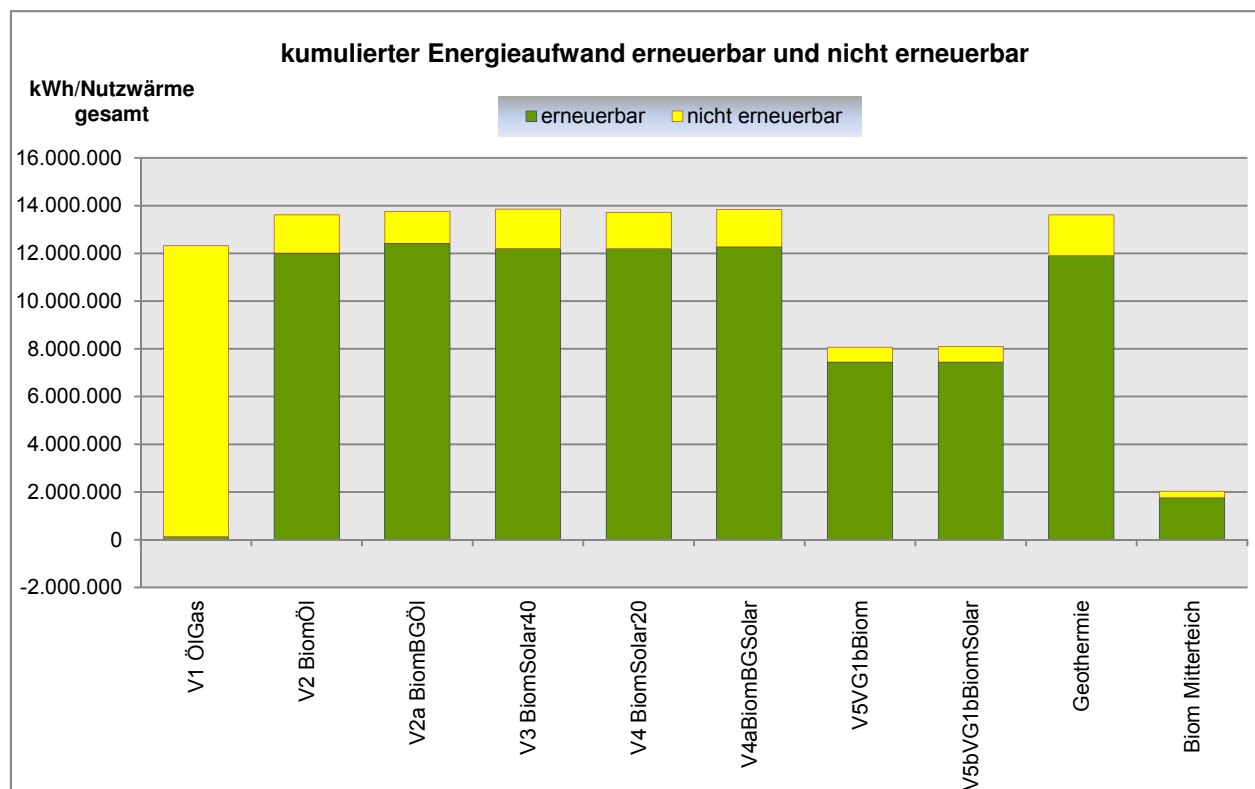


Abbildung 70: Vergleich kumulierter Energieaufwand erneuerbar und nicht erneuerbar der Versorgungsvarianten V1-6 und Mitterteich - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Erwartungsgemäß hat das Referenzszenario aufgrund der Wärmeerzeugung aus Heizöl und Erdgas den größten Anteil am nicht erneuerbaren Energieaufwand. Die Varianten 2-4 und 6 haben aufgrund des Spitzenlastanteils mit 700 bzw. 800 MWh den nahezu gleich großen nicht erneuerbaren Energieaufwand. Der erneuerbare Energieaufwand resultiert in der Variante 2-4 aus der Wärmeerzeugung aus Holzhackschnitzeln, Biogas und Solarthermie und in der Variante 6 aus Geothermie.

Addiert man zu den Versorgungsvarianten den kumulierten Energieaufwand zur Herstellung des Wärmenetzes hinzu und stellt diese gegenüber, ergibt sich folgendes Bild.

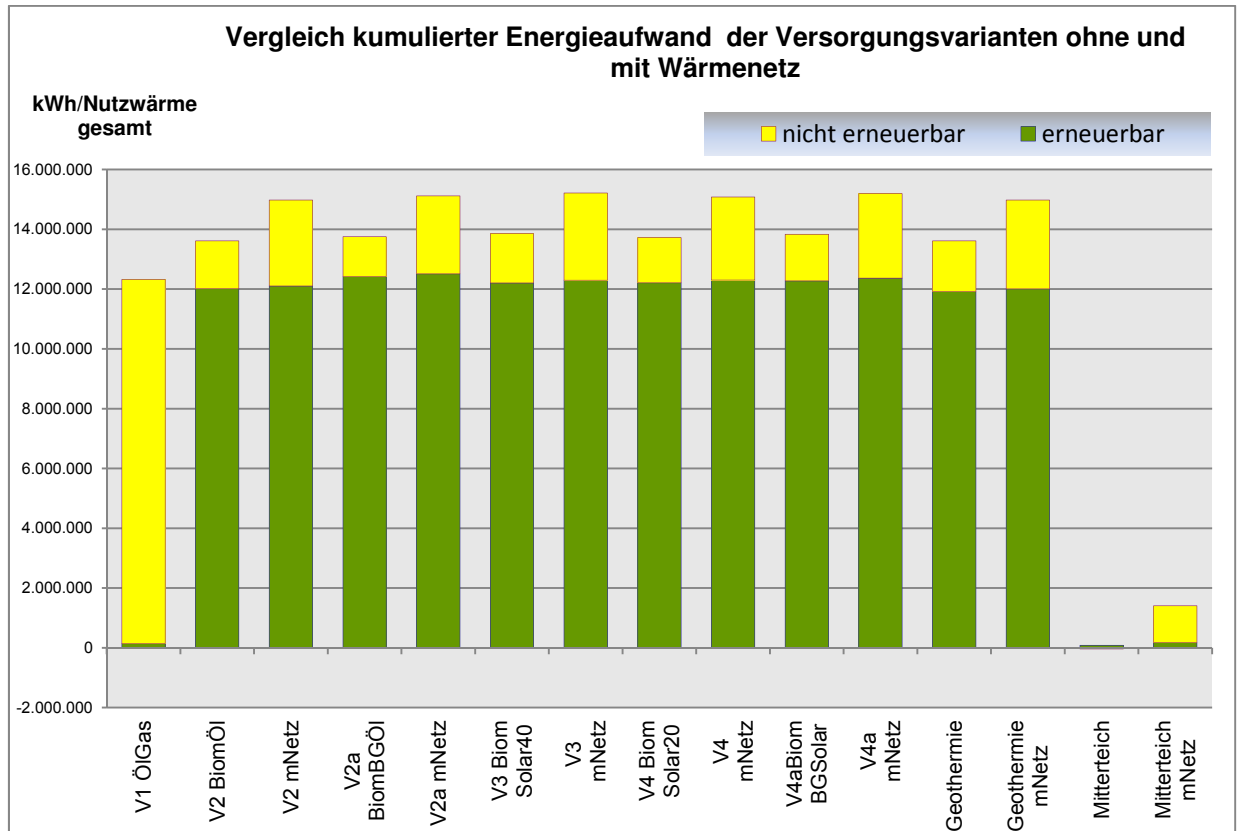
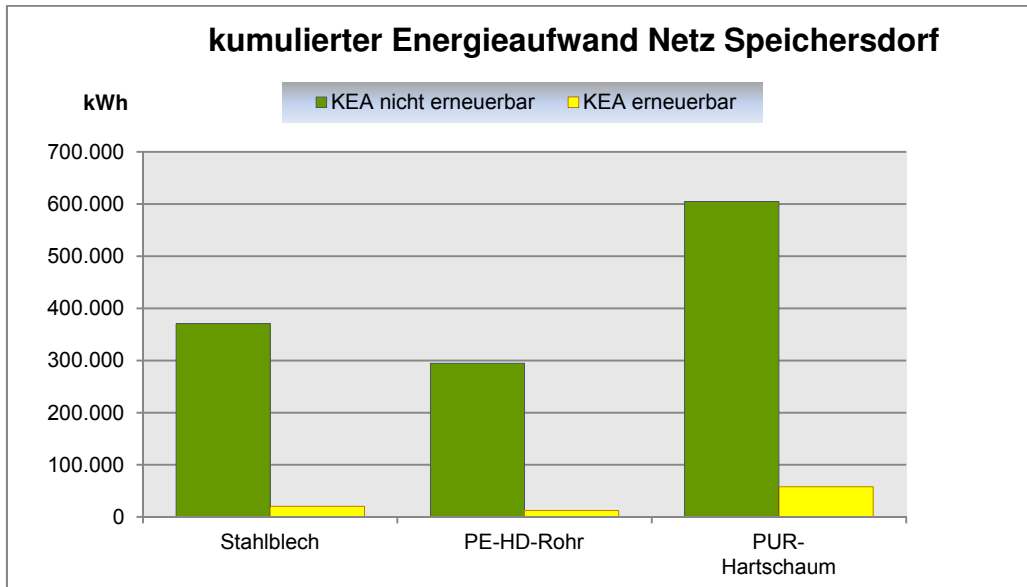


Abbildung 71: Vergleich kumulierter Energieaufwand der Wärmeversorgungsvarianten V1-4, 6 und Mitterteich ohne und mit Wärmenetz - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass der Herstellungsaufwand für das Wärmenetz ausschließlich den kumulierten Energieaufwand aus nicht erneuerbaren Energien erhöht. Durch das Nahwärmenetz verschlechtert sich der KEA im Vergleich zum Referenzszenario. Vergleicht man die verschiedenen Netze miteinander ist ersichtlich, dass lange Netze mit einer niedrigen Wärmeabnahmedichte, bezogen auf die kWh Nutzwärme, einen höheren KEA als kompakte Netze mit hoher Abnahmedichte aufweisen.

Daher sind Nahwärmenetze mit einem Mindestwärmedurchsatz von 1.500 kWh/m Trasse Bedingung für eine nachhaltige Energieversorgung.

Betrachtet man die Materialkomponenten des angenommenen Wärmenetzes aus Kunststoffmantelrohr, zeigt sich, dass die Wärmedämmung aus PUR-Hartschaum nahezu den doppelten KEA wie Stahlblech und PE-HD-Rohr aufweist. Hiervon sind über 90 % nicht erneuerbar (siehe Abbildung 72).



*Abbildung 72: Vergleich des kumulierten Energieaufwands der Material-komponenten Stahlblech, PE-HD-Rohr und PUR-Hartschaum für Wärmenetz Speichersdorf – eigene Berechnung auf Basis GEMIS*

Somit hat die Materialkomponente PUR-Hartschaum den größten Anteil am kumulierten Energieaufwand im Wärmenetz. Der Einsatz umweltfreundlicher Dämmstoffe mit entsprechend effizienten Produktionstechniken könnte zur Reduzierung des KEA beitragen.

### 9.1.2 Ergebnis Outputindikatoren

Die Emissionen der Nahwärmeversorgungsvarianten welche in die Luft abgegeben werden, setzen sich im Wesentlichen aus den Treibhausgasen (siehe Abbildung 73) und den Luftschadstoffen (siehe Abbildung 74) zusammen. Die einzelnen Schadstoffe werden in den jeweiligen Äquivalenten zusammengefasst. Für die weiteren Betrachtungen werden daher die Outputindikatoren der Summen-Äquivalente herangezogen.

#### 9.1.2.1 Treibhausgase und Luftschadstoffe der Wärmeversorgungsvarianten

Die Emissionen der einzelnen Treibhausgase sind in der nachfolgenden Tabelle 41 Tabelle 42 dargestellt.

**Tabelle 41: Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgungsvarianten 1-4 auf Basis GEMIS**

THG kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent/ kWh Nutzwärme gesamt	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4aBG Solar20
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,89E+06	4,36E+05	4,00E+05	4,90E+05	4,33E+05	4,67E+05
CO <sub>2</sub>	2,80E+06	4,20E+05	3,49E+05	4,52E+05	4,06E+05	4,18E+05
CH <sub>4</sub>	3,01E+03	3,04E+02	5,85E+02	5,98E+02	4,46E+02	6,31E+02
N <sub>2</sub> O	3,06E+01	2,64E+01	1,21E+02	2,50E+01	2,53E+01	8,48E+01
SUMME	5,69E+06	8,57E+05	7,50E+05	9,43E+05	8,40E+05	8,85E+05

**Tabelle 42: Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgungsvarianten 5, 6 und Mitterteich auf Basis GEMIS**

THG kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent/ kWh Nutzwärme gesamt	V5VG1b	V5bVG1b Solar8	V6 Geoth	Mitterteich
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	1,71E+05	1,85E+05	5,00E+05	6,13E+04
CO <sub>2</sub>	1,62E+05	1,73E+05	4,86E+05	5,68E+04
CH <sub>4</sub>	1,67E+02	2,03E+02	4,22E+02	1,30E+02
N <sub>2</sub> O	1,46E+01	1,46E+01	1,32E+01	3,98E+00
SUMME	3,33E+05	3,58E+05	9,86E+05	1,18E+05

Von den Wärmeversorgungsvarianten fallen bei V2aBG durch den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung für das große Versorgungsgebiet die geringsten Treibhausgasemissionen an. Durch den Emissionsanteil, welcher bei der Herstellung der Solarkollektoren entsteht, sind die THG-Emissionen höher als bei der Wärmeerzeugung aus Biomasse. Wegen des geringeren Wärmebedarfs und den höheren Wärmeabnahmedichten, fallen bei den Varianten 5 und Mitterteich entsprechend weniger Emissionen an (siehe Abbildung 73).

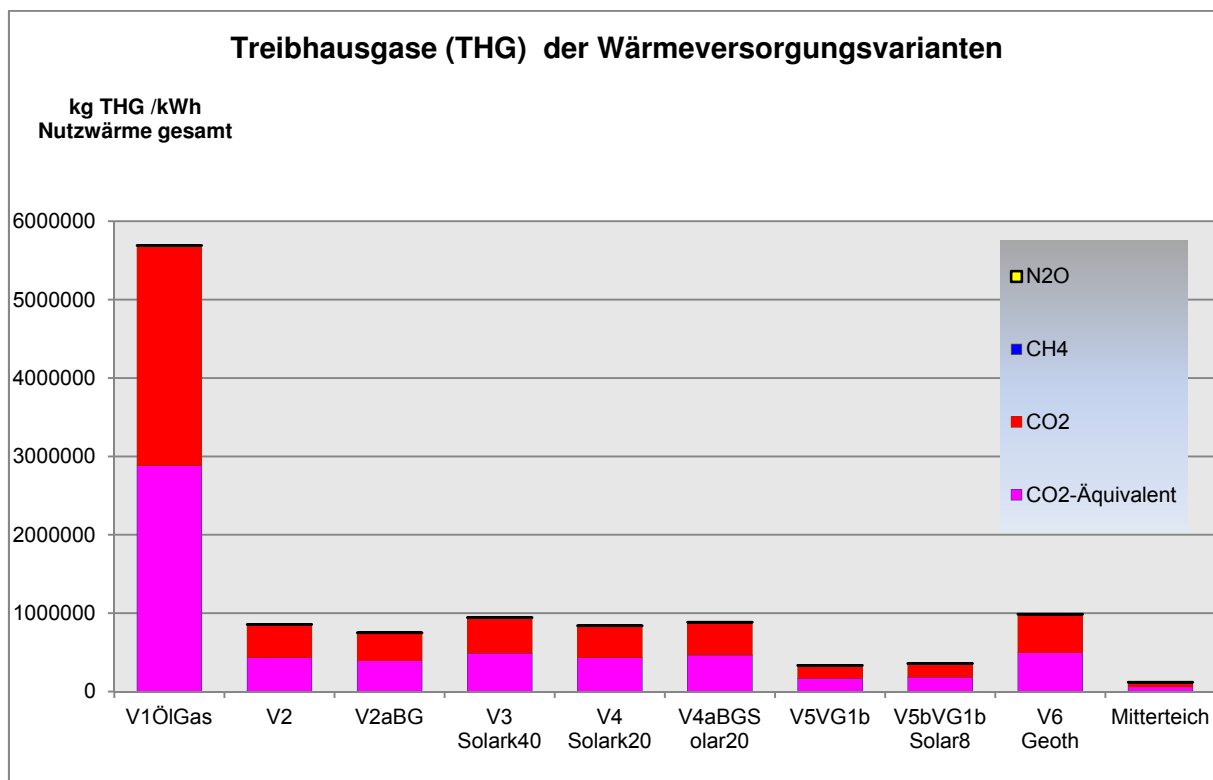


Abbildung 73: Treibhausgase / CO<sub>2</sub>-Äquivalent - Summe der einzelnen Schadgase N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und Hauptemittent CO<sub>2</sub> der Wärmeversorgungsvarianten - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Die Luftschadstoffe der Wärmeversorgungsvarianten sind in der Tabelle 43 und der Tabelle 44 aufgeführt.

Tabelle 43: Luftschadstoffe der Wärmeversorgungsvarianten 1-4 auf Basis GEMIS

kg Luftschadstoffe/ kWh Nutzwärme gesamt	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4aBG Solar20
TOPP-Äquivalent	2,99E+03	3,29E+03	3,47E+03	2,83E+03	3,05E+03	3,18E+03
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,11E+03	3,27E+03	4,28E+03	2,78E+03	3,02E+03	3,66E+03
SO <sub>2</sub>	7,15E+02	1,57E+03	1,56E+03	1,37E+03	1,47E+03	1,46E+03
NO <sub>x</sub>	2,00E+03	2,25E+03	2,41E+03	1,88E+03	2,06E+03	2,17E+03
HCl	1,28E+00	1,29E+02	1,25E+02	8,54E+01	1,09E+02	1,04E+02
HF	1,22E-01	1,66E-01	2,21E-01	3,89E+00	2,03E+00	2,06E+00
Staub	1,55E+02	2,24E+02	2,27E+02	3,20E+02	2,72E+02	2,74E+02
CO	1,75E+03	3,09E+03	3,00E+03	2,92E+03	3,01E+03	2,94E+03
NM VOC	3,17E+02	2,08E+02	1,98E+02	1,99E+02	1,99E+02	2,01E+02
H <sub>2</sub> S	2,80E-02	4,20E-01	4,02E-01	2,56E-01	3,42E-01	3,24E-01
NH <sub>3</sub>	3,39E+00	8,89E+00	4,96E+02	8,23E+00	8,57E+00	3,13E+02



*Tabelle 44: Luftschadstoffe der Wärmeversorgungsvarianten 5,6 und Mitterteich auf Basis GEMIS*

kg Luftschadstoffe/ kWh Nutzwärme gesamt	V5VG1b	V5bVG1b Solar8	V6 Geoth	Mitterteich
TOPP-Äquivalent	1,94E+03	1,89E+03	7,67E+02	5,13E+02
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	1,94E+03	1,88E+03	6,20E+02	4,79E+02
SO <sub>2</sub>	9,35E+02	9,11E+02	2,49E+02	2,13E+02
NO <sub>x</sub>	1,33E+03	1,29E+03	5,00E+02	3,55E+02
HCl	8,03E+01	7,48E+01	3,28E+00	1,90E+01
HF	9,61E-02	5,43E-01	3,12E-01	2,29E-02
Staub	1,33E+02	1,45E+02	7,94E+01	3,12E+01
CO	1,87E+03	1,85E+03	8,28E+02	4,60E+02
NMVOC	1,11E+02	1,11E+02	5,93E+01	2,79E+01
H <sub>2</sub> S	2,60E-01	2,40E-01	1,20E-02	6,22E-02
NH <sub>3</sub>	5,33E+00	5,25E+00	1,01E+01	1,30E+00

Die Messung von Luftschadstoffen erfolgt in Anlehnung an die TA-Luft<sup>24</sup> 2002 unter Einhaltung der europäischen und nationalen Normen. Im Anhang ist eine vom Landesamt für Umwelt in Sachsen-Anhalt erstellte Übersicht mit den relevanten Normen exemplarisch aufgeführt (Landesamt für Umwelt in Sachsen-Anhalt).

Durch den Verbrennungsvorgang entstehen bei der Variante 1 durch die Ersparnis der Netzverluste weniger Emissionen als bei den Varianten 2-4a. Die Variante V3Solark40 und V4Solark20 erzeugt aufgrund des solaren Deckungsanteils weniger Luftschadstoffe als die Varianten V2, V2aBG und V4aBG. Bei der Variante V6 Geoth fallen durch die ersparten Primärenergieträger aufgrund der geothermalen Wärmenutzung im Verhältnis am wenigsten Luftschadstoffe an (siehe Abbildung 74).

<sup>24</sup> TA-Luft: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

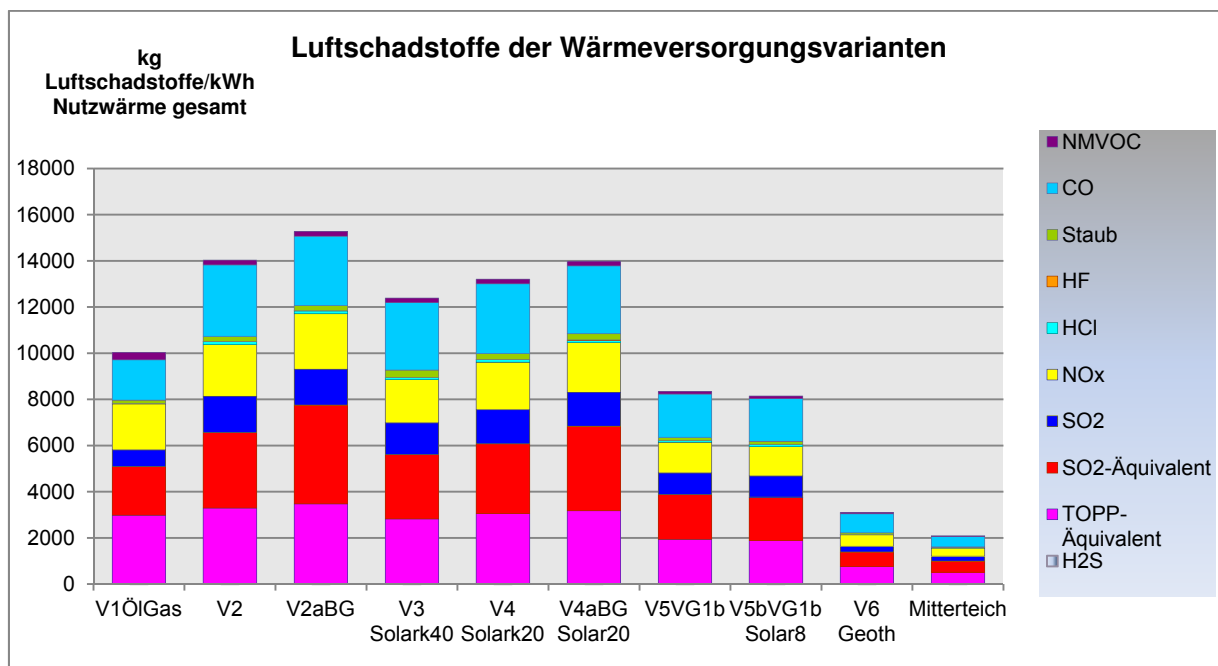


Abbildung 74: Luftschadstoffe /  $SO_2$ -Äquivalent - Summe der einzelnen Schadgase NO, HF, HCl und Hauptemittent  $SO_2$  sowie TOPP-Äquivalent - Schadgas NMVOC der Wärmeversorgungsvarianten - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.2 $CO_2$ -Äquivalent, $SO_2$ -Äquivalent, TOPP- Äquivalent Wärmeversorgungsvarianten

Die Ergebnisse der Äquivalente sind in Tabelle 45 und Tabelle 46 dargestellt. Die  $CO_2$ -Emissionen sind aufgrund des Verbrennungsprozesses zur Wärmeerzeugung bei den Versorgungsvarianten um den Faktor 1.000.000 höher als die Emissionen der  $SO_2$  und TOPP-Äquivalente. Deshalb gilt  $CO_2$  als das maßgebliche Klimagas. Hierbei hat die Variante 1 mit 2,89 Mio. kg  $CO_2$ -Äquivalent den höchsten Ausstoß an Treibhausgasen.

Tabelle 45:  $CO_2$ -,  $SO_2$ -, TOPP-Äquivalent der Wärmeversorgungsvarianten V1-4 auf Basis GEMIS

kg Äquivalent/ Nutzwärme gesamt	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3Solarark40	V4Solarark20	V4aBGSolar20
TOPP-Äquivalent	2.986,84	3.294,57	3.472,44	2.825,36	3.052,76	3.177,37
$SO_2$ -Äquivalent	2.112,25	3.267,56	4.277,07	2.782,10	3.023,34	3.657,01
$CO_2$ -Äquivalent	2.885.872,91	436.235,29	399.961,61	490.077,17	433.074,94	466.792,67

Tabelle 46: CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- TOPP-Äquivalent der Wärmeversorgungsvarianten V5-6 und Mitterteich auf Basis GEMIS

kg Äquivalent/ Nutzwärme gesamt	V5VG1b	V5bVG1bSolar8	V6Geoth	Mitterteich
TOPP-Äquivalent	1.939,88	1.885,28	766,80	513,18
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	1.940,68	1.882,77	620,09	479,28
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	170.870,97	184.545,95	500.192,22	61.300,60

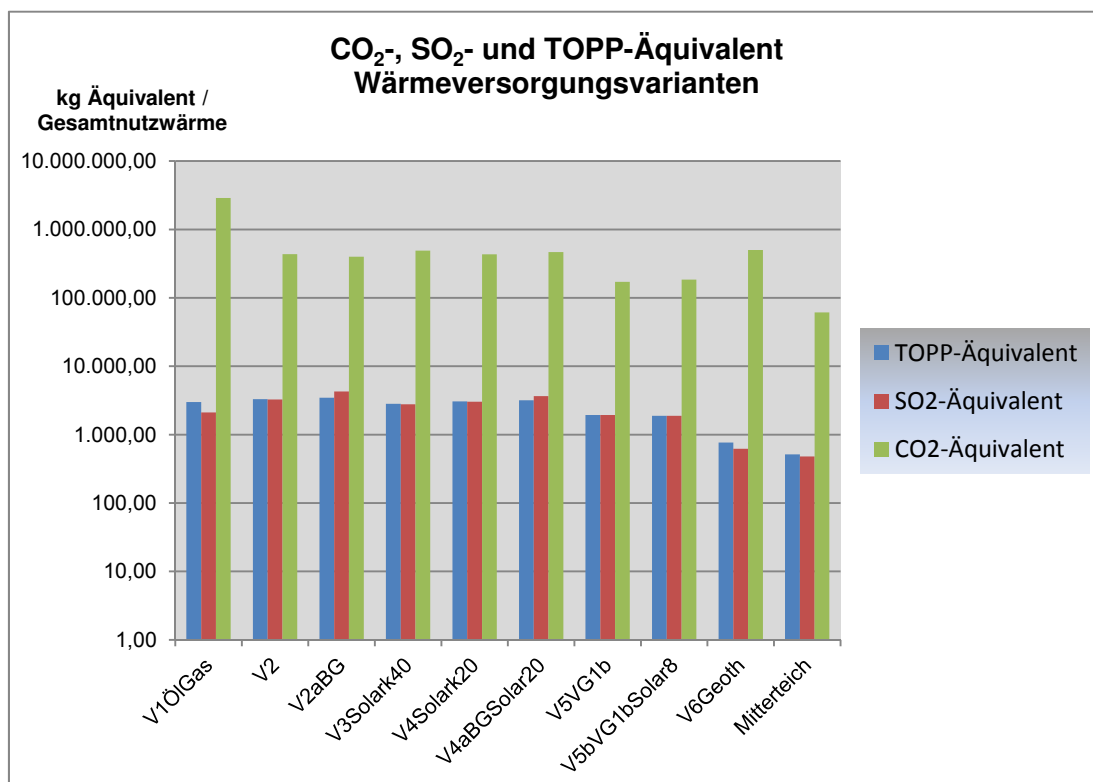


Abbildung 75: CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und TOPP- Äquivalent der Wärmeversorgungs-varianten – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

### 9.1.2.3 CO<sub>2</sub>-Äquivalent, SO<sub>2</sub>-Äquivalent, TOPP- Äquivalent Wärmenetz

#### Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf

Die Herstellung des Wärmenetzes Speichersdorf für das Versorgungsgebiet 1, Ausführung als Kunststoffmantelrohr mit einer Gesamtlänge von 10.828 m, verursacht den folgenden Schadstoffausstoß in kg CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>-, und Topp-Äquivalent.

Tabelle 47: CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>-, TOPP-Äquivalent Wärmenetz Speichersdorf auf Basis GEMIS

kg Äquivalent /Gesamtnetz	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	TOPP-Äquivalent	CO <sub>2</sub> -Äquivalent
Stahlblech	295,61	453,07	113496,08
PEHD-Rohr	90,95	0,00	46793,50
PUR-Hart-schaum	166,30	260,46	87080,81
Summe	552,85	713,53	247370,39

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss liegt auch hier um den Faktor 100.000 höher im Vergleich zum SO<sub>2</sub>- und TOPP-Äquivalent. Hiervon verursacht die Herstellung des PEHD-Rohrs am wenigsten Emissionen (siehe *Abbildung 76*).

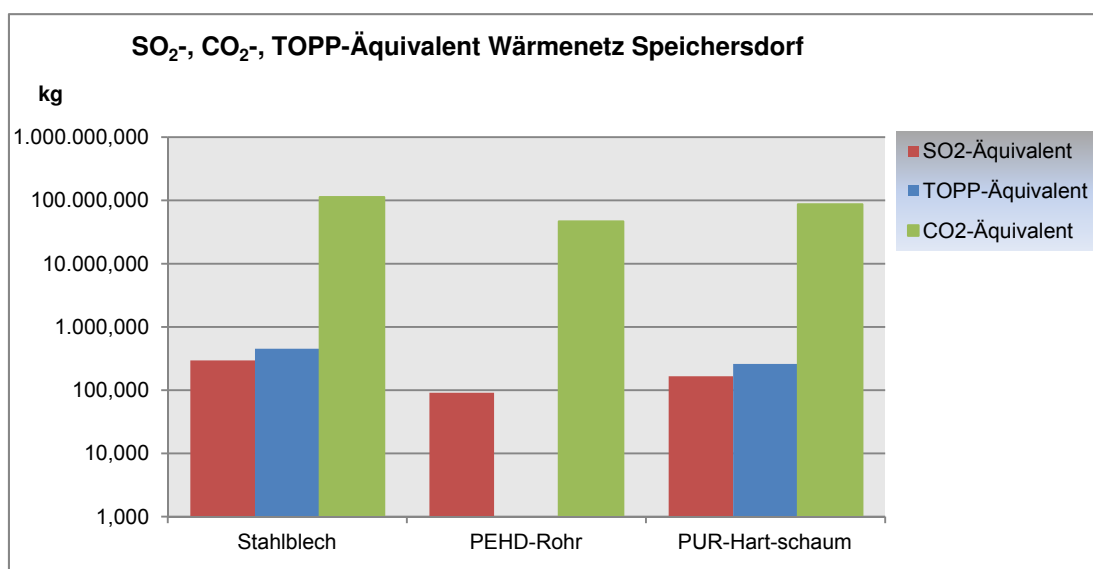


Abbildung 76: CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und TOPP-Äquivalent Wärmenetz Speichersdorf – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.4 Abwasserbelastung Wärmeversorgungsvarianten

Die Ergebnisse des Outputindikators Abwasser für die gesamte erzeugte Nutzwärme der einzelnen Wärmeversorgungsvarianten sind nachfolgend dargestellt.

Tabelle 48: Abwasseremissionen der Wärmeversorgungsvarianten V1-V4 auf Basis GEMIS

kg Abwasser- menge/ kWh Nutzwärme gesamt	V1 ÖIGas	V2 BiomÖl	V2a BiomBGÖl	V3 Biom Solar40	V4 Biom Solar20	V4aBiom BGSolar
P <sup>25</sup>	6,15E-02	1,34E-02	1,03E-02	1,28E-02	1,19E-02	1,21E-02
N <sup>26</sup>	3,61E+00	8,02E-01	6,16E-01	7,59E-01	7,13E-01	7,24E-01
AOX <sup>27</sup>	4,71E-03	1,32E-03	1,07E-03	1,21E-03	1,18E-03	1,18E-03
CSB <sup>28</sup>	7,26E+02	7,83E+02	7,47E+02	8,76E+02	8,32E+02	8,05E+02
BSB <sub>5</sub> <sup>29</sup>	2,10E+01	2,22E+01	2,12E+01	2,56E+01	2,40E+01	2,32E+01
anorg. Salze <sup>30</sup>	2,06E+02	4,31E+02	6,95E+03	2,00E+03	1,22E+03	5,29E+03
As (Abwasser) <sup>31</sup>	3,16E-08	1,73E-06	1,66E-06	1,05E-06	1,41E-06	1,33E-06
Cd (Abwasser) <sup>32</sup>	7,72E-08	4,23E-06	4,05E-06	2,57E-06	3,44E-06	3,26E-06
Cr (Abwasser) <sup>33</sup>	7,63E-08	4,19E-06	4,00E-06	2,54E-06	3,40E-06	3,22E-06
Cu (Abwasser) <sup>34</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fette (Abwasser) <sup>35</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg (Abwasser) <sup>36</sup>	3,86E-08	2,12E-06	2,02E-06	1,29E-06	1,72E-06	1,63E-06
Ni (Abwasser) <sup>37</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PAH (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pb (Abwasser)	5,03E-07	2,76E-05	2,64E-05	1,68E-05	2,24E-05	2,12E-05
PCDD/F (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Zn (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
SUMME	9,57E+02	1,24E+03	7,72E+03	2,90E+03	2,07E+03	6,12E+03

<sup>25</sup> P: Phosphor: - Bestimmung ausgewählter Organischer Stickstoff- und Phosphorverbindungen mit Gaschromatographischen Verfahren gem. DIN EN ISO 10695 \*Quelle: ( Bayerisches Staatsministerium für Umwelt - stmug)

<sup>26</sup> N: Stickstoff – Die Ermittlung des Gehalts an Ammonium-Stickstoff erfolgt nach der Bestimmungsvorschrift DIN 38406 Teil 6 und des Nitrat- und Nitritstickstoffgehalts nach DIN-EN-ISO 10304-1 bzw. DIN-EN 26777 sowie DIN EN ISO 13395\*

<sup>27</sup> AOX: Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene, Summe der an Aktivkohle adsorbierbaren organischen Halogene (Chlor-, Brom- und Jodverbindungen). Bestimmungsmethode gemäß DIN EN ISO 9562.\*

<sup>28</sup> CSB: Chemischer Sauerstoffbedarf – Maß für alle im Abwasser vorhandenen oxidierbaren Stoffe (Schmutzfracht). Die CSB-Bestimmung erfolgt nach DIN 38409 Teil 41 (Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen).\*

<sup>29</sup> BSB<sub>5</sub>: Biologischer Sauerstoffbedarf – Maß für die Schmutzfracht im Abwasser, gibt die Menge an Sauerstoff an, die zum Abbau der organischen Verbindungen im Abwasser notwendig ist (Bestimmung nach n Tagen gemäß DIN 1899).\*

<sup>30</sup> Anorganische Salze: wie z. B. Nitrate und Sulfate Bestimmung gem. DIN 38405 Teil 5 und Teil 9\*

<sup>31</sup> As: Arsen - Bestimmung mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) nach DIN EN ISO 11969\*

<sup>32</sup> Cr: Chrom - Bestimmungsvorschrift nach DIN 38405 Teil 26 photometrische Bestimmung von Chrom (VI)\*

<sup>33</sup> Cd: Cadmium – Bestimmungsmethode DIN EN ISO 5961 durch (AAS)\*

<sup>34</sup> Cu: Kupfer - Bestimmungsvorschrift nach DIN 38406 Teil 8 mittels (AAS)\*

<sup>35</sup> Fette: Bestimmung von organischen Fettsäuren gemäß DIN 38414 Teil 19\*

<sup>36</sup> Hg: Quecksilber - Bestimmung Wasserbeschaffenheit nach DIN EN 1483\*

<sup>37</sup> Ni: Nickel - Bestimmungsvorschrift nach DIN 38406 Teil 13 mittels (AAS)\*

Tabelle 49: Abwasseremissionen der Wärmeversorgungsvarianten V5-6 und Mitterteich auf Basis GEMIS

kg Abwassermenge/ kWh Nutzwärme gesamt	V5VG1b Biom	V5bVG1b BiomSolar	V6 Geoth	Mitterteich
P	4,57E-03	4,77E-03	9,64E-03	2,53E-04
N	2,78E-01	2,89E-01	5,66E-01	1,72E-02
AOX	5,39E-04	5,46E-04	9,09E-04	6,77E-05
CSB	4,74E+02	4,84E+02	7,39E+02	1,16E+02
BSB <sub>5</sub>	1,34E+01	1,38E+01	2,08E+01	3,27E+00
anorg. Salze	2,54E+02	4,43E+02	1,97E+02	6,01E+01
As (Abwasser)	1,07E-06	9,88E-07	4,71E-08	2,54E-07
Cd (Abwasser)	2,62E-06	2,41E-06	1,15E-07	6,20E-07
Cr (Abwasser)	2,59E-06	2,39E-06	1,14E-07	6,13E-07
Cu (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fette (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg (Abwasser)	1,31E-06	1,21E-06	5,75E-08	3,10E-07
Ni (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PAH (Abwasser) <sup>38</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pb (Abwasser) <sup>39</sup>	1,71E-05	1,57E-05	7,50E-07	4,04E-06
PCDD/F <sup>40</sup> (Abwasser)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Zn (Abwasser) <sup>41</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
SUMME	7,42E+02	9,41E+02	9,58E+02	1,79E+02

Die meisten Abwasseremissionen weisen die Varianten 2aBiomBGÖI mit 7.717 kg und 4aBiomBGSolar mit 6.119 kg auf. Diese stammen aus der Biogasproduktion, und zeigen sich vor allem im Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB), im biologischen Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) und in den anorganischen Salzen.

Die geringsten Abwasseremissionen bezogen auf die Nutzwärmeerzeugung für das Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf, weist die Variante V6 Geoth mit 957 kg auf. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 77 dargestellt.

<sup>38</sup> PAH: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Organische Schadstoffe aus unvollständiger Verbrennung auch PAK genannt, Bestimmung nach DIN 38407 Teil 9 und 39\*

<sup>39</sup> Pb: Blei - Bestimmungsvorschrift nach DIN 38406 Teil 7 mittels (AAS)\*

<sup>40</sup> PCDD/F: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane, Bestimmung nach DIN 38414 - 24

<sup>41</sup> Zn: Zink - Bestimmung gemäß DIN 38406 Teil 11\*

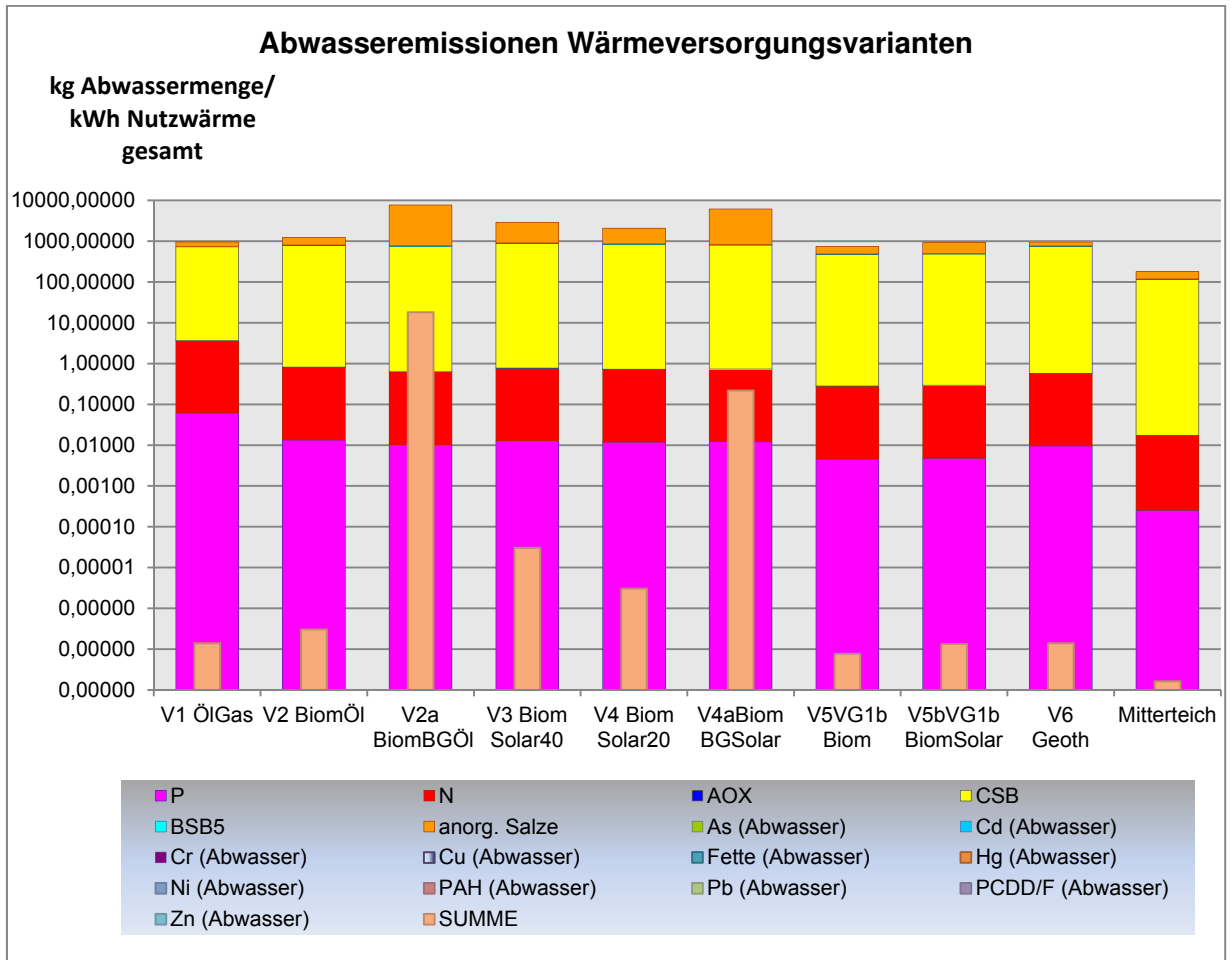


Abbildung 77: Abwasseremissionen Wärmeversorgungsvarianten eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Nachfolgend wird die Abwasserbelastung umgerechnet auf 1 kWh Nutzwärme dargestellt, um die Variante mit den größten Abwasseraufkommen besser herauszustellen. Am meisten Abwasser entsteht bei der Biogasnutzung und Solarkollektorherstellung.

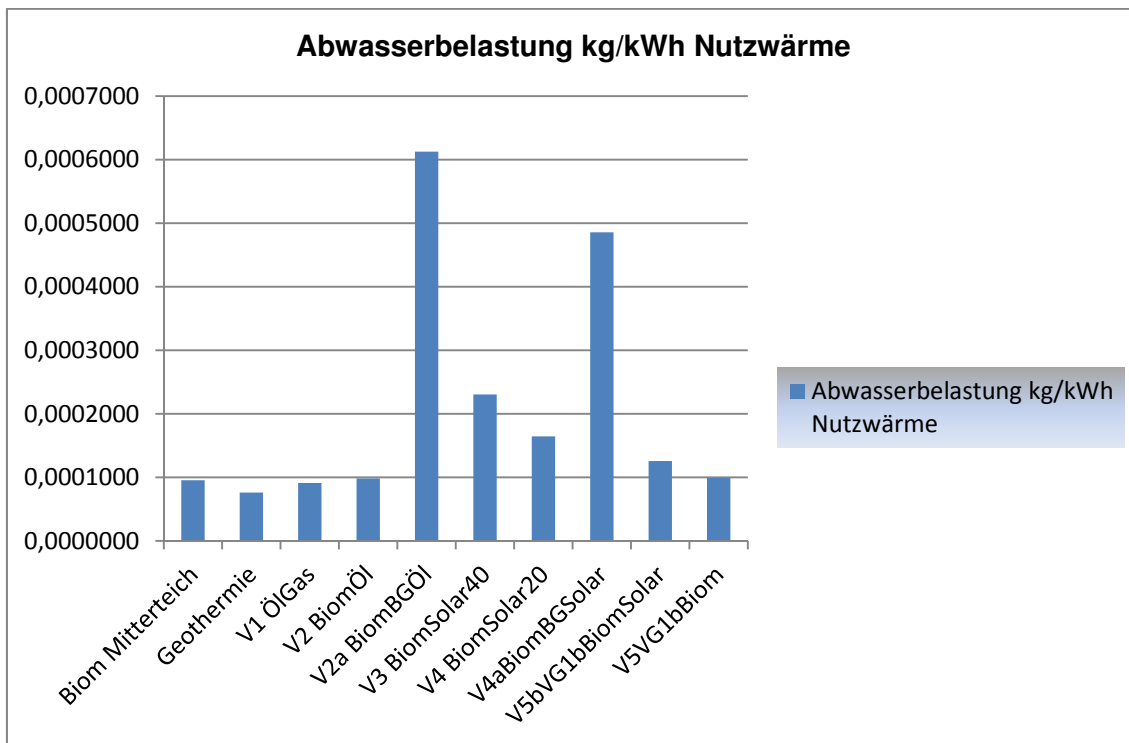


Abbildung 78: Abwasserbelastung der Wärmeversorgungsvarianten je kWh Nutzwärme – eigene Berechnung und Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.5 Abwasseremissionen Wärmenetz Speichersdorf

Die ermittelten Abwasseremissionen für das Wärmenetz sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 50: Abwasseremissionen Wärmenetz Speichersdorf auf Basis GEMIS

Abwasser-emission	Stahlblech	PE-HD-Rohr	PUR-Hartschaum
P	0,00024692	1,2462817	0,004795
N	0,01453505	0,01138534	0,281463273
AOX	0,00050324	1,5521E-07	0,00035731
CSB	1750,17272	3,34435849	31,2026928
BSB <sub>5</sub>	49,0914831	0,3788289	0,954634928
anorg. Salze	19,6728275	1,97925849	508,7625504
As (Abwasser)	4,8439E-10	8,3913E-11	1,5154E-08
Cd (Abwasser)	1,183E-08	2,049E-10	3,70201E-08
Cr (Abwasser)	1,1702E-08	2,0272E-10	3,66015E-08
Hg (Abwasser)	5,9176E-09	1,0248E-10	1,85057E-08
Pb (Abwasser)	7,7145E-08	1,3366E-09	2,41292E-07

Den Hauptanteil der Abwasseremissionen macht der CSB und Stickstoff (N) bei der Stahlblechherstellung aus. Die PUR-Hartschaum Produktion verursacht hauptsächlich



CSB, Stickstoff, Phosphor (P) und anorganische Salze. Bei der PE-HD-Rohr-Herstellung bilden Phosphor, CSB und anorganische Salze die Hauptemissionen (siehe Abbildung 79).

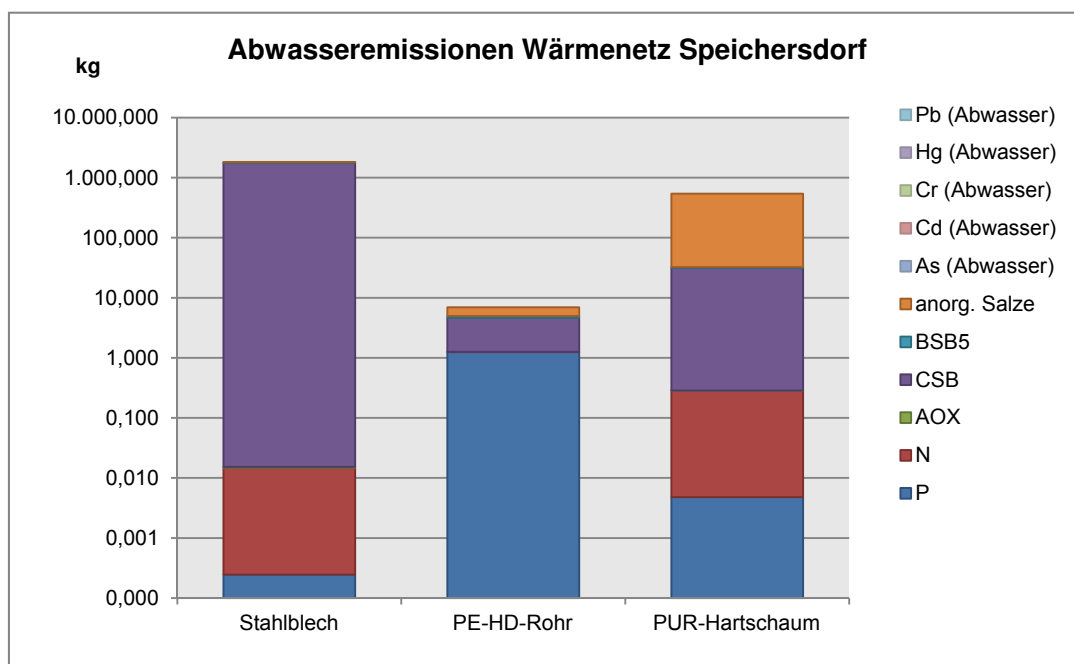


Abbildung 79: Abwasseremissionen Wärmenetz Speichersdorf - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.6 Abfallaufkommen Wärmeversorgungsvarianten

Die Abfallemissionen der Wärmeversorgungsvarianten bezogen auf die erzeugte gesamte Nutzwärme sind nachfolgend dargestellt (siehe Tabelle 51 und Tabelle 51).

Tabelle 51: Abfallaufkommen der Wärmeversorgungsvarianten V1-V4 auf Basis GEMIS

kg Abfälle / kWh Nutzwärme gesamt	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4aBG Solar20
Asche	2116,73	3980,10	4639,50	6209,51	5082,28	5518,58
REA-Reststoff	473,26	703,54	773,11	875,17	785,29	836,45
Klärschlamm	303,17	68,25	52,69	65,83	61,38	62,27
Produktionsabfall	10.886,55	325.377,48	342.145,46	805.198,41	567.997,13	573.395,79
Abraum	181.070,63	289.299,04	333.663,71	1.514.634,54	901.510,19	929.940,38
Aschen-Schlacken zur Verwertung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gülle (Reststoff)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Müll-atomar (hochaktiv)	0,22	0,05	0,05	0,11	0,07	0,08
Stapelmist	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	194.850,55	619.428,44	681.274,53	2.326.983,57	1.475.436,34	1.509.753,55

*Tabelle 52: Abfallaufkommen der Wärmeversorgungsvarianten V5, 6 und Mitterteich auf Basis GEMIS*

kg Abfälle / kWh Nutzwärme gesamt	V5VG1b	V5bVG1b Solar8	V6 Geoth	Mitterteich
Asche	2.330,94	2.601,45	9.448,68	575,92
REA-Reststoff	406,67	428,22	2.597,35	98,88
Klärschlamm	23,92	24,99	48,16	1,59
Produktionsabfall	201.678,46	258.606,14	10.984,70	47.663,27
Abraum	171.090,74	318.188,42	1.133.008,65	42.395,37
Aschen-Schlacken zur Verwertung	0,00	0,00	0,00	0,00
Gülle (Reststoff)	0,00	0,00	0,00	0,00
Müll-atomar (hochaktiv)	0,02	0,03	0,32	0,00
Stapelmist	0,00	0,00	0,00	0,00
SUMME	375.530,76	579.849,24	1.156.087,86	90.735,03

Die meisten Abfälle fallen bei der Variante 3 durch den hohen solaren Deckungsanteil mit 1.514 to Abraum und 805 to Produktionsabfall an. An zweiter Stelle liegen die Varianten 4 und 4a mit 20 % solarem Deckungsanteil. Bei der Variante V6 Geoth fällt aufgrund der Bohrungen ebenfalls viel Abraum mit 1.133 to an.

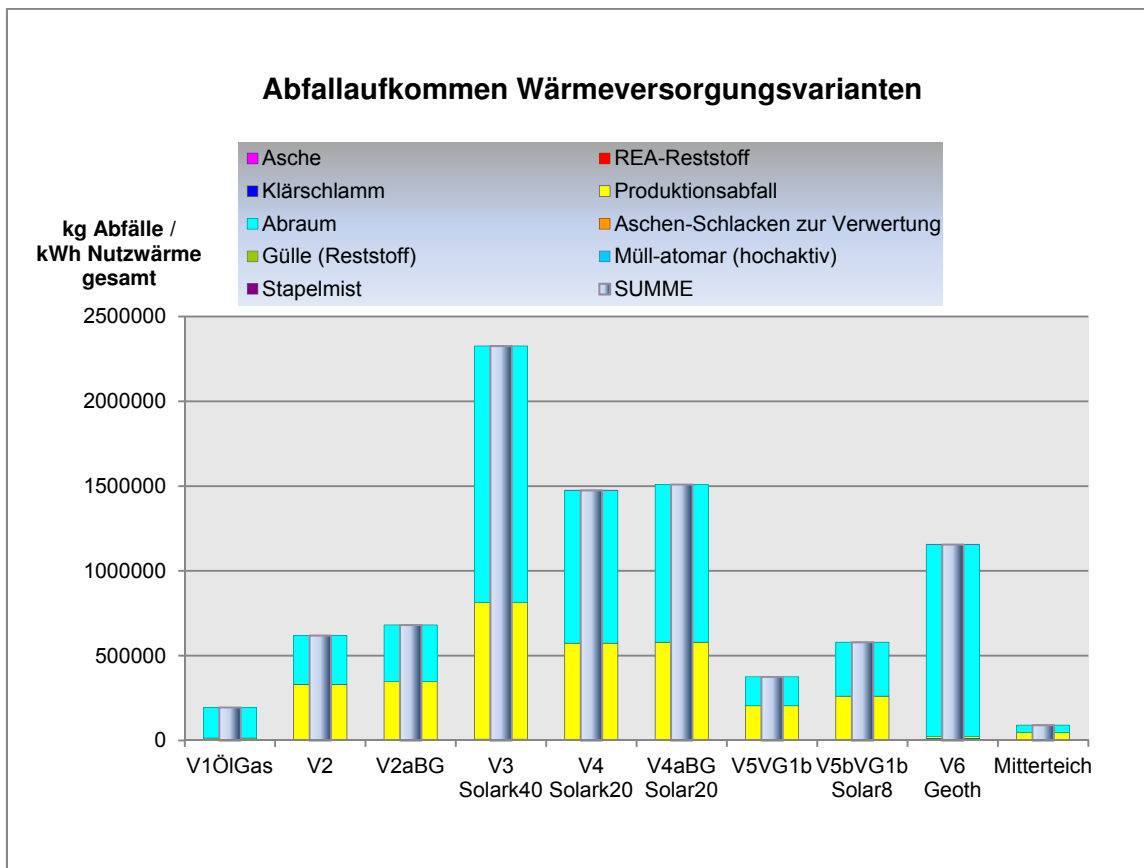


Abbildung 80: Abfallaufkommen der Wärmeversorgungsvarianten – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

### 9.1.2.7 Abfallaufkommen Wärmenetz Speichersdorf

Die Hauptabfälle beim Wärmenetz Speichersdorf stammen aus dem Produktionsabfall mit 24,84 to und dem Abraumaufkommen mit 60,61 to. Der größte Anteil Produktionsabfall entsteht bei der Baustahlproduktion mit 21,81 to. Der Abraumanfall ist mit 53,22 to bei der PUR-Hartschaum Produktion am höchsten. Der Ascheanfall ist bei Baustahl mit 0,97 to am höchsten und bei der PE-HD-Rohr Produktion mit 0,78 to am niedrigsten.

Tabelle 53: Abfallaufkommen Wärmenetz Speichersdorf auf Basis GEMIS

	Asche	REA-Reststoff	Klärschlamm	Produktionsabfall	Abraum	Müll-atomar (hochaktiv)
Baustahl	972,17	160,11	2,177	21.809,96	2,18	0,004
PE-HD-Rohr	421,26	51,15	0,0680	438,33	7.395,84	0,012
PUR-Hartschaum	781,68	53,84	23,49	2.590,53	53.216,46	0,016
Summe	2.175,10	265,10	25,74	24.838,82	60.614,48	0,03

Die Ergebnisse des Abfallaufkommens sind in der Abbildung 81 zusammengefasst.

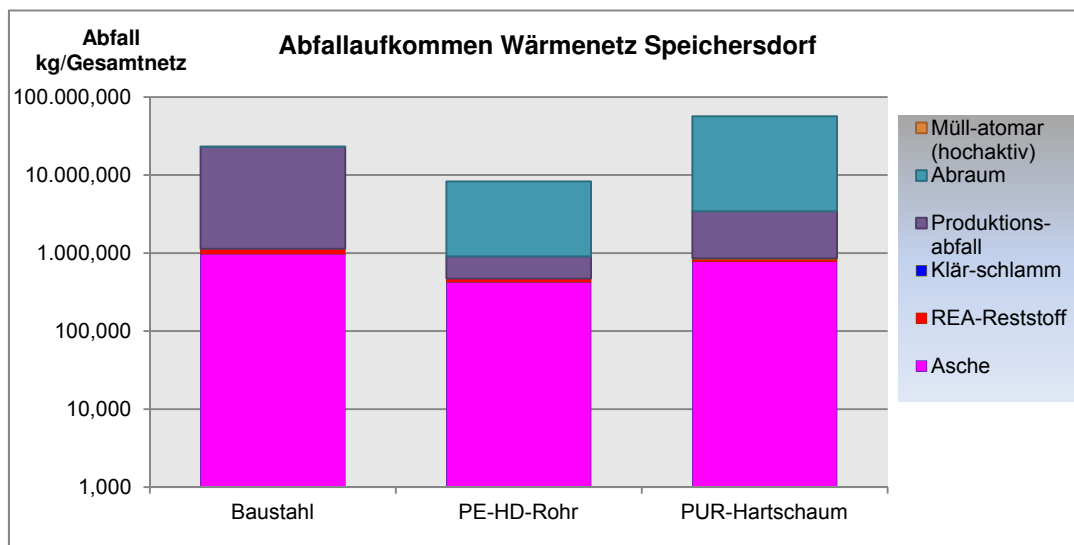


Abbildung 81: Abfallaufkommen Wärmenetz Speichersdorf – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.8 Flächenbedarf Wärmeversorgungsvarianten

Nachfolgend wird der Flächenbedarf der einzelnen Versorgungsvarianten aufgeführt. Bedingt durch den Biogasanteil ist der Flächenbedarf in den Versorgungsvarianten V2aBG mit 128.103 m<sup>2</sup> und V4aBG mit 91.658 m<sup>2</sup> am größten. Für das Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf ist der Flächenbedarf bei der Variante V6 Geoth mit 9.234 m<sup>2</sup> am geringsten.

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen und im Diagramm dargestellt.

Tabelle 54: Flächenbedarf Wärmversorgungsvarianten V1-4 auf Basis GEMIS

m <sup>2</sup> / kWh Nutzwärme gesamt	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4aBG Solar20
Summe	5.450,25	14.162,98	128.103,38	26.721,39	20.433,80	91.658,70

Tabelle 55: Flächenbedarf Wärmversorgungsvarianten V5, 6 und Mitterteich auf Basis GEMIS

m <sup>2</sup> / kWh Nutzwärme gesamt	V5VG1b	V5bVG1b Solar8	V6 Geoth	Mitterteich
Summe	8.412,50	9.919,81	9.234,46	2.059,29

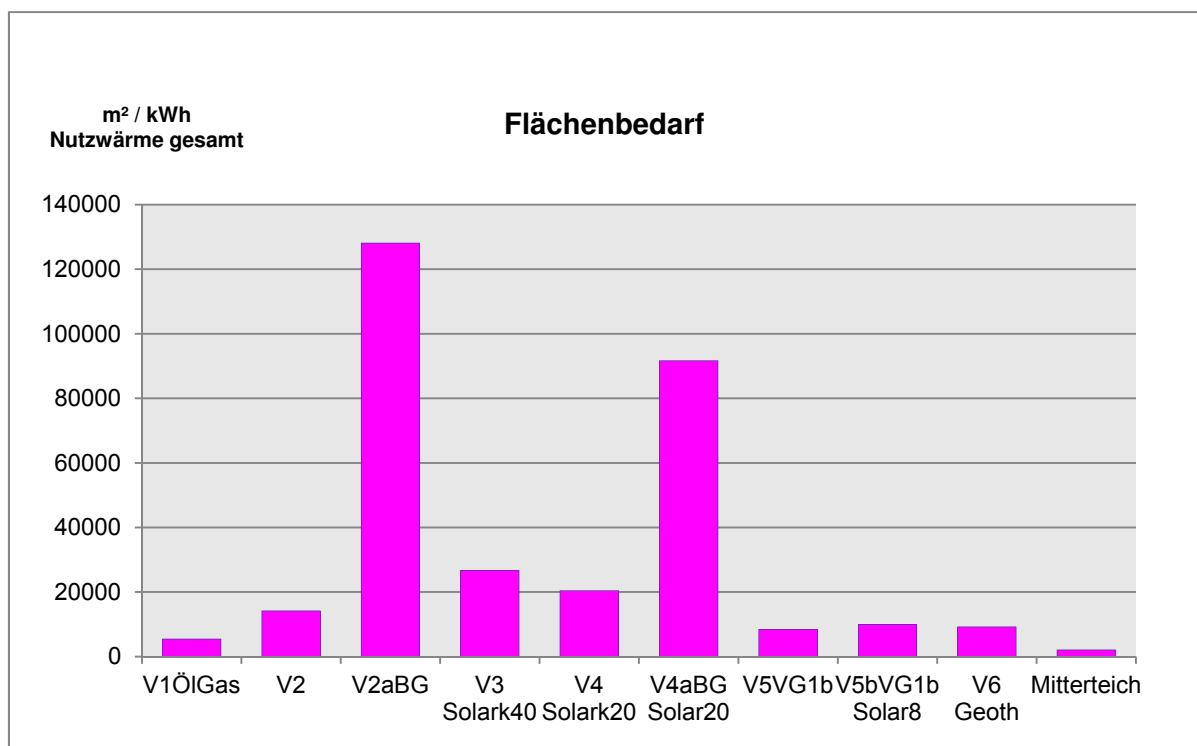


Abbildung 82: Flächenbedarf Wärmeversorgungsvarianten eigene Darstellung auf Basis GEMIS

#### 9.1.2.9 Flächenbedarf Wärmenetz Speichersdorf

Die Materialkomponenten des Wärmenetzes Speichersdorf brauchen folgenden Flächenverbrauch. Der Flächenbedarf zur Verlegung des Netzes wird vernachlässigt, da die Verlegung in ca. 1 m Tiefe in der Straße oder Gehweg erfolgt. Hierdurch ist kein zusätzlicher Flächenbedarf erforderlich. Die Ergebnisse sind in Tabelle 56 und Abbildung 83 zusammengefasst.

Tabelle 56: Flächenbedarf Wärmenetz Speichersdorf auf Basis GEMIS

Flächenbedarf Wärmenetz Speichersdorf in m²	
Stahlblech	492,31
PE-HD-Rohr	0
PUR-Hartschaum	1.762,86
Summe	2.255,17

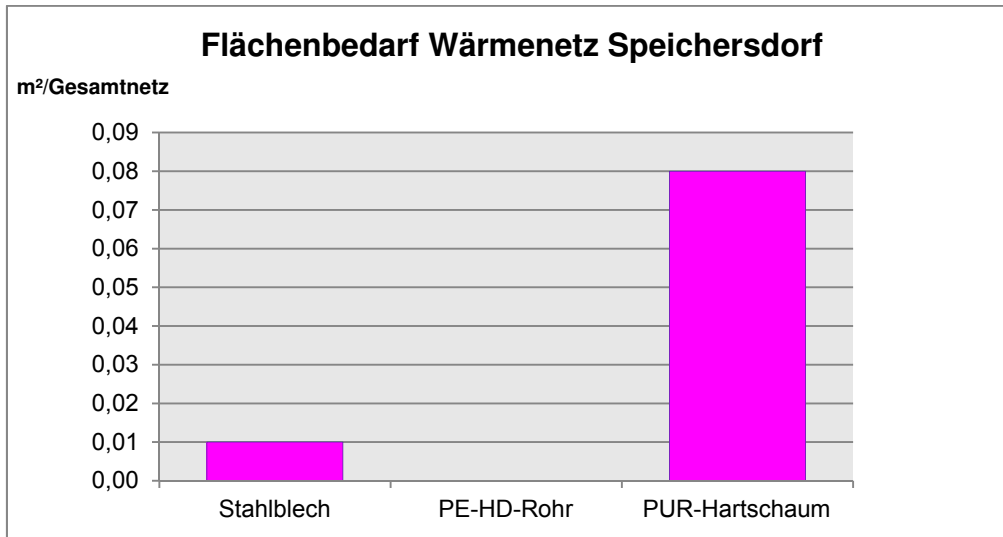


Abbildung 83: Flächenbedarf Wärmenetz Speichersdorf auf Basis GEMIS

PUR-Hartschaum benötigt mit gerundet 1763 m<sup>2</sup> den größten Flächenbedarf bei der Herstellung des Nahwärmenetz.

Für das Wärmenetz Mitterteich werden die gleichen Berechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren sind aufgrund der gleichen Materialkomponenten ähnlich. Sie reduzieren sich mengenmäßig durch die geringere Netzlänge von 360 m im Vergleich zum Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf, mit 10.828 m. Die Ergebnisse werden in der Gesamtbetrachtung in der Variante Mitterteich mit Netz berücksichtigt.

Für die Versorgungsvarianten V5VG1b wird die Herstellung des kleineren Wärmenetzes nicht separat berechnet. Für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Szenarien im Projekt Speichersdorf wird die Herstellung des Wärmenetzes zum großen Versorgungsgebiet 1 für das auch die Geothermievariante berechnet wird, herangezogen.

### 9.1.2.10 Zusammenfassung Ergebnis Indikatoren Erdwärmespeicher

Die Berechnung der Indikatoren wird für die Erdwärmespeicher in den Varianten V3Solark40, V4Solark20 und V4aBGSolar20 analog berechnet. Die Ergebnisse sind nachfolgend abgebildet. Die normierten und gewichteten Ergebnisse hieraus dienen als Bewertungsgrundlage zum Variantenvergleich und fließen in die Gesamtberechnung ein.

*Tabelle 57: Zusammenfassung Ergebnis Indikatoren Erdwärmespeicher in den Wärmeversorgungsvarianten V3Solark40, V4Solark20 und V4aBGSolar20 eigene Darstellung auf Basis GEMIS*

<b>Ergebnis Indikatoren Erdwärmespeicher</b>			
Indikator	V3Solark40	V4Solark20	V4aBGSolar20
KEA nicht erneuerbar [kWh]	497243,601	172954,296	172954,296
KEA erneuerbar [kWh]	20104,76	6992,96	6992,96
CO <sub>2</sub> -Äquivalent [kg]	48.841,00	16.988,17	16.988,17
SO <sub>2</sub> -Äquivalent [kg]	153,2375	53,3	53,3
TOPP-Äquivalent [kg]	124,1287	43,1752	43,1752
Fläche [m <sup>2</sup> ]	0	0	0
Abwasser [kg]	11,72680395	4,078888332	4,078888332
Abfall [kg]	13995,54673	4868,016253	4868,016253

Die Zusammenfassung der Ergebnisse mit Gewichtung für die Wärmeversorgungsvarianten, Wärmenetz und Erdwärmespeicher sind ab 9.1.3 dargestellt.

### 9.1.2.11 Wärmepreis / Kosten, regionale Wertschöpfung

Nachfolgend werden die Jahreswärmekosten für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten berechnet. Diese setzen sich aus den kapitalgebundenen, betriebsgebundenen und verbrauchgebundenen Kosten zusammen. Für alle Versorgungsvarianten inkl. Referenzszenario wird für die Finanzierung ein durchschnittlicher Zinssatz von 4 % angenommen. Aufgrund der gewählten Systemgrenze sind die Hausübergabestationen samt Förderung nicht mit eingerechnet. Weiterhin wird die regionale Wertschöpfung anhand der betriebsgebundenen- und verbrauchgebundenen Kosten für die regional erzeugten und verbrauchten erneuerbaren Brennstoffe berechnet (siehe hierzu unter 9.2).

### 9.1.2.12 Variante V1ÖIGas - Referenzvariante

Auf Basis der Daten aus der Machbarkeitsstudie werden die Kosten für die Erneuerung der Einzelanlagen (dezentrale Ölkessel) inkl. Schornstein und Tankanlage berechnet.

Hier werden vereinfachend die Gesamtkosten auf Heizölbasis ermittelt, da die Investitionskosten bei einer Erdgasanlage in einem ähnlichem Umfang liegen und die ggfs. niedrigeren Investitionskosten durch die höheren Brennstoffkosten bedingt durch den Gasgrundpreis, aufgezehrt werden. Gemäß Betreibererfahrung der Autorin sind die Jahreswärmekosten für Heizöl durch die Grundpreisersparnis leicht niedriger. Daher wird mit der Berechnung der Gesamtkosten auf Heizölbasis die Variante V1ÖIGas nicht künstlich schlechter gerechnet als im Vergleich zu den Wärmeversorgungsvarianten auf Basis erneuerbaren Energien. Insgesamt werden 268 Einzelanlagen erneuert. Für die Erneuerung der Einzelanlagen erfolgt die Planung in der Regel durch den Heizungsbauer, daher werden hier keine Planungskosten angenommen.

Die auf Basis der Investitionskosten mittels Annuitätsfaktor von 7,36 % ermittelte Annuität, ergibt in Summe die kapitalgebundenen Kosten. Dieser Faktor wird für alle Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt. Die Instandsetzungskosten in Höhe von 2 % der Investitionskosten werden zu den betriebsgebundenen Kosten hinzuaddiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Investitionskosten sowie die kapitalgebundenen und Instandsetzungskosten der Variante V1ÖIGas.

*Tabelle 58: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V1 ÖIGas - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten			Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instand- setz- kosten in €
<b>Niedertemp.-Kessel, komplett inkl. Schornstein und Tankanlage</b>					
	Anzahl	Invest/Kessel			
< 30 kW	223	7.650	1.705.950	125.527	34.119
< 50 kW	28	9.750	273.000	20.088	5.460
80 - 100 kW	11	11.600	127.600	9.389	2.552
< 150 kW	2	17.800	35.600	2.620	712
< 200 kW	1	26.350	26.350	1.939	527
< 300 kW	2	37.500	75.000	5.519	1.500
< 500 kW	1	45.500	45.500	3.348	910
	268		0	0	0
Zwischensummen			2.289.000	168.429	45.780
Planungshonorar / Nebenkosten 0%			0	0	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			<b>2.289.000</b>	<b>168.429</b>	<b>45.780</b>



Die betriebsgebundenen Kosten für die Einzelanlagen setzen sich wie folgt zusammen.

*Tabelle 59: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V1ÖIGas, - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>			in €/a
Personalkosten Betrieb	268	Anlagen	72.360
Stromverbrauch/-kosten			25.200
Sonstige Kosten		0,00	0
Zwischensumme			97.560
Immissionsmessung/Kehrgebühren	268	Anlagen	25.728
Wartungskosten Kesselanlage	268	Anlagen	80.400
Zwischensumme			106.128
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandhaltungskosten zzgl. MwSt.</b>			<b>249.468</b>

Die Personalkosten bei der Referenzvariante bestehen im Wesentlichen aus der Eigenleistung der privaten Anlagenbetreiber. Daher werden die Personalkosten pauschal je Anlage mit 15 h je Anlage pro Jahr und einem Stundenlohn von durchschnittlich 18 € angesetzt. Die Kosten für die jährliche Wartung durch eine Fachkraft sind im Stundenlohn pauschaliert.

Nachfolgend sind die verbrauchsgebundenen Kosten für die verbrauchten Brennstoffe zusammengestellt. Als Brennstoffpreisbasis dient der Jahresmittelwert für leichtes Heizöl gemäß Statistischem Bundesamt für 2012, Fachserie 17, Reihe 2, für Heizöl EL pro hl frei Verbraucher bei Lieferung im Tankwagen, 40-50 hl pro Auftrag, einschl. Verbrauchssteuer und EBV, Marktort München ohne Umsatzsteuer, mit 76,26 €/hl. Der Heizöl-Preis wird für alle Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.

Bei der erzeugten Nutzwärme von 10.500 MWh und dem Arbeitspreis von 90,75 €/MWh inkl. MwSt., betragen die verbrauchsgebundenen Kosten 1.095.251 €.

*Tabelle 60: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V1ÖIGas – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt*

Heizöl AP €/MWh	Gesamt €
90,75	1.095.251

Der spezifische Wärmepreis ergibt sich aus der Division der jährlichen Gesamtkosten und der erzeugten Nutzwärme und beträgt für die Variante V1ÖIGas gerundet 149 €/MWh inkl. MwSt..

**Variante V2 – Biomasseheizwerk und Öl-Spitzenlast**

Nachfolgend werden die Investitionskosten sowie der Kapitaldienst und die Instandsetzungskosten für die Variante V2 aufgeführt. Die Instandsetzungskosten werden hier mit 1-2 % von den Investitionskosten angesetzt.

*Tabelle 61: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V2 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>	Investition inkl. MwSt.in €	Annuität in €	Instand- setz. kosten in €
<b>Biomassekessel</b>			
Biomassekessel 1 x 3.000 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss	860.000	58.865	21.500
Elektrofilter für Staub <20 mg/m <sup>3</sup>	135.000	5.519	2.700
Elektro- Installation Regelung	11.000	809	110
Hydraulik	231.000	16.997	2.310
Pufferspeicher (90m3)	46.000	1.177	230
Abgas- und Kaminanlage	43.000	3.164	430
<b>Spitzenlast</b>			
NT-ÖL 2 x 3 MW	122.000	8.977	2.440
Abgas- und Kaminanlage	49.000	3.606	490
Öltank 50000 l	25.000	1.840	375
Umbaumaßnahmen, Demontagen	0	0	0
<b>Bauliche Anlagen</b>			
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen	290.000	21.339	0
Grundstücke inkl. Erschließung (ca. 3000 m <sup>2</sup> )	50.000	3.679	0
<b>Zwischensumme Anlageninvestition</b>	<b>1.862.000</b>	<b>125.972</b>	<b>30.585</b>
<b>Wärmeverteilung</b>			
Fernwärmeleitung DN 20-32	5.719	lfm Trasse	1.972.952
Fernwärmeleitung DN 40	959	lfm Trasse	345.096
Fernwärmeleitung DN 50	703	lfm Trasse	277.567
Fernwärmeleitung DN 65	815	lfm Trasse	342.426
Fernwärmeleitung DN 80	470	lfm Trasse	206.580
Fernwärmeleitung DN 100	854	lfm Trasse	418.362
Fernwärmeleitung DN 125	1.120	lfm Trasse	616.165
Fernwärmeleitung DN 150	190	lfm Trasse	121.280
<b>Zwischensumme Nahwärmenetz</b>	<b>10828</b>	<b>lfm Trasse</b>	<b>4.300.427</b>
<b>Summe Anlageninvestitionskosten</b>			
Planungshonorar / Nebenkosten	10%		
		616.000	45.326
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			
	<b>6.778.427</b>	<b>439.925</b>	<b>73.589</b>

Die betriebsgebundenen Kosten für die Variante V2 sind nachfolgend zusammengefasst.

*Tabelle 62: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V2 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>				in €/a
Personalkosten Betrieb	1,5 Pers/a	2.652 h/a	35 €/h	92.820
Stromverbrauch/-kosten		20 kWh/MWh	0,2 €/kWh	50.400
Sonstige Kosten (Versicherung)	0,50 % v. Invest			6.414
<b>Summe</b>				<b>149.634</b>
Wartungskosten Biomassekessel	2 % v. Invest			26.520
Wartungskosten Spitzenlastkessel	1,5 % v. Invest			2.940
<b>Summe</b>				<b>29.460</b>
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>				<b>239.855</b>

Die im Folgenden dargestellten verbrauchsgebundenen Kosten für die Variante V2 bestehen aus den Kosten für die Primärenergieträger Hackschnitzel und Heizöl. Als Grundlage für die Hackschnitzel in der Variante wurde der Preis für das 1. Quartal 2013 gemäß C.A.R.M.E.N<sup>42</sup> e. V. mit 97,39 €/to inkl. MwSt. (für Norden und Süden) angenommen. Dieser gilt bei einer Anlieferung von 80 srm<sup>43</sup> und maximal 20 km Entfernung je Lieferung sowie einem Wassergehalt von 35 % (C.A.R.M.E.N e.V., 2013). Der durchschnittliche Preis für Holzhackschnitzel vom Statistischen Bundesamt liegt derzeit bei über 215 €/to, allerdings bildet dieser die Preissituation für die Projekte in der nördlichen Oberpfalz nicht ab. Deswegen wurde als Preisgrundlage der Preis mit 97,39 €/to zzgl. MwSt. für die Varianten angenommen, um das derzeitige Preisniveau in der Region abzubilden.

*Tabelle 63: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V2 – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e. V.*

Hackgut AP €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Hackgut in €	Spitzenlastversorgung in €	Gesamt in €
33,11	90,75	480.116	106.764	586.880

Der spezifische Wärmepreis beträgt für die Variante V2 gerundet 125 €/MWh inkl. MwSt..

<sup>42</sup> C.A.R.M.E.N e.V.: Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk mit Sitz in Straubing

<sup>43</sup> Srm: Schüttraummeter, übliches Volumenmaß für 1m<sup>3</sup> lose geschütteter Holzhackschnitzel

### 9.1.2.13 Variante V2aBG– Biomasseheizwerk, Biogas und Öl-Spitzenlast

Bei den Versorgungsvarianten mit einem Biogasanteil von 100 kW aus einer bestehenden Biogasanlage, werden keine zusätzlichen Investitionen zu den Wärmeversorgungsvarianten hinzugenommen. Die Kosten für die Einbindung der Biogaswärme in das Wärmenetz, die mit dem Arbeitspreis abgegolten werden, trägt der Biogasanlagenbetreiber. Vorgabe ist, dass die Biogaswärme zu den gleichen Konditionen wie die Hackschnitzelwärme geliefert wird, da sonst die Einbindung der Biogasanlage aus wirtschaftlichen Gründen keinen Sinn macht.

Die kapitalgebundenen und betriebsgebundenen Kosten der Variante V2a sind daher identisch mit der Variante V2. Daher werden nur die verbrauchsgebundenen Kosten, die sich aus den Kosten für Hackschnitzel, Biogas und Heizöl ergeben, aufgeführt. Der Arbeitspreis für Biogas entspricht dem für Holzhackschnitzel.

*Tabelle 64: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V2aBG – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e. V*

Hackgut / Biogas €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Hackgut in €	Heizöl- Spitzenlast- versorgung in €	Biogas in €	Gesamt in €
33,11	90,75	459.421	74.735	33.111	567.267

Der spezifische Wärmepreis beträgt gerundet 123 €/MWh inkl. MwSt..

### 9.1.2.14 Variante V3Solark40– Biomasseheizwerk, Solarthermie (40%) und Öl-Spitzenlast

Die Variante V3Solark40 hat neben der Geothermieanlage aufgrund der Größe des Solarkollektors und des Erdwärmespeichers mit 17.196.427 €, die höchsten Investitionskosten.

*Tabelle 65: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V3Solark40 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>	Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instand- setz.- kosten in €
<b>Biomassekessel</b>			
Biomassekessel 1 x 3.000 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss	860.000	59.601	21.500
Elektrofilter für Staub <20 mg/m <sup>3</sup>	135.000	5.519	2.700
Elektro- Installation	11.000	809	110
Regelung	73.000	5.371	1.460
Abhitze-Dampferzeuger inkl. Pumpen, Ventilen, Armaturen			
Hydraulik	232.000	17.071	2.320
Abgas- und Kaminanlage	36.000	2.649	360
Zwischensumme Anlageninvestition	1.347.000	91.021	28.450
<b>Spitzenlast</b>			
Nietertemp.-ÖL 2 x 3 MW	122.000	8.977	2.440
Abgas- und Kaminanlage	49.000	3.606	490
Öltank 50.000 l	25.000	1.840	375
Umbaumaßnahmen, Demontagen	0	0	0
Zwischensumme Anlageninvestition	196.000	14.422	3.305
<b>Solarthermie</b>			
Kollektorfeld Kollektorfläche (17.350 m <sup>2</sup> )	5.950.000	306.468	29.750
<b>Wärmepumpe</b>			
Absorptionswärmepumpe 750 kW	500.000	33.112	7.500
Zwischensumme Anlageninvestition	6.450.000	339.580	37.250

<b>Speicher</b>					
Pufferspeicher	1500 m <sup>3</sup>		410.000	21.118	2.050
Aquifer-Langzeitwärmespeicher (23.200 Sondenmeter)			2.000.000	147.164	0
Zwischensumme			2.410.000	168.281	
<b>Anlageninvestition</b>					
Bauliche Anlagen					
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen			250.000	18.395	0
Grundstücke inkl. Erschließung (ca. 68.000 m <sup>2</sup> )			680.000	50.036	0
Zwischensumme			930.000	68.431	0
<b>Anlageninvestition</b>					
<b>Wärmeverteilung</b>					
Fernwärmeleitung DN 20 -32	5.719	lfm Trasse	1.972.952	119.926	19.730
Fernwärmeleitung DN 40	959	lfm Trasse	345.096	21.161	3.451
Fernwärmeleitung DN 50	703	lfm Trasse	277.567	17.321	2.776
Fernwärmeleitung DN 65	815	lfm Trasse	342.426	21.597	3.424
Fernwärmeleitung DN 80	470	lfm Trasse	206.580	13.128	2.066
Fernwärmeleitung DN 100	854	lfm Trasse	418.362	27.014	4.184
Fernwärmeleitung DN 125	1.120	lfm Trasse	616.165	40.392	6.162
Fernwärmeleitung DN 150	190	lfm Trasse	121.280	8.087	1.213
Zwischensumme			4.300.427	268.627	43.004
Nahwärmenetz	10828				
<b>Summe</b>					
Anlageninvestitionskosten			15.633.427	950.362	112.009
Planungshonorar / Nebenkosten	10%		1.563.000	115.008	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten</b>					
<b>Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			<b>17.196.427</b>	<b>1.065.370</b>	<b>112.009</b>

Die betriebsgebundenen Kosten der Variante 3 sind nachfolgend dargestellt.

*Tabelle 66: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V3Solark40 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>					in €/a
Personalkosten Betrieb	2 Pers/a	3.536 h/a	35 €/h		123.760
Stromverbrauch/-kosten		20 kWh/MWh	0,2 €/kWh		50.400
Sonstige Kosten (Versicherung)	0,50 % v. Invest				6.414
<b>Summe</b>					<b>180.574</b>
<b>Wartungskosten</b>					
Biomassekessel	2 % v. Invest				26.940
Wartungskosten Spitzenkessel	1,5 % v. Invest				2.940
Wartungskosten Dampferzeuger	1,5 % v. Invest				1.095
Wartungskosten AWP	1 % v. Invest				5.000
<b>Summe</b>					<b>35.975</b>
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>					<b>328.558</b>

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind bei der Variante V3Solark40 aufgrund des solaren Deckungsanteils an der Wärmeerzeugung mit 5000 MWh (dies entspricht 40 %), deutlich niedriger.

*Tabelle 67: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V3Solark40 – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e.V.*

Hackgut AP €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Solar- thermie €/MWh	Hackgut in €	Heizöl- Spitzenlast- versorgung in €	Gesamt in €
33,11	90,75	0,00	281.447	85.411	366.858

Der spezifische Wärmepreis beträgt für die Variante V3Solark40 gerundet 174 €/MWh inkl. MwSt..

#### **9.1.2.15 Variante V4Solark20 und Variante V4aBGSolar20 – Biomasseheizwerk, Solarthermie (20%) und Öl-Spitzenlast**

Die Variante 4 hat einen geringeren solaren Deckungsanteil, dadurch reduzieren sich die Investitionskosten im Vergleich zur Variante 3 entsprechend.

Bei der Variante 4 mit 20 % solarer Deckung und der Variante 4a mit zusätzlich 100 kW Biogasleistung, ersetzt die Biogasanlage einen Teil der aus Hackschnitzeln erzeugten Wärme. Die Hackschnitzel und die Biogaszwärme kosten gleich viel. Außerdem bleiben die Investitions- und Betriebskosten sowie der Spitzenlastanteil unverändert, deshalb ergeben sich bei beiden Varianten die gleichen Wärmegestehungskosten. In den beiden nachfolgenden Tabellen sind die Investitions- und Instandhaltungskosten sowie die betriebsgebundenen Kosten aufgeführt.

*Tabelle 68: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V4Solar20 u. V4aBG  
Solar20 – eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>	Investition in € inkl. MwSt.	Annuität in €	Instand- setz.- kosten in €
<b>Biomassekessel</b>			
Biomassekessel 1 x 3.000 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss	860.000	59.601	21.500
Elektrofilter für Staub <20 mg/m <sup>3</sup> Elektro- Installation	135.000	5.519	2.700
Regelung	11.000	809	110
Hydraulik	231.000	16.997	2.310
Abgas- und Kaminanlage	35.000	2.575	350
Zwischensumme Anlageninvestition	1.272.000	85.502	26.970
<b>Spitzenlast</b>			
NT-ÖL 2 x 3 MW	122.000	8.977	2.440
Abgas- und Kaminanlage	49.000	3.606	490
Öltank 50.000 l	25.000	1.840	375
Umbaumaßnahmen	0	0	0
Zwischensumme Anlageninvestition	196.000	14.422	3.305
<b>Solarthermie</b>			
Kollektorfeld (Kollektorfläche 8750 m <sup>2</sup> )	3.020.000	155.552	15.100
<b>Wärmepumpe</b>			
Absorptionswärmepumpe 250 kW	155.000	11.405	2.325
Zwischensumme Anlageninvestition	3.175.000	166.957	17.425
<b>Speicher</b>			
Pufferspeicher 1500 m <sup>3</sup>	400.000	20.603	2.000
Erdsonden-Langzeitwärmespeicher (8000 Sondenmeter)	690.000	50.771	0
Zwischensumme Anlageninvestition	1.090.000	71.374	
<b>Bauliche Anlagen</b>			
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen	290.000	21.339	0
Grundstücke inkl. Erschließung (ca. 36.000 m <sup>2</sup> )	360.000	26.489	0
Zwischensumme Anlageninvestition	650.000	47.828	0
<b>Wärmeverteilung</b>			
Fernwärmeleitung DN 20-32 5.719 lfm Trasse	1.972.952	119.926	19.730
Fernwärmeleitung DN 40 959 lfm Trasse	345.096	21.161	3.451
Fernwärmeleitung DN 50 703 lfm Trasse	277.567	17.321	2.776
Fernwärmeleitung DN 65 815 lfm Trasse	342.426	21.597	3.424
Fernwärmeleitung DN 80 470 lfm Trasse	206.580	13.128	2.066
Fernwärmeleitung DN 100 854 lfm Trasse	418.362	27.014	4.184
Fernwärmeleitung DN 125 1.120 lfm Trasse	616.165	40.392	6.162
Fernwärmeleitung DN 150 190 lfm Trasse	121.280	8.087	1.213
Zwischensumme Nahwärmenetz	4.300.427	268.627	43.004
Summe Anlageninvestitionskosten	10.683.427	654.710	90.704
Planungshonorar/Nebenkosten 10%	1.068.000	78.585	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>	<b>11.751.427</b>	<b>733.295</b>	<b>90.704</b>



*Tabelle 69: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V4Solark20 und V4aBGSolar20 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>				in €/a
Personalkosten Betrieb	1,5	Pers/a	2.652	92.820
Stromverbrauch/-kosten			20	50.400
Sonstige Kosten (Versicherung)		0,50	% v. Invest	6.414
Summe				149.634
Wartungskosten Biomassekessel		2,5	% v. Invest	31.800
Wartungskosten Spitzenkessel		1,5	% v. Invest	2.940
Wartungskosten AWP		1	% v. Invest	1.550
Summe				36.290
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>				<b>276.628</b>

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind aufgrund der Kostengleichheit der Biomasse und Biogaswärme identisch. Deshalb werden in Tabelle 70 nur die verbrauchsgebundenen Kosten der Variante 4aBGSolar20 aufgeführt, um den Kostenanteil für 500 MWh Biogas aufzuzeigen.

*Tabelle 70: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V4aBGSolar20 – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e. V.*

Hackgut / Biogas €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Hackgut in €	Spitzenlastversorgung in €	Biogas in €	Gesamt in €
33,11	90,75	364.226	85.411	20.695	470.332

Der spezifische Wärmepreis für Variante V4 und 4a beträgt gerundet 147 €/MWh brutto.

#### **9.1.2.16 Variante V5VG1b – Biomasseheizwerk, Öl-Spitzenlastversorgung für Versorgungsgebiet 1a**

Die Variante V5VG1b zum Projekt Speichersdorf versorgt das kleinere Versorgungsgebiet 1a mit einer Gesamtlänge von 6.027 m im Vergleich zu den vorherigen Varianten mit 10.828 m, mit weniger Wärmeabnehmern und einer höheren Abnahmedichte. Nachfolgend sind die Investitions- und Instandsetzungskosten dargestellt.

*Tabelle 71: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V5VG1b – eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>			Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instand- setz- kosten in €
<b>Biomassekessel</b>					
Biomassekessel 1 x 2000 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss			755.000	51.875	18.875
Elektrofilter für Staub <20 mg/m <sup>3</sup>			135.000		
Elektro- Installation Regelung			10.000	736	100
Hydraulik			230.000	16.924	2.300
Pufferspeicher (60 m <sup>3</sup> )			31.000	809	155
Abgas- und Kaminanlage			33.000	2.428	330
<b>Spitzenlast</b>					
NT-ÖL 2 x 2 MW			99.000	7.285	1.980
Abgas- und Kaminanlage			34.000	2.502	340
Öltank 25000 l			19.000	1.398	285
Umbaumaßnahmen			0	0	0
<b>Bauliche Anlagen</b>					
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen			230.000	16.924	0
Grundstück inkl. Erschließung (3000 m <sup>2</sup> )			45.000	3.311	0
Zwischensumme Anlageninvestition			1.621.000	104.192	24.365
<b>Wärmeverteilung</b>					
Fernwärmeleitung DN 20-32	1.560	lfm Trasse	538.200	32.714	5.382
Fernwärmeleitung DN 40	1.520	lfm Trasse	547.200	33.553	5.472
Fernwärmeleitung DN 50	896	lfm Trasse	353.920	22.086	3.539
Fernwärmeleitung DN 65	687	lfm Trasse	288.540	18.198	2.885
Fernwärmeleitung DN 80	402	lfm Trasse	176.880	11.240	1.769
Fernwärmeleitung DN 100	352	lfm Trasse	172.480	11.137	1.725
Fernwärmeleitung DN 125	460	lfm Trasse	253.000	16.585	2.530
Fernwärmeleitung DN 150	150	lfm Trasse	96.000	6.402	960
Zwischensumme Nahwärmenetz	6027	lfm Trasse	2.426.220	151.917	24.262
Summe Anlageninvestitionskosten			4.047.220	256.109	48.627
Planungshonorar / Nebenkosten	10%		405.000	29.801	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			<b>4.452.220</b>	<b>285.909</b>	<b>48.627</b>

Die betriebsgebundenen Kosten der Variante V5VG1b setzen sich wie folgt zusammen.

*Tabelle 72: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V5VG1b - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>				in €/a
Personalkosten Betrieb	1 Pers/a	1.768 h/a	35 €/h	61.880
Stromverbrauch/-kosten		20 kWh/MWh	0,2 €/kWh	30.000
Sonstige Kosten (Versicherung)	0,50 % v. Invest			3.259
<b>Summe</b>				<b>95.139</b>
Wartungskosten Biomassekessel	2 % v. Invest			23.880
Wartungskosten Spitzenkessel	1,5 % v. Invest			2.280
<b>Summe</b>				<b>26.160</b>
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>				<b>169.926</b>

Die verbrauchsgebundenen Kosten für Biomasse und Heizölspitzenlastversorgung sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

*Tabelle 73: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V5VG1b – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e. V.*

Hackgut €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Hackgut in €	Spitzenlastkessel in €	Gesamt in €
33,11	90,75	298.003	32.029	330.032

Der spezifische Wärmepreis für Variante V5VG1b beträgt 105 €/MWh inkl. MwSt..

#### **9.1.2.17 Variante V5bVG1bSolar8 – Biomasseheizwerk, Solarer Deckungsgrad 8 %, Öl-Spitzenlastversorgung für Versorgungsgebiet 1a**

Die zweite Variante für das kleinere Versorgungsgebiet 1a umfasst zusätzlich zum Biomasseheizwerk und der Ölspitzenlastversorgung, eine Solarthermieanlage mit einem solaren Deckungsanteil von 8 %.

*Tabelle 74: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V5bVG1bSolar8 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>			Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instands.- kosten in €
<b>Biomassekessel</b>					
Biomassekessel 1 x 3.000 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss			755.000	51.875	18.875
Elektrofilter für Staub <20 mg/m <sup>3</sup>			135.000	5.519	2.700
Elektro- Installation Regelung			10.000	736	100
Hydraulik			230.000	16.924	2.300
Abgas- und Kaminanlage			33.000	2.428	330
Zwischensumme Anlageninvestition			1.163.000	77.482	24.305
<b>Spitzenlast</b>					
NT-ÖL 2 x 2 MW			99.000	7.285	1.980
Abgas- und Kaminanlage			34.000	2.502	340
Öltank 25.000 l			19.000	1.398	285
Umbaumaßnahmen, Demontagen			0	0	0
Zwischensumme Anlageninvestition			152.000	11.184	2.605
<b>Solarthermie</b>					
Kollektorfeld (Kollektorfläche 1800 m <sup>2</sup> )			510.000	26.269	2.550
Zwischensumme Anlageninvestition			510.000	26.269	2.550
<b>Speicher</b>					
Pufferspeicher 150 m <sup>3</sup>			77.000	3.966	385
Zwischensumme Anlageninvestition			77.000	3.966	385
<b>Bauliche Anlagen</b>					
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen			230.000	16.924	0
Grundstücke inkl. Erschließung (ca. 5000 m <sup>2</sup> )			50.000	3.679	0
Zwischensumme Anlageninvestition			280.000	20.603	0
<b>Wärmeverteilung</b>					
Fernwärmeleitung DN 20-32	1.560	lfm Trasse	538.200	32.714	5.382
Fernwärmeleitung DN 40	1.520	lfm Trasse	547.200	33.553	5.472
Fernwärmeleitung DN 50	896	lfm Trasse	353.920	22.086	3.539
Fernwärmeleitung DN 65	687	lfm Trasse	288.540	18.198	2.885
Fernwärmeleitung DN 80	402	lfm Trasse	176.880	11.240	1.769
Fernwärmeleitung DN 100	352	lfm Trasse	172.480	11.137	1.725
Fernwärmeleitung DN 125	460	lfm Trasse	253.000	16.585	2.530
Fernwärmeleitung DN 150	150	lfm Trasse	96.000	6.402	960
Zwischensumme Nahwärmenetz 6027		lfm Trasse	2.426.220	151.917	24.262
Summe Anlageninvestitionskosten			4.608.220	291.421	54.107
Planungshonorar / Nebenkosten 10%			461.000	33.921	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			<b>5.069.220</b>	<b>325.342</b>	<b>54.107</b>

Die betriebsgebundenen Kosten sind aufgrund der höheren Investitionskosten und daraus resultierend höheren Instandhaltungskosten, leicht höher als in der Variante 5VG1b.

*Tabelle 75: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V5bVG1b Solar8 - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>				in €/a
Personalkosten Betrieb	1 Pers/a	1.768 h/a	35 €/h	61.880
Stromverbrauch/-kosten		20 kWh/MWh	0,2 €/kWh	30.000
Sonstige Kosten (Versicherung)	0,50 % v. Invest			3.259
Summe				95.139
Wartungskosten Biomassekessel	2 % v. Invest			23.260
Wartungskosten Spitzenkessel	1,5 % v. Invest			2.280
Summe				25.540
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>				<b>174.786</b>

Die nachfolgend aufgeführten verbrauchsgebundenen Kosten sind aufgrund des solaren Deckungsanteils und dadurch reduzierten Primärenergiebedarfs um rund 25 Tsd. € niedriger als in der Variante V5VG1b.

*Tabelle 76: Verbrauchsgebundene Kosten Variante V5bVG1bSolar8 – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt und C.A.R.M.E.N e. V.*

Hackgut €/MWh	Heizöl AP €/MWh	Solar- thermie €/MWh	Spitzenlast- versorgung €	Gesamt €
33,11	90,75	0,00	32.029	305.199

Der spezifische Wärmepreis für Variante V5bVG1bSolar8 beträgt 112 €/MWh brutto.

### 9.1.2.18 Variante V6 Geothermieranlage, Öl-Spitzenlastversorgung

Auf Basis der Projektdaten Speichersdorf, erfolgt die Berechnung der Geothermieranlage zur Wärmeversorgung desselben Versorgungsgebietes wie in den Varianten 2-4. Nachfolgend sind die Investitions- und Instandsetzungskosten zusammengefasst.

Tabelle 77: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante V6Geoth - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf sowie (Hentschel-Giesa, 2005, S. 4) und (Kastian, 2010, S. 39)

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>			Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instand- setz- kosten in €
<b>Geothermieranlage</b>					
Filter, Slopsystem, Boden, Thermalwasserkreislauf		Tiefe m	2.300.000	95.656	46.000
Förderbohrung	1100€/m	3000	3.300.000	242.820	66.000
Injektionsbohrung	1100€/m	3000	3.300.000	242.820	33.000
Außenanlagen			40.000	2.943	400
Gebäude u. Lagerhalle			80.000	5.887	800
Zwischensumme Anlageninvestition			9.020.000	590.126	146.200
<b>Spitzenlast</b>					
NT-ÖL 2 x 3 MW			122.000	8.977	2.440
Abgas- und Kaminanlage			49.000	3.606	490
Öltank 50.000 l			25.000	1.840	375
Zwischensumme Anlageninvestition			196.000	14.422	3.305
Grundstücke inkl. Erschließung (ca. 3.000 m <sup>2</sup> )			30.000	2.207	0
Zwischensumme Anlageninvestition			30.000	2.207	0
<b>Wärmeverteilung</b>					
Fernwärmeleitung DN 20-32	5.719	lfm Trasse	1.972.952	119.926	19.730
Fernwärmeleitung DN 40	959	lfm Trasse	345.096	21.161	3.451
Fernwärmeleitung DN 50	703	lfm Trasse	277.567	17.321	2.776
Fernwärmeleitung DN 65	815	lfm Trasse	342.426	21.597	3.424
Fernwärmeleitung DN 80	470	lfm Trasse	206.580	13.128	2.066
Fernwärmeleitung DN 100	854	lfm Trasse	418.362	27.014	4.184
Fernwärmeleitung DN 125	1.120	lfm Trasse	616.165	40.392	6.162
Fernwärmeleitung DN 150	190	lfm Trasse	121.280	8.087	1.213
Zwischensumme Nahwärmenetz			4.300.427	268.627	43.004
Summe Anlageninvestitionskosten			13.546.427	875.382	192.509
Planungshonorar/Nebenkosten 10%			1.483.000	99.703	0
<b>Summe Investitionskosten inkl. MwSt. kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten inkl. MwSt.</b>			<b>14.901.427</b>	<b>975.085</b>	<b>192.509</b>

Die betriebsgebundenen Kosten für die Geothermieranlage sind im Folgenden dargestellt und aufgrund der hohen Investitionskosten und des Stromverbrauchs höher als in den übrigen Varianten. Im Gegenzug sind die verbrauchsgebundenen Kosten aufgrund des gesparten Primärenergieverbrauchs mit Abstand am niedrigsten.

*Tabelle 78: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante V6 Geoth - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Speichersdorf*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>					in €/a	
Personalkosten Betrieb	1,5	Pers/a	2.652	h/a	35 €/h	92.820
Stromverbrauch/-kosten			20	kWh/MWh	0,2 €/kWh	50.400
Sonstige Kosten (Versicherung)		0,50		% v. Invest		6.414
Summe						149.634
Wartungskosten Geothermieranlage		0,5		% v. Invest		45.100
Wartungskosten Spitzenlastkessel		1,5		% v. Invest		2.940
Wartungskosten Pumpen		1		pauschal		400
Summe						48.440
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>						<b>390.583</b>

Die verbrauchsgebundenen Kosten fallen lediglich für die Erzeugung der 800 MWh Nutzwärme aus der Heizöl-Spitzenlastversorgung an. Die restlichen 11.800 MWh werden über die Geothermieranlage erzeugt.

*Tabelle 79: verbrauchsgebundene Kosten Variante V6Geoth – eigene Berechnung auf Basis Statistisches Bundesamt*

Heizöl AP €/MWh	Spitzenlast- versorgung in €	Gesamt in €
90,75	85.412	85.412

Im Vergleich zur fossilen Referenzvariante entspricht das einer Brennstoffkostensparnis von 1.009.839 €. Auch im Vergleich zur Variante 3 mit einem hohen solaren Deckungsanteil von 40 % und dem Einsatz von Biomasse wird eine Brennstoffkostensparnis von 281.446 € erzielt. Aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Biomasse steigen hierfür wie für fossile Energien die Preise weiter an. Daher ist die geothermale Lösung die Variante mit den langfristig stabilsten Preisen.

Der spezifische Wärmepreis für die Variante V6 Geoth beträgt gerundet 143 €/MWh inkl. MwSt..

**9.1.2.19 Variante Mitterteich Biomasseheizwerk mit Gas-Spitzenlastversorgung**

Das Biomassenahwärmenetz Mitterteich hat mit 360 m das kürzeste Nahwärmenetz. Außerdem weist es wegen des hohen Wärmebedarfs je Abnehmer eine hohe Abnahmedichte von über 5.216 kWh/m Trasse auf. Die Varianten 2-4 des Projekts Speichersdorf haben lediglich eine Abnahmedichte von 965 kWh/m Trasse. Die kleineren Wärmeversorgungsvarianten V5 erreichen eine Abnahmedichte von 1.160 kWh/m Trasse. Durch die damit geringeren Investitionskosten reduziert sich der Wärmepreis entsprechend.

*Tabelle 80: Investitionskosten, kapitalgebundene Kosten (Annuität) und Instandhaltungskosten für Wärmeversorgungsvariante Mitterteich - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Mitterteich*

<b>Kapitalgebundene Kosten Instandsetzungskosten</b>	Investition inkl. MwSt. in €	Annuität in €	Instandsetz- kosten in €
<b>Biomassekessel</b>			
Biomassekessel 1 x 600 kW mit Austragung, Entaschung, Multizyklon, Regelung, hydraul. Anschluss, elektrischer Anschluss, Abgasanlage Elektro- Installation	179.000	12.288	4.475
Regelung	18.000	1.324	180
Hydraulik WMZ Armaturen			
Rohrleitungen	122.000	8.977	1.220
Pufferspeicher (18m <sup>3</sup> )	46.000	2.943	230
Abgas- und Kaminanlage	42.000	3.090	420
<b>Spitzenlast</b>			
NT-Gas 650 kW	32.000	2.355	640
<b>Bauliche Anlagen</b>			
Gebäude u. Lagerhalle inkl. Außenanlagen	80.000	5.887	0
Zwischensumme Anlageninvestition	519.000	36.864	7.165
<b>Wärmeverteilung</b>			
Fernwärmeleitung DN 100 360 lfmTrasse	154.000	9.742	1.540
Zwischensumme			
Nahwärmenetz	154.000	9.742	1.540
Summe			
Anlageninvestitionskosten	673.000	46.607	8.705
Planungshonorar / Nebenkosten 10%	67.000	4.930	0
<b>Summe kapitalgebundene Kosten inkl. MwSt.</b>	<b>740.000</b>	<b>51.537</b>	<b>8.705</b>



Die Betriebsgebundenen Kosten für Mitterteich sind nachfolgend zusammengefasst.

*Tabelle 81: Betriebsgebundene Kosten für Wärmeversorgungsvariante Mitterteich - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie Mitterteich*

<b>Betriebsgebundene Kosten</b>			in €/a
Personalkosten Betrieb	177 h/a	35 €/h	6.188
Stromverbrauch/-kosten	20 kWh/MWh	0,2 €/kWh	7.972
Sonstige Kosten (Versicherung)	0,50 % v. Invest.		3.365
Summe			17.525
Wartungskosten Biomassekessel	2 % v. Invest.		8.140
Wartungskosten Spitzenkessel	1,5 % v. Invest.		480
Summe			8.620
<b>Summe Betriebskosten inkl. Instandsetzung zzgl. MwSt.</b>			<b>34.850</b>

Die verbrauchsgebundenen Kosten für Mitterteich setzen sich aus den Kosten für die Holzhackschnitzel und für die Erdgas-Spitzenlastversorgung zusammen. Preisbasis für Erdgas sind 106,56 €/MWh inkl. Gas-Grundpreis und MwSt. (Preisstand Mai 2013, Grünwelt Energie).

*Tabelle 82: Verbrauchsgebundene Kosten Variante Mitterteich – eigene Berechnung auf Basis Grünwelt Energie und C.A.R.M.E.N e. V.*

Hackgut €/MWh	Erdgas AP €/MWh	Hackgut €	Spitzenlast- versorgung €	Gesamt €
33,11	106,56	70.362	22.316	92.678

Der spezifische Wärmepreis für Mitterteich beträgt 100 €/MWh inkl. MwSt..

Die Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inkl. Wertschöpfung je MWh erzeugte Nutzwärme, ist in Tabelle 83 dargestellt. Aufgrund der der spezifisch niedrigeren Investitionskosten und der höheren Wärmeabnahmedichte hat das Projekt Mitterteich den niedrigsten Wärmepreis je MWh Nutzwärme.

**Tabelle 83: Zusammenfassung Wirtschaftlichkeitsvergleich  
Wärmeversorgungsvarianten inkl. Wärmenetz ohne  
Hausübergabestationen - eigene Berechnung auf Basis Machbarkeitsstudie  
Speichersdorf und Mitterteich**

Variante		V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4aBG Solar20	V5VG1b	V5VG1b Solar8	V6Geoth	Mitter- teich
Bezeichnung		dezentrale Öl- und Gaskessel	Biomasse- heizwerk + Spitzenlast HEL	Biomasse- heizwerk + Biogas- BHKW + Spitzenlast HEL	Biomasse- heizwerk + Solar- thermie mit Aquifer- speicher (rd. 40%) + Spitzenlast HEL	Biomasse- heizwerk + Solar- thermie mit Erdwärme- speicher (rd 20%) + Spitzenlast HEL	Biomasse- heizwerk + Biogas- BHKW + Solar- thermie mit Erdwärme- speicher (rd 20%) + Spitzenlast HEL	Heiz- zentrale: BMHW 2 MW+ Spitzenlast HEL	Heiz- zentrale: BMHW 2 MW+ Solar- thermie (rd 8%) + Spitzenlast HEL	Geother- mieanlage Spitzenlast HEL	Bio- masse- heizwerk + Spitzen- last Erdgas
<b>Wärmetechnische Daten</b>											
Brennstoffeinsatz	MWh/a	12.069	15.676	15.499	9.441	12.566	12.441	9.353	8.603	800	2.449
Wärmebedarf	MWh/a	10.500	12.600	12.600	12.600	12.600	12.600	7.500	7.500	12600	1.878
Nutzwärme Endverbraucher	MWh/a	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500	7.500	7.500	10.500	1.878
Leistungsbedarf (ab EZ)	kW <sub>th</sub>	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700	3.400	3.400	5.700	1.500
Anschlussleistung	kW <sub>th</sub>	7.500	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	4.450	4.450	10.000	1.600
<b>Wirtschaftliche Daten</b>											
<b>Investitionskosten</b>											
Anlageninvestition	€	2.289.000	1.862.000	1.862.000	11.333.000	6.383.000	6.383.000	1.621.000	2.182.000	9.246.000	519.000
Nahwärmenetz ohne HÜS	€	0	4.300.427	4.300.427	4.300.427	4.300.427	4.300.427	2.426.220	2.426.220	4.300.427	154.000
abzgl. Förderung	€	0	-949.704	-949.704	-3.243.000	-1.975.704	-1.975.704	-671.620	-837.720	-2.649.680	-104.980
Planungskosten	€	0	616.000	616.000	1.563.000	1.197.000	1.068.000	405.000	461.000	1.355.000	67.000
Gesamtinvestition	€	2.289.000	5.828.723	5.828.723	13.953.427	9.904.723	9.775.723	3.780.600	4.231.500	12.251.747	635.020
<b>Laufende Kosten</b>											
kapitalbedingte Kosten - Kapitaldienst	€/a	168.429	439.925	439.925	1.065.370	742.787	742.787	256.109	325.342	1.167.594	60.242
betriebsbedingte Kosten - Wartung / Instandhaltung	€/a	296.867	285.428	285.428	390.984	329.188	329.188	202.212	207.995	245.495	34.850
verbrauchsbedingte Kosten - Brennstoffkosten	€/a	1.095.251	586.880	567.267	366.858	470.332	470.332	330.032	305.199	85.412	92.678
Gesamtkosten	€/a	1.560.547	1.312.232	1.292.620	1.823.212	1.542.306	1.542.306	788.352	838.535	1.498.501	187.769
<b>spezifischer Wärmepreis</b>	€/MWh	<b>149</b>	<b>125</b>	<b>123</b>	<b>174</b>	<b>147</b>	<b>147</b>	<b>105</b>	<b>112</b>	<b>143</b>	<b>100</b>
<b>regionale Wertschöpfung</b>	€/MWh	<b>28</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>64</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>56</b>

### 9.1.3 Gesamtergebnis Nachhaltigkeitsanalyse Wärmeversorgungsvarianten

Um zu überprüfen, welchen Einfluss die Hauptsystemkomponenten eines Nahwärmeversorgungsnetzes auf die Nachhaltigkeit haben, werden die Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten ohne sowie mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher berechnet. In Tabelle 84 bis Tabelle 86 sind die normierten und gewichteten Ergebnisse der Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten für die erzeugte Nutzwärme inkl. Netzverluste und Betriebsstrom ohne Netz und Erdwärmespeicher zusammengefasst.

*Tabelle 84: Nachhaltigkeitsanalyse - Ergebnis der normierten und gewichteten Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten V1ÖlGas, V2, V2aBG, V3Solark40 – eigene Berechnung auf Basis GEMIS*

Gewichtung	Indikator	V1ÖlGas	V2	V2aBG	V3Solark40
0,3	KEA nicht erneuerbar	3,4801E-01	3,8117E-02	3,1790E-02	3,9225E-02
0,0001	KEA erneuerbar	1,2910E-06	9,5353E-05	9,8570E-05	9,6882E-05
0,2	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	5,4938E-02	6,9244E-03	6,3486E-03	7,7790E-03
0,1	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,0105E-05	2,5933E-05	3,3945E-05	2,2080E-05
0,1	TOPP-Äquivalent	2,8430E-05	2,6147E-05	2,7559E-05	2,2423E-05
0,07	Fläche	3,6314E-05	7,8683E-05	7,1169E-04	1,4845E-04
0,01	Abwasser	9,1047E-07	9,8252E-07	6,1247E-06	2,3053E-06
0,02	Abfall	3,7093E-04	9,8322E-04	1,0814E-03	3,6936E-03
0,1	Kosten/Wärmepreis	1,4862E-02	1,2497E-02	1,2311E-02	1,7364E-02
0,05	Nutzungsgrad	-4,2500E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02
0,05	Wertschöpfung	-1,4137E-02	-3,6454E-02	-3,7000E-02	-3,2000E-02
<b>1,0001</b>	<b>gewichtete Summe</b>	<b>3,6163E-01</b>	<b>-1,2705E-02</b>	<b>-1,9591E-02</b>	<b>1,3541E-03</b>

*Tabelle 85: Nachhaltigkeitsanalyse - Ergebnis der normierten und gewichteten Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten V4Solark20, V4aBGSolar20 – eigene Berechnung auf Basis GEMIS*

Gewichtung	Indikator	V4Solark20	V4aBGSolar20
0,3	KEA nicht erneuerbar	3,5965E-02	3,7056E-02
0,0001	KEA erneuerbar	9,6913E-05	9,7432E-05
0,2	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	6,8742E-03	7,4094E-03
0,1	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,3995E-05	2,9024E-05
0,1	TOPP-Äquivalent	2,4228E-05	2,5217E-05
0,07	Fläche	1,1352E-04	5,0921E-04
0,01	Abwasser	1,6451E-06	4,8566E-06
0,02	Abfall	2,3420E-03	2,3964E-03
0,1	Kosten/Wärmepreis	1,4689E-02	1,4689E-02
0,05	Nutzungsgrad	-3,5000E-02	-3,5000E-02
0,05	Wertschöpfung	-3,4005E-02	-3,4000E-02
<b>1,0001</b>	<b>gewichtete Summe</b>	<b>-8,8746E-03</b>	<b>-6,7838E-03</b>

*Tabelle 86: Nachhaltigkeitsanalyse - Ergebnis der normierten und gewichteten Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten V5 - 6 und Mitterteich – eigene Berechnung auf Basis GEMIS*

<b>Gewichtung</b>	<b>Indikator</b>	<b>V5VG1b</b>	<b>V5bVG1bSolar8</b>	<b>V6Geoth</b>	<b>Mitterteich</b>
0,3	KEA nicht erneuerbar	2,4770E-02	2,6072E-02	4,0504E-02	-5,9523E-03
0,0001	KEA erneuerbar	9,9300E-05	9,9287E-05	9,4562E-05	4,4621E-06
0,2	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	4,5566E-03	4,9212E-03	7,9396E-03	6,5283E-03
0,1	SO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,5876E-05	2,5104E-05	4,9214E-06	2,5521E-05
0,1	TOPP-Äquivalent	2,5865E-05	2,5137E-05	6,0857E-06	2,7326E-05
0,07	Fläche	7,8517E-05	9,2585E-05	5,1303E-05	7,6757E-05
0,01	Abwasser	9,8898E-07	1,2550E-06	7,5999E-07	9,5364E-07
0,02	Abfall	1,0014E-03	1,5463E-03	1,8351E-03	9,6629E-04
0,1	Kosten/Wärmepreis	1,0511E-02	1,1180E-02	1,4271E-02	1,0400E-02
0,05	Nutzungsgrad	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02
0,05	Wertschöpfung	-3,3500E-02	-3,2000E-02	-1,6000E-02	-2,8000E-02
<b>1,0001</b>	<b>gewichtete Summe</b>	<b>-2,7430E-02</b>	<b>-2,3037E-02</b>	<b>1,3707E-02</b>	<b>-5,0923E-02</b>

Nachfolgend sind die normierten und gewichteten Ergebnisse der Nachhaltigkeitsanalyse im Koordinatennetz abgebildet. Diese Darstellung ist nur bedingt geeignet, da aufgrund der logarithmischen Skalierung negative Werte wie die Wertschöpfung und der Nutzungsgrad die in die Bewertung positiv einfließen, nicht abgebildet werden. Dennoch lassen sich die schlechtesten Kriterien hiermit gut aufzeigen. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass das Referenzszenario V1ÖIGas den höchsten „KEA nicht erneuerbar“, sowie die höchsten Emissionen an CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Äquivalent aufweist. Daher hat diese Variante insgesamt die meisten negativen Umweltauswirkungen.

Die Variante V2aBG hat den höchsten Flächenverbrauch und Abwasseranfall.

Das Szenario V3Solark40 verursacht die höchsten Kosten und den höchsten spezifischen Wärmepreis sowie das meiste Abfallaufkommen. Die übrigen Versorgungsvarianten liegen im mittleren Bereich, wobei Mitterteich die geringsten Umweltauswirkungen aufweist.

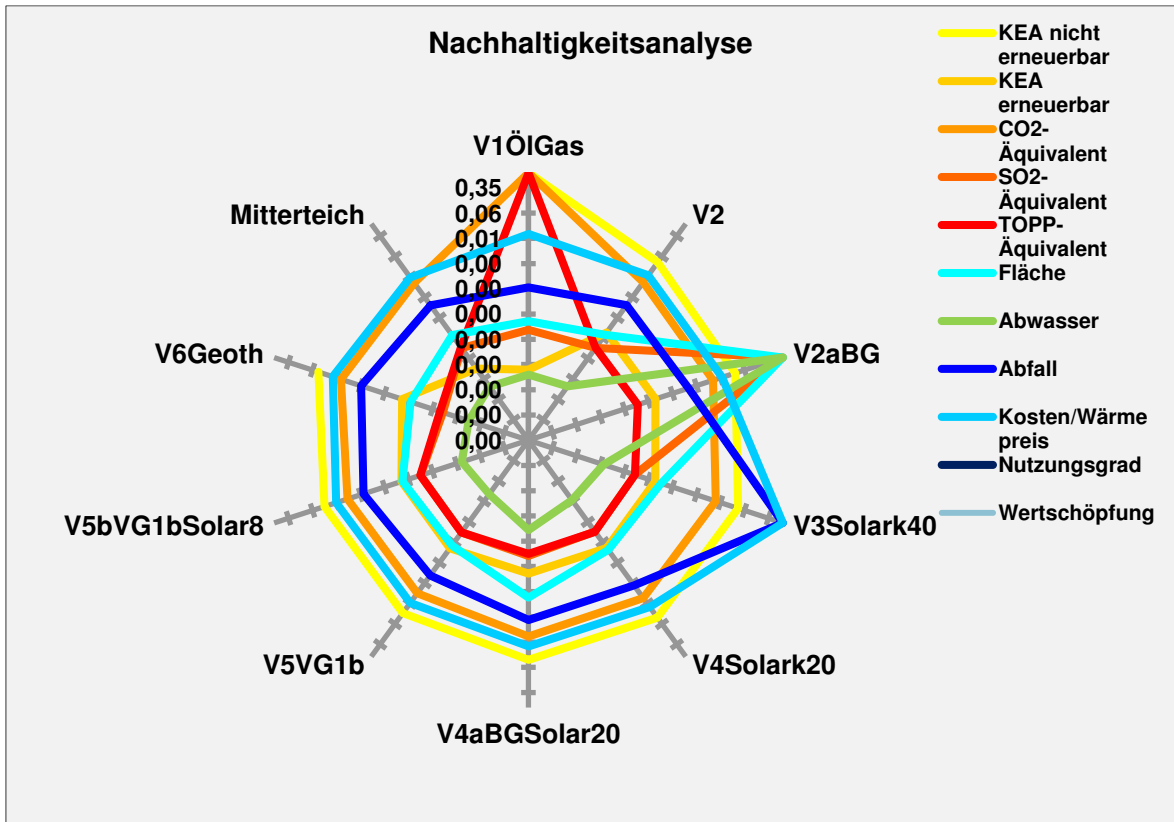


Abbildung 84: Nachhaltigkeitsanalyse Wärmeversorgungsvarianten

Nachfolgend wird das Ranking der Varianten in Bezug auf die Umweltauswirkungen gegenübergestellt.

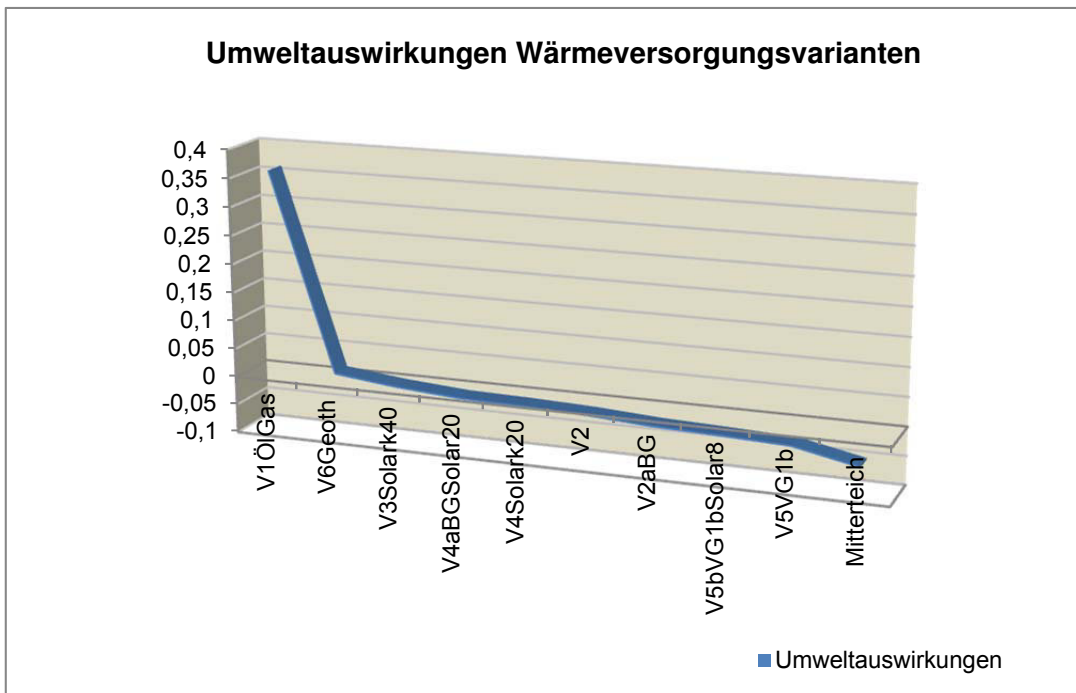


Abbildung 85: Ranking – Vergleich der Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten - eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Das Szenario V1ÖIGas schneidet wegen dem hohen „KEA nicht erneuerbar“ und der CO<sub>2</sub>-Emissionen am schlechtesten ab, gefolgt von V6Geoth. Die Geothermieanlage fällt in der Bewertung zurück, da sie trotz insgesamt geringer Umweltauswirkungen wegen dem derzeitigen Strom-Mix, einen höheren Anteil „KEA nicht erneuerbar“ aufweist. Weiterhin verursacht sie wegen den hohen Investitionskosten einen relativ hohen Wärmepreis. Außerdem hat sie wegen den eingesparten Brennstoffkosten (im Vergleich zur regional erzeugten und vermarkteten Biomasse), eine geringere Wertschöpfung als die übrigen Varianten. An dritt- und viertletzter Stelle liegen die Varianten V3Solark40 und V4aBGSolar wegen dem großen Abfallaufkommen und dem hohem Energieaufwand für die Solarkollektorherstellung. Von dem Szenario zur Versorgung des großen Versorgungsgebiets 1 Speichersdorf schneidet die Variante V2aBG mit Biomasse und Biogasanteil am besten ab. Dies ist bedingt durch die Gutschrift aus der Kraft-Wärme-Kopplung für die kombinierte Wärme- und Stromnutzung sowie durch den relativ günstigen Wärmepreis und die hohe regionale Wertschöpfung.

Die Variante V2 mit Biomassenanlage und Öl Spitzenlastversorgung ist nachhaltig, da wenige Umweltauswirkungen bei der Kesselherstellung, der Hackschnitzelproduktion und der Betriebsphase entstehen.

Die Variante V4aBGSolar20 schneidet im Vergleich zur Variante4Solark20 mit einem solaren Deckungsanteil von jeweils 20 % wegen dem durch den Biogasanteil verursachte Abwasserbelastung und dem hohen Flächenverbrauch schlechter ab.

Die Varianten V5bVG1 und V5bVG1bSolar8 erreichen wegen der höheren Wärmeabnahmedichte ein gutes Ergebnis. Wobei auch hier die Solarvariante durch den Herstellungsaufwand und die Emissionen für die Solaranlage leicht schlechter abschneidet.

Die besten Werte erreicht das Projekt Mitterteich aufgrund der höchsten Wärmeabnahmedichte und relativ kurzen Leitungslängen sowie dem Biomasseeinsatz.

Grundsätzlich liegen die Varianten V2 bis V6 (großes Versorgungsgebiet Speichersdorf) sehr nahe zusammen, so dass jede der Versorgungsvarianten empfehlenswert ist. Die Auswahl des Szenarios zur Umsetzung hängt letztlich von der Detailplanung und den daraus resultierenden exakten Rahmenbedingungen ab.

In der folgenden Abbildung sind die Umweltauswirkungen dem spezifischen Wärmepreis gegenübergestellt.

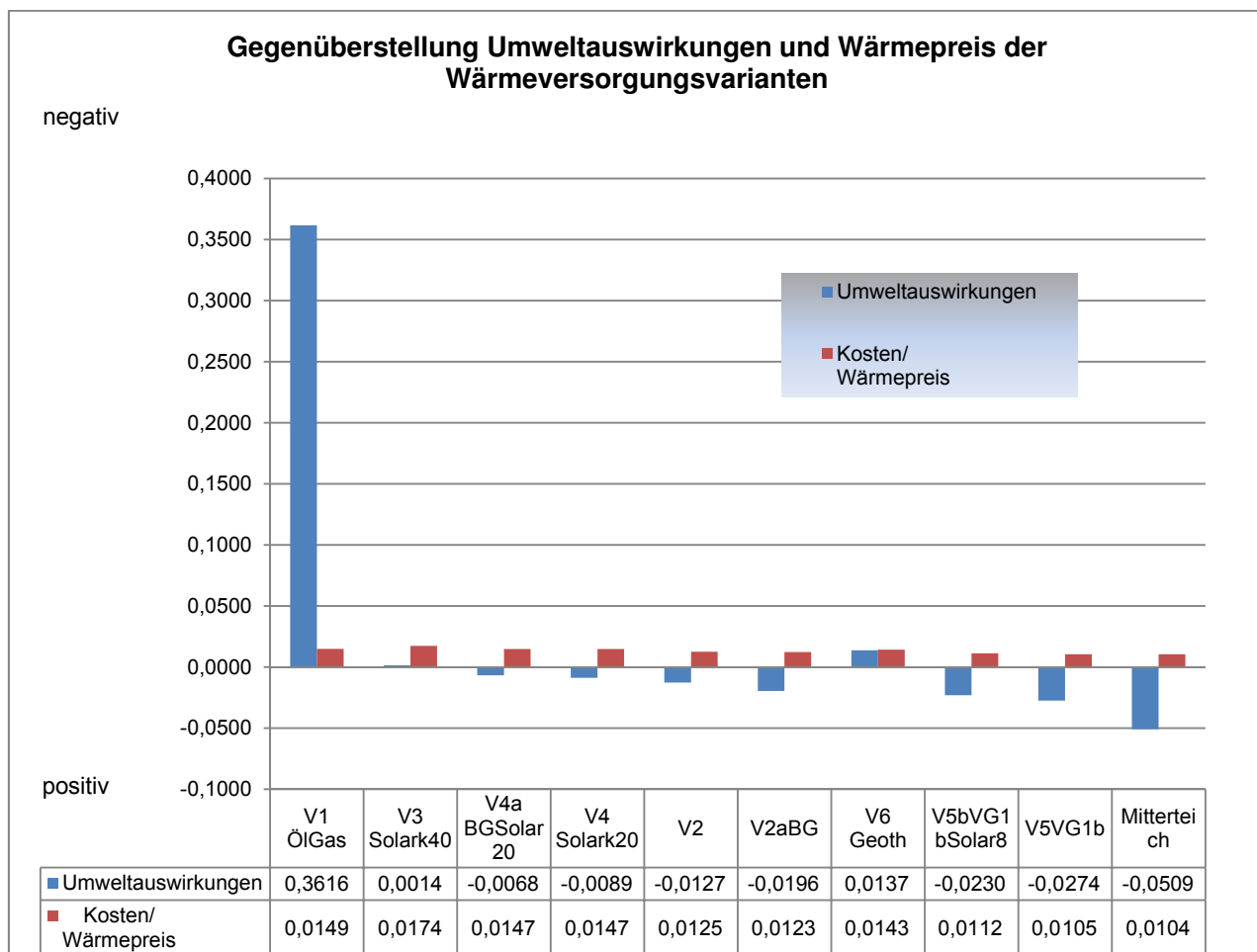


Abbildung 86: Umweltauswirkungen im Vergleich zum spezifischen Wärmepreis – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

Die Referenzvariante hat mit Abstand die meisten negativen Umweltauswirkungen und durch die hohen Brennstoffkosten für Heizöl einen relativ hohen Wärmepreis. Aus dem Vergleich wird ersichtlich, dass die Variante V6 Geoth und V3Solark40 aufgrund des hohen spezifischen Wärmepreises trotz geringer Umweltauswirkungen schlechter abschneiden. Die Variante V2 mit der Biomasse- und Heizölspitzenlastversorgung hat geringe Umweltauswirkungen und derzeit einen relativ geringen Wärmepreis bei einer hohen regionalen Wertschöpfung.

Die Variante V6 Geoth wird durch den im Vergleich zu den Biomasse-Nahwärmeversorgungsvarianten höheren Wärmepreis und geringeren Wertschöpfung aufgrund entgangener Brennstoffkosten trotz der geringen Umweltauswirkungen schlechter eingestuft.

### 9.1.4 Gesamtergebnis - Vergleich Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher.

Die Berechnung der Indikatoren für das Wärmenetz erfolgt für das große Versorgungsgebiet 1 Speichersdorf und für das Nahwärmenetz Mitterteich. Daher werden die Varianten 5VG1b und 5VG1bSolar8 hier nicht betrachtet. Weiterhin werden die Indikatoren für die Varianten mit Erdwärmespeicher/Aquiferspeicher berechnet.

In Tabelle 87 bis 89 sind die normierten und gewichteten Gesamtergebnisse der Indikatoren für die Wärmeversorgungsvarianten für die erzeugte Nutzwärme inkl. Netzverluste und Betriebsstrom inkl. Wärmenetz und Erdwärmespeicher dargestellt. Die gewichtete Summe zeigt für jede Variante die addierten Indikatoren unter dem Begriff Umweltauswirkungen. Diese basieren auf den Berechnungen mit GEMIS der anschließenden Normierung auf die kWh Nutzwärme und der Gewichtung. Durch die dimensionslose Skalierung von -1 bis +1, zeigt der Wert mit dem höchsten positiven Wert (V1ÖIGas mit gerundet 0,3616) das schlechteste Ergebnis und der Wert mit dem niedrigsten negativem Wert (Mitterteich mit gerundet -0,0509) das beste Ergebnis an.

*Tabelle 87: Ergebnis Nachhaltigkeitsanalyse - Umweltauswirkungen Wärmeversorgungsvarianten V1 – V2 ohne und mit Nahwärmenetz eigene Berechnung auf Basis GEMIS*

<b>Ergebnis Gewichtung</b>	<b>V1ÖIGas</b>	<b>V2</b>	<b>V2mNetz<sup>44</sup></b>	<b>V2aBG</b>	<b>V2amNetz<sup>45</sup></b>
KEA nicht erneuerbar	3,4801E-01	3,8117E-02	6,8371E-02	3,1790E-02	6,2044E-02
KEA erneuerbar	1,2910E-06	9,5353E-05	9,6072E-05	9,8570E-05	9,9289E-05
CO <sub>2</sub> -Äquivalent	5,4938E-02	6,9244E-03	1,0851E-02	6,3486E-03	1,0275E-02
SO <sub>2</sub> -Äquivalent	2,0105E-05	2,5933E-05	3,0321E-05	3,3945E-05	3,8333E-05
TOPP-Äquivalent	2,8430E-05	2,6147E-05	3,1810E-05	2,7559E-05	3,3222E-05
Fläche	3,6314E-05	7,8683E-05	9,1212E-05	7,1169E-04	7,2421E-04
Abwasser	9,1047E-07	9,8252E-07	2,8612E-06	6,1247E-06	8,0034E-06
Abfall	3,7093E-04	9,8322E-04	1,1228E-03	1,0814E-03	1,2209E-03
Kosten/Wärmepreis	1,4862E-02	1,2497E-02	1,2497E-02	1,2311E-02	1,2311E-02
Nutzungsgrad	-4,2500E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02
Wertschöpfung	-1,4137E-02	-3,6454E-02	-3,6454E-02	-3,7000E-02	-3,7000E-02
<b>gewichtete Summe</b>	<b>3,6163E-01</b>	<b>-1,2705E-02</b>	<b>2,1640E-02</b>	<b>-1,9591E-02</b>	<b>1,4753E-02</b>

<sup>44</sup> V2mNetz: Variante V2 - Biomasseheizwerk und Heizölspitzenlast mit Wärmenetz

<sup>45</sup> V2amNetz: Variante V2 – Biomasseheizwerk, Biogasanteil, Heizölspitzenlast und Wärmenetz



**Tabelle 88: Ergebnis Nachhaltigkeitsanalyse - Umweltauswirkungen**  
 Wärmeversorgungsvarianten V3Solark40, V3mNetzSo, V4Solark20,  
 V4mNetzSo, ohne und mit Nahwärmenetz und Erdwärmespeicher - eigene  
 Berechnung auf Basis GEMIS

<b>Ergebnis Gewichtung</b>	<b>V3Solark40</b>	<b>V3mNetzSo<sup>46</sup></b>	<b>V4Solark20</b>	<b>V4mNetzSo<sup>47</sup></b>
KEA nicht erneuerbar	3,9225E-02	8,1318E-02	3,5965E-02	7,0337E-02
KEA erneuerbar	9,6882E-05	9,7761E-05	9,6913E-05	9,7688E-05
CO2-Äquivalent	7,7790E-03	1,2481E-02	6,8742E-03	1,1070E-02
SO2-Äquivalent	2,2080E-05	2,7684E-05	2,3995E-05	2,8805E-05
TOPP-Äquivalent	2,2423E-05	2,9072E-05	2,4228E-05	3,0234E-05
Fläche	1,4845E-04	1,6098E-04	1,1352E-04	1,2605E-04
Abwasser	2,3053E-06	4,1933E-06	1,6451E-06	3,5270E-06
Abfall	3,6936E-03	3,8554E-03	2,3420E-03	2,4892E-03
Kosten/Wärmepreis	1,7364E-02	1,7364E-02	1,4689E-02	1,4689E-02
Nutzungsgrad	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02
Wertschöpfung	-3,2000E-02	-3,2000E-02	-3,4005E-02	-3,4005E-02
<b>gewichtete Summe</b>	<b>1,3541E-03</b>	<b>4,8338E-02</b>	<b>-8,8746E-03</b>	<b>2,9866E-02</b>

**Tabelle 89: Ergebnis Nachhaltigkeitsanalyse - Umweltauswirkungen**  
 Wärmeversorgungsvarianten V4a -V6 und Mitterteich, ohne/mit  
 Nahwärmenetz/Erdwärmespeicher– eigene Berechnung auf Basis GEMIS

<b>Ergebnis Gewichtung</b>	<b>V4aBGSolar20</b>	<b>V4amNetzSo<sup>48</sup></b>	<b>V6Geoth</b>	<b>V6mNetz<sup>49</sup></b>	<b>Mitterteich</b>	<b>MittertmNetz<sup>50</sup></b>
KEA nicht erneuerbar	3,7056E-02	7,1427E-02	4,0504E-02	7,0757E-02	-5,9523E-03	7,9587E-04
KEA erneuerbar	9,7432E-05	9,8207E-05	9,4562E-05	9,5281E-05	4,4621E-06	4,6225E-06
CO2-Äquivalent	7,4094E-03	1,1606E-02	7,9396E-03	1,1866E-02	6,5283E-03	6,6588E-03
SO2-Äquivalent	2,9024E-05	3,3835E-05	4,9214E-06	9,3091E-06	2,5521E-05	2,5667E-05
TOPP-Äquivalent	2,5217E-05	3,1223E-05	6,0857E-06	1,1749E-05	2,7326E-05	2,7514E-05
Fläche	5,0921E-04	5,2174E-04	5,1303E-05	6,3831E-05	7,6757E-05	1,6082E-04
Abwasser	4,8566E-06	6,7385E-06	7,5999E-07	2,6387E-06	9,5364E-07	1,0161E-06
Abfall	2,3964E-03	2,5437E-03	1,8351E-03	1,8351E-03	9,6629E-04	9,7093E-04
Kosten/Wärmepreis	1,4689E-02	1,4689E-02	1,4271E-02	1,4271E-02	1,0400E-02	1,0400E-02
Nutzungsgrad	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02	-3,5000E-02
Wertschöpfung	-3,4000E-02	-3,4000E-02	-1,6000E-02	-1,6000E-02	-2,8000E-02	-2,8000E-02
<b>gewichtete Summe</b>	<b>-6,7838E-03</b>	<b>3,1957E-02</b>	<b>1,3707E-02</b>	<b>4,7913E-02</b>	<b>-5,0923E-02</b>	<b>-4,3955E-02</b>

<sup>46</sup> V3mNetzSo: Variante V3 mit Biomasseanlage, Heizölspitzenlast, Solarthermieanlage (40 % solarer Deckungsanteil), Wärmenetz und Erdwärmespeicher (23.000 m Sondenlänge)

<sup>47</sup> V4mNetzSo: Variante V4 mit Biomasseanlage, Heizölspitzenlast, Solarthermieanlage (20% solarer Deckungsgrad), Wärmenetz und Erdwärmespeicher (8.000 m Sondenlänge)

<sup>48</sup> V4amNetzSo: Variante V4 mit Biogasanteil, Solarthermieanlage (20 % solare Deckung), Wärmenetz und Erdwärmespeicher (8.000 m Sondenlänge)

<sup>49</sup> V6mNetz: Variante 6 - Geothermieanlage und Heizölspitzenlast mit Wärmenetz

<sup>50</sup> MittertmNetz: Mitterteich Biomasseanlage mit Erdgasspitzenlast und Wärmenetz

Die Ergebnisse aus den Tabelle 87 bis Tabelle 89 sind im nachfolgenden Diagramm zusammengefasst.

Abbildung 87 zeigt im Ergebnis die normierten und gewichteten Indikatoren, die Umweltauswirkungen ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher.

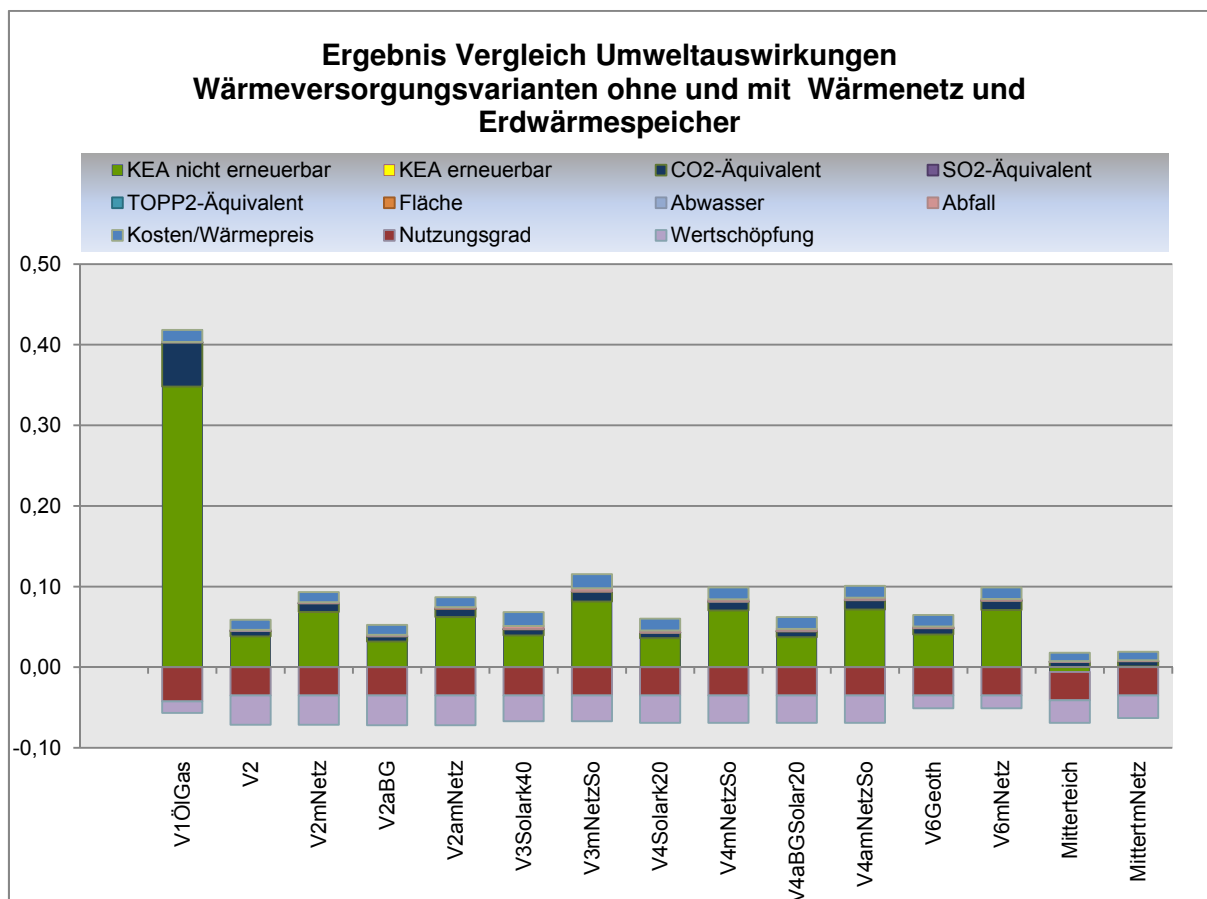


Abbildung 87: Ergebnis Vergleich Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

In der Bewertung werden die Wertschöpfung und der Systemnutzungsgrad nach ihrer Gewichtung gutgeschrieben. Da hier im Gegenzug zu den Emissionen ein möglichst hoher Wert gewünscht ist, werden diese als negative Werte berücksichtigt.

Nachfolgend wird das Ranking der Varianten dargestellt.

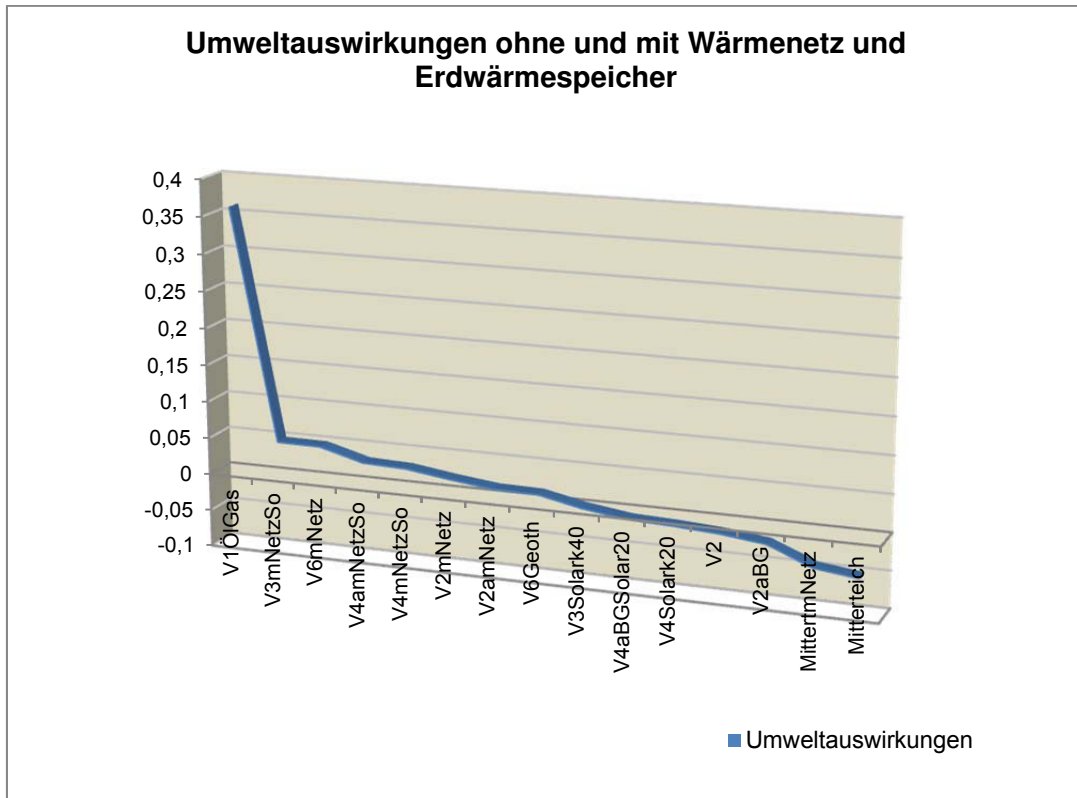


Abbildung 88: Ranking – Vergleich der Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher eigene Darstellung auf Basis GEMIS

In der Variante V1 ÖlGas ist der KEA nicht erneuerbar und das CO<sub>2</sub>-Äquivalent Hauptgrund für die negative Bewertung.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Wärmenetz insbesondere die Isolierung aus PUR-Hartschaum erhebliche Umweltauswirkungen und damit Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben. Durch das hier angenommene Wärmenetz mit der PUR-Hartschaum Isolierung reduzieren sich die vermiedenen Umweltauswirkungen (siehe hierzu 9.1.5 Ergebnis Bilanzindikator).

Die Wertschöpfung und der Nutzungsgrad wirken sich positiv auf die Bewertung aus, daher sind diese als Gutschrift negativ gewichtet (siehe Kapitel Methodik). Der „KEA erneuerbar“ fließt mit 0,0001 nur symbolisch in die Gewichtung ein, da die Ressourcen reversibel sind und die Gewichtung weiterhin über die Emissionen erfolgt. Aufgrund der geringen Gewichtung ist der „KEA erneuerbar“ im Diagramm nicht abgebildet.

Der Erdwärmespeicher aus PE-HD-Rohr fällt im Vergleich zum Wärmenetz mit PUR-Hartschaumdämmung zwar weniger ins Gewicht, wirkt sich aber dennoch so stark aus, dass die Varianten mit Netz und Sonde im Ranking am schlechtesten abschneiden.

Daher sollten Nahwärmenetze nur bei guten gemischten Abnehmerstrukturen möglichst 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 auf jeden Fall aus regenerativen Energieträgern erfolgen.

Die Wärmeversorgungsvarianten liegen im Ranking nahe zusammen. Die Variante V6 Geothermie schneidet wegen dem vergleichsweise hohem KEA nicht erneuerbar bedingt durch den Betriebsstrom trotz ansonsten niedriger Emissionen mit 0,0137 etwas 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-, Wasserkraft und Kraft-Wärme- Kopplung sowie steigende Brennstoffpreise insbesondere für Biomasse kehrt sich dieses Bild langfristig jedoch um.

Durch den derzeit relativ hohen 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 Produktionstechniken und steigende Brennstoffpreise ändert sich die Bewertung entsprechend.

Der spezifische Wärmepreis der Vergleichsvariante V1ÖIGas mit 149 €/MWh, ist außer bei der Variante V3Solark40 mit 174 €/MWh höher als bei den Varianten V2 - V4 mit 123 - 147 €/MWh und V6 Geoth mit 143 €/MWh. Bei dem kleineren Versorgungsgebiet der Varianten liegt der Wärmepreis bei 105 €/MWh ohne und bei 112 €/MWh mit solarem Anteil. Der Wärmepreis des Projekts Mitterteich liegt bei 100 €/MWh. Daher ist die Umsetzung der Nahwärmeversorgungsvarianten sowohl aus ökologischen als auch ökonomischen Gründen zu befürworten.

Der Anteil der Biogas-Kraft-Wärme-Kopplung wirkt sich durch die Gutschrift für kombinierte Strom-und Wärmenutzung positiv in der Bewertung aus. Die Emissionen in die Luft werden stärker gewichtet als der Abwasseranfall und der Flächenverbrauch. Dadurch schneidet Biogas im Vergleich gut ab. Die Variante V2aBG hat beim großen Versorgungsgebiet Speichersdorf mit -0,01916 das beste Ergebnis.

Insgesamt hat auch die Biomassenutzung mit Heizölspitzenlastherzeugung durch den verhältnismäßig geringen KEA für die Herstellung der Kesselanlagen und die geringen Emissionen sowie die hohe Wertschöpfung und dem derzeit niedrigeren Wärmepreis mit -0,0127 ein sehr gutes Ergebnis.

### **9.1.5 Ergebnis Bilanzindikator Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung durch vermiedene Umweltauswirkungen**

Aus den Ergebnissen wurde der Bilanzindikator mit dem Sammelbegriff „vermiedene Umweltauswirkungen“ gebildet. Dieser zeigt auf, welche Umweltauswirkungen im Vergleich zur Referenzvariante in Prozent vermieden werden. Aufgrund der Skalierung zwischen - 1 und 1, können durch die Gutschrift der negativen Werte Ergebnisse mit über 100% erreicht werden (siehe Tabelle 90). Bei der Referenzvariante werden somit 0 % der Umweltauswirkungen vermieden und bei der nachhaltigsten Variante Mitterteich 114,08 %. Grundsätzlich liegen die Varianten des Versorgungsgebiets 1 Speichersdorf sehr nahe zusammen. Das Netz und der Erdwärmespeicher erhöhen die Umweltauswirkungen bei der Variante V3Solark40 um 13 %. Bei der Variante V6Geoth steigen die Umweltauswirkungen durch das Wärmenetz um 9,45 % an. Bei den Varianten 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 den Varianten 4aBGSolar20 mit 20 % solarer Deckung und dem kleineren Erdwärmespeicher beträgt der Anteil des Netzes und Wärmespeichers 10,71 %. Bei der Variante Mitterteich fällt das Netz aufgrund der hohen Abnahmedichte und der kurzen Netzlänge nur mit 1,58 % ins Gewicht.

*Tabelle 90: Gesamtergebnis Bilanzindikator – vermiedene Umweltauswirkungen der Nahwärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz/Erdwärmespeicher eigene Entwicklung und Berechnung auf Basis GEMIS*

<b>Variante</b>	<b>vermiedene Umwelt- auswirkungen</b>
V1ÖlGas	0,00%
V3mNetzSo	86,63%
V6mNetz	86,75%
V4amNetzSo	91,16%
V4mNetzSo	91,74%
V2mNetz	94,02%
V2amNetz	95,92%
V6Geoth	96,20%
V3Solark40	99,63%
V4aBGSolar20	101,87%
V4Solark20	102,45%
V2	103,51%
V2aBG	105,41%
MittertmNetz	112,50%
Mitterteich	114,08%

Abschließend sind die Ergebnisse im Diagramm dargestellt. Der Bilanzindikator vermiedene Umweltwirkungen zeigt mit einer Zahl das Gesamtergebnis in Prozent auf und kann so als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden.

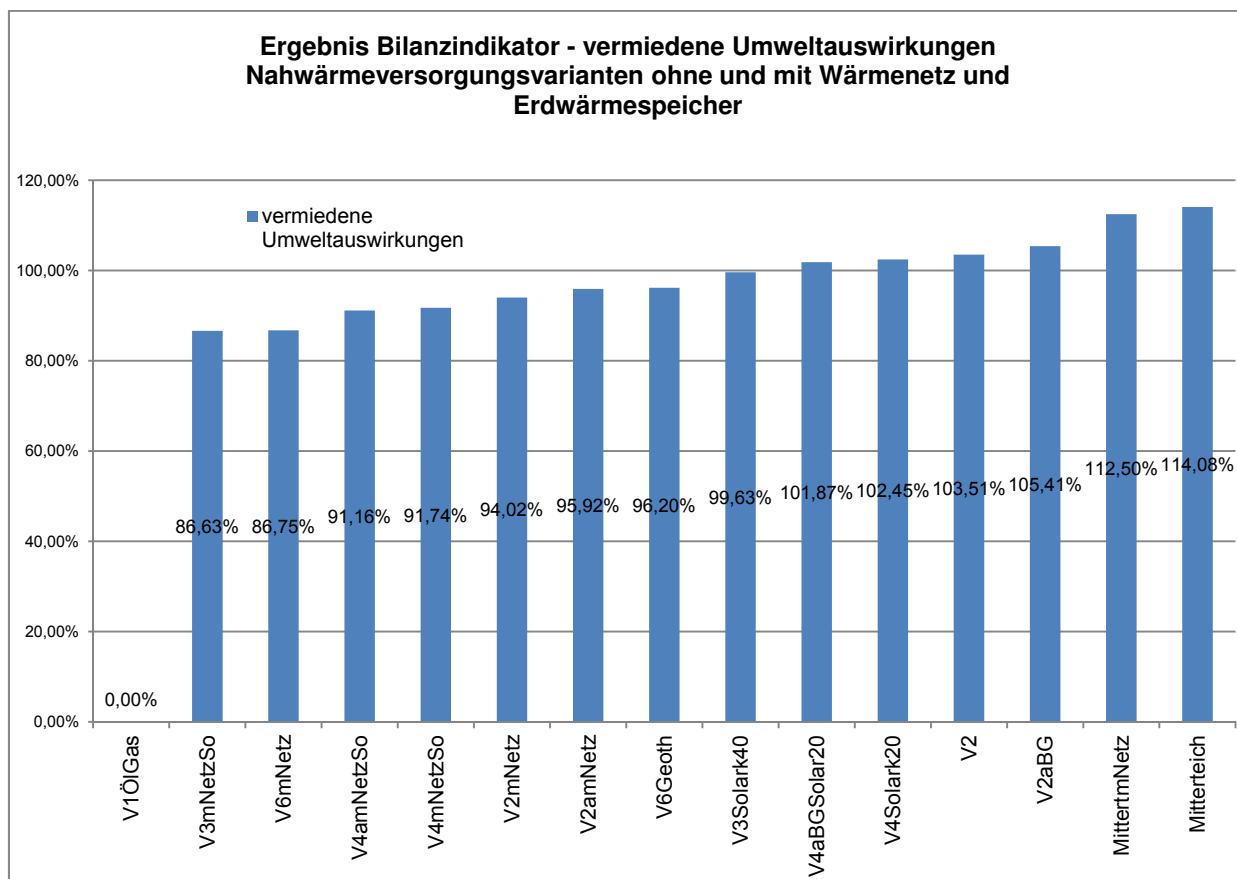


Abbildung 89: Darstellung Gesamtergebnis mit Bilanzindikator vermiedene Umweltauswirkungen - eigene Entwicklung und Darstellung auf Basis GEMIS

## 9.2 Einfluss kommunaler Einzelprojekte auf die Region am Beispiel Landkreis Tirschenreuth

Nachfolgend soll aufgezeigt werden welchen Einfluss einzelne Projekte auf die Ökologie, Ökonomie und Soziales für eine nachhaltige Entwicklung in der Region haben. Hierzu wird der Wärmebedarf des Sektors wohnähnliche Nutzung (Wohnbebauung) des Landkreises Tirschenreuth in Bezug zu den Wärmeversorgungsvarianten Speichersdorf Versorgungsgebiet 1 und Mitterteich gesetzt. Am Beispiel der Indikatoren CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Emissionen) und regionale Wertschöpfung wird die Auswirkung und die Verflechtung zur Region aufgezeigt. Laut Klimaschutzkonzept des Landkreises Tirschenreuth beträgt der Endenergieverbrauch für Heizwärme des Sektors wohnähnliche Nutzung im Jahr 2008 896.400 MWh. Hiervon entfallen 82 % auf Wohngebäude sowie jeweils 9 % auf öffentliche Gebäude und Gewerbe. Der Sektor wohnähnliche Nutzung wurde ausgewählt, da dieser mit den in den Wärmeversorgungsvarianten zu versorgenden Liegenschaften vergleichbar ist.

*Tabelle 91: Ergebnis Outputindikator CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeversorgungsvarianten in Bezug auf die Region Landkreis Tirschenreuth eigene Berechnung auf Basis Klimaschutzkonzept Landkreis Tirschenreuth und GEMIS*

		Ersparnis CO <sub>2</sub> -Emissionen in to bei Wärmeversorgungsvarianten						
Einheit	Gesamt CO <sub>2</sub> -Emissionen wohn-ähnliche Nutzung Lkr. Tir. 2008	V2	V2a BG	V3 Solark40	V4 Solark20	V4a BGSolar20	V6 Geoth	Mitterteich
to	357.828	2.450	2.486	2.396	2.453	2.419	2.386	455
Prozent	100	0,68	0,69	0,67	0,69	0,68	0,67	0,13

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass allein das Projekt Mitterteich im Landkreis Tirschenreuth bereits zu einer CO<sub>2</sub>-Ersparnis von 0,13 % beiträgt. Bei der Realisierung eines Projekts wie Speichersdorf im Landkreis Tirschenreuth liegt die CO<sub>2</sub>-Ersparnis, je nachdem, welche Versorgungsvariante umgesetzt würde, zwischen 0,67 und 0,69 % des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstosses für die wohnähnliche Nutzung.

Neben der CO<sub>2</sub>-Ersparnis und den insgesamt vermiedenen Umweltauswirkungen, verbleibt durch die Umsetzung die regionale Wertschöpfung und damit Kapitalkraft mit Auswirkung auf den sozialen Bereich in der Region (siehe Tabelle 92). Diese setzt sich zum einen aus den verbrauchsgebundenen Kosten der regional produzierten und verbrauchten Primärenergieträger Holzhackschnitzel für die Biomasseheizwerke, sowie den nachwachsenden Rohstoffen und Gülle für die Biogasanlage zusammen. Hierbei beträgt der Transportweg für Hackschnitzel zwischen 20 und 120 km und für die nachwachsenden Rohstoffe maximal 20 km. Zum anderen besteht die Wertschöpfung aus den betriebsgebunden Kosten für die Anlagenbetreuung, Wartung und Instandhaltung, welche im Wesentlichen aus Personalkosten bestehen. Bei Anlagen in dieser Größenordnung wird i.d.R. eine Reaktionszeit von zwei Stunden vorausgesetzt, so dass die Betreuung und Wartung ebenfalls durch Personal und Firmen aus der Region erfolgt, was wiederum zur Arbeitsplatzbeschaffung/-sicherung führt. Die regionale Wertschöpfung entsteht jährlich während der gesamten Nutzungsphase. Durch die steigenden Preise für die Primärenergieträger sowie Personal- und Betriebskosten steigt auch die Wertschöpfung in der Region. Der Anteil der Wertschöpfung im Referenzszenario ist mit 28 €/MWh (in Gesamtübersicht abgebildet) deutlich geringer, da der Hauptkostenblock für den Einkauf des Primärenergieträgers Heizöl/Erdgas aus der Region bzw. dem Land abfließt. Der geringe Anteil, der hieraus im Handel verbleibt, wurde nicht berücksichtigt.



Tabelle 92: regionale Wertschöpfung der Wärmeversorgungsvarianten 2-6 und Mitterteich eigene Berechnung

	V2	V2aBG	V3Solark40	V4Solark20	V4aBGSolar20	V6Geoth	Mitterteich
<b>regionale Wert-schöpfung €/MWh</b>	73	74	64	68	68	32	56
<b>gesamt</b>	765.543 €	777.960 €	672.431 €	714.108 €	714.108 €	330.907 €	105.212 €

Beim Einsatz von Geothermie sowie Solarthermie für den solaren Deckungsanteil, werden keine Brennstoffe zur Wärmeerzeugung benötigt. Dadurch reduziert sich die Wertschöpfung um den Betrag der eingesparten Brennstoffkosten. Dies kann man dadurch verbessern, indem man für geothermale und solare Wärme ebenfalls einen Arbeitspreis definiert. Dieser wird mittels Preisgleitklausel an die Kosten für Primärenergieträger gekoppelt, so dass der Arbeitspreis erst entsteht, wenn die fossilen Energieträger das Preisniveau erreicht haben, den der spezifische Wärmepreis inkl. Investitionskosten für die Geothermieanlage hat. Dadurch ist gewährleistet, dass der solare und geothermale Wärmepreis dauerhaft niedriger ist als der Wärmepreis für fossile Energieträger. Ein Beispiel hierfür zeigt die entwickelte Preisgleitklausel. Der Arbeitspreis für Geothermie errechnet sich aus dem Arbeitspreis zu Vertragsbeginn mit dem  $AP_0$  mit 5,0 €/MWh zzgl. MwSt. und ist zu 70 % fix aufgrund des hohen Investitionskostenanteils im Wärmepreis. Weiterhin gleitet er zu 30 % am Brennstoffpreis für leichtes Heizöl.

$$AP_{\text{Geothermie}} = AP_0 \times (0,7 + 0,3 B/B_0)$$

$$B = \text{Brennstoffpreis zur Zeit der Wärmelieferung}$$

$$B_0 = \text{Basisbrennstoffpreis zu Vertragsbeginn: 76,26 €/hl (StaBu 2012)}$$

Der Preis für leichtes Heizöl errechnet sich aus dem arithmetischen Mittelwert von zwölf Monaten des Preises für Heizöl EL zur Zeit der Wärmelieferung. Dieser Mittelwert ist aus den monatlichen Preisen für Heizöl EL pro hl frei Verbraucher bei Lieferung in Tankwagen, 40-50 hl pro Auftrag, einschl. Verbrauchssteuer und EBV, Marktort München ohne Umsatzsteuer, der monatlichen Veröffentlichungen des statistischen Bundesamtes (StaBu), Wiesbaden, Fachserie 17, Reihe 2, Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte (Erzeugerpreise) zu errechnen. Das arithmetische Mittel der Monatswerte Januar bis Dezember gilt als Preis für die Periode Anfang Januar bis Dezember.

Beispielberechnung Arbeitspreis  $AP_{\text{Geothermie}}$  bei Anstieg Heizölpreis auf 100 €/hl:

$$\mathbf{AP}_{\text{Geothermie}} = 5,0 \times (0,7 + 0,3 \times 100 / 76,26) = \mathbf{5,47 \text{ €/MWh}}$$
 zzgl. MwSt.

Anzumerken ist, dass hiermit wiederum ein Preis definiert wird, und dadurch das derzeit auf „Wachstum“ und „Höher - Schneller – Weiter“ basierende System unterstützt wird. Daher stellt sich die Frage, ob ein langfristig stabiler Wärmepreis auch mit dem Manko der geringeren Wertschöpfung nicht nachhaltiger ist.

## 10 Diskussion

Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines Indikatorensystems als Bewertungsgrundlage für Nahwärmeversorgungssysteme zur Realisierung nachhaltiger und energieeffizienter Nahwärmenetze.

Das entwickelte Indikatorensystem mit dem Bilanzindikator „vermiedene Umweltauswirkungen“ zeigt auf, dass das definierte Umweltqualitätsziel, mit der Verbesserung der nachhaltigen Entwicklung um mindestens 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation auf Basis fossiler Energieträger, bei allen erneuerbaren Energien Szenarien mit 86,63 % bis 114,08 %, überschritten wird. Die Vorgabe eine Verbesserung von 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation zu erreichen, wurde aus mehreren Gründen in dieser Höhe festgelegt. Diese sind der hohe Energieaufwand und die Investitionskosten für die Errichtung und den Betrieb von Nahwärmenetzen, welche nur Sinn machen, wenn eine nennenswerte Verbesserung das Ergebnis ist. Um weiterhin zur Umsetzung von Projekten zu motivieren und nicht abzuschrecken, wurde das Umweltqualitätsziel nicht über 75 % hinaus definiert, da dieses Ziel auch Projekte erreichen können, die höhere Umweltauswirkungen als die gewählten Beispiele verursachen.

Die Überprüfung der Einhaltung des Umweltqualitätsziels kann anhand der jährlichen Emissionsmessergebnisse der Wärmeerzeugungsanlagen sowie mit der jährlichen Wärmeabrechnung durch die Aktualisierung der Indikatoren erfolgen.

Nachfolgend wird überprüft, ob das entwickelte Indikatorensystem die Prüfkriterien der GP-Forschungsgruppe, Vollständigkeit, Leitbildbezug, Kommunizierbarkeit Handlungsbezug, Datenverfügbarkeit, Konsistenz, Sensitivität und Kompatibilität erfüllt.

Um das Kriterium Vollständigkeit zu erfüllen, wurde für die Betrachtung der untersuchten Komponenten die Berechnung der Emissionen mit dem Programm GEMIS 4.8 erstellt. Hierbei werden die Komponenten auf Basis einer Lebenszyklusanalyse betrachtet. Die Ergebnisse werden nach dem MIPS-Konzept hier „je kWh Nutzwärme“ dargestellt.

Das Leitbild zur Entwicklung der Indikatoren ist die starke Nachhaltigkeit mit dem Hauptaugenmerk auf die Ökologie. Um den Bezug zum Leitbild herzustellen, wurde der Schwerpunkt auf die Entwicklung ökologischer Indikatoren mit dem Ergebnis der „vermiedenen Umweltauswirkungen“ als Bilanzindikator gelegt. Die Dimensionen Ökonomie und Soziales werden über den spezifischen Wärmepreis und die regionale Wertschöpfung die sich direkt auf den Bereich Soziales auswirkt, berücksichtigt.

Die Kommunizierbarkeit wird insoweit erfüllt, da die ausgewählten Indikatoren auf ein umsetzbares Maß von insgesamt 12 Indikatoren beschränkt ist und ein leicht verständliches dimensionsloses Wertesystem von -1 und 1 gewählt wurde. Außerdem wird der Bilanzindikator in der international anwendbaren und vergleichbaren Einheit Prozent ausgedrückt.

Der Handlungsbezug zur starken Nachhaltigkeit wird über die gewählten ökologischen Indikatoren, welche internationale und nationale Indikatoren sowie hier Ergebnisse einzelner Wärmeversorgungsprojekte aufzeigen und vergleichbar machen, erreicht.

Die Datenverfügbarkeit ist dadurch gewährleistet, dass das Programm GEMIS im Internet frei zugänglich ist. Die notwendigen Projektdaten der einzelnen Wärmeversorgungsvarianten müssen bei der Vorplanung erarbeitet werden. Diese können gleichzeitig für die Anwendung der Indikatoren verwendet werden. Letztlich dienen die Indikatoren als Entscheidungshilfe um das nachhaltigste Wärmeversorgungssystem für das jeweilige Projekt zur ermitteln.

Die gewählten Indikatoren sind konsistent, weil z. B. das CO<sub>2</sub>-Äquivalent auf den einzelnen Treibhausgasen basiert und als Summenparameter die Klimarelevanz der jeweiligen Wärmeversorgungsvariante darstellt. Die Erstellung eines konsistenten Gesamtergebnisses wird durch die Normierung auf die kWh, die Festlegung des Wertesystems und die Gewichtung der Indikatoren erreicht.

Die Sensitivität der Ergebnisse wird durch die Berechnung mit GEMIS 4.8 gewährleistet, dass die einzelnen Emissionen wie z.B. Abwasser in kg Abwassermenge bezogen auf die gesamte erzeugte Nutzwärme für die standardisierten Parameter CSB, BSB<sub>5</sub>, P, N u. a. hier bis zu einer Genauigkeit von 10<sup>-7</sup> kg Abwassermenge / kWh Nutzwärme, darstellt.

Die Kompatibilität wird erfüllt, weil die ausgewählten Indikatoren auch für andere Nahwärmeversorgungsprojekte anwendbar sind. Die einzelnen Indikatoren können für Nahwärmeversorgungsvarianten überregional und international angewendet und verschiedene Projekte untereinander verglichen werden.

Somit werden die Kriterien der GP-Forschungsgruppe hinreichend erfüllt.

Nachfolgend wird die Erfüllung der Anforderungen an die Verfügbarkeit und Messbarkeit der Daten im späteren Umsetzungsprozess nach Dietrichs et al. überprüft.

Die Aktualität und Fortführung der Indikatoren kann mit den Ergebnissen der jährlichen Emissionsmessung und der Wärmeabrechnung erfolgen. Das Programm GEMIS wird ebenfalls fortlaufend aktualisiert, so dass auch weitere Prozesse berechenbar sind.

Ein institutioneller Zugriff ist durch die spezifischen Projektdaten nicht gegeben. Dieses Problem lässt sich lösen, indem die Datenweitergabe/-ermittlung an die Förderbedingungen geknüpft werden.

Grundsätzlich sind die Indikatoren erweiterbar wodurch die Erweiterungsmöglichkeit der Informationsbasis gegeben ist.

Der kostengünstige Datenerwerb wird durch das kostenfrei zugängliche Programm GEMIS ermöglicht. Da die spezifischen Projektdaten im Zuge der Projektarbeit obligatorisch ermittelt werden müssen, fallen dadurch keine zusätzlichen Kosten an.

Die Messbarkeit und Überprüfung der Indikatorenergebnisse ist durch die jährliche Fortführung möglich.

Abschließend wird die Fragestellung diskutiert, warum die im Folgenden nochmals aufgeführten Indikatoren zur Bewertung von Nahwärmeversorgungssystemen ausgewählt und in dieser Form gewichtet wurden.

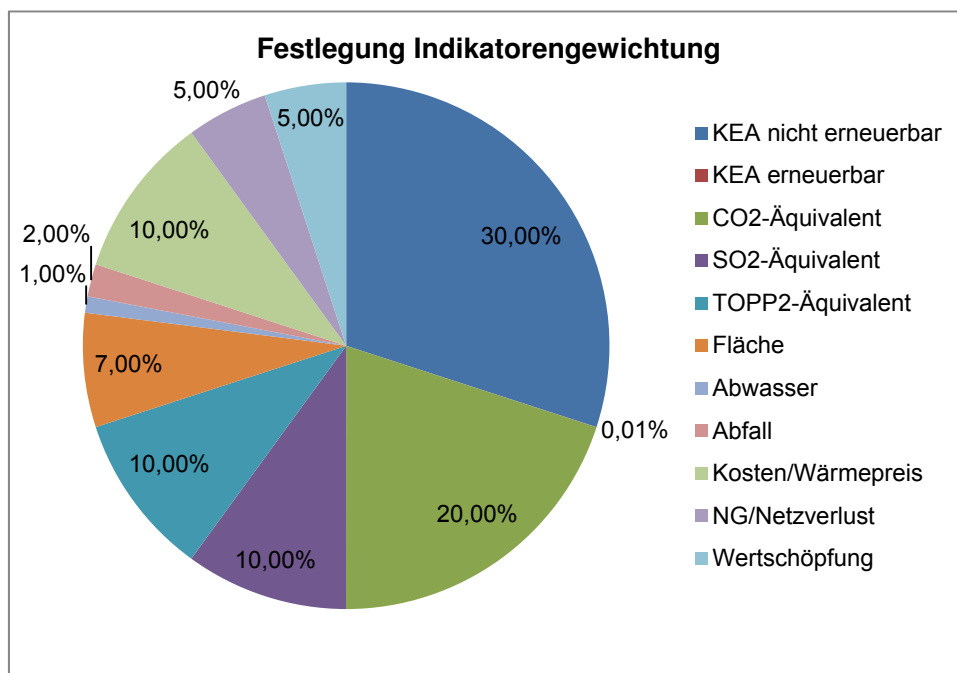


Abbildung 90: Übersicht Indikatoren mit Gewichtung

Der „KEA nicht erneuerbar“ ist der maßgebliche Indikator für den Energieaufwand, der aus nicht erneuerbaren Energieträgern stammt. Dieser bildet das Ergebnis der Lebenszyklusanalyse (Ressourcenaufwand von der Herstellung bis zur Entsorgung) ab und wird deshalb mit 30 % am stärksten gewichtet.

Der „KEA erneuerbar“ zeigt den Energieaufwand aus erneuerbaren Energieträgern an. Dieser wird aufgrund der Reversibilität der Ressourcen mit 0,0001 nur symbolisch

gewichtet und zu Vergleichszwecken angezeigt. Außerdem erfolgt die Gewichtung indirekt durch die Emissionsindikatoren.

Beim Verbrennungsvorgang zur Wärmeerzeugung entstehen in erster Linie Emissionen in die Luft und stellen somit die Hauptemissionen dar. Deshalb werden die Emissionen hierfür als Indikatoren herangezogen und am stärksten gewichtet.

Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent wurde ausgewählt, da CO<sub>2</sub> das maßgebliche Klimagas ist und über das Äquivalent in Summe alle Klimagasemissionen mit erfasst werden. Die Gewichtung erfolgt hier mit 20 %, weil CO<sub>2</sub> die Hauptursache für den Klimawandel darstellt und mengenmäßig die meisten Emissionen verursacht.

Das SO<sub>2</sub>-Äquivalent wird deshalb als Indikator herangezogen, weil es das Versauerungspotenzial der Luftschadstoffe der untersuchten Wärmeversorgungszenarien anzeigt. Auch hier wird wiederum das Äquivalent gewählt, um alle Luftschadstoffe zu erfassen die zur Bodenversauerung beitragen.

Das gleiche gilt für das TOPP-Äquivalent, welches das bodennahe Ozonbildungspotenzial der Luftschadstoffe aufzeigt.

Die Gewichtung des SO<sub>2</sub>- und TOPP-Äquivalents erfolgt jeweils mit 10 % da diese mengenmäßig deutlich geringer ausfallen als das CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Der Indikator Fläche wird verwendet um den zur Energieerzeugung notwendigen Flächenverbrauch aufzuzeigen. Diese Flächen stehen dann unter Umständen für andere Nutzungszwecke nicht zur Verfügung. Der Flächenverbrauch ist bei der Biogasnutzung mit Abstand am größten, während andere Energieträger hingegen deutlich weniger Fläche benötigen. Durch die Nutzung von Holzhackschnitzeln wird z. B. keine Nutzungskonkurrenz für Lebensmittel (Teller-Tank-Diskussion) erzeugt. Bei der Nutzung von Heizöl wird im Vergleich auch wenig Fläche benötigt. Um zu verhindern das die Nutzung fossiler Energien wegen des geringen Flächenverbrauchs trotz der hohen Emissionen als nachhaltig eingestuft werden, wird die Flächennutzung über die Gewichtung von 7 % relativiert.

Bei der Verbrennung fällt naturgemäß kaum Abwasser an. Außerdem wird das anfallende Abwasser der Kanalisation und somit entsprechenden Klärtechnik zugeführt. Deshalb fließt der Indikator Abwasser nur mit 1 % in die Bewertung ein. Ausnahme stellt hier wiederum die Biogasnutzung dar.

Als letzten ökologischen Indikator wird das Abfallaufkommen aus den Versorgungsvarianten ausgewählt und mit 2 % gewichtet. Betrachtet man die Zusammensetzung der Abfälle, verursacht der Abraum vor allem in den Varianten mit erneuerbaren Energieträgern mengenmäßig den größten Anteil. An zweiter Stelle liegt

der Produktionsabfall. Auch hier verursacht das Referenzszenario ÖIGas mit dem bedingt durch den geringeren Produktionsaufwand für die Kesselherstellung und das fehlende Netz vergleichsweise wenig Abfall. Daher wurde das Abfallaufkommen mit einer Gewichtung von 2 % relativiert. Wäre die Verbrennung fossiler Energien grundsätzlich nachhaltig, dürften nicht die bekannten Umweltprobleme wie Klimawandel, Ozonabbau u. a. existieren.

Die ökologischen Indikatoren fließen insgesamt mit einer Gewichtung von 80 % in die Bewertung ein, um dem Leitbild der starken Nachhaltigkeit Rechnung zu tragen.

Um der Energieeffizienz Rechnung zu tragen, wird der Indikator Systemnutzungsgrad mit 5 % in der Bewertung berücksichtigt. In der Arbeit werden die Anlagennutzungsgrade inkl. Netzverlust aufgrund der Betreibererfahrung aus über 30 Nahwärmenetzen von der Autorin angenommen. Die detaillierte Ermittlung des Systemnutzungsgrads, gerade die Kombination von verschiedenen Wärmeerzeugungsanlagen mit Wärmepumpen und Speicher in einer Gesamtanlage, ist Thema für einen eigenen Diskurs / Forschungsansatz. Hier stellt sich insoweit die Frage, ob Anlagen die keine Primärenergieträger und keinen Verbrennungsprozess verursachen, genauso hohe Wirkungsgrade erreichen müssen wie Anlagen auf Basis fossiler Energien oder ob diese nicht anders zu bewerten sind. Hier sollte das Augenmerk vielleicht von der reinen Effizienz weg hin zu den Ergebnissen wie z. B. ersparten Emissionen gelenkt werden. Das gleiche gilt für den Wirkungsgrad eines Speichers wenn dieser z. B. solare Wärme speichert die sonst nicht nutzbar ist bzw. gar nicht erst produziert wird, ist der Speicherverlust hinnehmbar. In den Wärmeversorgungsvarianten wird ein Aquiferspeicher verwendet, der so einen größeren Teil der solar erzeugten Nutzwärme nutzbar macht. Deshalb werden die Speicherverluste vernachlässigt.

Als Indikator für die Ökonomie wurde der spezifische Wärmepreis je MWh Nutzwärme gewählt, um die Kosten der einzelnen Versorgungsvarianten vergleichen zu können.

Die regionale Wertschöpfung bildet den Bereich Soziales ab, da hierdurch zum einen Arbeitsplätze entstehen und Kapital vor Ort verbleibt, was sich direkt auf den Wohlstand auswirkt. Der Wärmepreis und die regionale Wertschöpfung haben einen Anteil von 15 % an der Gewichtung.

Der Indikator Toxizität wurde nicht separat ausgewählt, da beim Betrieb von Wärmeerzeugungsanlagen die Grenzwerte des BImSchG einzuhalten sind. Außerdem geht von erneuerbaren Energien grundsätzlich weniger Toxizitätsrisiko aus, da z. B. Holzhackschnitzel im Gegenzug zu Heizöl die Wassergefährdungsklasse 0 aufweisen.

Von Solarkollektoren im Betrieb geht ebenfalls kein nennenswertes Toxizitätsrisiko aus. Die wesentlichen Emissionen sind in den ausgewählten Indikatoren erfasst.

Feinstaub wird nicht separat betrachtet, da er nur bei Biomasseheizwerken in entsprechenden Größenordnungen anfällt, welche aber aufgrund der vorgeschriebenen Filtertechnik wieder unter den zulässigen Grenzwerten liegen.

Das Gesundheitsrisiko für den Anlagenbetrieb wurde ebenfalls nicht als Indikator ausgewählt, weil der Betrieb von Nahwärmenetzen durch geschultes Fachpersonal erfolgt. Hierbei sind die einschlägigen Arbeitsrichtlinien einzuhalten. Der Betrieb von dezentralen Einzelanlagen wird hingegen meist von ungeschulten Privatpersonen ausgeführt, daher ist das Gesundheitsrisiko für den Betrieb der dezentralen Einzelanlagen eher höher einzustufen als der Großanlagenbetrieb.

Weiterhin wurde aufgrund der unzureichenden Datenverfügbarkeit und damit fehlenden Kalkulationsgrundlage der Ressourcenverbrauch nicht in der notwendigen Tiefe berücksichtigt.

Grundsätzlich stellt sich bei der Gewichtung die Frage, ob innerhalb eines Indikators weitere Untergewichtungen sinnvoll sind. Um die Anwendung auf ein umsetzbares Maß zu beschränken, wurden in dieser Arbeit keine weiteren Untergewichtungen vorgenommen. Diese Fragestellung, wie auch die Frage, ob die Erweiterung des Indikatorensatzes grundsätzlich weitere Erkenntnisse bringt, sollte in weiteren Arbeiten diskutiert werden. Außerdem besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der Ausarbeitung von Datenbanken für den Ressourcenverbrauch, da die bestehenden Datenbanken unzureichend sind.

Insgesamt erfüllt das entwickelte Nachhaltigkeits-Indikatorensystem die vorgegebenen Ziele und dient als Planungs- und Entscheidungshilfe für die Umsetzung von nachhaltigen Nahwärmeversorgungsprojekten. Darüber hinaus wurden Erkenntnisse darüber gewonnen, welchen Anteil das Nahwärmenetz unabhängig von der Wärmeerzeugung am Energieaufwand und an den Emissionen verursacht.



## 11 Ausblick

Die Bewertung basiert auf den aktuellen Rahmenbedingungen wie z. B. dem bundesdeutschen Strom-Mix aus hauptsächlich nicht erneuerbaren Energieträgern sowie den derzeitigen Brennstoffkosten und Produktionstechniken. Dadurch schneidet die geothermale und solare Nahwärme im Vergleich zur Biomasse etwas schlechter ab.

Um die Klimaproblematik abzumildern, ist jedoch grundsätzlich die Abkehr vom Verbrennungsprozess erforderlich.

Durch den Einsatz effizienterer und ressourcensparender Produktionstechniken sowie durch steigende Brennstoffpreise verbessert sich die Bewertung für solare Nahwärme zunehmend.

Aufgrund des stark steigenden Anteils der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien und damit Reduzierung des kumulierten Energieaufwands für nicht erneuerbare Energieträger und der technischen Weiterentwicklung, wird künftig auch die Bewertung von Geothermieprojekten im Vergleich zur Biomassenutzung besser abschneiden. Weiterhin führt die Biomasseverknappung zu entsprechend hohen Preisen, so dass die Geothermie bereits in wenigen Jahren einen entscheidenden Beitrag zur Wärmeversorgung / Stromversorgung liefern kann, da sie vergleichsweise geringe Emissionen und wenig Flächenbedarf verursacht. Um sicher zu stellen das die energetische Nutzung holzartiger Biomasse nachhaltig ist, sollte hierfür wie beschrieben ein verbindliches Zertifizierungssystem eingeführt werden. Letztlich ist die Biomassenutzung wie die Kraft-Wärme-Kopplung in dezentralen kleinen bis mittleren Anlagen sinnvoll und nachhaltig. Im großem Maßstab ist langfristig die geothermale Wärmenutzung nachhaltiger. Außerdem werden mit fortschreitender Entwicklung der Speichertechnologien weitere Kombinationsmöglichkeiten von solarer und geothermaler Wärmeerzeugung sowie Kraft-Wärme-Kopplung interessant.

Insbesondere der Einsatz von Wärmepumpen wird weiter zunehmen und durch die regenerative Stromerzeugung langfristig nachhaltiger als die Wärmeerzeugung aus der Verbrennung.

Durch den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien im Stromnetz verbessert sich die Gesamtbilanz für solare und geothermale Wärme und Wärmepumpen, da diese dann mit weniger Emissionen produziert werden können.

## 12 Zusammenfassung

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

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit Hilfe eines Nachhaltigkeitsindikatorensatzes bestehend aus Input-, Output-, Effizienz- und Bilanz- Indikatoren, ein Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit 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 Verringerung 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-Indikatorensatzes ist nachfolgend dargestellt.

Tabelle 93: Zusammenfassung Indikatoren mit Kernaussage und Umweltqualitätsziel

Indikatorgruppe	Indikator	Kernaussage
Input-Indikator	Kumulierter Energieaufwand $KEA_{\text{erneuerbar}}$	Energieaufwand für Ressourcenverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe und erneuerbarer Energien – reversibel
	$KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$	Energieaufwand für Ressourcenverbrauch je kWh Nutzwärme durch Nutzung fossiler Energiequellen wie Heizöl, Erdgas etc., nicht erneuerbar – nicht reversibel
	Fläche/Boden	Zeigt auf wie viel Flächenbedarf in $m^2$ je kWh Nutzwärme für Herstellung der Anlagen und Primärenergieträger notwendig ist
Output-Indikator	$CO_2$ -Äquivalent	Klimawandel - Maß für das Potenzial der Treibhausgasemissionen in kg $CO_2$ /kWh Nutzwärme als relative Treibhauspotenziale (THP), die für jedes Treibhausgas angeben, welcher äquivalenten Menge von $CO_2$ seine Treibhauswirkung entspricht
	$SO_2$ -Äquivalent	Versauerung - Maß für das relative Potenzial 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
	Spezifischer Wärmepreis	Gibt an was die kWh Nutzwärme gemäß der derzeitigen Energiepreise inkl. Kapitaldienst Betrieb, Wartung und Instandsetzung kostet
	Regionale Wertschöpfung	Zeigt auf wie viel Kapital/Kaufkraft in €/kWh als Beitrag zum sozialem Wohlstand vor Ort verbleibt
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-/Istsituation
<b>Umweltqualitätsziel</b>	Reduzierung der Umweltauswirkungen um mindestens 75 % im Vergleich zur Ausgangssituation	

Zum Vergleich 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 10.828 m und 6.027 m. Dessen 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 91 aufgeführten Wärmeversorgungsvarianten mit und ohne Nahwärmenetz und Erdwärmespeicher sowie die Indikatoren berechnet.

Die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren wurden unter dem Sammelbegriff Umweltauswirkungen 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 Ergebnisse der Umweltauswirkungen der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten anhand des entworfenen Bewertungssystems sind in Abbildung 91 dargestellt.

Die Variante V1ÖIGas ist das Referenzszenario aus dezentralen Anlagen basierend auf Heizöl und Erdgas dem die folgenden Nahwärmeversorgungsvarianten gegenübergestellt wurden:

- V2: Biomasse und Heizölspitzenlast
- V2a: Biomasse, Biogas- und Heizölspitzenlast

- V3Solar40: Biomasse, 40 % solarer Deckungsgrad, Heizölspitzenlast
- V4Solar20: Biomasse, 20 % solarer Deckungsanteil und Heizöl-Spitzenlast
- V4aBGSolar20: Biomasse, Biogas, 20 % solarer Deckungsanteil und Heizöl-Spitzenlast
- V6 Geoth: Geothermieanlage mit Heizöl-Spitzenlast
- Mitterteich: Biomasse, Erdgas-Spitzenlast

Die Bezeichnung mNetz in Abbildung 91 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.

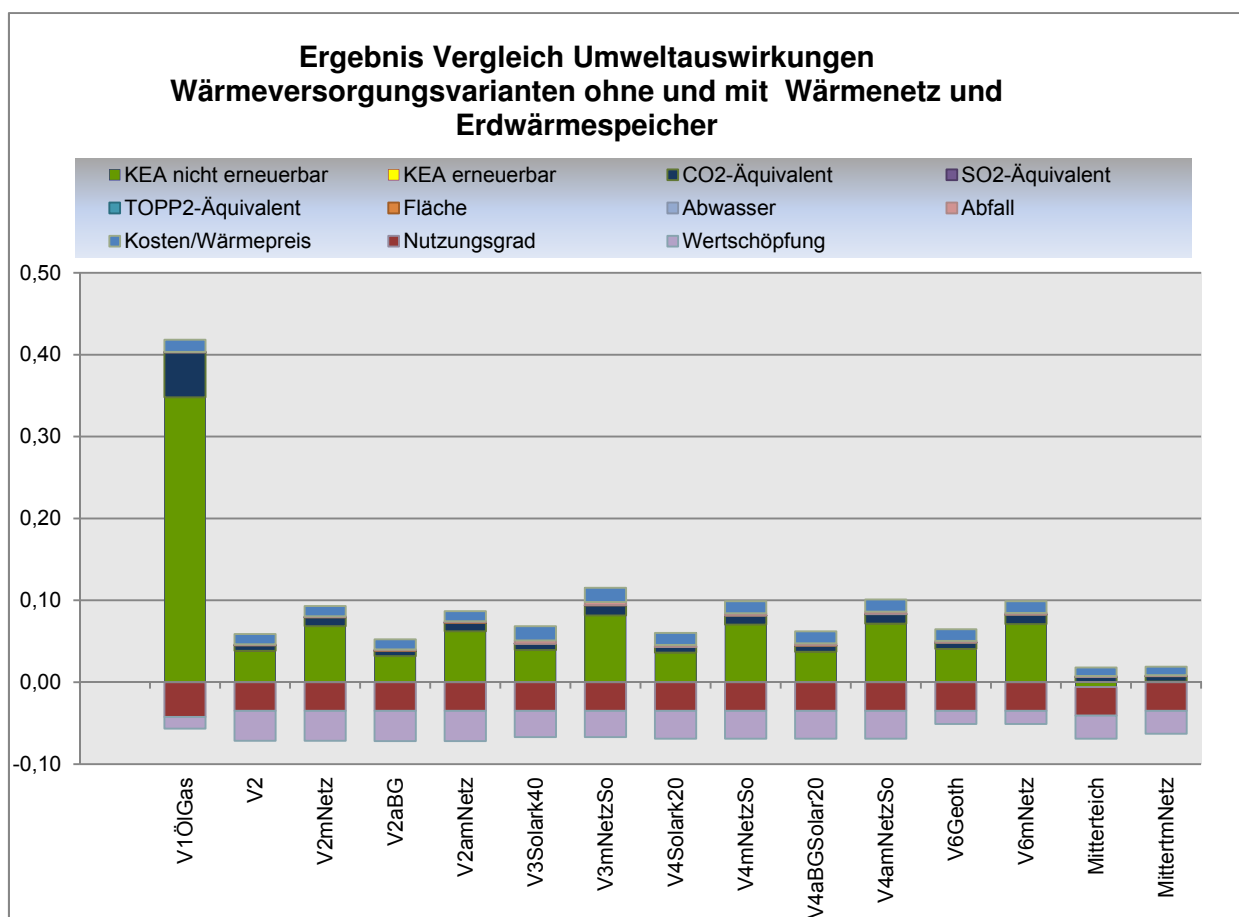


Abbildung 91: Ergebnis Vergleich Umweltauswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten ohne und mit Wärmenetz und Erdwärmespeicher – eigene Darstellung auf Basis GEMIS

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 zum Beispiel Wind-, Wasserkraft und Kraft-Wärme- Kopplung sowie steigende Brennstoffpreise, insbesondere für Biomasse, kehrt sich dieses Bild mittelfristig jedoch um.

Durch den derzeit relativ hohen 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-Kraft-Wärme-Kopplung wirkt sich durch die Gutschrift für kombinierte Strom- und Wärmenutzung positiv in der Bewertung aus. Die Emissionen in die Luft werden stärker gewichtet als der Abwasseranfall und der Flächenverbrauch. Dadurch schneidet Biogas im Vergleich gut ab. Die Variante V2aBG 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 V1ÖIGas liegt mit 149 €/MWh, außer bei der Variante V3Solark40 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 auf jeden Fall aus regenerativen Energieträgern erfolgen.

Der Bilanzindikator „vermiedene Umweltauswirkungen“ zeigt auf welche Umweltauswirkungen im Vergleich zur Referenzvariante in Prozent vermieden werden. 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 %. Grundsätzlich liegen die Varianten des Versorgungsgebiets 1 Speichersdorf sehr nahe zusammen. Das Netz und der Erdwärmespeicher erhöhen die Umweltauswirkungen bei der Variante V3Solark40 um 13 %. Bei der Variante V6Geoth steigen die Umweltauswirkungen durch das Wärmenetz um 9,45 % an. Der Anteil der Umweltauswirkungen des Erdwärmespeichers beträgt bei der Variante V3Solark40 3,55 %. Bei den Varianten 4aBGSolar20 mit 20 % solarer Deckung und dem kleineren Erdwärmespeicher, beträgt der Anteil des Netzes und des Wärmespeichers 10,71 %. Bei der Variante Mitterteich fällt das Netz aufgrund der hohen Abnahmedichte und der kurzen Netzlänge nur mit 1,58 % ins Gewicht.

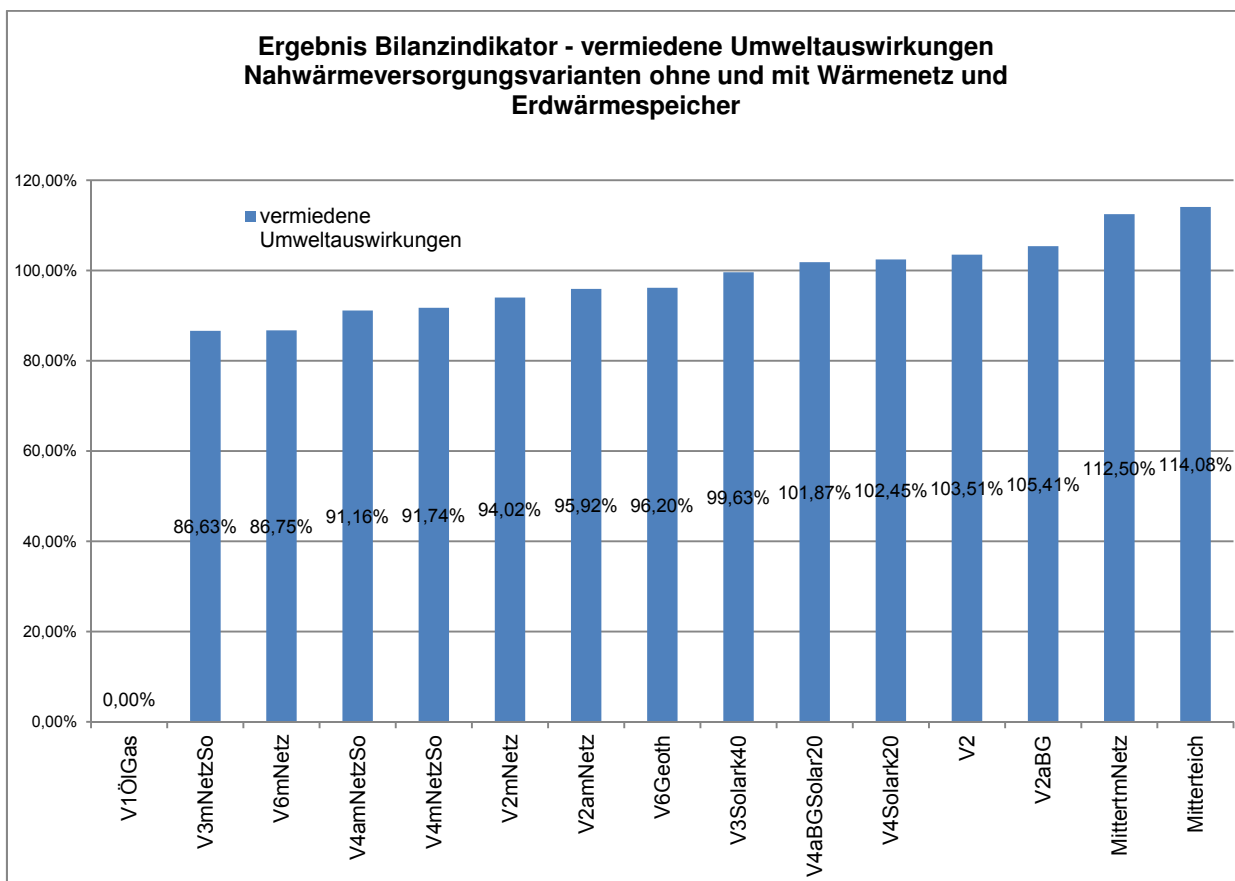


Abbildung 92: Darstellung Gesamtergebnis mit Bilanzindikator vermiedene Umweltauswirkungen - eigene Entwicklung und Darstellung auf Basis GEMIS

Der Einfluss einzelner Projekte auf eine nachhaltige Entwicklung in der Region wird mit dem Indikator CO<sub>2</sub>-Äquivalent und regionaler Wertschöpfung aufgezeigt. Hierzu wurden in Tabelle 94 die Daten aus dem Klimaschutzkonzept des Landkreises Tirschenreuth des Sektors wohnähnliche Nutzung in Relation zu den Nahwärmversorgungsvarianten gesetzt.

Tabelle 94: Bezugnahme Ergebnis Outputindikator CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeversorgungsvarianten, auf die Region Landkreis Tirschenreuth, eigene Berechnung auf Basis Klimaschutzkonzept Landkreis Tirschenreuth und GEMIS

		Ersparnis CO <sub>2</sub> -Emissionen in to bei Wärmeversorgungsvarianten						
Einheit	Gesamt CO <sub>2</sub> -Emissionen wohnähnliche Nutzung Lkr. Tir. 2008	V2	V2a BG	V3 SolarK40	V4 SolarK20	V4a BGSolar20	V6 Geoth	Mitterteich
to	357.828	2.450	2.486	2.396	2.453	2.419	2.386	455
Prozent	100	0,68	0,69	0,67	0,69	0,68	0,67	0,13



Somit trägt allein das Projekt Mitterteich im Landkreis Tirschenreuth bereits zu einer CO<sub>2</sub>-Ersparnis von 0,13 % bei. Bei der Realisierung eines Projekts wie Speichersdorf im Landkreis Tirschenreuth liegt die CO<sub>2</sub>-Ersparnis je nachdem, welche Versorgungsvariante umgesetzt wird, zwischen 0,67 und 0,69 % des CO<sub>2</sub>-Ausstosses für die wohnähnliche Nutzung.

Durch die Entwicklung des Indikators regionale Wertschöpfung wird aufgezeigt, wie viel Kapital und damit Kaufkraft durch die Umsetzung eines Nahwärmeprojekts in der Region verbleibt und zum Wohlstand beiträgt (siehe Tabelle 95). Somit bleiben je nach Versorgungsvariante zwischen 105 Tsd. € für Mitterteich und bis zu 777 Tsd. € bei der Umsetzung eines Projektes wie Speichersdorf in der Region.

*Tabelle 95: regionale Wertschöpfung der Wärmeversorgungsvarianten 2-6 und Mitterteich eigene Berechnung*

	V2	V2aBG	V3Solark40	V4Solark20	V4aBGSolar20	V6Geoth	Mitterteich
<b>regionale Wert-schöpfung €/MWh</b>	73	74	64	68	68	32	56
<b>gesamt</b>	765.543 €	777.960 €	672.431 €	714.108 €	714.108 €	330.907 €	105.212 €

Das entwickelte Nachhaltigkeitsindikatorensystem dient als Planungshilfe zur Bewertung von Nahwärmeversorgungsvarianten und Projekten. Weiterhin können die einzelnen Indikatoren in Relation zu nahezu jeder Bezugsgröße wie einer anderen Region, der Bundesrepublik oder verschiedenen Ländern gesetzt werden. Hierdurch kann man berechnen, welchen Anteil ein einzelnes Projekt z. B. an der CO<sub>2</sub>-Ersparnis der Bundesrepublik hat. Umgekehrt kann man ermitteln wie viele Projekte für eine Wärmeversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien notwendig sind. Dadurch sind die Indikatoren auch bei der Erstellung von Energie- und Klimaschutzkonzepten ein hilfreiches Instrument.

### 13 Summary

The aim of this thesis is to define indicators to evaluate local heat supply systems based on renewable energy compared to fossil energy reference scenarios. With these indicators a 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.

In these thesis 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.

*Table 96: Summary of the indicators with gist and environmental quality objective*

indicator group	indicator	core statement
input indicator	Cumulative renewable energy demand (KEA means CED)	resources consumption per kWh of useful heat by using renewable resources and renewable energies - reversible
	KEA renewable	
	KEA not renewable	resources consumption per kWh of useful heat by use of fossil energy sources such as oil, natural gas, etc. are not renewable - not reversible
	Area	Shows how much floor space in sqm per kWh of useful heat for the production of plants and primary energy sources is necessary
output indicator	Specific heat price	Specifies costs of a kWh useful heat according to the current energy prices including debt service operation, maintenance and repair
	CO <sub>2</sub> equivalent	Climate change - a measure of the relative global warming potential in kg CO <sub>2</sub> /kWh useful heat
	SO <sub>2</sub> - equivalent	Acidification - measure of the relative potential for soil acidification in kg SO <sub>2</sub> /kWh useful

		heat
	TOPP- equivalent	Ozone formation - relative tropospheric ozone precursor potential in kg NMVOC / kWh useful heat
	Wastewater	Wastewater per kWh of useful heat
	Waste	Waste per kWh of useful heat
	Specific heat price	Specifies costs of a kWh useful heat according to the current energy prices including debt service operation, maintenance and repair
	Regional added value	Shows how much capital remains in the region and contributes to prosperity
Efficiency indicator	Overall efficiency including power loss	Measure of the energy efficiency / productivity of the technology used, the higher the efficiency the less primary energy use is necessary
Balance indicator	Avoided environmental impacts	Summary of results - reducing the environmental impact compared to the initial / actual situation
Environmental quality objective	Reducing the environmental impact by at least 75% compared to the initial situation	

Overall, the two district heating projects Speichersdorf and Mitterteich 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 geothermal plant operating in duplicate to provide heat to the large coverage area for the storage project village. 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 in Figure 93 were calculated with and without distribution network and geothermal storage.

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. By the dimensionless scaling between -1 and 1 the best value is negative and the worst value is positive. 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 are shown in Figure 93.

The variant V1ÖIGas 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 term mNetz in Figure 93 illustrates the result of each heat supply variant with heat distribution network. The abbreviation mNetzSo contains in addition to heat generation and heat network the component geothermal reservoir storage (aquifer). The calculation for the respective heating network was based on plastic jacket pipe and HDPE pipe for the probe of the geothermal storage.

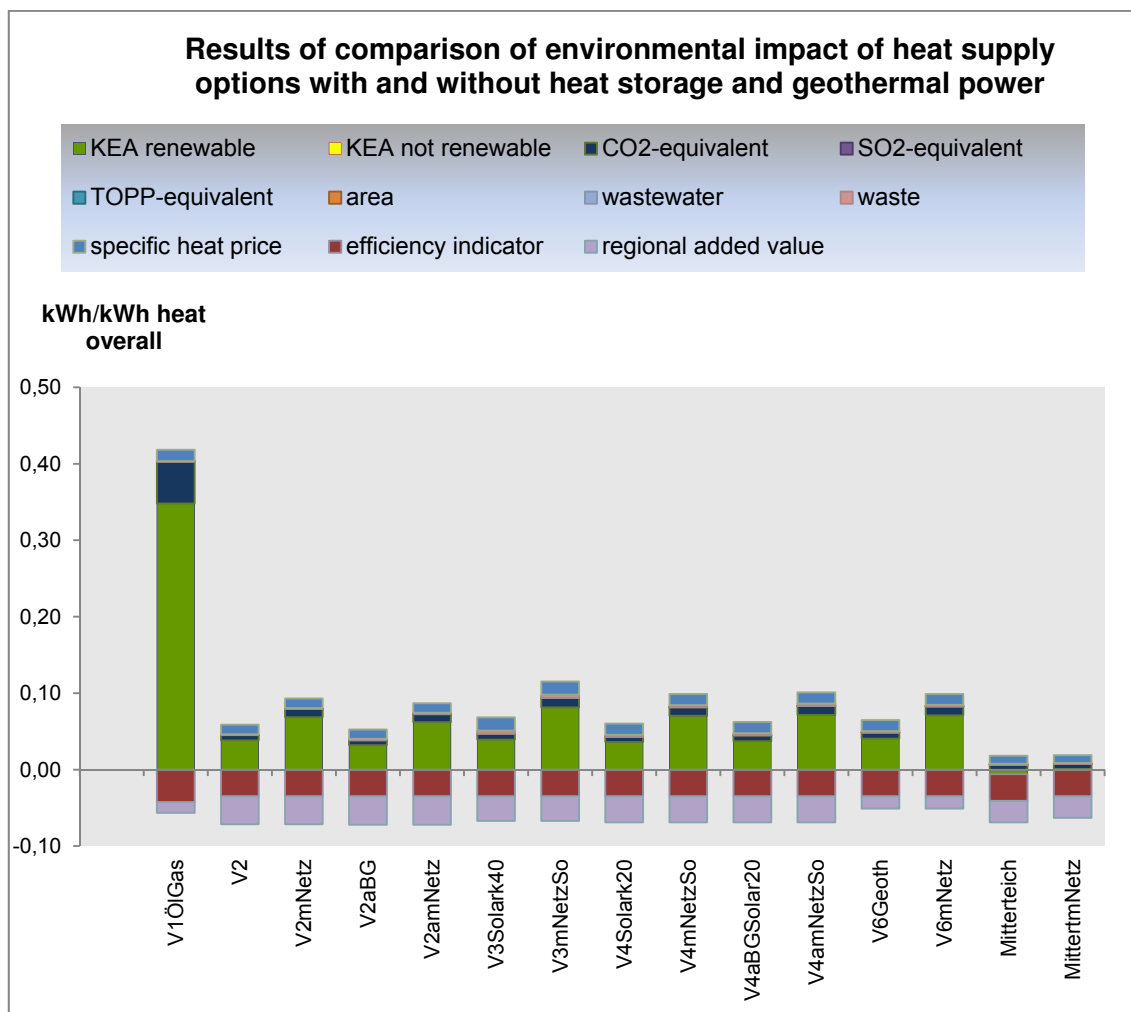


Figure 93: Results of comparing environmental impacts of heat supply options with and without heat storage and geothermal power - own description based on Gemis

The different heat supply options are proximal in the comparison. The V6 version geothermal performs slightly lower because of the relatively high cumulative energy demand (CED) for non-renewable energy sources due to the load current, despite otherwise low emissions with 0.0137. In addition, the lower added value and the higher heat price compared to biomass district heating have negative impacts in the assessment. Due to the increasing electricity generation from renewable energy sources such as wind, hydro and combined heat and power and rising fuel prices, particularly for biomass this fact turns in a medium term however.

By the current relatively high CED for the production and the high investment costs, the results of V3mNetzSo with 40% solar fraction are inferior to the variants with lower solar fraction and biomass / biogas. Through the use of more efficient solar heat production technology and rising fuel prices, the valuation changes accordingly.

The share of biogas combined heat and power has a positive effect through the credit for combined heat and power use in the valuation. The air emissions are weighted more heavily than the wastewater and land use. In this comparison biogas performed well. The variant V2aBG with the large coverage area Speichersdorf has with -0.01916 the best result.

The variant V2 biomass heating oil peak load generation has the relatively lowest CED for the manufacture of boilers and the low emissions in combination with a high added value and the current low price with -0.0127 a very good result.

The specific heat price of type V1ÖIGas is with 149 € / MWh, except for the variant V3Solark40 with 174 € / MWh, higher than in all other variants. Therefore both environmental and economic reasons aspects in the implementation of district heating supply options.

Overall, the reference variant has the most negative environmental impacts, while variant Mitterteich has the less of negative environmental impact of all compared types.

The results also show that thermal insulation in particular have significant environmental effects and thus influence on sustainability. The geothermal HDPE pipe is in comparison to the heat network less significant, but still affects so strong that variants with power probe and grid have the worst results. Therefore, local heating networks should be built only with mixed customer structures of medium and large customers. The pure single-family house supply and even more dramatic in new buildings is not recommended due to the low heat demand. Nevertheless, when large networks are implemented with low heat demand density, heat generation should be done in any case from renewable energy sources.

The balance indicator "avoided environmental impacts" shows percentaged which environmental impacts can be avoided in comparison to the reference scenario. Due to the scaling between - 1 and 1, results can be achieved with more than 100% by the credit of the negative values. In the reference scenario therefore 0% of the environmental impacts are avoided and at the most sustainable option Mitterteich achieve 114.08%. Basically, the variations in the supply area 1 Speichersdorf are very close together. The grid and geothermal storage increase the environmental impact of variant V3Solark40 by 13%. In the Type V6Geoth the environmental impacts rise through the heating network to 9.45%. In the variants V2-V4 and V6, the same heating network was calculated for the large coverage area Speichersdorf. Thus, the share of environmental impacts of geothermal storage in the variant V3Solark40 is 3.55%. In the variants 4aBGSolar20 with 20% solar heat and the smaller geothermal storage, the

proportion of the network and the heat storage is 10.71%. In the variant Mitterteich the heating network has a small impact due to the high density and decrease of the short length of the network with only 1.58%.

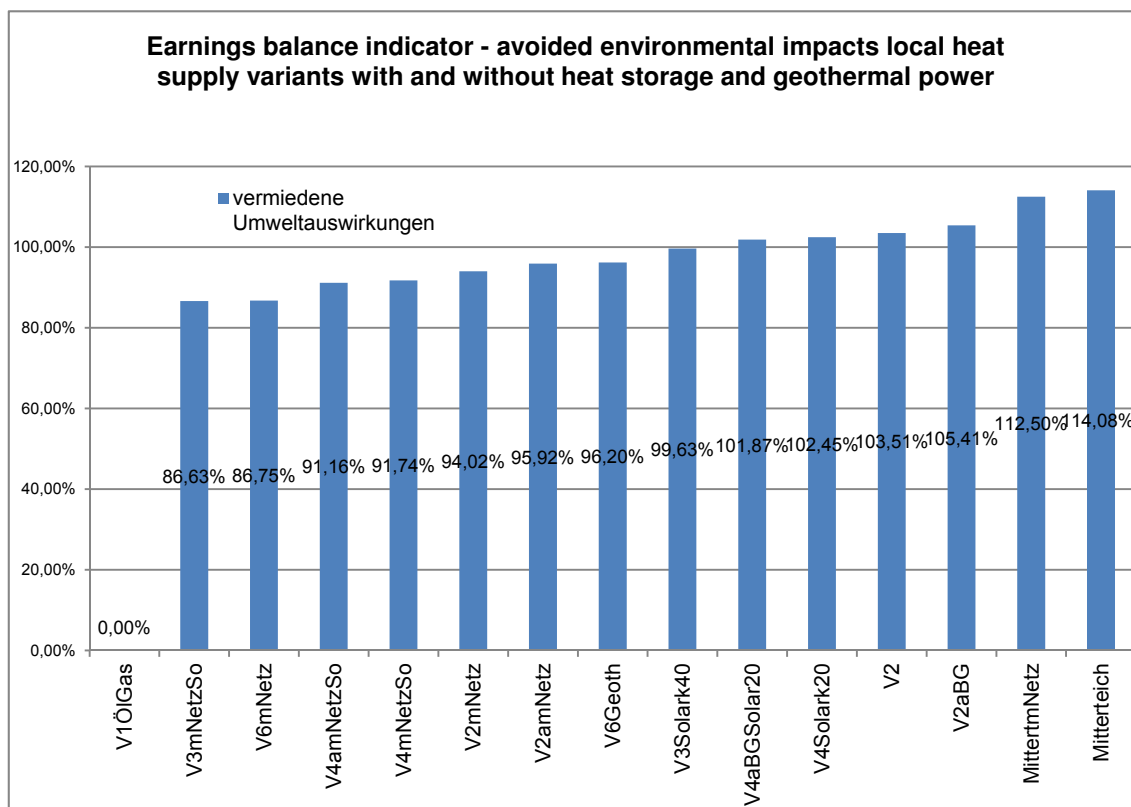


Figure 94: Presentation of comprehensive income with balance indicator avoided environmental impact - own development and presentation based Gemis

The impact of individual projects on sustainable development in the region is shown by the indicator of CO<sub>2</sub> equivalent and regional value. For this purpose, the data from the Climate Action Plan of the district of Tirschenreuth in the sector-domestic use were set in relation to the district heating supply options.

Table 97: Reference result output indicator CO<sub>2</sub> emissions of heat-supply variations on the region Tirschenreuth own calculation based on climate protection concept Tirschenreuth and Gemis

		Saving CO <sub>2</sub> emissions in tons for heat supply options						
Units	Total CO <sub>2</sub> emissions similar residential use Lkr. Tir. 2008	V2	V2a BG	V3 SolarK40	V4 SolarK20	V4a BGSolar20	V6 Geoth	Mitterteich
to	357.828	2.450	2.486	2.396	2.453	2.419	2.386	455
Prozent	100	0,68	0,69	0,67	0,69	0,68	0,67	0,13

Thus, the project Mitterteich in Tirschenreuth itself already contributes to a CO<sub>2</sub> saving of 0.13%. In the realization of a project such as Speichersdorf in the district of Tirschenreuth the CO<sub>2</sub> savings, depending on which version will be implemented, are 0.67 to 0.69% of CO<sub>2</sub> emissions for similar residential use.

The development of the indicator “regional added value” demonstrates how much capital and therefore purchasing power remains in the region and contributes to prosperity (see Table 98) through the implementation of a district-heating project. Thus, depending on the supply variation between € 105.000 for Mitterteich a year and up to € 777.000 a year, remain in the region due to the implementation of a project such as Speichersdorf.

*Table 98: regional added value of the heat supply options 2-6 and Mitterteich - own calculation*

	V2	V2aBG	V3Solark40	V4Solark20	V4aBGSolar20	V6Geoth	Mitterteich
<b>regional value €/MWh</b>	73	74	64	68	68	32	56
<b>Total</b>	765.543 €	777.960 €	672.431 €	714.108 €	714.108 €	330.907 €	105.212 €

The developed sustainability indicator system serves as a planning tool for the evaluation of local heat supply options and projects. Furthermore, the individual indicators can be set in relation to almost any benchmarks such as a region, the state and/ or other countries. With this instrument for example it is calculable which CO<sub>2</sub> savings single projects generate in percentage of a region. Conversely, it is a tool to determine how many projects for a heat supply from 100% renewable energies are necessary to install. Thus, the indicator system is a useful tool also in the development of climate protection concepts.



## 14 Literaturverzeichnis

- Agentur für erneuerbare Energien e. V. (13. September 2012). *Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien*. Von Wie funktioniert eine Biogasanlage?: [www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Technische\\_Skizze\\_-\\_Biogasanlage08.jpg](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Technische_Skizze_-_Biogasanlage08.jpg) abgerufen
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.. *Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990-2010*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von [www.ag-energiebilanzen.de/component/download.php?filedata=1321260350.pdf&filename=EEFA\\_AGEB\\_Effizienzindikatoren\\_zur\\_Energiebil.pdf&mimetype=application/pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/component/download.php?filedata=1321260350.pdf&filename=EEFA_AGEB_Effizienzindikatoren_zur_Energiebil.pdf&mimetype=application/pdf)
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt - stmug. *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Wasserbeschaffenheit*. Abgerufen am 18. Juni 2013 von Anhang 2: Normenverzeichnis zur Wasseranalytik: [www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/vollzug/doc/lfu\\_merkblatt\\_3.8\\_6\\_anhang\\_2\\_ba.pdf](http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/vollzug/doc/lfu_merkblatt_3.8_6_anhang_2_ba.pdf)
- GtV Bundesverband Geothermie e.V.. *GtV - Bundesverband Geothermie*. Abgerufen am 30. März 2013 von Anlagentypen in der Praxis: [www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/anlagentypen-in-der-praxis.html](http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/anlagentypen-in-der-praxis.html)
- (AGEE-Stat), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. *Energie-Atlas Bayern 2.0*. (B. S. Gesundheit, Herausgeber) Abgerufen am 15. Juni 2013 von [www.energieatlas.bayern.de/daten.html](http://www.energieatlas.bayern.de/daten.html)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Drei Säulen Modell*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von Lexikon der Nachhaltigkeit: [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1\\_3\\_a\\_drei\\_saeulen\\_modell\\_1531.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_a_drei_saeulen_modell_1531.htm)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Lexikon der Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von Integratives Nachhaltigkeitsmodell: [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1\\_3\\_c\\_integratives\\_nachhaltigkeitsmodell\\_1541.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_c_integratives_nachhaltigkeitsmodell_1541.htm)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Lexikon der Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von Ein Säulen Modell & Pyramiden Modelle: [www.nachhaltigkeit.info/artikel/1\\_3\\_e\\_ein\\_saeulen\\_modell\\_pyramiden\\_modelle\\_1543.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_e_ein_saeulen_modell_pyramiden_modelle_1543.htm)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Lexikon der Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von Begriffsentwicklung: [www.nachhaltigkeit.info/artikel/begriffsentwicklung\\_1729.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/begriffsentwicklung_1729.htm)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Nachhaltigkeitsmodell*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von [www.nachhaltigkeit.info/suche/a-z/n/nachhaltigkeitsmodell\\_778.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/suche/a-z/n/nachhaltigkeitsmodell_778.htm)
- Aachener Stiftung Kathy Beys. *Lokale Agenda 21: Indikatoren zur kommunalen Nachhaltigkeit, 2003*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von Lexikon der Nachhaltigkeit: [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/lokale\\_agenda-21\\_indikatoren\\_zur\\_kommunalen\\_nachh\\_1360.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/lokale_agenda-21_indikatoren_zur_kommunalen_nachh_1360.htm)
- Agentur für erneuerbare Energien e. V. (13. September 2012). *Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien*. Von Wie funktioniert oberflächennahe Geothermie?: [www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Oberflächennahe\\_Geothermie.jpg](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Oberflächennahe_Geothermie.jpg) abgerufen

- Agentur für erneuerbare Energien, e. V. (November 2009). *Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von Hintergrundinformation Wärme speichern: [www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/18\\_Hintergrundpapier\\_November\\_2009\\_Waerme speichern.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/18_Hintergrundpapier_November_2009_Waerme speichern.pdf)
- Agentur für erneuerbare Energien, e. V. *Deutschlands Informationsdienst für erneuerbare Energien*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von Wie funktioniert petrothermale Geothermie: [www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Petrothermale\\_Geothermie.jpg](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Petrothermale_Geothermie.jpg)
- Armin Grunwald, J. K. (2006). *Nachhaltigkeit*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2009). Oberflächennahe Geothermie - wasserwirtschaftliche Aspekte Fachtagung des LfU am 11.03. und 06.05.2009. In B. L. Umwelt (Hrsg.). Augsburg.
- Benjamin Tobias Peylo, C. f. (2008). *Ertrags/Risikooptimierung von Nachhaltigkeitsfonds Eine konzeptionelle und empirische Untersuchung*. Lüneburg: Centre for Sustainability Management (CSM) e.V.
- Bundesregierung. (2008). *Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie für ein nachhaltiges Deutschland*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von [www.bundesregierung.de/Content/DE\\_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2008-11-17-fortschrittsbericht-2008.pdf?\\_blob=publicationFile](http://www.bundesregierung.de/Content/DE_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2008-11-17-fortschrittsbericht-2008.pdf?_blob=publicationFile)
- Burkhardt, W. (1992). *Projektierung von Warmwasserheizungen* (2. völlig überarbeitete und erweiterte Ausg.). München Wien: R. Oldenburg Verlag.
- C.A.R.M.E.N e.V. (2013). *Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln - der Energieholz-Index*. Abgerufen am 01. Juni 2013 von [www.carmen-ev.de/infotehke/preisindizes/hackschnitzel](http://www.carmen-ev.de/infotehke/preisindizes/hackschnitzel)
- Citrin Solar. (2013). *Flachkollektor CS 100F*. Abgerufen am 29. Mai 2013 von [www.citrinsolar.de/produkte/kollektoren/flachkollektor-cs-100-f.html](http://www.citrinsolar.de/produkte/kollektoren/flachkollektor-cs-100-f.html)
- Claudia Thomsen, D. T.-D. (2004). *Geothermie in Schleswig-Holstein, Ein Baustein für den Klimaschutz*. Flintbek: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.
- Diekmann J., E. W.-J. (1999). *Energie-Effizienz-Indikatoren, Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von [publica.fraunhofer.de/documenta/N-19190.html](http://publica.fraunhofer.de/documenta/N-19190.html)
- Dietrichs, B., Fritzsche, A., & Ismaier, F. (2000). *Nachhaltigkeitsindikatoren für eine ausgewogene Entwicklung von Gemeinden, Kreisen, Städten und Regionen. Studien zur Raumplanung, 3*. München.
- DIW Berlin, D. J.-S. (2010) *Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien, Indikatoren und Ranking*. Berlin: DIW Berlin, ZSW Stuttgart, Agentur für Erneuerbare Energien.
- Dr. Joachim Nitsch, D. S. (August 2009). *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung der europäischen und globalen Entwicklung*. (N. u. Bundesministerium für Umwelt, Hrsg.) Abgerufen am 23. November 2012 von [www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitszenario2009\\_kurzfassung\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitszenario2009_kurzfassung_bf.pdf)
- Endres, A. (2007). *Umweltökonomie* (Bd. 3. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer.

- Energieverbrauch Deutschland*. Abgerufen am 17. Juni 2013 von <http://www.google.de/imgres?q=energieverbrauch+deutschland&hl=de&sa=X&biw=1280&bih=864&tbm=isch&prmd=imvns&tbnid=vyJA6UXUX0HkXM:&imgrefurl=http://www.wordtmann.com/zahlen.html&docid=B1fyhjbZgmZAbM&imgurl=http://www.wordtmann.com/zahlen/energieverbrauch.jpg>
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft, G. Bressler, C. Günther-Pomhoff, A. Saller. (1996). *Ganzheitliche Bilanzierung von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen als Basis einer Ökobilanz - Endbericht* -. München.
- G. B.. *GtV Bundesverband Geothermie*. Abgerufen am 30. März 2013 von Tiefe Erdwärmesonden: [www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/technologien/tiefe-erdwaermesonden.html](http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/technologien/tiefe-erdwaermesonden.html)
- Gasco. *Sicherheitsdatenblatt nach Richtlinie 2001/58/EWG - Kältemittel R407C*. Abgerufen am 20. Juni 2013 von [www.gasco.de/documents/DE/MSDS\\_R407C.pdf](http://www.gasco.de/documents/DE/MSDS_R407C.pdf)
- Grunwald, A. &. (2006). *Nachhaltigkeit*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Hänel R., K. M. (1984). *Geothermisches Energiepotenzial. Pilotstudie: Abschätzung der geothermischen Energievorräte an ausgewählten Beispielen in der Bundesrepublik Deutschland*. (A. f. Gemeinschaften, Hrsg.) Luxemburg.
- Heidelck, R., & Laue, H. J. (1999). *Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen*. Hannover / Karlsruhe: Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik – IZW e.V.
- Hentschel-Giesa, J. (2005). *KfW-Fördermöglichkeiten für Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie*. Abgerufen am 05. Mai 2013 von Geothermische Energie : [http://www.geothermie.de/uploads/media/Geothermische\\_Energie.Nr.47.pdf](http://www.geothermie.de/uploads/media/Geothermische_Energie.Nr.47.pdf)
- Informationsdienst, B. (2000). *CO2 als Kältemittel für Wärmepumpe und Kältemaschine - Projektinfo 10/00*. Eggenstein-Leopoldshafen: FachInformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH.
- IPCC. (2007). *Fourth Assessment Report*. (IPCC, Hrsg.) Abgerufen am 07. April 2013 von Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing: [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf)
- J. Jörissen, J. K. (1999). *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung: Der theoretisch-konzeptionelle Ansatz des HGF-Verbundprojekts*. Abgerufen am 16. Juni 2013 von TA-Datenbank-Nachrichten, Schwerpunktthema: "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland": [www.itas.fzk.de/deu/tadn/tadn002/joua00b.htm](http://www.itas.fzk.de/deu/tadn/tadn002/joua00b.htm)
- Jörissen, J., Kopfmüller, J., & Brandl, V. D. (1999). *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung*. (Wissenschaftliche Berichte / Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, 6393), Als Ms. gedr. Karlsruhe.
- Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG), Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.). (2009). Abgerufen am 27. Mai 2013 von Tiefe Geothermie - Internationale Projekte und Forschungsansätze: <http://www.tu-freiberg.de/fakult3/gt//bome/forsch/geothermie.pdf>
- Kaltschmitt Martin, W. A. (2003). *Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekt* (Bd. 3. vollständig neu bearbeitete Ausgabe). (W. S. library, Hrsg.) Berlin.

- Kastian, K. (2010). *Bachelorarbeit - Geothermiepotenziale der Gemeinde Lütjensee in Schleswig Holstein*. Lüneburg: Lauphana Universität Lüneburg, Prof. Dr. Ruck, Dr. Palm.
- KEWOG Energie und Dienste GmbH, D. H.-R. (2010). *Machbarkeitsstudie / Realisierungskonzept für Biomasse-Nahwärmeversorgung im Betreibermodell für die Stadt Mitterteich - Mehrzweckhalle, Hauptschule mit Hallenbad und Grundschule, Förderschule Lebenshilfe*. Tirschenreuth.
- KEWOG Energie und Dienste GmbH, D. H.-R. (2011). *Bürgerinformationsveranstaltung Speichersdorf - Planung Nahwärmenetz Speichersdorf*. Speichersdorf: KEWOG Energie und Dienste GmbH.
- KEWOG Städtebau GmbH - Geschäftsbereich ZREU. (Juli 2010). Präsentation Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen Nahwärmeversorgung Speichersdorf. Speichersdorf.
- KEWOG Städtebau GmbH Geschäftsbereich ZREU. (2010). *Landkreis Tirschenreuth Klimaschutzkonzept*. Regensburg.
- Kleino, A. (2009). *Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie - Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren*. Wiesbaden: Gabler.
- Kopfmüller, J. (15. Februar 2011). *Das Integrative Nachhaltigkeitskonzept der Helmholtz-Gemeinschaft, Idee - Anwendung - Perspektiven*. (K. -I. (ITAS), Hrsg.) Abgerufen am 5. November 2012 von [www.mensch-und-technik.kitedu/img/3\\_kopfmueeller\\_NeNa-Workshop\\_2011\\_-\\_Integratives\\_\\_NH\\_Konzept.pdf](http://www.mensch-und-technik.kitedu/img/3_kopfmueeller_NeNa-Workshop_2011_-_Integratives__NH_Konzept.pdf)
- Krahmer, R. (2004). *50 Wärmepumpen*. München: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.
- Krisch Dienst Fluidtechnik. *Frostschutz für Wasserhydraulik-Systeme*. Abgerufen am 27. März 2013 von [www.wasser-hydraulik.de/Frostschutz-730.pdf](http://www.wasser-hydraulik.de/Frostschutz-730.pdf)
- Landesamt für Natur und Umwelt. (2001). *Geothermie eine Perspektive für Schleswig-Holstein*. Flintbeck: des Landes Schleswig-Holstein.
- Landesamt für Umwelt in Sachsen-Anhalt. *Überwachung der Emissionen von Luftschadstoffen*. Abgerufen am Juni. 22 2013 von Fachinformation Nr. 3/2009: [http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek\\_Politik\\_und\\_Verwaltung/Bibliothek\\_LAU/Luft/Fachinfo/Fachinfo\\_Emission/Dateien/fachinfo\\_2009\\_3.pdf](http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_LAU/Luft/Fachinfo/Fachinfo_Emission/Dateien/fachinfo_2009_3.pdf)
- Lehmann, H. P. (2009). Handlungsempfehlungen für nachhaltige Energieversorgungskonzepte in Kommunen und Regionen. Kongress "100% erneuerbare Energien Regionen". In Umweltbundesamt (Hrsg.). Kassel.
- Lehmann, H. P. (2010). *rationelle Umweltpolitik*. Dessau: UBA Umweltbundesamt.
- Leuphana Universität Lüneburg. (2011). *Forschungsplan des transdisziplinären Forschungsprojekts "Nachhaltige Landwirtschaft"*. Lüneburg.
- LfU. (2001). *Holz hackschnitzel-Heizanlagen*. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- Lutzenberger, A. D. (2009). *Nachwachsende Rohstoffe zur Substitution von Mineralkraftstoffen. Möglichkeiten und Grenzen. Eine Bewertung der Herstellung von Biokraftstoffen unter nachhaltigen Aspekten*. Saarbrücken: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.
- Marco dos Santos Bernades, S. B.-N. (2002). *Grundlagen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Energiesystemen in Baden- Württemberg*. Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung Universität Stuttgart.

- Marutzky, R. S. (1999). *Energie aus Holz und anderen Biomassen*. Leinfeld-Echterdingen: DRWVerlag Weinbrenner GmbH & Co.
- PanGas AG. (15. April 2011). *EG-Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290 Propan*. Abgerufen am 20. Juni 2013 von [www.pangas.ch/international/weg/lg/ch/likelgchpangasde.nsf/repositorybyalias/pangas\\_sdb\\_r290\\_685\\_d/\\$file/PanGas\\_SDB\\_R290\\_685\\_d.pdf](http://www.pangas.ch/international/weg/lg/ch/likelgchpangasde.nsf/repositorybyalias/pangas_sdb_r290_685_d/$file/PanGas_SDB_R290_685_d.pdf)
- Quasching, V. (2008). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken - Anlagenplanung - Wirtschaftlichkeit*. München: Hanser.
- Rädisch, S. E. (18. 09 2012). *Flachkollektor einfach erklärt*. (R. E.-u. KG, Hrsg.) Abgerufen am 26. März 2013 von [www.ecoquent-positions.com/flachkollektor-einfach-erklart/](http://www.ecoquent-positions.com/flachkollektor-einfach-erklart/)
- Rat für Nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt Wiesbaden. (Februar 2012). *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012*. Abgerufen am 29. Mai 2013 von <http://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/Indikatorenbericht2012.pdf>
- Recknagel, S. S. (2009). *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. 74. Auflage*. München: Oldenburg Industrieverlag.
- Rupert J. Baumgartner, H. B. (2009). *Öko-Effizienz. Konzepte, Anwendungen und Best Practices Sustainability Management for Industries 3*. München und Mering: Rainer Hampp Verlag.
- Rupert J. Baumgartner, H. B. (2009). *Öko-Effizienz. Konzepte, Anwendungen und Best Practices Sustainability Management for Industries 3*. München: Rainer Hampp Verlag.
- Schaltegger, S., & Burritt, R. &. (2003). *An Introduction to Corporate Environmental Management Striving for Sustainability Sheffield Greenleaf*.
- Schmidt, T. (2012). Lüneburg: Leuphana Universität.
- Schmidt, U. R. (August 2008). *Handbuch zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS 4.5)*. Darmstadt: Ökoinstitut e. V.
- Schulz et al., R. (1992). *Geothermische Energie. Forschung und Anwendung in Deutschland* (Bd. 1. Auflage). (W. R. Schulz, Hrsg.) Karlsruhe: C. F. Müller.
- Spindler, E. A. (18. Juli 2012). *Geschichte der Nachhaltigkeit*. (A. S. Beys, Hrsg.) Abgerufen am 02. Februar 2012 von Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes: [www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPyvC.pdf](http://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPyvC.pdf)
- SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2008). *35 Jahre Gutachten des Sachverständigenrat für Umweltfragen, Materialien zur Umweltforschung*. Berlin: C. H. Hans-Joachim Koch.
- Stahlmann, P. V. (2008). *Lernziel: Ökonomie der Nachhaltigkeit. Eine anwendungsorientierte Übersicht*. München: Oekom-Verlag.
- Stefan Majer, G. S. (2008). *Biomassenachhaltigkeitsverordnung - Erläuterungspapier zum Entwurf vom 5.12.2007*. UFOP.
- Sterner, P. D.-I. (2009). *Große Leitungen und Speicher im Gasnetz- Regenerative Energien Mittelbaden e.V., 28.03.2012 Mösbach*. Abgerufen am 29. Mai 2013 von [www.rem-ev.de/fileadmin/rem-ev/pdf/2012/2012\\_Terner\\_Gasnetz\\_als\\_Speicher.pdf](http://www.rem-ev.de/fileadmin/rem-ev/pdf/2012/2012_Terner_Gasnetz_als_Speicher.pdf)
- Stober, I., Fritzer, T., Obst, K., & Schulz, R. (2009). *Nutzungsmöglichkeiten der Tiefengeothermie in Deutschland*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

- Thomsen, C., Liebsch-Dörschner, T., & Kirsch, R. (2006). *Geothermie in Schleswig-Holstein. Leitfaden für oberflächennahe Erdwärmeanlagen, Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden*. Flintbek: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (Schriftenreihe LANU SH Geologie und Boden).
- Thomsen, C., Schenck, P.-F., & Kirsch, R. (2004). *Geothermie in Schleswig-Holstein. Ein Baustein für den Klimaschutz*. Flintbek: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.
- TYFO. (2013). *TYFO Sicherheitsdatenblatt*. Abgerufen am 27. März 2013 von gemäß Verordnung 1907/2006/EG [REACH]: [www.tyfo.de/docs/SDB-TYFOCOR\\_de\\_2013.pdf](http://www.tyfo.de/docs/SDB-TYFOCOR_de_2013.pdf)
- Tyforop Chemie GmbH. (2011). *Sicherheitsdatenblatt Tyfocor*. Abgerufen am 22. Juni 2013 von [www.tyfo.de/docs/SDB-TYFOCOR-L\\_de\\_2011.pdf](http://www.tyfo.de/docs/SDB-TYFOCOR-L_de_2011.pdf)
- Umweltbundesamt. *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011*. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Abgerufen am 06. April 2013 von [www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf)
- Umweltbundesamt, F. 1. (Hrsg.). (September 2012). *Umwelt-Kernindikatorensystem (KIS)*. Abgerufen am 30. Mai 2013 von <http://www.umweltbundesamt-daten-zurumwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2726>
- Uwe R. Fritsche, W. J. (1999). *Methodikfragen bei der Berechnung des Kummulierten Energieaufwands (KEA). Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung*. Berlin: Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.).
- Weizsäcker, E. U. (1996). *Faktor Vier Doppelter Wohlstand - halbiertes Naturverbrauch*. München: Büchergilde Gutenberg.
- ZAE Bayern/ZREU, ZAE Bayern und KEWOG Städtebau GmbH - Geschäftsbereich ZREU. (2010). *Machbarkeitsstudie Solare Nahwärme Speichersdorf*. Garching, Regensburg.

## Anhang

- Anhang 1: Sicherheitsdatenblatt Propan (R290) (PanGas, 2011)
- Anhang 2: Sicherheitsdatenblatt Ehylen glykol-Gemisch, Inhibitor - Tyfocor (Tyforop Chemie GmbH, 2013)
- Anhang 3: Sicherheitsdatenblatt Propylen-Glykol - Frostschutz 730 (Kriesch Dienst Fluidtechnik)
- Anhang 4: Übersicht Wärmespeicher (Agentur für erneuerbare Energien, Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009, Leuphana Universität Lüneburg, Thomas Schmidt 2012, Deutsche Energieagentur, 2012, Institut für Gebäude- und Solartechnik, Braunschweig)
- Anhang 5: Auszug Machbarkeitsstudie Speichersdorf – Bürger-Fragebogen (Machbarkeitsstudie Speichersdorf, 2010)
- Anhang 6: Auszug Fachinformation Nr. 3/2009, Überwachung der Emissionen von Luftschadstoffen (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2009) – DIN/EN Vorschriften

## EG-Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290 (Propan)

Erstellungsdatum : 28.01.2005  
Überarbeitet am : 15.04.2011

Version : 7.0

CH / D

SDB Nr. : 104  
Seite 1 / 3

### 1 STOFF/ZUBEREITUNGS- UND FIRMBEZEICHNUNG

Produktname  
Kältemittel R-290                      Art.685

Chemische Formel C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>

Bekannte Verwendungszwecke  
Kältemittel

Hersteller/Lieferant  
PanGas AG, Industriepark 10, 6252 Dagmersellen, Schweiz

NOTRUF-NUMMER: +41 (0) 844 800 300

### 2 MÖGLICHE GEFAHREN

Einstufung  
Hochentzündlich.  
Gefahrenhinweise für Mensch und Umwelt  
Verflüssigtes Gas  
Kontakt mit der Flüssigkeit kann Kaltverbrennungen/Erfrorungen verursachen.

### 3 ZUSAMMENSETZUNG/ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

Stoff/Zubereitung: Stoff  
Zusammensetzung/Information über Bestandteile  
CAS-Nr.: 74-98-6  
EG-Nr. (EINECS) : 200-827-9  
Enthält keine anderen Komponenten oder Verunreinigungen, die die Einstufung dieses Produktes beeinflussen.

### 4 ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

**Einatmen**  
Hohe Konzentrationen können Ersticken verursachen. Symptome können Verlust der Bewegungsfähigkeit und des Bewußtseins sein. Das Opfer bemerkt das Ersticken nicht. In niedrigen Konzentrationen können narkotische Effekte entstehen. Symptome können Schwindelgefühl, Kopfschmerz, Übelkeit und Koordinationsstörungen sein. Das Opfer ist unter Benutzung eines umluftunabhängigen Atemgerätes in frische Luft zu bringen. Warm und ruhig halten. Arzt hinzuziehen. Bei Atemstillstand künstliche Beatmung.  
**Haut- und Augenkontakt**  
Bei Kontakt mit der Flüssigkeit: Mindestens 15 Minuten mit Wasser spülen. Arzt hinzuziehen.  
**Verschlucken**  
Verschlucken wird nicht als möglicher Weg der Exposition angesehen.

### 5 MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

**Spezielle Risiken**  
Einwirkung von Feuer kann Bersten / Explodieren des Behälters verursachen.  
**Gefährliche Verbrennungsprodukte**  
Durch unvollkommene Verbrennung kann Kohlenstoffmonoxid entstehen.  
**Geeignete Löschmittel**  
Alle bekannten Löschmittel können benutzt werden.  
**Spezielle Verfahren**  
Wenn möglich, Gasaustritt stoppen. Behälter entfernen oder mit Wasser aus geschützter Position kühlen. Ausströmendes brennendes Gas nur löschen, wenn es unbedingt nötig ist. Eine spontane explosionsartige Wiederentzündung ist möglich.  
Jedes andere Feuer löschen.  
**Spezielle Schutzausrüstung für die Feuerwehr**  
In geschlossenen Räumen umluftunabhängiges Atemgerät benutzen.

### 6 MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

**Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen**  
Beim Betreten des Bereiches umluftunabhängiges Atemgerät benutzen, sofern nicht die Ungefährlichkeit der Atmosphäre nachgewiesen ist. Für ausreichende Lüftung sorgen. Gebiet räumen. Zündquellen beseitigen. Das Risiko der Bildung explosiver Atmosphären berücksichtigen. Eindringen in Kanalisation, Keller, Arbeitsgruben oder andere Orte, an denen die Ansammlung gefährlich sein könnte, verhindern.  
**Umweltschutzmaßnahmen**  
Versuchen, den Produktaustritt zu stoppen.  
**Reinigungsmethoden**  
Den Raum belüften. Personen aus dem Gebiet evakuieren und Zündquellen fernhalten, bis die gesamte ausgelaufene Flüssigkeit verdampft ist (Boden ist frei von Frost).

### 7 HANDHABUNG UND LAGERUNG

**Handhabung**  
Ausrüstung zuverlässig erden. Eindringen von Wasser in den Gasbehälter verhindern. Vor dem Einleiten von Gas Ausrüstung luftfrei spülen. Rückströmung in den Gasbehälter verhindern. Nur solche Ausrüstung verwenden, die für dieses Produkt und den vorgesehenen Druck und Temperatur geeignet ist. Im Zweifelsfall den Gaslieferanten konsultieren. Von Zündquellen, einschließlich elektrostatischen Entladungen, fernhalten. Bedienungshinweise des Gaslieferanten beachten. Das Ventil des Behälters nach jedem Gebrauch und nach der Entleerung schließen, auch wenn er noch immer angeschlossen ist. Das Produktetikett dient der Identifizierung des Inhalts der Gasflasche und darf nicht entfernt oder unkenntlich gemacht werden. Der Stoff muss gemäß guter Arbeitshygiene und Sicherheitsverfahren gehandhabt werden. Das Gassystem mit trockenem Inertgas spülen (z.B. Stickstoff oder Helium) bevor das Gas eingeleitet wird und wenn das System außer Betrieb genommen wurde. Die Möglichkeit der Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre und der Einsatz von explosionsicherer Ausrüstung sind zu bewerten. Den Einsatz von nicht funkenzeugenden Werkzeugen in Betracht ziehen. Beim Umgang mit dem Produkt nicht rauchen. Nur erfahrene und entsprechend geschulte Personen sollten verdichtete Gase handhaben. Gasflaschen vor mechanischer Beschädigung schützen; nicht ziehen, nicht rollen, nicht schieben, nicht fallen lassen. Benutzen Sie nie Flammen oder elektrische Heizgeräte zur Druckerhöhung im Behälter. Für den Transport von Gasflaschen, selbst auf kurzen Strecken, immer einen Flaschenwagen oder anderen geeigneten Handwagen benutzen. Ventilschutzkappe nicht entfernen bevor die Flasche an einer Wand oder einen Labortisch oder auf einen Flaschenständer gestellt wurde, und zum Gebrauch bereit ist. Stellen Sie sicher, dass das gesamte Gassystem vor dem Gebrauch (und danach regelmäßig) auf Lecks geprüft wurde (wird). Falls der Benutzer irgendwelche Schwierigkeiten bei der Bedienung des Flaschenventils bemerkt, den Gebrauch unterbrechen und Kontakt mit dem Lieferanten aufnehmen. Versuchen Sie nie, Ventile oder Sicherheitsdruckentlastungseinrichtungen am Behälter zu reparieren. Beschädigungen an diesen Einrichtungen müssen umgehend dem Lieferanten mitgeteilt werden. Setzen Sie die Auslasskappen oder -stöpsel und die Ventilschutzkappe wieder auf, sobald der Behälter von der Anlage getrennt wird. Die Ventilöffnung des Behälters sauber und frei von Verunreinigung halten, insbesondere frei von Öl und Wasser. Versuchen Sie nicht, das Gas von einer Gasflasche oder Behälter in einen anderen umzufüllen.  
**Lagerung**  
Flaschen vor Umfallen sichern. Bei der Lagerung von oxidierenden Gasen und anderen brandfördernden Stoffen fernhalten. Behälter bei weniger als 50°C an einem gut gelüfteten Ort lagern. Alle Vorschriften und örtlichen Erfordernisse an die Lagerung von Behältern müssen eingehalten werden. Behälter aufrecht stehend lagern und gegen Umfallen sichern.



## EG-Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290 (Propan)

Erstellungsdatum : 28.01.2005  
Überarbeitet am : 15.04.2011

Version : 7.0

CH / D

SDB Nr. : 104  
Seite 2 / 3

Die Behälter nicht unter Bedingungen lagern, die die Korrosion beschleunigen. Gelagerte Flaschen sollten regelmäßig auf Leckagen und korrekte Lagerbedingungen geprüft werden. Ein Ventilschutzring sollte vorhanden sein oder die Ventilschutzkappe angebracht werden. Die Behälter sollten an einem Ort ohne Brandgefahr und entfernt von Wärme- und Zündquellen gelagert werden. Von brennbaren Stoffen fernhalten. Die elektrische Ausrüstung in Lagerbereichen sollte auf das Risiko der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre abgestimmt sein.

### 8 EXPOSITIONSBEGRENZUNG UND PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

#### Zulässiger Expositionswert

Werttyp	Wert	Bemerkung
Schweiz - MAK	1.000 ppm	

#### Atemschutz

Nicht erforderlich

#### Persönliche Schutzmaßnahmen

Angemessene Lüftung sicherstellen. Beim Umgang mit dem Produkt nicht rauchen. Beim Umgang mit Gasflaschen Arbeitshandschuhe und Schutzschuhe tragen.

### 9 PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

#### Allgemeine Angaben

**Aussehen:** Farbloses Gas

**Geruch:** Süßlich. Geringe Warnwirkung bei niedrigen Konzentrationen. Meistens Odorierungsmittel zugesetzt.

**Wichtige Angaben zum Gesundheits- und Umweltschutz sowie zur Sicherheit**

**Molare Masse:** 44 g/mol

**Schmelzpunkt:** -188 °C

**Siedepunkt:** -42,1 °C

**Kritische Temperatur:** 97 °C **Flammpunkt:** Entfällt bei Gasen und Gasgemischen.

**Zündtemperatur:** 470 °C

**Explosionsgrenzen (Vol. % in Luft):** 1,7 %(V) - 10,8 %(V)

**Relative Dichte, gasf. (Luft=1):** 1,5

**Relative Dichte, flüssig (Wasser=1):** 0,58

**Dampfdruck bei 20 °C:** 8,3 bar

**Löslichkeit in Wasser:** 75 mg/l

#### Sonstige Angaben

Gas/Dämpfe sind schwerer als Luft. Sie können sich in geschlossenen Räumen ansammeln, insbesondere am Fußboden oder in tiefergelegenen Bereichen.

### 10 STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

#### Stabilität und Reaktivität

Kann mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Kann mit brandfördernden Stoffen heftig reagieren.

#### Gefährliche Zersetzungsprodukte

#### Aussagen zur Zersetzung

Unter normalen Lager- und Gebrauchsbedingungen entstehen keine gefährlichen Zersetzungsprodukte.

### 11 TOXIKOLOGISCHE INFORMATIONEN

#### Akute Toxizität

Toxische Wirkungen des Produkts sind nicht bekannt.

### 12 ANGABEN ZUR ÖKOLOGIE

#### Allgemeines

Es sind keine schädlichen Wirkungen des Produkts auf die Umwelt bekannt.

### 13 HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

#### Allgemeines

Nicht an Plätzen ablassen, wo das Risiko der Bildung eines explosionsfähigen Gas/Luft-Gemisches besteht. Nicht verbrauchtes Gas mit einem geeigneten Brenner mit Flammenrückschlagsicherung verbrennen. Nicht in die Kanalisation, Keller, Arbeitsgruben und ähnliche Plätze, an denen die Ansammlung des Gases gefährlich werden könnte, ausströmen lassen. Rückfrage beim Gaslieferanten, wenn eine Beratung nötig ist.

EAK Nr. 16 05 04\*

### 14 ANGABE ZUM TRANSPORT

#### ADR/RID

Klasse 2                      Klassifizierungscode 2F

#### Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung

UN 1978 Propan

UN 1978 Propane

Gefahrzettel 2.1              Gefahrunummer 23

Verpackungsanweisung P200

#### IMDG

Klasse 2.1

#### Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung

UN 1978 Propane

Gefahrzettel 2.1

Verpackungsanweisung P200

EmS FD,SU

#### IATA

Klasse 2.1

#### Kennzeichnungsnummer und Bezeichnung

UN 1978 Propane

Gefahrzettel 2.1

Verpackungsanweisung P200

#### Weitere Transport-Informationen

Möglichst nicht in Fahrzeugen transportieren, deren Laderaum nicht von der Fahrerkabine getrennt ist. Der Fahrer muß die möglichen Gefahren der Ladung kennen und er muß wissen, was bei einem Unfall oder Notfall zu tun ist. Gasflaschen vor dem Transport sichern. Das Flaschenventil muß geschlossen und dicht sein. Die Ventilverschlußmutter oder der Verschlußstopfen (soweit vorhanden) muß korrekt befestigt sein. Die Ventilschutzeinrichtung (soweit vorhanden) muß korrekt befestigt sein. Ausreichende Lüftung sicherstellen. Geltende Vorschriften beachten.

### 15 VORSCHRIFTEN

#### Nummer in Anhang I der Direktive 67/548

601-003-00-5

#### EG-Einstufung

F+; R12

## EG-Sicherheitsdatenblatt Kältemittel R290 (Propan)

Erstellungsdatum : 28.01.2005  
Überarbeitet am : 15.04.2011

Version : 7.0

CH / D

SDB Nr. : 104  
Seite 3 / 3

### Kennzeichnung

#### - Symbole

F+ Hochentzündlich.

#### - Hinweise auf die besonderen Gefahren

R12 Hochentzündlich.

#### - Sicherheitsratschläge

S16 Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen.

S9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren.

S33 Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen treffen.

### 16 SONSTIGE ANGABEN

Alle nationalen/örtlichen Vorschriften beachten. Es ist sicherzustellen, daß die Mitarbeiter das Brandrisiko beachten. Das Risiko des Erstickens wird oft übersehen und muß bei der Unterweisung der Mitarbeiter besonders hervorgehoben werden. Bevor das Produkt in irgendeinem neuen Prozeß oder Versuch benutzt wird, sollte eine sorgfältige Studie über die Materialverträglichkeit und die Sicherheit durchgeführt werden.

#### Hinweise

Die Angaben sind keine vertraglichen Zusicherungen von Produkteigenschaften. Sie stützen sich auf den heutigen Stand der Kenntnisse.

Dokumentende

## Frostschutz für Wasserhydraulik-Systeme

Für unsere Wasserhydraulik-Systeme empfehlen wir reines Propylenglykol als Frostschutz.

### Beschreibung

Propylenglykol ist eine klare, nahezu geruchlose Flüssigkeit mit einem etwas süßlichen Geschmack. Die farblose und visköse Flüssigkeit ist brennbar. Bei Temperaturen über 99 °C können sich mit der Luft explosive Gemische bilden. Es ist stark hygroskopisch und vollständig in Wasser und Ethanol löslich. Propylenglykol ist ungefährlich. Die antimikrobielle Wirksamkeit macht einen Einsatz weiterer Konservierungsmittel überflüssig.

Propylen-Glykol USP entspricht oder übertrifft die USP XX (United States Pharmacopeia) sowie die Food Chemicals Codex Anforderungen. Es ist in der EU als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen und trägt die Bezeichnung E1520.

### Typische Eigenschaften

- Synonyme: 1,2-Propandiol, Methylethylenglykol, 1,2-Dihydroxypropan, Monopropylenglykol.
- Chemische Formel: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>
- Strukturformel: CH<sub>3</sub> – CH – OH – CH<sub>2</sub> – OH
- Molekulargewicht: 76.1
- Dichte bei 25 °C (Wasser = 1): 1,04 g/cm<sup>3</sup>
- Schmelzpunkt: -59 °C
- Löslichkeit in Wasser: vollständig
- Aggregatzustand: flüssig
- Siedepunkt: 188 °C
- Dampfdruck: 0,11 hPa (20 °C)
- Viskosität: 56cp = 56\*10<sup>-3</sup> Ns/m<sup>2</sup> bei 20 °C

### Entzündlichkeit und Explosivität

Der Dampf ist schwerer als die Luft. Mit starken Oxidationsmitteln erfolgt eine Reaktion. Dabei besteht immer akute Brandgefahr.

- Explosionsgefahr: gering
- Flammpunkt: 99 °C c.c
- Explosionsgrenzen: 2,6 - 12,6 Volumenprozent in Luft
- Selbstentzündungstemperatur: 371 °C
- Gefahrensymbole: keine
- CAS-Nr.: 57-55-6
- RTECS-Nr.: TY2000000
- EINECS-Nr.: 200-338-0

### Arbeitsplatzgrenzwerte

- MAK: nicht festgelegt (1998)
- TLV: nicht festgelegt

## Frostschutz für Wasserhydraulik-Systeme

### Lagerung:

Luftdichte Lagerung wegen der hygroskopischen Eigenschaften. Der Behälter muss das Eindringen von Feuchtigkeit und Verschmutzungen verhindern.

### Handhabung und Transportvorschriften

- Normaler Transport: Ohne besondere Vorschriften
- ADR Klasse: Kein Gefahrgut
- Druck: Luftdruck
- Temperatur: Umgebungstemperatur
- Übliche Transportbehälter: Kunststoffbehälter oder Edelstahlbehälter
- Arbeitskleidung und Handschuhe tragen.
- Bei Hochtemperaturanwendungen für gute Lüftung sorgen, es besteht die Gefahr, dass sich explosive Zerfallsprodukte von Propylenglykol bilden.

### Notfallmaßnahmen und Erste Hilfe

Vorsichtsmaßnahmen: Offene Flammen und Funkenbildung sind zu vermeiden. Es darf nicht geraucht werden. Die Haut und die Augen sind mit geeigneten Schutzmaterialien zu schützen.

Der Stoff kann inhalativ oder oral aufgenommen werden und reizt die Augen. Bereits bei einer Temperatur von 20°C kommt es langsam zu einer toxischen Kontamination der Luft. Ein wiederholter oder länger andauernder Kontakt kann eine Sensibilisierung auslösen.

<b>Feuer:</b>	Löschen mit Schaum, Wasser, Pulver oder Kohlendioxid
<b>Propylenglykol in den Augen:</b>	Eine Einwirkung auf die Augen ist an einer Rötung und Schmerzen zu erkennen. Augen mit reichlich Wasser sorgfältig auswaschen, Augen geöffnet halten. Einen Arzt aufsuchen wenn es zu anhaltenden Entzündungen kommt.
<b>Propylenglykol auf der Haut:</b>	Mit reichlich kaltem Wasser abwaschen. Kleidung vor Wiederbenutzung waschen.
<b>Propylenglykol eingeatmet:</b>	Gefahrenbereich verlassen. Ruhig und warm halten. Der Patient ist mit umluftunabhängigen Atemschutz aus der kontaminierten Umgebung zu retten. Sollten nach Einatmung von heißen Dämpfen Propylenglykol weitere Beschwerden auftreten, einen Arzt aufsuchen.
<b>Propylenglykol geschluckt:</b>	Mund mit Wasser auswaschen. Einen Arzt aufsuchen.
<b>Austritt von Propylenglykol</b>	Mit Sand binden und unter Beachtung der lokalen Vorschriften entsorgen. Mit Wasser abwaschen. Bei großen Mengen Behörden informieren.

## Frostschutz für Wasserhydraulik-Systeme

### Weitere Anwendungen von Propylenglykol

Propylenglykol ist in Lösungsmitteln und in Hygieneartikeln wie Hautcremes, Zahnpasta und Deos als Feuchthaltemittel und Weichmacher enthalten.

Propylenglykol darf als Trägerstoff und Trägerlösungsmittel für Farbstoffe, Antioxidationsmittel, Emulgatoren und Enzyme verwendet werden.

Wegen der im Vergleich zu Ethylenglycol geringeren Giftigkeit wird es – gemischt mit Wasser – als Wärmeträgermedium in der Solarthermie oder in Kühlanlagen in der Lebensmittelverarbeitung verwendet.

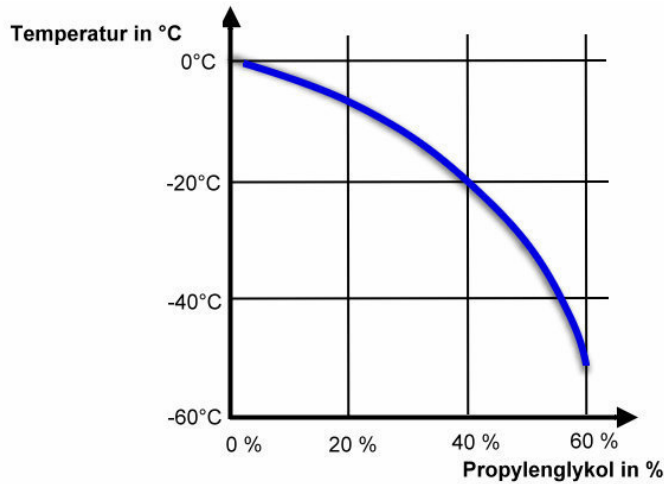
Ein weiteres Anwendungsgebiet ist der Einsatz als Enteisungsmittel bei Flugzeugoberflächen und Windschutzscheiben.

Propylenglykol ist in fast allen Tabakprodukten als Zusatzstoff enthalten. Vor allem findet es in wässriger Lösung Verwendung, um Befeuchtungssysteme in Humidoren zu betreiben, wobei es zum einen das Schimmeln der Anlage verhindern soll (relative Luftfeuchte über 70 %), zum anderen aber nicht wie Benzoesäure gesundheitsschädlich (zu krebserregenden Substanzen) verbrennt oder gar das Aroma der Zigarren verändern darf.

1,2-Propylenglykol wird auch als Futterzusatz für Milchkühe verwendet. Durch die immer weiter steigende Milchleistung der Kühe, die mittlerweile bei Hochleistungsmilchkühen um etwa 50 Liter/Tag liegt, kommt es immer häufiger zu einem Nachlassen der Milchleistung vor und nach dem Kalben. Insbesondere in der so genannten Transitphase, den beiden Wochen vor dem Kalben, und in der ersten Laktationsphase, hat sich im Rahmen geeigneter Fütterungsstrategien und Futterrationen die zusätzliche Verabreichung von Propylenglykol zur Vorbeugung gegen Ketose und Leistungsstabilisierung bewährt.

## Frostschutz für Wasserhydraulik-Systeme

### Gefrierpunkte von Wasser / Propylenglykol Mischungen



#### Notwendige Volumen Zugabe Antifrost

Frostschutz bis	0 °C	-5 °C	-20 °C
Volumenprozent	3 %	15 %	40 %
Wassermenge = 5 Liter	0,15 l	0,75 l	2 l
Wassermenge = 10 Liter	0,3 l	1,5 l	4 l
Wassermenge = 20 Liter	0,6 l	3,0 l	8 l
Wassermenge = 50 Liter	1,5 l	7,5 l	20 l
Wassermenge = 100 Liter	3,0 l	15,0 l	40 l

Technische Verbesserungen vorbehalten



# SICHERHEITSDATENBLATT

gemäß Verordnung 1907/2006/EG [REACH]

Überarbeitet am 01.01.2013

Druckdatum: 01.01.2013

Blatt 01 von 06

## ABSCHNITT 1. Bezeichnung des Stoffes bzw. des Gemisches und des Unternehmens

**Handelsname:** TYFOCOR®

**Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemischs und Verwendungen, von denen abgeraten wird**

**Relevante identifizierte Verwendungen:** Frost- und Korrosionsschutzmittel für wärmetechnische Anlagen.  
Expositionsszenarien: siehe Abschnitt 15.

**Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt**

**Firmenbezeichnung:** TYFOROP Chemie GmbH, Anton-Rée-Weg 7, D - 20537 Hamburg  
Tel.: +49 (0)40 -20 94 97-0; Fax: -20 94 97-20 e-mail: info@tyfo.de

**Auskunftgebender Bereich:** E-Mail (sachkundige Person): msds@tyfo.de

**Notfallauskunft:** Tel.: +49 (0)40 -20 94 97-0

## ABSCHNITT 2. Mögliche Gefahren

**Einstufung des Stoffs oder Gemischs**

**Einstufung gemäß EG-Richtlinien 67/548/EWG oder 1999/45/EG:**

Gefahrensymbol: Xn - Gesundheitsschädlich.

R-Sätze: R22 - Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.

**Einstufung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP/GHS]:**

**Gefahrenklassen/-kategorien**

**Gefahrenhinweise**

Acute Tox. 4

H302 - Gesundheitsschädlich bei Verschlucken

STOT wdh. Kat 2

H373 - Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition.

**Kennzeichnungselemente**

**Kennzeichnung gemäß Richtlinie 67/548/EWG oder 1999/45/EG (Zubereitungsrichtlinie):**

**Hinweise zur Kennzeichnung:**

Das Produkt ist kennzeichnungspflichtig. Die Einstufung wurde nach dem Berechnungsverfahren der Zubereitungsrichtlinie (1999/45/EG) vorgenommen.



**Gefahrensymbol:**

Xn - Gesundheitsschädlich.

**R-Sätze:**

R22 - Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.

**S-Sätze:**

S2 - Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.

S24/25 - Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden.

S46 - Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen, Verpackung oder Etikett vorzeigen.

**Kennzeichnung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP/GHS]:**



**Signalwort:**

Achtung.

**Gefahrenhinweis:**

H302 - Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.

**Sicherheitshinweise (Vorbeugung):**

P270 - Bei Verwendung d. Prod. nicht essen, trinken oder rauchen.

P264 - Nach Handhabung m. viel Wasser u. Seife gründlich waschen.

GHS07

**Sicherheitshinweise (Reaktion):**

P312 - Bei Unwohlsein Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.

P301+P330 - Bei Verschlucken: Mund ausspülen.

**Sicherheitshinweise (Entsorgung):**

P501 - Inhalt/Behälter der Problemabfallentsorgung zuführen.

**Gefahrenbestimmende Komponente zur Etikettierung:** Ethan-1,2-diol/Ethylenglykol

**Sonstige Gefahren**

Bewertung PBT/vPvB: Gemäß Anhang XIII der Verordnung (EG) Nr.1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH): Das Produkt enthält keinen Stoff, der die PBT-Kriterien(persistent/bioakkumulativ/toxisch) oder die vPvB-Kriterien (sehr persistent/sehr bioakkumulativ) erfüllt.

### ABSCHNITT 3. Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen

**Chemische Charakterisierung:** Ethylenglykol. Inhibitoren.

#### Gefährliche Inhaltsstoffe

Stoff	Einstufung gemäß 67/548/EWG	Einstufung gemäß 1272/2008/EG [CLP/GHS]
Ethylenglykol	Gefahrensymbol: Xn	Acute Tox. 4 (oral)
Gehalt (w/w): >90 %	R-Sätze: R22	H302, STOT wdh. Kat. 2, H373
CAS-Nr.: 107-21-1		
EG-Nr.: 203-473-3		
INDEX-Nr. 603-027-00-1		
REACH Registriernummer: 01-2119456816-28		

Der Wortlaut der Gefahrensymbole, Gefahrensätze und R-Sätze ist in Abschnitt 16 aufgeführt.

### ABSCHNITT 4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

#### Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen

- Allgemeine Hinweise:** Verunreinigte Kleidung entfernen.
- Nach Einatmen:** Bei Beschwerden nach Einatmen von Dampf/Aerosol: Frischluft, ärztliche Hilfe.
- Nach Hautkontakt:** Mit Wasser und Seife gründlich abwaschen.
- Nach Augenkontakt:** Mindestens 15 Minuten bei gespreizten Lidern unter fließendem Wasser gründlich ausspülen.
- Nach Verschlucken:** Sofort den Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken, ärztliche Hilfe. Gabe von 50 ml reinem Ethanol in trinkbarer Konzentration.

#### Wichtigste akute oder verzögert auftretende Symptome und Wirkungen

Die wichtigsten bekannten Symptome und Wirkungen sind in der Kennzeichnung des Produktes (siehe Abschnitt 2) und/oder in den Toxikologischen Angaben (siehe Abschnitt 11) beschrieben.

#### Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung:

Behandlung: Symptomatische Behandlung (Dekontamination, Vitalfunktionen).

### ABSCHNITT 5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

#### Löschmittel

**Geeignete Löschmittel:** Wassersprühstrahl, Löschpulver, alkoholbeständiger Schaum.

#### Besondere vom Stoff oder Gemisch ausgehende Gefahren

#### Hinweise für die Brandbekämpfung

**Besondere Schutzausrüstung b. d. Brandbekämpfung:** Umluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen

**Weitere Angaben:** Gefährdung hängt von den verbrennenden Stoffen und den Brandbedingungen ab. Kontaminiertes Löschwasser muß entsprechend den behördlichen Vorschriften entsorgt werden.

### ABSCHNITT 6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

**Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen, Schutzausrüstungen und in Notfällen anzuwendende Verfahren:** Persönliche Schutzkleidung verwenden.

#### Umweltschutzmaßnahmen

Verunreinigtes Wasser/Löschwasser zurückhalten. Nicht in die Kanalisation/Oberflächenwasser/Grundwasser gelangen lassen.

#### Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung

Für große Mengen: Produkt abpumpen. Reste mit geeignetem absorbierendem Material (Sand, Universalbindemittel, Sägemehl, Kieselgur) aufnehmen. Aufgenommenes Material vorschriftsmäßig entsorgen.

**Zusätzliche Hinweise:** Erhöhte Rutschgefahr durch ausgelaufenes/verschüttetes Produkt.

#### Verweis auf andere Abschnitte:

Angaben zur Begrenzung und Überwachung der Exposition / Persönliche Schutzausrüstungen und zu Hinweisen zur Entsorgung können den Abschnitten 8 und 13 entnommen werden.



## ABSCHNITT 7. Handhabung und Lagerung

### Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung

**Hinweise zum sicheren Umgang:** Gute Be- und Entlüftung von Lager- und Arbeitsplatz. Gebinde nach Produktentnahme sofort wieder verschließen, da das Produkt die Feuchtigkeit der Luft aufnimmt.

**Hinweise zum Brand- und Explosionsschutz:** Beachtung der allgemeinen Regeln des vorbeugenden betrieblichen Brandschutzes. Temperaturklasse T2 (Zündtemperatur >300 °C).

### Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten

**Anforderung an Lager- räume und Behälter:** In Originalverpackung dicht geschlossen halten. Lagerräume gut belüften.

**Zusammenlagerungs- hinweise:** Nicht zusammen mit Oxidationsmitteln lagern. Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln fernhalten.

**Weitere Angaben zu den Lagerbedingungen:** Nur im Originalbehälter, dicht geschlossen an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren. Lagerklasse: 10 - Brennbare Flüssigkeiten (soweit nicht LGK 3).

**Spezifische Endanwendungen:** keine weiteren Empfehlungen.

## ABSCHNITT 8. Begrenzung u. Überwachung der Exposition/Persönliche Schutzausrüstungen

### Zu überwachende Parameter:

#### Bestandteile mit arbeitsplatzbezogenen zu überwachenden Grenzwerten:

CAS-Nr.	Bezeichnung	Art	[mg/m <sup>3</sup> ]	[ppm]	Spitzenbegr.	Bemerkung
107-21-1	Ethandiol	8 Stunden	26	10	2(l)	DFG, EU,H, Y
107-21-1	Ethylenglykol	MAK, 8 Stunden	26	10		Österreich
		Kurzzeit	52	20		
107-21-1	Ethylenglykol	MAK, 8 Stunden	26	10		SUVA, Schweiz
		Kurzzeit	52	20		

#### Arbeitsplatz-Richtgrenzwerte (91/322/EWG, 2000/39/EG, 2006/15/EG oder 2009/161/EU)

CAS-Nr.	Bezeichnung	Art	[mg/m <sup>3</sup> ]	[ppm]	Bemerkung
107-21-1	Ethandiol	8 Stunden	26	10	Haut
		Kurzzeit	104	40	

#### DNEL-Werte: Ethandiol, EG-Nr.: 203-473-3, CAS-Nr.: 107-21-1

Expositionsweg	Personengruppe	Expositionsdauer/Effekt	Wert
Einatmen	Arbeitnehmer	Chronische Wirkungen/lokale Effekte	35 mg/m <sup>3</sup>
Haut	Arbeitnehmer	Chronische Wirkungen/systemische Effekte	106 mg/kg Körpergewicht/Tag
Einatmen	Verbraucher	Chronische Wirkungen/lokale Effekte	7 mg/m <sup>3</sup>
Haut	Verbraucher	Chronische Wirkungen/systemische Effekte	53 mg/kg Körpergewicht/Tag

### Begrenzung und Überwachung der Exposition

**Atemschutz:** Geeigneter Atemschutz bei höheren Konzentrationen o. längerer Einwirkung. Gasfilter f. organ. Gase/Dämpfe (Siedepunkt >65 °C, z.B. EN 14387, Typ A).

**Handschutz:** Chemikalienbeständige Schutzhandschuhe (EN 374), empfohlen: Nitrilkautschuk (NBR), Schutzindex 6. Wegen großer Typenvielfalt Gebrauchsanweisungen der Hersteller beachten.

**Augenschutz:** Schutzbrille mit Seitenschutz (Gestellbrille) (EN 166).

**Körperschutz:** Das Tragen geschlossener Arbeitskleidung wird empfohlen.

**Allgemeine Schutz- u. Hygienemaßnahmen:** Gase/Dämpfe/Aerosole nicht einatmen. Die beim Umgang mit Chemikalien üblichen Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten.

### Begrenzung und Überwachung der Umweltexposition

#### PNEC-Werte: Ethandiol, EG-Nr.: 203-473-3, CAS-Nr.: 107-21-1

Umweltkompartiment	Wert
Wasser (Süßwasser)	10 mg/l.
Wasser (Meerwasser)	1 mg/l.
Wasser (intermittierende Freisetzung)	10 mg/l.
Sediment (Süßwasser)	20.9 mg/kg Sediment.
Boden	1.53 mg/kg Boden.
Abwasserbehandlungsanlage	199.5 mg/l.

## ABSCHNITT 9. Physikalische und chemische Eigenschaften

### Angaben zu den grundlegenden physikalischen und chemischen Eigenschaften:

<b>Form:</b>	Flüssig.	
<b>Farbe:</b>	Farblos.	
<b>Geruch:</b>	Produktspezifisch.	
<b>pH-Wert (20 °C):</b>	8.0 - 8.5.	(ASTM D 1287)
<b>Erstarrungstemperatur:</b>	≤-18 °C.	(DIN/ISO 3016)
<b>Siedepunkt:</b>	≥165 °C.	(ASTM D 1120)
<b>Flammpunkt:</b>	126.5 °C.	(DIN EN 22719, ISO 2719)
<b>Untere Explosionsgrenze:</b>	4.9 Vol.-%	
<b>Obere Explosionsgrenze:</b>	14.6 Vol.-%.	
<b>Zündtemperatur:</b>	440 °C.	(DIN 51794)
<b>Dampfdruck (20 °C):</b>	0.2 hPa.	
<b>Dichte (20 °C):</b>	1.120 - 1.125 g/cm <sup>3</sup> .	(DIN 51757)
<b>Löslichkeit (qualitativ) Lösemittel:</b>	Polare Lösemittel: Löslich.	
<b>Viskosität (kinematisch, 20 °C):</b>	20 - 30 mm <sup>2</sup> /s.	(DIN 51562)
<b>Explosionsgefahr:</b>	Nicht explosionsgefährlich.	
<b>Sonstige Angaben:</b>		
<b>Mischbarkeit mit Wasser:</b>	Beliebig mischbar.	
<b>Hygroskopie:</b>	Hygroskopisch.	

## ABSCHNITT 10. Stabilität und Reaktivität

<b>Reaktivität:</b>	Siehe Abschnitt "Möglichkeit gefährlicher Reaktionen".
<b>Chemische Stabilität:</b>	Das Produkt ist stabil, wenn die Vorschriften/Hinweise für Lagerung und Umgang beachtet werden.
<b>Möglichkeit gefährlicher Reaktionen:</b>	Keine gefährlichen Reaktionen bei vorschriftsmäßiger Lagerung und Handhabung.
<b>Zu vermeidende Bedingungen:</b>	Keine zu vermeidenden Bedingungen zu erwarten.
<b>Unverträgliche Materialien:</b>	Zu vermeidende Stoffe: Starke Oxidationsmittel.
<b>Gefährliche Zersetzungsprodukte:</b>	Keine gefährlichen Zersetzungsprodukte, wenn die Vorschriften/Hinweise für Lagerung und Umgang beachtet werden.

## ABSCHNITT 11. Toxikologische Angaben

### Angaben zu toxikologischen Wirkungen

#### Akute Toxizität/Reizwirkung/Sensibilisierung

Parameter	Wert/Bewertung	Spezies	Bemerkung
LD50 Akut Oral	>2000 mg/kg	Ratte	Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
LD50 Akut Dermal	>2000 mg/kg	Kaninchen	Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
Reizwirkung Haut	nicht reizend	Kaninchen	Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
Reizwirkung Auge	nicht reizend	Kaninchen	Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
Sensibilisierung Haut	nicht sensibilisierend	Meerschweinchen	Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.

<b>Subakute Toxizität:</b>	NOAEL 200 mg/kg, Ratte (männl./weibl.), OECD 407. Subakute orale Toxizität. Die Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
<b>Subchronische Toxizität:</b>	NOAEL 150 mg/kg, Ratte (männl.), OECD 408. Subchronische orale Toxizität (Futter). Die Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
<b>Beurteilung Mutagenität:</b>	Basierend auf der Auswertung verschiedener Tests wird die Substanz als nicht mutagen bewertet. Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
<b>Beurteilung Reproduktionstoxizität:</b>	Tierexperimentell wurden keine Hinweise auf reproduktionstoxische Effekte beobachtet. Die Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
<b>Beurteilung Kanzerogenität:</b>	Aus Langzeitversuchen liegen keine Hinweise auf cancerogene Wirkung vor. Die Angaben beziehen sich auf die Hauptkomponente.
<b>Erfahrungen aus der Praxis:</b>	Vergiftungssymptome: Wirkungen auf Zentralnervensystem (ZNS) und Magen-Darm-Trakt, (Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Reflexhemmung, epileptiforme Anfälle, Krämpfe, Koma, Atemlähmung, Kreislaufkollaps) innerhalb

## ABSCHNITT 11. Toxikologische Angaben - Fortsetzung

<p><b>I Erfahrungen aus der Praxis:</b></p>	<p>30 min bis 12 h. Vergiftungssymptome: Wirkungen auf Herz- und Lungenfunktion (Beschleunigung von Puls und Atmung, erhöhter Blutdruck, evtl. entzündliche Schleimhautveränderungen, Lungenödem, Stauungsinsuffizienz des Herzens) innerhalb 12-24 h. Vergiftungssymptome: Nierenschädigung (Oligurie bis Anurie, Degeneration des Nierengewebes mit Oxalatkristallablagerungen) innerhalb 24-72 h. Vergiftungssymptome: Degeneration des ZNS (doppelseitige Gesichtslähmung, Pupillenungleichheit, unscharfes Sehen, Schluckstörungen, Hyperreflexie, Koordinationsstörungen, Hirnödem, Calciumoxalateinlagerungen im Gehirn) innerhalb 6-14 Tagen.</p>
<p><b>I Sonstige Hinweise zur Toxizität:</b></p>	<p>Das Produkt wurde nicht geprüft. Die Aussagen zur Toxikologie beziehen sich auf die Hauptkomponente. Angaben zu Ethan-1,2-diol: Ein Risiko der Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des MAK-Wertes nicht befürchtet zu werden. Gefahr der Hautresorption. Aus der Gesamtheit der vorliegenden Informationen ergeben sich keine Hinweise auf eine krebserzeugende Wirkung. Die Aussagen sind von den Eigenschaften der Einzelkomponenten abgeleitet. Die Einstufung wurde nach dem Berechnungsverfahren der Zubereitungsrichtlinie (1999/45/EG) vorgenommen.</p>

## ABSCHNITT 12. Umweltbezogene Angaben

### Toxizität

#### Ökotoxische Wirkungen:

Parameter	Wert	Spezies	Bemerkung
Fischtoxizität:	LC50 (96 h): >100 mg/l	Leuciscus idus	
Aquatische Invertebraten:	EC50 (48 h): >100 mg/l	Daphnia magna	
Wasserpflanzen:	EC50 (72 h): >100 mg/l	Algen	
Mikroorganismen/Wirkung auf Belebtschlamm:	>1000 mg/l (DEV-L2).		Bei sachgemäßer Einleitung geringer Konzentrationen in adaptierte biologische Kläranlagen sind Störungen der Abbauproduktivität von Belebtschlamm nicht zu erwarten.

#### Persistenz und Abbaubarkeit:

Angaben zur Elimination: >70 % DOC-Abnahme (28 d) (OECD 301 A, neue Version). Bewertung: Leicht biologisch abbaubar.

**Bioakkumulationspotential:** Eine Anreicherung in Organismen ist nicht zu erwarten.

#### Mobilität im Boden (und andere Kompartimente wenn verfügbar):

Beurteilung Transport zwischen Umweltkompartimenten: Von der Wasseroberfläche verdunstet der Stoff nicht in die Atmosphäre. Eine Bindung an die feste Bodenphase ist nicht zu erwarten.

<p><b>I Ergebnisse der PBT- u. vPvB-Bewertung:</b></p>	<p>Gemäß Anhang XIII der Verordnung (EG) Nr.1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH): Das Produkt enthält keinen Stoff, der die PBT-Kriterien (persistent/bioakkumulativ/toxisch) oder die vPvB-Kriterien (sehr persistent/sehr bioakkumulativ) erfüllt.</p>
--	--

#### Zusätzliche Hinweise:

Sonstige ökotoxikologische Hinweise: Produkt nicht ohne Vorbehandlung in Gewässer gelangen lassen. Das Produkt wurde nicht geprüft. Die Aussagen zur Ökotoxikologie wurden von den Eigenschaften der Einzelkomponenten abgeleitet.

## ABSCHNITT 13. Hinweise zur Entsorgung

### Verfahren der Abfallbehandlung

<p><b>I Empfehlungen für das Produkt:</b></p>	<p>Produkt muß unter Beachtung der örtlichen Vorschriften, z.B. einer geeigneten Deponie oder einer geeigneten Verbrennungsanlage, zugeführt werden.</p>
<p><b>Empfehlungen für die Verpackung:</b></p>	<p>Nicht kontaminierte Verpackungen können wieder verwendet werden. Nicht reinigungsfähige Verpackungen sind wie das Produkt zu entsorgen.</p>

## ABSCHNITT 14. Angaben zum Transport

**Landtransport - ADR/RID:** Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.  
**Binnenschifftransport - ADN:** Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.  
**Seeschifftransport - IMDG:** Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.  
**Lufttransport - ICAO/IATA:** Kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften.

### Besondere Vorsichtsmaßnahmen für den Verwender

Die in den Abschnitten 6, 7 und 8 aufgeführten Schutzmaßnahmen müssen beachtet werden.

**Massengutbeförderung gemäß Anhang II des MARPOL-Übereinkommens 73/78 und gemäß IBC-Code:** Keine Beförderung als Massengut gemäß IBC-Code.

## ABSCHNITT 15. Rechtsvorschriften

### Vorschriften zu Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz/spezifische Rechtsvorschriften für den Stoff oder das Gemisch

**Nationale Vorschriften:** Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend).  
Mischungs-WGK, Einstufung nach Anhang 4 VwVwS.

### Stoffsicherheitsbeurteilung

Stoffsicherheitsbeurteilungen für Stoffe in diesem Gemisch wurden durchgeführt.  
Expositionsszenarien (ES) können über [msds@tyfo.de](mailto:msds@tyfo.de) angefordert werden.

## ABSCHNITT 16. Sonstige Angaben

Vollständiger Wortlaut der Gefahrensymbole, Gefahrensätze und R-Sätze falls in Abschnitt 3 unter 'Gefährliche Inhaltsstoffe' genannt - keine Einstufung des Produktes !

Xn: Gesundheitsschädlich.

R22: Gesundheitsschädlich beim Verschlucken.

H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

H373: Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition.

Alle Angaben, die sich im Vergleich zur vorangegangenen Ausgabe geändert haben, sind durch einen senkrechten Strich am linken Rand der betreffenden Passage gekennzeichnet. Ältere Ausgaben verlieren damit ihre Gültigkeit.

Das Sicherheitsdatenblatt ist dazu bestimmt, die beim Umgang mit chemischen Stoffen und Gemischen wesentlichen physikalischen, sicherheitstechnischen, toxikologischen und ökologischen Daten zu vermitteln, sowie Empfehlungen für den sicheren Umgang bzw. Lagerung, Handhabung und Transport zu geben. Eine Haftung für Schäden im Zusammenhang mit der Verwendung dieser Information oder dem Gebrauch, der Anwendung, Anpassung oder Verarbeitung der hierin beschriebenen Produkte ist ausgeschlossen. Die Haftung für mittelbare Schäden ist ausgeschlossen.

Diese Angaben sind nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt und entsprechen unserem aktuellen Kenntnisstand. Sie enthalten keine Zusicherung von Produkteigenschaften.

## Übersicht Wärmespeicher

Quelle: (Agentur für erneuerbare Energien, Deutschlands Informationsportal für erneuerbare Energien, 2009) S. 4-25 und

Quelle: Leuphana Universität Lüneburg Dt. Thomas Schmidt 07 2012 in Press, S. 1-4

sowie Deutsche Energieagentur 2012 und Institut für Gebäude- und Solartechnik

Begriff	thermische Energie							chemische Energie	
	sensible Wärme (fühlbare)							latente Wärme (verborgene)	thermophysikalische u. thermochemische Wärme
	Warmwasser-speicher	Heißwasser-wärmespeicher	Kies-Wasser-wärmespeicher	Feststoff-wärmespeicher	Fluid-wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher	Erdsonden-wärmespeicher	Phasen-wechsel-materialien PCM	Reaktionswärme Sorptions-speicher
<b>Energie-dichte</b>	60-80 kWh/m <sup>3</sup>	60-80 kWh/m <sup>3</sup>	30-50 kWh/m <sup>3</sup>	20-50 kWh/m <sup>3</sup>	30-50 kWh/m <sup>3</sup>	30-40 kWh/m <sup>3</sup>	15-30 kWh/m <sup>3</sup>	bis 120 kWh/m <sup>3</sup> mobil: 150-200 kWh/m <sup>3</sup>	200-500 kWh/m <sup>3</sup> (theoretisch) 130 kWh/m <sup>3</sup> (praktisch)
<b>Speichermedium Temperaturbereich</b>	Wasser 30-95 °C	Wasser 70-95 °C	Kies/Sand/Erdrreich-Wasser Gemisch max.90 °C	Kies/Sand/Erdrreich-Wasser Gemisch max.90 °C	Kies/Sand/Erdrreich-Wasser Gemisch max.90 °C	oberflächen nahes Erdrreich in Wasser führenden Gesteinsformationen um 75 °C	Erdrreichformation im Untergrund max. 80 °C	Salzhydrate (30-80 °C) Paraffine (10-60 °C), Fettsäuren ( bis 110 °C), Salze (über 130 °C), Salz-Graphit-Verb. (130-330 °C) und Erd-Alkalisalze (100-1000 °C), Gashydrate	Zeolithe (100-300 °C), Silikagele (40-100 °C), Metallhydride (280-500 °C)
<b>Wärmeleit-fähigkeit</b>	0,6 W/m K	0,6 W/m K	2,4 W/m K	2,1 W/m K Normalbeton	2,4 W/m K	0,6 W/m K (Wasser)	Boden 2,5 W/ m K Verfüllung 0,8-2,5 W/m K	0,2 W/m K (Paraffin), 0,6 W/m K (Salzhydrat), 4-15 W/m K (im Verbund)	0,14-0,6 W/m K
<b>Anwendungs-bereich</b>	Heizungsunterstützung Warmwasser-bereitung	Heizungsunterstützung Warmwasser-bereitung	Nahwärmenetze Warmwasser und Heizungsunterstützung für Gebäudekomplexe	Solarthermische Kraftwerke Prozesswärme für Industrie	Solarthermische Kraftwerke Prozesswärme für Industrie	Nahwärmenetze Warmwasser und Heizungsunterstützung für Gebäudekomplexe	Nahwärmenetze Warmwasser und Heizungsunterstützung für Gebäudekomplexe	Warmwasser und Heizungsunterstützung, Prozesswärme, Gebäudetechnik, mobile Wärme	Nahwärmenetze, Warmwasser und Heizungsunterstützung, mobile Wärme
<b>Einsatzgebiete Stand der Technik</b>	standardisierte kleine Speicher für private Haushalte z. B. Pufferspeicher für EFH Pilotprojekte für Nahwärmenetze	solar unterstützte Nahwärmenetze ab mind. 100-200 EFH bzw. mind. 200-250 Wohneinheiten derzeit vereinzelte Pilotprojekte		Pilotprojekte bis einige 100 kW		standardisiert seit 20 Jahren im Markt etabliert	als Sondenfeld Pilotprojekte vorhanden	teilweise marktreif	Pilotprojekt hohes Entwicklungspotential, Einsatz im EFH in Kombination mit Solarkollektor oder Brennkessel zur Pufferung von Wärmespitzen auch für Biogasanlagen geeignet
<b>Speicher-volumen</b>	private Anlagen 0,2-100 m <sup>3</sup> Nahwärmespeicher bis mehrere 100 m <sup>3</sup>	ab mehreren 1000 m <sup>3</sup> glasfaserverstärkte Kunststoffe 50 - 6.000 m <sup>3</sup>	ab mehrere 1000 m <sup>3</sup>	600 - 12.000 m <sup>3</sup>		ab mehrere 1000 m <sup>3</sup>	über 50.000 m <sup>3</sup>	einige m <sup>3</sup> bis 100 m <sup>3</sup> (materialabhängig)	ab 10 m <sup>3</sup>
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitspeicher Tages-/Wochenspeicher	Langzeitspeicher über mehrere Monate	Langzeitspeicher über mehrere Monate	Kurzzeitspeicher bis mehrere Stunden	Kurzzeitspeicher bis mehrere Stunden Stromproduktion	Langzeitspeicher über mehrere Monate	Langzeitspeicher über mehrere Monate	Kurz- und Langzeitspeicher	Kurzzeitspeicher, potentieller Langzeitspeicher
<b>Einsatz als Kältespeicher möglich</b>	bedingt da bei 5-13 °C keine natürliche Temperaturschichtung aufgrund zu geringer Dichteunterschiede, deshalb technische Konstruktionen erforderlich					gut geeignet bis Temperaturniveau 6-15 °C, da untere Temperaturgrenze für Wasser	in Kombination mit Erdwärmepumpe auch Temp. unterhalb Gefrierpunkt möglich wartungsärmer als Kältespeicherung in Aquiferen, aufgrund hoher Inv.kosten Amortisation erst nach 6-10 Jahren, je nach Kältebedarf zusätzliche Kälteanlage erforderlich	PCMs bis 5 kWh Kälteleistung kommerziell erhältlich. PCM mit Phasenübergangstemperatur unter 0°C haben geringe Herstellkosten	bei Einsatz mit flüssigen Speichermedien für Gebäudeklimatisierung, wirtschaftlich sinnvoll wenn heizen und kühlen kombiniert wird, keine beliebigen Temperatursprünge zwischen Innen- u. Außenluft möglich, Demonstrationsanlagen für 10-100 kW

Begriff	sensible Wärme (fühlbare)							latente Wärme (verborgene)	thermophysikalische u. thermochemische Wärme
	Warmwasser-speicher	Heißwasser-wärmespeicher	Kies-Wasser-wärmespeicher	Feststoff-wärmespeicher	Fluid-wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher	Erdsonden-wärmespeicher	Phasenwechsel-materialien PCM	Reaktionswärme Sorptions-speicher
<b>Konstruktion</b>	Zylindrische Bauform Stahl mit außenliegender Wärmedämmung	Einbau unterer Teil im Erdreich meist ohne Dämmung, oberer Teil Dämmung aus Glas-/Mineralfaser, Schaumglas, Blähglasgranulat, Auskleidung aus Edelstahlblech oder wasserfester Stahlbeton oder Glasfaserkunststoff	Aushub pyramidenförmige Grube Auskleidung mit Kunststoffolie und Auffüllung mit Kies/Wassergemisch Wärmeübergabe indirekt durch eingelegte Kunststoffrohr-schlangen oder direkt durch Wasser Austausch hierbei muss Wassertemperaturvermischung vermieden werden	aus Hochtemperatur-Beton oder Keramik von Stahlrohrleitungen durchzogen durch die Thermoöl zirkuliert. Beton erwärmt sich bis 400 °C und gibt Wärme an Öl ab welches über Wärmetauscher wieder abgekühlt wird	Flüssigsalze Bsp. Solathermisches Kraftwerk Andasol 50 MW Leistung Speicher zwei oberirdische Tanks mit 28.500 l Flüssigsalz. Flüssigsalzgemisch aus 60 % Natriumnitrat und 40 % Kaliumnitrat. Salzerhitzung von 280-390 °C, Wärmeabgabe über Wärmetauscher aus Dampf	in abgeschlossenen Gesteinsformationen, in bis zu einigen hundert m Tiefe Aquifere die Grundwasser führen, oberflächennahe Aquifere sind i.d.R. Trinkwasserversorgung vorbehalten, kaltes Wasser aus Aquifer wird mittels Bohrung entnommen und über Solarthermieanlage erwärmt, erwärmtes Wasser wird in gleichen Aquifer mittels Injektionsbohrung zurückgeleitet. Im Winter Wärmeentnahme aus Injektionsbohrung	Wärmeentnahme oder Wärmespeicherung aus Erdreich mittels Erdsonden aus U-förmigen Kunststoffrohren in Bohrlöchern, Einbautiefen 20-100 m, Zsfg. Mehrerer Sonden zu Sondenfeld dadurch Wärmespeicher Heizleistung über Wochen und Monate für Nahwärmenetze möglich, geeignet bei Erdreich mit guter Wärmekapazität z. B. wassergesättigte Tonschichten mit wenig Grundwasserbewegung, Bohrdurchmesser 0,1-0,2 m, Sondenabstand 1,5-3 m. Wärmeträgermedium in Sole Wasser-Glykolgemisch oder Ammoniak	Aufnahme von relativ großen Wärmemengen sowie hohe Energiedichten bei weitgehend konstanter Betriebstemperatur, um Be- und Entladeleistung zu erhöhen Einsatz von Verbund PCMs und hermetischer Abschluss, z. B. hochleitfähige Salz-/Graphit-Materialien; PCM-Sandwichkonzept mit Graphit-Platten und Schmelzsatz für Prozessdampfbereitstellung Einsatz in Biogasanlagen und solarthermischen Kraftwerken zum Ausgleich von Temperaturschwankungen und Wärmeüberangebot; mobile Wärmespeichercontainer bis 250 kW bei konstanter Wärmeabnahme und geringen Transportkosten	Speichermedium und Arbeitsmedium verbinden sich für die Speicharentladung durch Adsorption und Absorption. Beladung des Speichermediums durch Desorption, hohes Potential durch hohe Energiedichte, Einsatz Sorptionsspeicher zum Lastausgleich im Fernwärmenetz
<b>Vorteile</b>	ausgereift, geringe Kosten geringer Platzbedarf	großes Volumen bei kleiner Oberfläche geringere Wärmeverluste vielseitig einsetzbar		Beton im Vgl. zu Flüssigsalzen günstigstes Material		neben Bohrungen keine zusätzlichen Speicherkonstruktionskosten	bei Kältespeicherung weniger Lärmmissionen im Vgl. zur herkömmlichen Kälteanlage und angenehme Ästhetik	geringe Wärmeverluste und hohe Energiedichte flexibel einsetzbar	4-5 mal geringes Speichervolumen als bei Heißwasserspeicher notwendig, gute Transportfähigkeit der Medien, geringe Speicherverluste, gute Steuerbarkeit des Temperaturniveaus, hohe Effizienz, nicht umwelt- und feuergefährlich
<b>Nachteile</b>	große Oberfläche bei kleinem Volumen dadurch höhere Wärmeverluste	hoher Platzbedarf	schlechtere Wärmekapazität als Wasser dadurch höhere Verluste und doppeltes Speichervolumen im Vergleich zu Wasser notwendig	bei verwendeten Ölen sind wegen chemischer Eigenschaften spezielle Sicherheits- und Umweltauflagen zu beachten	15-20 €/kWh davon 40 % Anteil Speicherbeton und 50 % Anteil Rohrsystem	einige Jahre Einregulierung, da keine unterirdische Dämmung dadurch hohe Wärmeverluste, ca. 2-3 mal so großes Speichervolumen wie für Heißwasserspeicher notwendig, träger Wärmespeicher, aufwendiges Genehmigungsverfahren und Erkundungsrisiko	3-5 mal so großes Speichervolumen wie für Heißwasserspeicher notwendig, träger Wärmespeicher	geringe Wärmeleitfähigkeit der Feststoffe schlechte Steuerbarkeit der freigesetzten Wärme hohe Materialkosten	geringe Wärmeleitfähigkeit der Feststoffe schlechte Steuerbarkeit der freigesetzten Wärme komplexe Systemsteuerung hohe Systemkosten
<b>Kosten</b>		je nach Bauart/Abdichtung/Speicher-volumen 100-450 €/m <sup>2</sup>	kostengünstig 100-150 €/m <sup>3</sup>		30-40 €/kWh	Amortisation nach 2-5 Jahren	hohe Fix- und niedrige Betriebskosten		2 €/kg Materialkosten Medium Inv.kosten Bsp. München 43 €/kWh

Begriff	thermische Energie							chemische Energie	
	sensible Wärme (fühlbare)							latente Wärme (verborgene)	thermophysikalische u. thermochemische Wärme
	Warmwasser-speicher	Heißwasser-wärmespeicher	Kies-Wasser-wärmespeicher	Feststoff-wärmespeicher	Fluid-wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher	Erdsonden-wärmespeicher	Phasenwechsel-materialien PCM	Reaktionswärme Sorptions-speicher
Baukosten aus realisierten Projekten €/m³ Speichervolumen		Erdbeckenspeicher 120-470 €/m³		Kies/Wasserspeicher 120-400 €/m³		Aquifer 40-50 €/m³	Erdsondenspeicher 110-460 €/m³		
Marktchancen		Einsatz als Tages-Monatsspeicher 100-1000 m³ mögliche Kostenreduzierung durch GFK-Einsatz	Vorzug vor Heißwasserspeichern wenn aus statischen Gründen erforderlich	derzeit noch in Entwicklung Einsatz vor allem in solarthermischen Kraftwerken zur Stromerzeugung Feststoffwärmespeicher modular vergrößbar Einsatz für Prozesswärme Ziel Investitionskosten unter 20 €/kWh	lange Erfahrungen aus Industrie z. B. Salzschmelze und Galvanikbereich Verbesserung Wirkungsgrad solarthermischer Kraftwerke mit verspiegelten Parabolrinnen, Einsatz Wärmeöl als Wärmeträger	erst bei großen Speichervolumina wirtschaftlich Einsatz in Skandinavien, Belgien und Niederlande		Entwicklung von PCS (Phase Change Slurries) Phasenwechselfluiden mit Energiedichten von über 200 kWh/m³ für kompakte Speicher, Zugabe von PCMs zu Wärmeträgerflüssigkeiten um Wärmetransportfähigkeit zu erhöhen, Wasser-Paraffin-Gemische als Wasser Alternative in Wärme- und Kältespeichern	
Bei solarunterstützter Wärmeerzeugung möglicher solarer Deckungsanteil an Gesamtwärmebedarf	20-30 %	20- max. 60 %	20- max. 60 %			in Kombination mit Wärmepumpe bis 50 %	in Kombination mit Erdwärmepumpen und Pufferspeicher bis 50 %		
Richtwert des Speichervolumens je m² Solarkollektorfläche (FK) bei Nahwärmenetzen für solaren Deckungsanteil von 50 %	-	1,5-2,5 m³/m² FK	2,5-4,0 m³/m² FK			4,0 m³/m² FK	8,0-10,0 m³/m² FK		

## A Fragebogen zur Erhebung objektspezifischer Daten im VG1

INTERESSENGEMEINSCHAFT NAHWÄRMEHEIZWERK ALTSPEICHERSDORF + NEUE DORFWITTE		INKAS <sup>+</sup>		
<b>Allgemeine Daten</b>				
Ansprechpartner				
Telefon				
Funktion (Eigentümer, Hausverwalter, Hausmeister,...)				
<b>Gebäudedaten</b>				
Straße, Hausnummer				
PLZ, Ort				
Baujahr des Gebäudes <sup>1)</sup>				
Typ (bitte zutreffendes ankreuzen):				
<input type="checkbox"/> Einfamilienhaus <input type="checkbox"/> Reihenhauz <input type="checkbox"/> Doppelhaushälfte <input type="checkbox"/> Zweifamilienhaus <input type="checkbox"/> Mehrfamilienhaus mit ..... Wohnungen <input type="checkbox"/> Große Geschäftsgebäude, Wohnheim etc. <input type="checkbox"/>				
Beheizte Wohnfläche/Nutzfläche <sup>2)</sup> in m <sup>2</sup> und Anzahl beheizter Geschosse:				
Grundfläche Gebäude in m <sup>2</sup> und Anzahl Geschosse insgesamt:				
Heizwärme (Sonnenenergie siehe Seite 2)	Wärmeerzeuger (Kessel, Ofen, etc. <sup>3)</sup>		Verbrauch <sup>4)</sup>	
	Heiz- bzw. Nennleistung in kW	Baujahr	(bitte alles Zutreffende eintragen / ankreuzen)	
			2007	2008
Heizöl			l/Jahr	
Erdgas			kWh/Jahr	
Flüssiges			l/Jahr	
Festwäme			kWh/Jahr	
Stück-Holz			Stm/Jahr	
Hackschnitzel			Schüttbaummeter/Jahr	
Holz-Pellets			Tonnen/Jahr	
Kohle			kg/Jahr	
Stromdirectheizung <sup>5)</sup>			kWh/Jahr	
<sup>1)</sup> Storn für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung, z.B. Nachspeicherheizung (nicht Allgemeinstromverbrauch)				
Wärmepumpe			kWh/Jahr	
<input type="checkbox"/> Erdkollektor <input type="checkbox"/> Erdsonde <input type="checkbox"/> Wasser <input type="checkbox"/> Luft				
Sonstige: _____				
bei zentraler Wasserverwärmung über Heizkessel, Warmwasserspeicher/Boilerinhalt: _____			Liter	
Heizanlage/Wärmeverteilung <input type="checkbox"/> Fußbodenheizung <input type="checkbox"/> Heizkörper <input type="checkbox"/> Beides				
Niedertemperaturkessel: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein				
Vor-/Rücklauftemperatur der Heizanlage (falls bekannt): _____ / _____ °C				



Erzeugung		Größe [m <sup>2</sup> ]	Baujahr
Solarthermie	<input type="checkbox"/> Warmwasser	<input type="checkbox"/> Heizung	
	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja:	<input type="checkbox"/> Flachkollektor <input type="checkbox"/> Vakuumröhren <input type="checkbox"/>	
Photovoltaik	Spitzenleistung [kWp]	2007	2008
	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja:	Stromerzeugung	kWh/Jahr
Allgemeinstromverbrauch		<input type="checkbox"/> Gesamt bzw. <input type="checkbox"/> ohne Heizung	
Stromverbrauch des gesamten Gebäudes		kWh/Jahr	

Wurde seit dem Bau eine größere Sanierung mit Auswirkung auf den Energieverbrauch durchgeführt (z. B. neue Fenster, automatische Lüftung, Wärmedämmung der Fassade, Wärmedämmung Dachbodenoberseite Geschosdecke o. ä.)?  Nein  Ja

Wenn ja, geben Sie bitte Jahr und Sanierungs-Art an (z.B.: Vollwärmeschutz, Dämmstärke 10 cm)

---



---



---

Sind bauliche oder anlagentechnische Änderungen/Sanierungen/Erweiterungen mit Auswirkung auf den Energieverbrauch geplant?  Nein  Ja

Wenn ja, welche?

---



---



---

<sup>1)</sup> Wenn das Baujahr des Gebäudes nicht genau bekannt ist, reicht eine Schätzung. Im Falle von späteren Anbauten ist das Jahr dieser Maßnahme anzugeben, sofern mehr als 50% der Wohnfläche in dem erweiterten Gebäudeteil liegt.

<sup>2)</sup> Beheizte Wohnfläche, beheizter Teil der Wohnfläche, kann dem Bruttogrund, dem Mietverträge oder der Heizkostenabrechnung entnommen werden. Sind Kellerräume beheizt (d.h. mit Heizkörpern ausgestattet), zählt die Nutzfläche dieser Räume auch zur "beheizten Wohnfläche".

<sup>3)</sup> Angaben zu Heiz- bzw. Nennleistung und Baujahr finden Sie auf dem Typenschild an der Anlage.

<sup>4)</sup> Verbrauchswerte finden Sie in der Abrechnung des Energieversorgers, Brennstofflieferanten etc. oder ggf. im Energieausweis. (Falls vorhanden fügen Sie bitte eine Kopie des Energieausweises bei.)

# Überwachung der Emissionen von Luftschadstoffen

## Hinweise für nach § 26 BImSchG in Sachsen- Anhalt bekannt gegebene Stellen

- Stand der Messtechnik zur Ermittlung der Emissionen von Luftschadstoffen
- Neuer Musterbericht
- Formaldehydemissionen aus Verbrennungsmotoren beim Einsatz von Biogas
- Hinweise zu den im Bekanntgabebescheid festgelegten Aufgaben und Anzeigepflichten



**SACHSEN-ANHALT**

Landesamt für Umweltschutz



# 1 Umsetzung des Standes der Messtechnik zur Ermittlung der Emissionen von Luftschadstoffen

## 1.1 Aktuelle Normen und Richtlinien zur Ermittlung der Emissionen

Messungen zur Feststellung der Emissionen von Luftschadstoffen sind nach dem Stand der Messtechnik, der durch Normen und Richtlinien zur Emissionsmessung beschrieben wird, durchzuführen. Hierbei haben für Messungen an Anlagen, die europäischen Regelungen unterliegen (z.B. 13. BImSchV, 17. BImSchV...), EN-Normen - also Normen, die durch die Europäische Normungsorganisation erarbeitet worden sind - Vorrang. An allen anderen Anlagen können auch nationale Normen (VDI-Richtlinien) oder ISO-Normen herangezogen werden. So wird in Nr. 5.3.2.3 der TA Luft bzgl. der Auswahl von Messverfahren gefordert:

*„Messungen zur Feststellung der Emissionen sollen unter Einsatz von Messverfahren und Messeinrichtungen durchgeführt werden, die dem Stand der Messtechnik entsprechen...“*

*Die Emissionsmessungen sollen unter Beachtung der in Anhang 6 aufgeführten Richtlinien und Normen des VDI/DIN-Handbuches "Reinhaltung der Luft" beschriebenen Messverfahren durchgeführt werden. Die Probenahme soll der Richtlinie VDI 4200 (Ausgabe Dezember 2000) entsprechen. Darüber hinaus sollen Messverfahren von Richtlinien zur Emissionsminderung im VDI/DIN-Handbuch „Reinhaltung der Luft“ berücksichtigt werden.“*

Der zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der TA Luft im Jahre 2002 beschriebene Stand der Messtechnik ist durch Weiterentwicklungen in Probenahme-, Mess- und Analysetechnik und durch umfangreiche Normungs- und Richtlinienarbeit im europäischen sowie nationalen Rahmen ein anderer als heute. Viele der im Anhang 6 der TA Luft aufgeführten Richtlinien und Normen des VDI/DIN-Handbuches "Reinhaltung der Luft" wurden mittlerweile überarbeitet bzw. durch neue Richtlinien ersetzt oder ergänzt. Auch die in Nr. 5.3.2.3 der TA Luft aufgeführte und für Emissionsmessungen grundlegende Richtlinie VDI 4200 - Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen (Ausgabe Dezember 2000) - wurde im Oktober 2008 zurückgezogen und durch die DIN EN 15259 „Luftbeschaffenheit - Messung von Emissionen aus stationären Quellen - Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht“ (Ausgabe Januar 2008) ersetzt.

Zurzeit erfolgt federführend durch das Umweltbundesamt eine Aktualisierung des Anhanges 6 der TA Luft und dessen Anpassung an den derzeitigen Stand der Messtechnik. Einen Überblick über die anzuwendenden Normen bzw. Richtlinien gibt die nachfolgende Tabelle. In der Tabelle ist der Stand im Jahr des Inkrafttretens der TA Luft im Jahre 2002 dem heutigen gegenübergestellt. Mittlerweile zurückgezogene Richtlinien sind gekennzeichnet, neue Normen und Richtlinien wurden hervorgehoben.

## **1.2 Umsetzung des Standes der Messtechnik im Genehmigungsverfahren**

Unstrittig ist, dass verschiedene Messverfahren zur Ermittlung eines Messobjektes nicht immer vergleichbare Messergebnisse liefern. Genau genommen wird das Messobjekt mit der Auswahl eines Messverfahrens erst endgültig festgelegt. Um Messergebnisse vergleichen zu können ist es deshalb unverzichtbar, Mess- und Analyseverfahren zu normieren und die Anwendung dieser normierten Verfahren einheitlich und unter Wahrung des Gleichbehandlungsgrundsatzes in die Praxis der Anlagengenehmigung zu überführen.

Die Umsetzung des Standes der Messtechnik ist bei neu zu genehmigenden Anlagen im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Nebenbestimmungen unter Anwendung der in der nachstehenden Tabelle aufgeführten aktuellen Messverfahren und –vorschriften vorzunehmen. Bei bestehenden Anlagen sollte im Rahmen der regelmäßigen Überwachung geprüft werden, inwieweit über nachträgliche Anordnungen eine Anpassung an den Stand der Messtechnik erwirkt werden kann. Da für Betreiber von Anlagen die Anwendung der im Genehmigungsbescheid festgelegten Messvorschriften bindend sind, selbst wenn es sich um nicht mehr gültige, zurückgezogene Normen oder Richtlinien handelt, besteht insbesondere Handlungsbedarf, wenn in Genehmigungsbescheiden noch die Anwendung „alter“, mittlerweile zurückgezogener, Messvorschriften vorgeschrieben wird.

Einige der neuen Normen bzw. Richtlinien erfordern in ihrer Anwendung einen z. T. erheblich höheren materiellen oder Zeit- und Arbeitsaufwand, als ihre „Vorgängernorm“. Dies betrifft insbesondere die Grundsatznormen:

- DIN EN 14181 - Emissionen aus stationären Quellen - Qualitätssicherung für automatische Messeinrichtungen; Deutsche Fassung EN 14181:2004  
(Vorgängernorm für Anlagen, die EU-Regelungen unterliegen: VDI 3950 Bl. 1 - Kalibrierung automatischer Emissionsmesseinrichtungen; 1994-07),
- VDI 3950 - Emissionen aus stationären Quellen - Qualitätssicherung für automatische Mess- und elektronische Auswerteeinrichtungen; 2006-12  
(Vorgängernorm für Anlagen, die nicht EU-Regelungen unterliegen: VDI 3950 Bl. 1 - Kalibrierung automatischer Emissionsmesseinrichtungen; 1994-07),
- DIN EN 15259 - Luftbeschaffenheit - Messung von Emissionen aus stationären Quellen - Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht; 2008-01  
(Vorgängernorm: VDI 4200 - Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen; 2000-12)

	TA Luft 2002				
Messobjekt	VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	zurückgezogen	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
<b>Allgemeine Richtlinien</b>					
Kalibrierung	3950 Bl. 1	07.2004	X		
Messplanung	2448 Bl. 1	04.1992			
Durchführung von Emissionsmessungen	4200	12.2000	X		
Anforderungen an Prüfstellen	4220	09.1999			
<b>Staub</b>					
Staub (allgemein)	2066 Bl. 1	10.1975	X		
Staub	2066 Bl. 4	01.1989	X		
	2066 Bl. 6	01.1989	X		
Staub (niedrige Konzentrationen)	2066 Bl. 7	08.1993	X	13284-1	11.2001
Staub (höhere Konzentrationen)	2066 Bl. 2	08.1993	X		
Fraktionierende Staubmessung	2066 Bl. 5	11.1994			
Rußzahl	2066 Bl. 8	09.1995			
<b>Staubinhaltsstoffe</b>					
Schwermetalle (Probenahme)	3868 Bl. 1	12.1994			
Schwermetalle (Analytik)	2268 Bl. 1	04.1987			
	2268 Bl. 2	02.1990			
	2268 Bl. 3	12.1988			
	2268 Bl. 4	05.1990			
Quecksilber				13211	06.2001
Asbest	3861 Bl. 1	12.1989			
<b>Schwefelverbindungen</b>					
Schwefeldioxid	2462 Bl. 8	03.1985	X		
Schwefeltrioxid	2462 Bl. 7	03.1985	X		
Schwefelwasserstoff	3486 Bl. 1	04.1979			
	3486 Bl. 2	04.1979			
Schwefelkohlenstoff	3487 Bl. 1	11.1978			

Oktober 2008			
VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
<b>3950</b>	<b>12.2006</b>	<b>14181</b>	<b>09.2004</b>
2448 Bl. 1	04.1992	<b>15259</b>	<b>01.2008</b>
		<b>15259</b>	<b>01.2008</b>
4220	09.1999		
<b>2066 Bl. 1</b>	<b>11.2006</b>		
		<b>13284-2</b>	<b>12.2004</b>
		<b>13284-2</b>	<b>12.2004</b>
<b>2066 Bl. 1</b>	<b>11.2006</b>	13284-1	11.2001
		<b>13284-2</b>	<b>04.2002</b>
<b>2066 Bl. 1</b>	<b>11.2006</b>		
2066 Bl. 5	11.1994		
2066 Bl. 8	09.1995		
3868 Bl. 1	12.1994	<b>14385</b>	<b>05.2004</b>
2268 Bl. 1	04.1987		
2268 Bl. 2	02.1990		
2268 Bl. 3	12.1988		
2268 Bl. 4	05.1990		
		13211	06.2001
3861 Bl. 1	12.1989		
		<b>14791</b>	<b>04.2006</b>
3486 Bl. 1	04.1979		
3486 Bl. 2	04.1979		
3487 Bl. 1	11.1978		

	TA Luft 2002				
Messobjekt	VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	zurückgezogen	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
<b>Stickstoffverbindungen</b>					
Stickstoffoxide					
Distickstoffmonoxid					
Stickstoffmonoxid/-dioxid	2456 Bl. 8	01.1986	X		
Basische Stickstoffverbindungen	3496 Bl. 1	04.1982			
<b>Kohlenmonoxid</b>	2459 Bl. 1 2459 Bl. 7	12.2000 02.1994	X		
<b>Chlorverbindungen</b>					
Chlorwasserstoff				1911 Bl.1,2,3	07.1998
Chlor	3488 Bl. 1 3488 Bl. 2	12.1979 11.1980			
<b>Fluorverbindungen</b>					
Fluorwasserstoff	2470 Bl. 1	10.1975			
<b>Organische Stoffe</b>					
Kohlenwasserstoffe (allgemein)	3481 Bl. 6	12.1994			
Kohlenwasserstoffe	3481 Bl. 2	09.1998			
Kohlenwasserstoffe (FID)	3481 Bl. 1 3481 Bl. 3	08.1975 10.1995	X	12619	09.1999
Kohlenwasserstoffe (IR)	2460 Bl. 1 2460 Bl. 2 2460 Bl. 3	07.1996 07.1974 06.1981			
GC-Bestimmung organischer Verbindungen	2457 Bl. 1 2457 Bl. 2 2457 Bl. 3 2457 Bl. 4 2457 Bl. 6 2457 Bl. 7	11.1997 12.1996 12.1996 12.2000 06.1981 06.1981		13649	(prEN)
			X		
			X		

Oktober 2008			
VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
		14792	04.2006
<b>2469 Bl.1,2</b>	<b>02.2005</b>		
<b>2456</b>	<b>11.2004</b>		
3496 Bl. 1	04.1982		
2459 Bl. 1	12.2000	15058	09.2006
		1911 Bl.1,2,3	07.1998
3488 Bl. 1 3488 Bl. 2	12.1979 11.1980		
2470 Bl. 1	10.1975		
3481 Bl. 6	12.1994		
3481 Bl. 2	09.1998		
3481 Bl. 3 <b>3481 Bl. 4</b>	10.1995 <b>02.2007</b>	12619 <b>13526</b>	09.1999 <b>05.2002</b>
2460 Bl. 1 2460 Bl. 2 2460 Bl. 3	07.1996 07.1974 06.1981		
2457 Bl. 1 2457 Bl. 2 2457 Bl. 3 2457 Bl. 4	11.1997 12.1996 12.1996 12.2000	13649	05.2002

	TA Luft 2002				
Messobjekt	VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	zurückgezogen	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
Aliphatische Aldehyde (C <sub>1</sub> bis C <sub>3</sub> )	3862 Bl. 1	12.1990			
	3862 Bl. 2	12.2000			
	3862 Bl. 3	12.2000			
	3862 Bl. 4	05.2001			
Acrylnitril	3863 Bl. 1	04.1987			
	3863 Bl. 2	02.1991			
PAH (allgemein)	3873 Bl. 1	11.1992			
PAH					
PAH (in der Kohlenstoffindustrie)	3467	03.1998			
Vinylchlorid	3493 Bl. 1	11.1982			
Dioxine und Furane				1948 Bl. 1,2,3	05.1997
<b>Geruchsstoffe</b>	3881 Bl. 1	05.1986	<b>X</b>		
	3881 Bl. 2	06.1987	<b>X</b>		
	3881 Bl. 3	11.1986	<b>X</b>		

Oktober 2008			
VDI-Richtlinie	Ausgabe-Datum	DIN EN Norm	Ausgabe-Datum
3862 Bl. 1	12.1990		
3862 Bl. 2	12.2000		
3862 Bl. 3	12.2000		
3862 Bl. 4	05.2001		
3863 Bl. 1	04.1987		
3863 Bl. 2	02.1991		
3873 Bl. 1	11.1992		
3874	12.2006		
3467	03.1998		
3493 Bl. 1	11.1982		
3499 Bl. 1	07.2003	<b>1948</b>	<b>06.2006</b>
3499 Bl. 2	02.2004	<b>Bl. 1,2,3</b>	
3499 Bl. 3	02.2004		
		<b>13725</b>	<b>07.2003</b>
		<b>13725</b>	<b>07.2003</b>
		<b>13725</b>	<b>07.2003</b>



## 2 Aktualisierung des Mustermessberichtes über die Durchführung von Emissionsmessungen

In den bisherigen Fachinformationen des Landesamtes für Umweltschutz (LAU) wurde regelmäßig über Neufassungen bzw. Aktualisierungen des Musterberichtes über die Durchführung von Emissionsmessungen berichtet. Zwischenzeitlich erfolgte in Anpassung an das für Emissionsermittlungen normative Regelwerk eine weitere Aktualisierung des Musterberichtes (Version vom 12.02.2009).

Hauptanliegen der Aktualisierung ist die Umsetzung von Anforderungen der DIN EN 15259 „Luftbeschaffenheit - Messung von Emissionen aus stationären Quellen - Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht“. Wichtigste neue Anforderung ist die Einbeziehung der geforderten Prüfung der Homogenität der Verteilung der Messgröße bzw. eines Ersatzparameters im Messquerschnitt in die Berichterstattung. Weiterhin bestand Überarbeitungsbedarf aufgrund des mittlerweile erfolgten Zurückziehens der Richtlinie VDI 4200 sowie zur Charakterisierung des Betriebszustandes im Messzeitraum.

Gegenüber der bisherigen Fassung des Musterberichtes sind in der aktuellen Version vom 12.02.2009 in den Kapiteln folgende Änderungen zu beachten:

- Präzisierung der Angaben zur Charakterisierung des Betriebszustandes in Nr. 1.7, 2.2, 2.4, 5.1, 5.2, 6.1, Tabelle in Nr. 6.3
- Neuaufnahme zur Prüfung der Erfordernis einer Homogenitätsprüfung, deren Durchführung und Ergebnisdarstellung in Nr. 3.3, 5, 6.1, 6.2
- Aktualisierung aufgrund Richtlinien- und Normungsarbeit in Nr. 2.2, 3.1, 3.3
- Ergänzungen zur Beschreibung der Messtechnik und –verfahren in Nr. 4.1, 4.2.1.5, 4.3.1.3, 4.3.2.3, 4.3.2.4, 4.2.1.6
- Plausibilisierung von Messergebnissen in Nr. 6.2 neue Anlage 5, Nr. 6.4 optionale Anlage für betreiberseitige Auswertungen
- Richtigstellungen, Präzisierungen in der Zusammenfassung (Name der Stelle) und in Nr. 6.3 Tabelle

Die aktuelle Version des insbesondere für Ermittlungen nach §§ 26, 28 BImSchG in Sachsen-Anhalt vorgeschriebenen Musterberichtes steht auf der Internetseite des LAU als Word- oder pdf-Version unter folgender Adresse zum Download bereit: [http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich03/fachinformationen/files/mustermessbericht\\_emission.pdf](http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich03/fachinformationen/files/mustermessbericht_emission.pdf).

Die Anwendung des Musterberichtes über die Durchführung von Emissionsmessungen ist insbesondere für Ermittlungen nach §§ 26, 28 BImSchG in Sachsen-Anhalt vorgeschrieben. Soweit zutreffend, wird eine analoge Aktualisierung der Inhalte von Messplänen empfohlen.

### **3 Formaldehydemissionen aus Verbrennungsmotoren beim Einsatz von Biogas, Novelliertes Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**

Das am 01.01.2009 in Kraft getretene EEG regelt die Höhe der Vergütungen, die Stromnetzbetreiber an die einspeisenden Betreiber von Anlagen für die Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas zu entrichten haben. Demnach haben Betreiber immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftiger Anlagen zur Stromerzeugung aus Biogas Anspruch auf eine um 1 Cent pro Kilowattstunde erhöhte Vergütung wenn an diesen Anlagen ein dem Emissionsminderungsgebot der TA Luft entsprechender Formaldehydgrenzwert eingehalten wird (Neufassung EEG § 27 Abs. 5 und § 66 Abs. 1 Nr. 4a).

Zur Gewährung der Zusatzvergütung wird laut Beschluss der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Beschluss der 116. Sitzung vom 18. September 2008) derzeit ein maximaler Emissionswert von 40 mg/m<sup>3</sup> Formaldehyd (bezogen auf 5% O<sub>2</sub>) für alte und neue Verbrennungsmotoranlagen, die Biogas als Brennstoff einsetzen, toleriert. Die sich weiterentwickelnde Technik zur Minderung der Formaldehydemissionen soll bei der Gewährung der Zusatzvergütung nach EEG berücksichtigt werden. Auf Grundlage der gemachten Betriebserfahrungen und erreichbaren Emissionsminimierung von Formaldehyd soll der Wert für die Gewährung der zusätzlichen Förderungen 1 Jahr nach Inkrafttreten des EEG überprüft und ggf. fortgeschrieben werden.

Bezüglich des zu erbringenden messtechnischen Nachweises für die Erteilung der Bescheinigung nach EEG müssen gemäß LAI Beschluss folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Ein Emissionswert für Formaldehyd von 40 mg/m<sup>3</sup> (bezogen auf 5% O<sub>2</sub>) oder darunter wird sicher eingehalten, d.h. das Ergebnis jeder Einzelmessung zuzüglich der Messunsicherheit überschreitet den vorgegebenen Emissionswert nicht bei gleichzeitiger Einhaltung der genehmigten Emissionsgrenzwerte für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid, angegeben als Stickstoffdioxid, und Kohlenmonoxid im Dauerbetrieb.
- Die Einhaltung der Werte ist einmal jährlich durch eine nach § 26 BImSchG entsprechend bekannt gegebene Stelle zu überprüfen.
- Für die Durchführung von repräsentativen Messungen sollen im Motorenabgas nach Wärmetauscher normenkonforme Probenahmestellen im Benehmen mit einer nach § 26 BImSchG bekanntgegebenen Stelle eingerichtet sein.
- Die Formaldehyd-Messungen sind nach den Verfahren der RL-VDI 3862, Blatt 2 oder 3 (DNPH-Verfahren) bzw. VDI-RL- 3862, Blatt 4 (AHMT-Verfahren) durchzuführen.
- Einzelmessungen sind in einem Messumfang von mindestens 3 Halbstundenmessungen bei Anlagen im Volllastbetrieb, ggf. weitere Messungen im Teillastbetrieb bei Einzelmotoranlagen zu erheben.

- Über die Ergebnisse der Messungen sind Messberichte anzufertigen, die dem LAI-Muster-Emissionsbericht in der jeweils gültigen Fassung entsprechen.

In Sachsen-Anhalt ist mindestens 14 Tage vor Messdurchführung ein den Anforderungen der DIN EN 15259 entsprechender Messplan sowie der Messtermin durch die bekannt gegebene Stelle bei der zuständigen Überwachungsbehörde und dem Landesamt für Umweltschutz (LAU) einzureichen. Über die Ergebnisse der Messungen sind Messberichte anzufertigen, die dem LAI-Muster-Emissionsbericht in der jeweils gültigen Fassung entsprechen und dem Anlagenbetreiber analog der Verfahrensweise zu den übrigen auf die Bekanntgabe aufsetzenden Messdurchführungen so zu übergeben, dass dieser der Auflage zur Berichtsvorlage in zweifacher Ausfertigung bei der Überwachungsbehörde spätestens 12 Wochen nach Abschluss der messtechnischen Ermittlung fristgerecht nachkommen kann. Die Übersendung einer Ausfertigung an das LAU erfolgt auch hier durch die Überwachungsbehörde.

#### **4 Hinweise zu den im Bekanntgabebescheid festgelegten Aufgaben und Anzeigepflichten**

In den Nebenbestimmungen des Bekanntgabebescheides werden den nach § 26 BImSchG bekannt gegebenen Stellen Aufgaben und Anzeigepflichten, die im Zusammenhang mit den Ermittlungstätigkeiten oder der Bekanntgabe selbst stehen können, zugewiesen. Diese Aufgaben bzw. Anzeigen müssen grundsätzlich fristgerecht erfüllt werden. So sind z. B.

- wesentliche Änderungen der Stelle unverzüglich anzuzeigen,
- Messpläne und -termine rechtzeitig zu übermitteln,
- Laufzeiten für Ermittlungsberichte einzuhalten.

Aus aktuellem Anlass wird an dieser Stelle auf die rechtliche Bedeutung der Nichteinhaltung bzw. Nichtbeachtung von Nebenbestimmungen des Bekanntgabebescheides hingewiesen. Die Erfüllung der sich aus dem Bekanntgabebescheid ergebenden Verpflichtungen sind wesentlicher Bestandteil der Messtätigkeit einer bekannt gegebenen Stelle und sowohl im Projekt- als auch Termin-/Aufgabenmanagement entsprechend zu berücksichtigen. Da im vergangenen Jahr einige Stellen den Forderungen zur Anzeige eingetretener wesentlicher Änderungen bzw. zur fristgerechten Übermittlung von Messplänen und -terminanzeigen nicht in ausreichendem Maße entsprochen haben, mussten sowohl Ermittlungsergebnisse zurückgewiesen als auch bekanntgaberechtliche Konsequenzen gezogen werden, in deren Ergebnis beispielsweise vier Stellen auf die Fortdauer ihrer Bekanntgabe im Land Sachsen-Anhalt verzichten mussten.

Aufgrund vermehrt festgestellter Zusendungen von Messplan/-terminanzeigen per E-Mail wird noch einmal darauf aufmerksam gemacht, dass - unter Berücksichtigung der dafür gesetzten Terminstellung von 14 Tagen vor Messdurchführung - diese auch weiterhin auf dem Postweg und nur in begründeten Ausnahmefällen als FAX an die Behörden zu übersenden sind. Die Zu-

sendung als E-Mail kann lediglich als Vorab-/Parallelinformation nach erfolgter Rücksprache mit der Behörde erfolgen, entbindet jedoch nicht von der Vorlage in Schriftform an alle Beteiligte.

## **5 Unterauftragsvergabe**

Die Bekanntgaberichtlinie LSA sieht - ausgenommen für die Analysenbereiche G3, H3, N3, M3 - keine Unterauftragsvergabe vor; die Messergebnisse sind durch die Stelle vollständig anhand eigener Erhebungen zu ermitteln. Aus aktuellem Anlass wird darauf hingewiesen, dass Aktivitäten zur Akquisition, Auftragsannahme oder gar Durchführung von Ermittlungen nach §§ 26, 28 oder 29 BImSchG im Land Sachsen-Anhalt nicht zulässig sind, sofern die Stelle für den jeweiligen Ermittlungsbereich nicht oder nicht mehr über eine Bekanntgabe im Land Sachsen-Anhalt verfügt.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich Diana Hehenberger-Risse, dass ich mich bisher keiner anderen Doktorprüfung unterzogen habe und weiterhin die von mir verfasste Dissertationsarbeit noch keiner anderen Hochschule zur Begutachtung vorgelegt habe.

"Ich versichere, dass ich die eingereichte Dissertation – Nachhaltigkeitsanalyse, Entwicklung verschiedener Nachhaltigkeitsindikatoren zur umwelttechnischen Analyse und Bewertung von Nahwärmeversorgungsnetzen auf Basis regenerativer Energien im Vergleich zu fossilen Energieträgern, selbständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel verfasst habe. Anderer als der von mir angegebenen Hilfsmittel und Schriften habe ich mich nicht bedient. Alle wörtlich oder sinngemäß anderen Schriften entnommene Stellen habe ich kenntlich gemacht."

Beratzhausen, 23.06.2013

Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift