

Urbaner Metabolismus

Die städtische Infrastruktur von Berlin

Energie - Regenerativ

Lars Baeren
Annika Köster
Nico Kranenburg
Anna Medtisch
Julian Telger

Impressum

Seminarkonzeption und Durchführung:
Michael Prytula

Gestaltung und Bearbeitung der Dokumentation:
Michael Prytula, Anna-Katharina Rost

© bei den Autoren, TU Berlin / GtE 2005

Zitierhinweis

Das vorliegende Dokument ist die pdf-Version eines Seminarbeitrags der jeweils genannten Autoren. Aus dem Dokument sollte in folgender Weise zitiert werden:

Baeren, L. / Köster, A. / Kranenburg, N. / Medtisch, A. / Telger, J.: Energie - Regenerativ.
In: Prytula, Michael (Hg.): Urbaner Metabolismus.
Die städtische Infrastruktur von Berlin.
Technische Universität Berlin, 2005
URL: <http://www.urbaner-metabolismus.de>

Titelbild: Glasintegriertes Photovoltaikmodul
Quelle: Michael Prytula (2002)

Energie - Regenerativ

Lars Baeren, Annika Köster, Nico Kranenburg, Anna Medtisch, Julian Telger

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen der Energiebereitstellung
2. Auswirkungen auf das Klima
3. Begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieträger
4. Verantwortung für den Klimaschutz
5. Regenerative Energien
6. Geothermie
7. Biomasse
8. Biogasanlage
9. Solarsiedlung „Am Petersberg“ in Berlin Zehlendorf
10. Solarthermische Anlagen
11. Solarunterstützte Nahwärmeversorgung
12. Fazit

Einleitung

Im Laufe der Entwicklung des Menschen von der Steinzeit bis zur Gegenwart wuchsen seine Bedürfnisse und der Bedarf an Energie ständig. Insbesondere gilt dies für die Zeit seit Beginn der Industrialisierung. So verbraucht ein Mensch heutzutage im Durchschnitt 15 mal soviel Energie wie noch vor 130 Jahren. Ein moderner Mensch verbraucht aufgrund der vielfältigen ihn umgebenden Prozesse etwa soviel Energie, wie hundert Menschen im Zeitalter der Jäger und Sammler.

Erst seit kurzem ist nicht nur Experten bewusst, dass die vom Menschen verursachten Veränderungen an der ihn umgebenden Umwelt nicht nur lokale Schäden sondern globale existenzbedrohende Krisen verursachen können.

Die vorliegende Seminararbeit untersucht zunächst die jetzigen Grundlagen der Energiebereitstellung und deren klimatische Auswirkungen.

Weiter werden regenerative Energiequellen, die einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zukünftiger Generationen leisten, vorgestellt.

Dabei werden beispielhaft eine Solarsiedlung und ein Landwirtschaftlicher Betrieb mit Biogasreaktor detailliert untersucht.

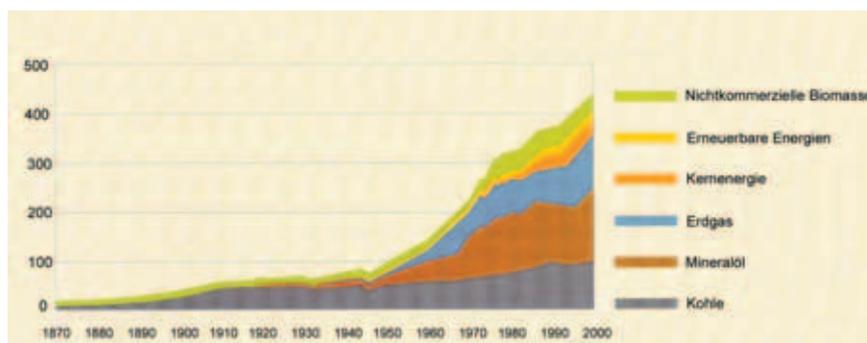


Abb. 1
Entwicklung des weltweiten in Primärenergieverbrauchs in EJ/a
Quelle: IEA Statistiken

1. Grundlagen der Energiebereitstellung

Bei einer modellhaften Betrachtung (siehe Abbildung 2) des Systems Erde in energetischer Hinsicht wird hier nicht der Versuch unternommen, sämtliche hochkomplexe Interferenzen der einzelnen Transformationsprozesse zu analysieren. Vielmehr sollen schematisch verschiedene Varianten der Energiebereitstellung dargestellt werden und eine Zuordnung der jeweils „verantwortlichen“ Primärenergiequellen insbesondere der regenerativen Energieträger ermöglichen.

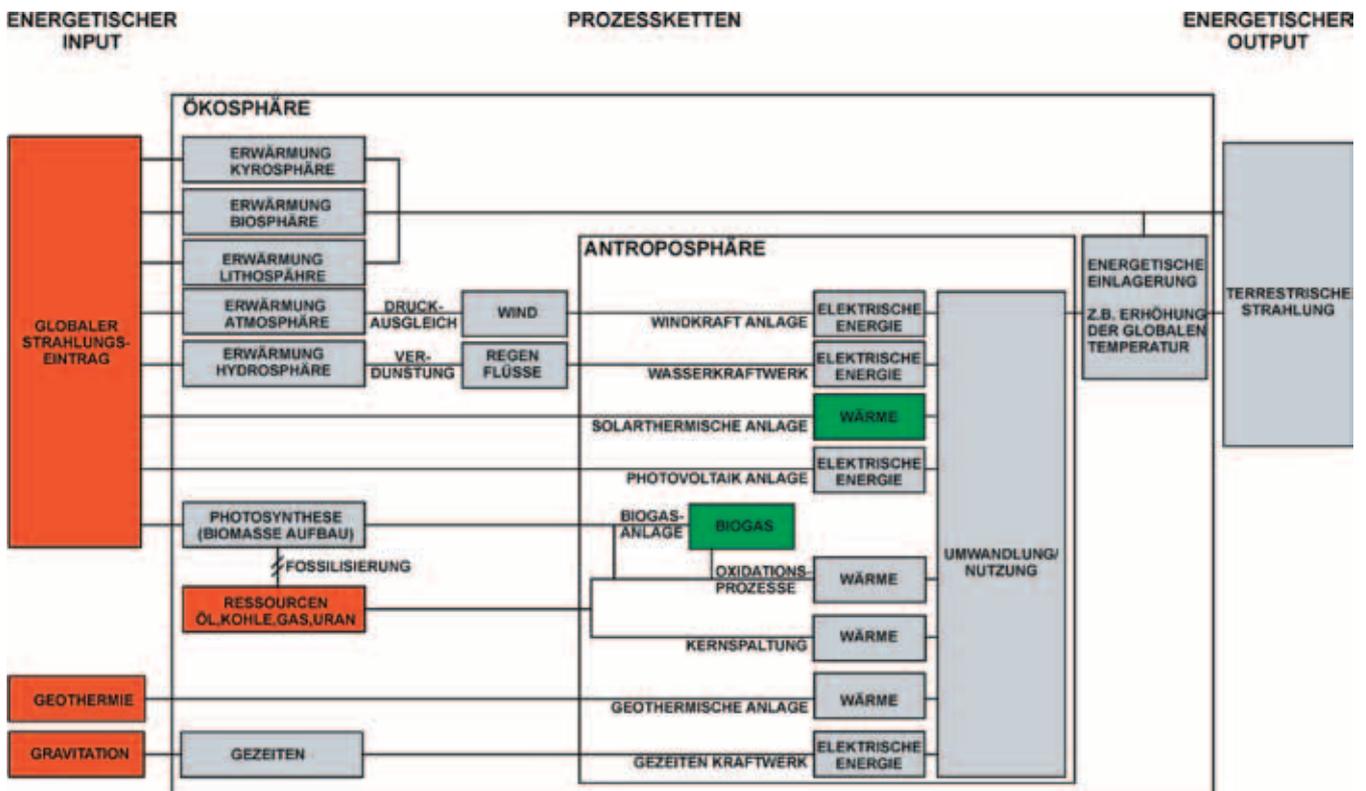
Dabei wirken vier Einflussfaktoren auf die fünf folgenden Subsysteme der Ökosphäre ein: Atmosphäre, Biosphäre (Vegetation), Lithosphäre (Gesteine), Kyrosphäre (eisbedeckte Zonen) und Hydrosphäre (Gewässer).

Als energetischer Input gelten die vier Primärenergiequellen:

- der globale auf die Erde einwirkende Strahlungseintrag der Sonne
- die Geothermie,
- die Gravitation der Himmelskörper
- die Energieinhalte der Elemente (größtenteils fossile Energieträger Uran, Kohle, Erdöl, Erdgas).

Dabei durchschreiten diese verschiedenen „natürlichen“ oder aktiv vom Menschen initiierten Transformationsprozesse, die eine Nutzung durch den Menschen in Form von Wärme oder Strom ermöglichen. Teilweise werden sie dabei in der Ökosphäre eingelagert. Dies kann in Form von chemischer Einlagerung, z.B. bei Produktionsprozessen wie etwa die Herstellung von Aluminium stattfinden oder sie führen zu einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur. Der größte Anteil wird jedoch als terrestrische Strahlung wieder abgegeben (energetischer Output).

Abb. 2
 Energieflußbetrachtung des Systems „Erde“
 Quelle: eigene Darstellung



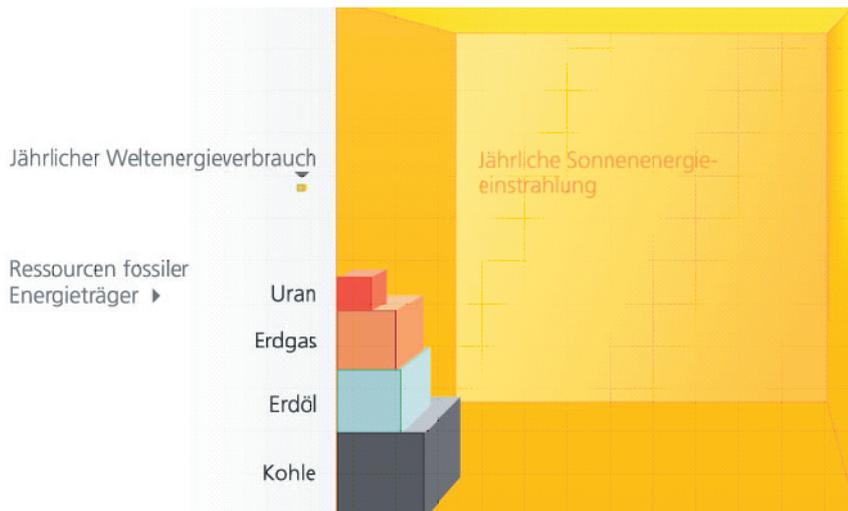


Abb.3
Potentiale verschiedener Energieträger
Quelle: BMU

Den größten Anteil an den Primärenergiequellen hat die Strahlungsenergie der Sonne, die ca. 7000 mal größer ist als der gesamte Weltenergieverbrauch und um ein vielfaches größer als die Summe der Energieinhalte aller fossilen Brennstoffe (Abb. 3).

Der Energiegehalt der elektromagnetischen Strahlung wird beim Auftreffen auf die Ökosphäre größtenteils in Wärmeenergie umgewandelt. Die Erwärmung der Atmosphäre führt in Folge des Druckausgleichs unterschiedlich stark erwärmter Luftschichten zu Wind, der sich in stromerzeugenden Windkraftanlagen nutzen lässt.

Der Erwärmung der Hydrosphäre folgen Verdunstung von Wasser und somit Niederschlag und wieder in die Ozeane fließendes Wasser. Dessen kinetische Energie kann in Wasserkraftwerken zu Strom transformiert werden.

Bei der Einlagerung von Sonnenenergie in Form von Photosynthese wird Biomasse aufgebaut, die in Verbrennungsprozessen in Wärme umgewandelt werden kann.

Ein weiterer Weg der Nutzung von Biomasse stellt die Gewinnung von Biogas oder Biotreibstoffen dar, deren anschließende Verbrennungsprozesse auch CO₂ freisetzen, welches aber der Menge entspricht, die bei der vorangegangenen Photosynthese der Atmosphäre entzogen wurde. Somit können diese Verbrennungsprozesse als „CO₂ neutral“ angesehen werden.

Eine direkte Nutzung der Sonnenenergie stellen solarthermische und photovoltaische Anlagen dar. Die auf die Erde einwirkende Gravitationskraft, die für die Gezeiten der Ozeane verantwortlich ist, kann in Gezeitenkraftwerken in elektrische Energie transformiert werden. Die Wärmeenergie des Erdkerns kann in Geothermischen Anlagen oder oberflächennah Erdwärmetauschern genutzt werden.

Diese drei Primärenergiequellen stellen einen in menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpflichen Energieinput dar und werden somit als regenerativ oder erneuerbar bezeichnet. Auch wenn über den Zerfall von Biomasse quasi auch die fossilen Brennstoffe regeneriert werden können, diese aufgrund der Jahrtausenden dauernden Entstehungsprozesse nicht als erneuerbar angesehen werden.

Die vierte und letzte Primärenergiequelle sind die fossilen, nicht erneuerbaren Energieträger, die über keinen externen Nachschub verfügen, sondern ökosphäreninterne Ressourcen darstellen. Im Wesentlichen sind dies Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran. Während Uran in der Kernspaltung eine Sonderform der weitgehenden CO₂ emissionsfreien Energietransformation einnimmt, werden die erstgenannten Energieträger in CO₂ emittierenden Oxidationsprozessen in Wärme und Strom transformiert.

2. Auswirkungen auf das Klima

Das durch unzählige Faktoren beeinflusste und höchst sensibel reagierende Klima auf unserem Planeten unterliegt seit Urzeiten ständigen Schwankungen. Seit Beginn der Industrialisierung zeichnen sich jedoch überdurchschnittlich schnelle Erhöhungen der globalen Durchschnittstemperatur ab, die erwiesenermaßen auf die verstärkten Aktivitäten des Menschen und dessen Bedarf an Energie zurückzuführen sind. Allein in den letzten Hundert Jahren ist die Jahresmitteltemperatur um 0,3 bis 0,6 Grad Celsius gestiegen (Quelle: Fachinformationszentrum Karlsruhe).

Dieser Anstieg, der in den nächsten Jahren unterschiedlichen Szenarien zufolge bei 1,0 bis 3,5% liegen wird, führt in immer stärkerem Maße zu extremen Wetterereignissen. Auswirkungen auf Flora und Fauna wie beispielsweise erhöhtes Algenwachstum in den Ozeanen zeichnen sich bereits ab.



Abb.4
Satellitenphoto eines Orkans
Quelle: Photo NASA

Hauptursache dieser vom Menschen initiierten Klimaveränderungen sind zum einen das Freisetzen von so genannten klimawirksamen Gasen und zum anderen das Abholzen von CO₂ absorbierenden Wäldern und eine industriell betriebene Landwirtschaft. Als klimawirksame Gase werden jene Bestandteile unserer Atmosphäre bezeichnet, die die Eigenschaft haben die kurzweilige solare Strahlung passieren zu lassen, von der Erde abgestrahlte Wärme jedoch zu reflektieren. Neben Kohlendioxid haben auch Methan, Distickstoffoxid, Ozon und Wasserstoff in unterschiedlicher Intensität diese Eigenschaft. Um deren Einfluss auf das Klima vergleichen zu können, betrachtet man jeweils die äquivalent wirksame Kohlendioxidmenge der jeweiligen Gase. Deren Anteile in der Atmosphäre sind ein wichtiger Indikator für die Beobachtungen der Einflussnahme des Menschen auf das Klima.

Lars Baeren, Annika Köster, Nico Kranenburg, Anna Medtisch, Julian Telger

Zu Beginn der 90er Jahre wurden jährlich rund 24 Mrd. Tonnen CO₂ aus der Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt. Setzt man dies im Verhältnis zum jährlichen Primärenergieverbrauch von 330 EJ so werden im Schnitt 262 g CO₂ pro Kilowattstunde emittiert. Dies entspricht in etwa dem CO₂ Ausstoß von 260 g bis 280 g bei der Verbrennung von 100 ml Erdöl mit einem Heizwert von 1 KW/h.

Einhergehend mit dem starken Fortschreiten der Industrialisierung, sowie dem großen Bevölkerungszuwachs in den letzten fünfzig Jahren wurde allein 80% der seit Beginn des Industrialisierung emittierten Kohlendioxids (1000 Mrd. Tonnen, Quelle: BMU) in dieser Zeit emittiert.

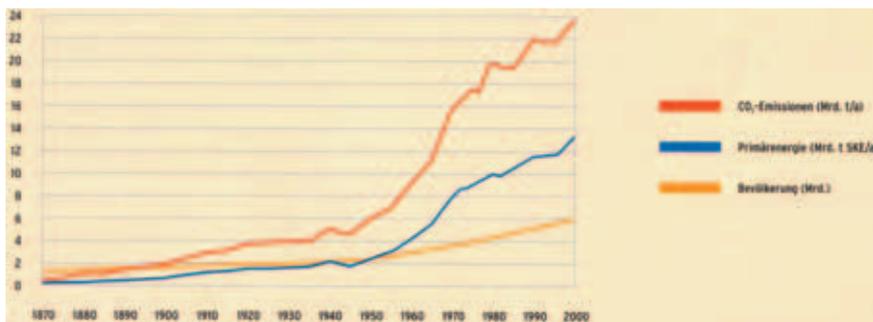


Abb. 5
Entwicklung der globalen CO₂ Emissionen
Quelle: BMU

Dies führte zu einem Anstieg des CO₂ Gehalts in der Atmosphäre von 280 ppm im Jahre 1765 auf derzeit 360 ppm. Wissenschaftler auf aller Welt beschäftigen sich heute mehr denn je mit dieser Problematik, und analysieren Zukunftsszenarien mit unterschiedlichen möglichen Varianten der Energiebereitstellung (siehe Abbildung 6).

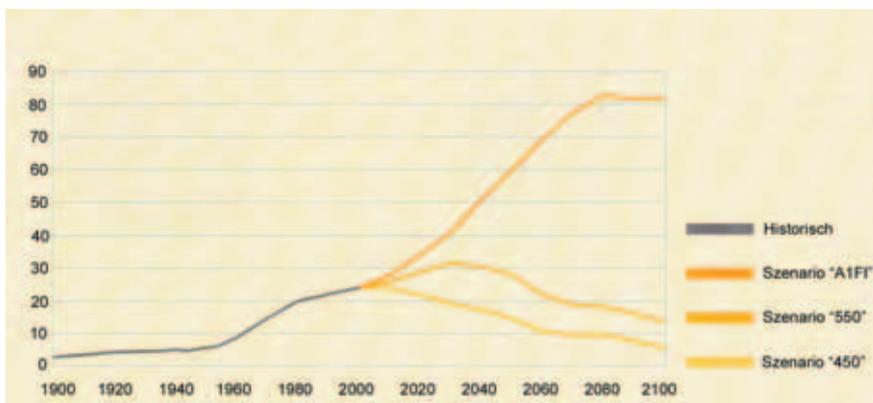


Abb. 6
Mögliche Szenarien unterschiedlicher Entwicklungsprognosen der globalen CO₂-Emissionen
Quelle: IPCC 2002

Dem Szenario „A1FI“ zufolge, das eine Energiebedarfsdeckung wie bisher durch weitgehend fossile Energieträger (siehe Abb. 7) beschreibt, stiege die globale Durchschnittstemperatur bis 2100 um 4,5-5 Grad °C. Die Szenarien „450“ und „550“ beschreiben Kombinationen, die zu einer stabilen Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre sorgen.

3. Begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieträger

Wenn die Energiebereitstellung, wie bisher fast vollständig über fossile Energieträger erfolgen würde, so wären deren Ressourcen innerhalb von wenigen Generationen aufgebraucht (siehe Abbildung 8). Das bedeutet nicht, dass es in 75 Jahren kein Erdöl mehr geben wird, sondern dass immer weiter steigende Gewinnungskosten einen Einsatz als Energieträger unwirtschaftlich machen.

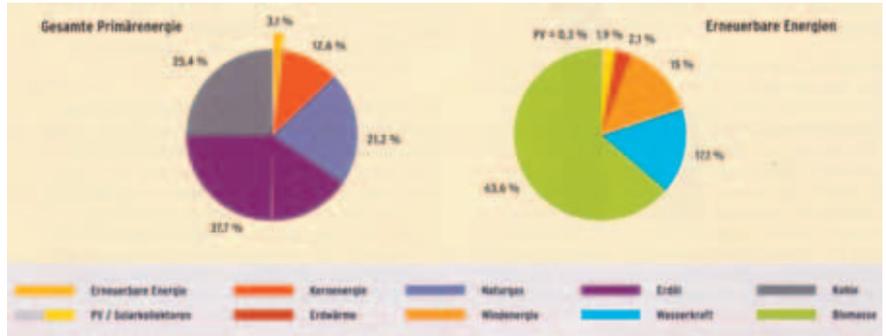


Abb. 7
 Anteil einzelner Energieträger am Weltenergieverbrauch
 Quelle: BMU

Die Gewinnung von Erdöl aus Ölsand oder Ölschiefer ist eine solche kostenintensive Methode (hier bezeichnet als Erdöl unkonventionell). Dabei wird schon in 10-20 Jahren erwartet, dass das jährliche Fördervolumen an Erdöl nicht mehr zu steigern sein wird und trotz stetig weiter steigenden Energiebedarfs zurückgehen wird.

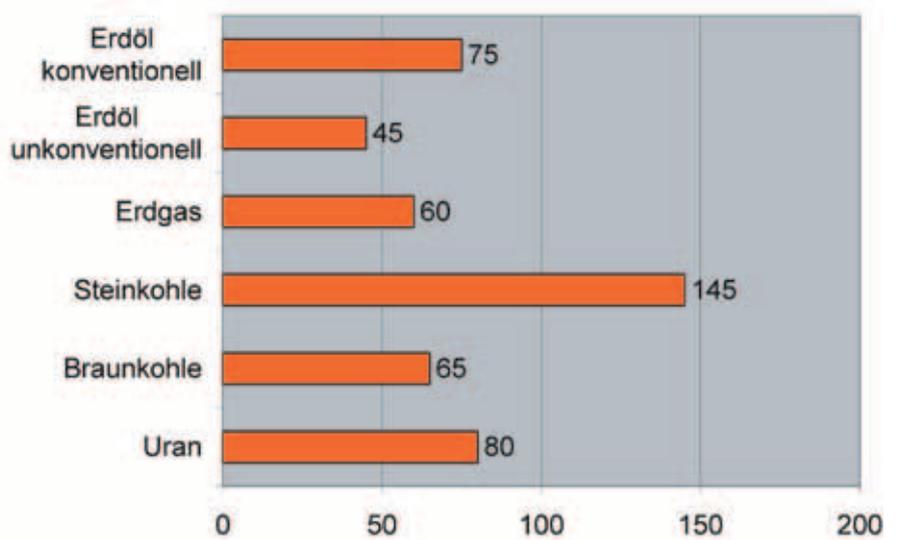


Abb. 8
 Reichweite fossiler Energieträger in Jahren
 Quelle: IGS Braunschweig

Dieser so genannte „Mid-depletion-point“ wird extreme Preissteigerungen zur Folge haben (siehe Abb. 9). Ab diesem Zeitpunkt werden die Kosten für erneuerbare Energien erstmals, die der fossilen Energieträger unterschreiten.

Der seit Beginn der Industrialisierung stetig gestiegen Verbrauch fossiler Energie wird ebenso rasch zurückgehen. (siehe Abb.10). Hauptverursacher der Klimaveränderungen und der Ressourcenknappheit sind die Industrienationen.

Lars Baeren, Annika Köster, Nico Kranenburg, Anna Medtisch, Julian Telger

Auch wenn die Industrienationen nur einen Anteil an der Weltbevölkerung von 25 % der Weltbevölkerung haben, so verbrauchen sie doch 65 % der konventionellen Energien und sind für 75 % der CO₂ Emissionen verantwortlich. Demgegenüber verbrauchen die ärmsten Länder der Welt nur ca. 5 % der Energie und verursachen jährlich 5 % der CO₂ Emissionen.

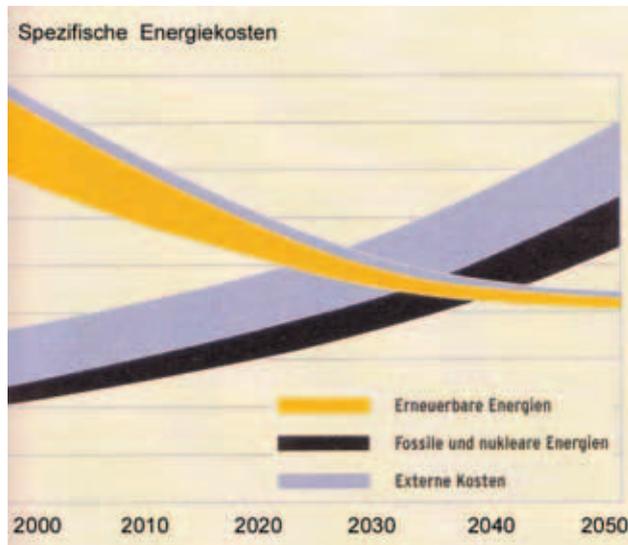


Abb. 9
Anteil einzelner Energieträger am
Weltenergieverbrauch
Quelle: BMU

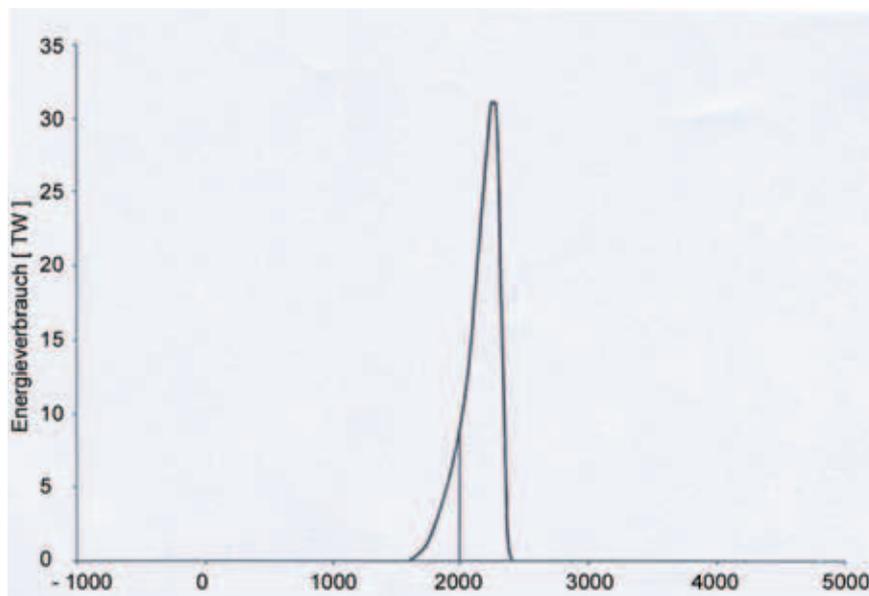


Abb. 10
Entwicklung des fossilen
Weltenergieverbrauchs
Quelle: IGS Braunschweig

4. Verantwortung für den Klimaschutz

Es ist unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Nationen rund um den Äquator, die für Klimaveränderungen am wenigsten verantwortlich sind aber deren Auswirkungen als erste negativ zu spüren bekommen werden, die Pflicht der Industrienationen gegensteuernde Maßnahmen einzuleiten, um nachfolgenden Generationen die Verfügbarkeit von Energie zu erhalten und die Auswirkungen auf die Umwelt zu begrenzen.

Dabei wurden vom Bundesministerium drei Strategieelemente entwickelt, die im Folgenden mit „Effizienz“, „Konsistenz“ und „Suffizienz“ bezeichnet werden:

GtE
Urbaner Metabolismus

Energie in verschiedenen Formen:

10 kWh oder 0,36 MJ



1 Liter Erdöl oder 1m³ Erdgas



1,53 Rinder/Tag oder 1,7m³ Biogas



8 m² Solarkollektorfläche/Tag



Effizienz:

Das Bedürfnis nach Transport, Produkten, Wärme etc. muss in allen Transformationsprozessen ein Minimum an Energieverlusten gewährleisten. (z.B. Kraftwerke mit Kraft-Wärme Kopplung, hochwärmegedämmte Gebäude).

Suffizienz:

Konsumgewohnheiten beeinflussen in erheblichem Maße das Maß des Energieeinsatzes. Auf Dauer sind Nachhaltigkeitsbestrebungen nur mit einem Umdenkprozess gegenüber dem grenzenlosen Steigern von Wohlstand zu vereinbaren.

Konsistenz:

Energiesysteme, die Ressourcen „verbrauchen“ und Abfallstoffe ablagern sind in energetischer Hinsicht „offen“. Wirkliche Nachhaltigkeit kann nur in geschlossenen Systemen erreicht werden, in denen sich die Stoff- und Energie - Verfügbarkeit regeneriert. Eine Annäherung daran kann nur durch den verstärkten Einsatz regenerativer Energieträger, und durch längere Verwertungsketten von Stoffen erreicht werden.

Am Vergleich des Pro - Kopf Energieverbrauchs (siehe Abbildung 11) von Deutschland und den USA wird deutlich, dass dieser nicht unmittelbar an den Wohlstand einer Nation geknüpft ist, und welches enorme Potential in den o.g. drei Punkten enthalten ist, das von allen Industrienationen genutzt werden kann und muss.

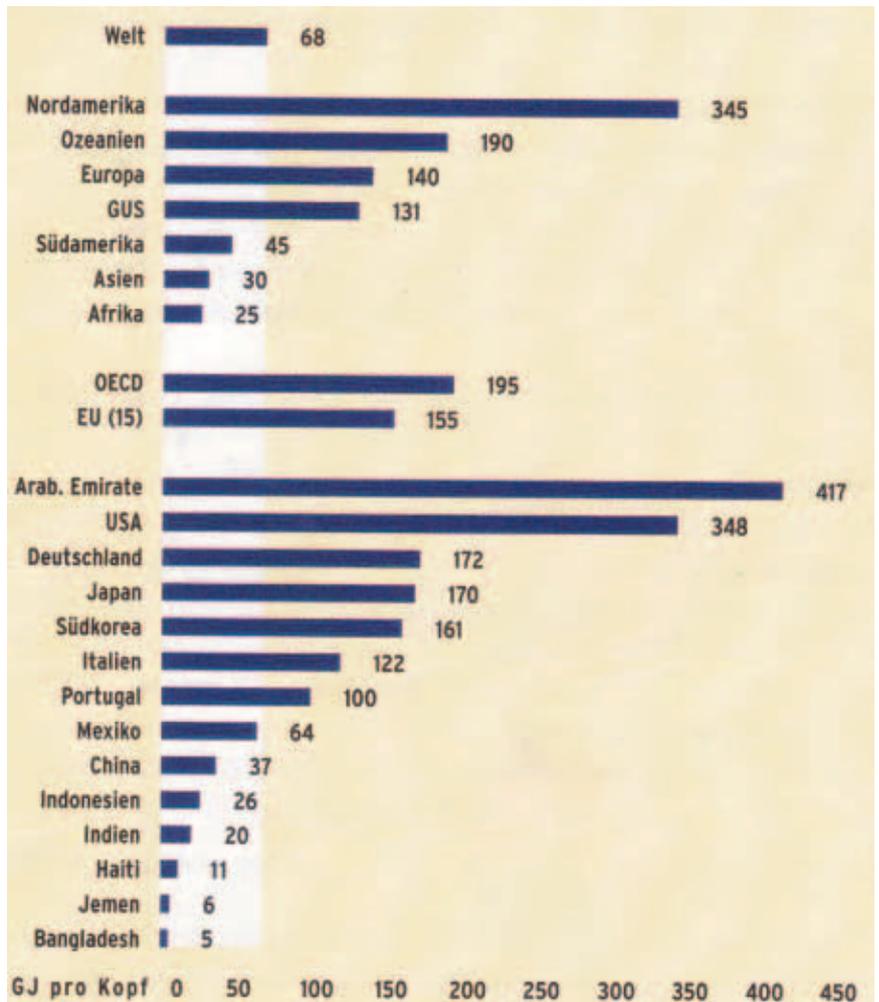


Abb. 11
 Energieverbrauch pro Kopf im Vergleich
 Quelle: IEA 2001

5. Regenerative Energien

Als regenerative Energieträger werden Primärenergiequellen, die in unbegrenztem Maße zur Verfügung stehen oder innerhalb von kurzen Zeitspannen neu aufgebaut werden können bezeichnet. Auch unter Beachtung der Punkte „Effizienz“ und „Suffizienz“ ist ein Garant für die zukünftige nachhaltige Versorgung mit Energie nur der erhöhte Einsatz von regenerativen Energien. Die erneuerbaren Energien, wie die regenerativen Energien auch genant werden, sind im Wesentlichen: Solarenergie, Wasserkraft, Windkraft, Biomasse, Geothermie, Gezeiten- / und Wellenkraft.

Der Anteil von regenerativen Energien am Weltenergieverbrauch beschränkt sich derzeit auf nur 3,1% des Weltenergieverbrauchs (siehe Abb. 11), wobei der größte Anteil von 63,3 % auf den Einsatz von Biomasse in den Entwicklungsländern entfällt. Die Verteilung der einzelnen regenerativen Energieträger ist auf Grund der unterschiedlichen Verfügbarkeit von beispielsweise Sonne, Wind und Flüssen regional sehr unterschiedlich. (siehe Abbildung 12).

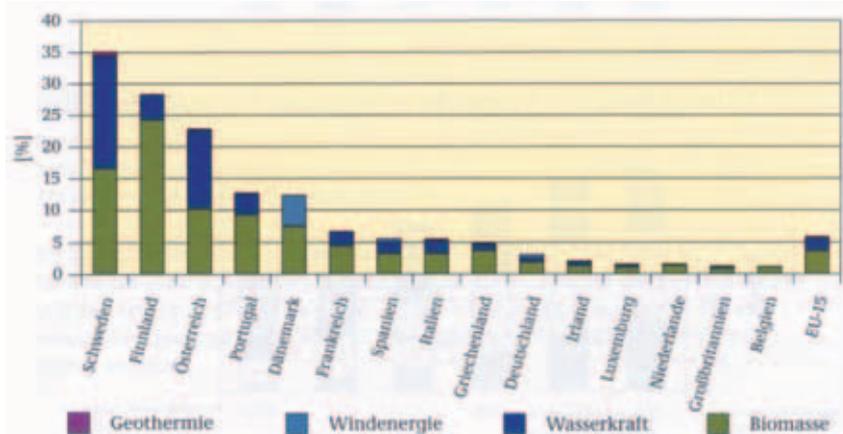


Abb. 12
Verteilung Regenerativer Energieträger in Europa
Quelle: BMU

Dabei fallen die skandinavischen Staaten begünstigt durch Ihre geographischen Gegebenheiten mit einem überdurchschnittlich hohen Anteil an regenerativen Energien aus Wasserkraft auf. Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt wurden Ende 2003 3% der Primärenergie aus regenerativen Energien bereitgestellt.

Diese schlüsseln sich auf in folgende Anteile der jeweiligen Sektoren:

Sektor Strom: 7,9%, Sektor Wärme: 4,1%, Sektor Kraftstoffe: 0,9%.

Durch den Einsatz von erneuerbaren Energien wurden in 2003 fossile Brennstoffe in Höhe von 183,8 TWh eingespart. (Siehe Abb.13)

Dies führte insgesamt zu einer Verminderung der Kohlendioxid Emissionen um 53 Mio. t.

	Braunkohle/ Steinkohle	Gas	Öl schwer/ Heizöl leicht	Diesel- kraftstoff	Kernenergie ¹⁾	ges
Primärenergie [TWh]						
Strom	84,0	15,8	1,5	-	15,0	
Wärme ²⁾	0,9	33,6	26,3	-	-	
Kraftstoff ³⁾	-	-	-	6,7	-	
Gesamt	84,9	49,4	27,8	6,7	15,0	
Primärenergie [PJ]						
Gesamt	306	178	100	24	54	

Abb. 13
Einsparung fossiler Energieträger durch Verwendung regenerativer Energien in 2003
Quelle: BMU



Abb. 14
Quelle: Googlesuche, Geothermie

6. Geothermie

Geothermie oder auch Erdwärme ist Wärme, die vom Kern im Erdinneren an die Erdoberfläche dringt. Bei dem Prozess der Erdwärmegewinnung werden die auf dem Weg liegenden Erd- und Gesteinsschichten, sowie Wasserreservoirs erhitzt.

An manchen Stellen dringen aber auch heißes Wasser und Dampf beispielsweise als heiße Quellen natürlich an die Erdoberfläche. Je tiefer man bei der Erdwärmegewinnung ins Erdinnere vordringt, um so heißer werden die Erd- und Gesteinsschichten; in Mitteleuropa steigt die Erdwärme um drei Grad pro 100 Meter Tiefe, so hat der oberste Erdmantel ungefähr eine Temperatur von 1.300 Grad Celsius, die Temperatur am Erdkern beträgt ungefähr 5.000 Grad Celsius.

Deutschland hat einen hohen Anteil an Fläche mit Energieressourcen für Erdwärmegewinnung. Die Nutzung dieser Energieressourcen als eine Art der regenerativen Energien birgt einige Vorteile. Erdwärme als solche ist unerschöpflich und fast überall zur Wärmegewinnung verfügbar.

Zudem können Systeme, die mit Erdwärme arbeiten neben dem Heizen von Gebäuden auch zur Kühlung und Klimatisierung dieser beitragen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Erdwärme direkt also ohne Zwischenverarbeitung zum Heizen von Gebäuden oder anderer Wärmeverbraucher eingesetzt werden kann. Zum Speichern bzw. zur Gewinnung von Erdwärme gibt es verschiedene Speichersysteme.

Zu den Speicherarten zählen der Aquiferspeicher, der Tiefenspeicher sowie der Hohlraumspeicher. Hohlraumspeicher sind mit Wasser gefüllte Hohlräume ehemals anderer Nutzung wie zum Beispiel Stollen.

Erdsonden und Bohrlochspeicher stehen im direkten Kontakt zur Wärmequelle. Diese Systeme werden anschaulicher durch die Erklärung der verschiedenen Arten der Erdwärmenutzung. Grundsätzlich lassen sich zunächst zwei Möglichkeiten der Erdwärmenutzung unterscheiden.

Entweder das Transportmittel für die Wärme ist bereits natürlich in Form von Wasserdampf oder heißem Wasser vorhanden oder aber Wasser wird zur Erwärmung in den Untergrund geleitet.

Erdwärme kann nicht nur zu Heiz- und Kühlungszwecken verwendet werden, sondern auch zur Stromerzeugung genutzt werden, allerdings fallen bei der Stromerzeugung mit Hilfe von Erdwärme zusätzlich große Mengen an Wärme an. Diese Zusatzwärme bei der Stromerzeugung kann nur genutzt werden, wenn die Gebäude in der Umgebung über ein Nahwärmenetz versorgt werden, in das die Wärme eingeführt werden kann. Aus diesem Grund ist die Verbreitung von Nahwärmenetzen eine unbedingte Voraussetzung um das große Potential an Erdwärme zu erschließen.

Zur Gewinnung von Erdwärme gibt es vier bereits erprobte Verfahren. Das Hot-Dry-Rock-Verfahren, bei dem heiße trockene Gesteinsschichten in bis zu fünf Kilometer Tiefe zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Bei dem Hot-Dry-Rock-Verfahren werden zunächst sogenannte Tiefenbohrungen angelegt. In diese Tiefenbohrung wird Wasser unter hohem Druck mit hohen Fließraten in das Gestein gepresst. Diesen Vorgang bezeichnet man als hydraulische Stimulation.



Abb. 15
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai 2004. S.70

Vorhandene Risse im Gestein werden hydraulisch aufgeweitet, um die Durchlässigkeit des Gesteins zu erhöhen, die Wärmetauscherfläche und Durchgängigkeit des Gesteins wäre ohne diesen Vorgang viel zu gering. In einer Anlage des HDR-Verfahrens wird kaltes Wasser in die Tiefe der Injektionsbohrung gepumpt, welches im Erdreich erwärmt wird und durch das Gestein zum Endpunkt der zweiten Bohrung gelangt. Über die Produktionsbohrung wird das warme Wasser wieder zurück an die Oberfläche gepumpt.

Das Verfahren wird zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen über Wärmetauscher sowie zur Bereitstellung von Industriedampf zur Gewinnung von Strom genutzt. Da das Vorkommen von kristallinen Gesteinen in Deutschland sehr hoch ist, können 95 Prozent des geothermischen Potentials der HDR-Technik zugeordnet werden. Die Ausschöpfung des Potentials wird jedoch durch heute noch fehlende Wirtschaftlichkeit gehemmt. Bohrungen bis 5.000 Meter Tiefe verursachen Kosten von 4 Millionen Euro.

Die Investitionskosten für eine solche Anlage betragen 2.500 bis 5.000 Euro pro KW; die Stromgestehungskosten bei einer Auslastung der Anlage von 8.000 Vollaststunden pro Jahr betragen 7 bis 15 Cent pro KWh.

Als zweites Verfahren lassen sich die „Hydrothermalen Systeme mit hohem Temperaturangebot“ nennen. Mit diesen Systemen wird die Förderung von heißem Wasser aus den Aquiferen, den wasserführenden Schichten, zur Strom- und Wärmeerzeugung unterstützt. Für die Stromerzeugung allerdings muss das Wasser eine Temperatur von mindestens 100 Grad Celsius haben. In Deutschland muss man um Aquiferen mit einer Wassertemperatur von 100 Grad Celsius zu erreichen 4.000 Meter tief bohren, was allerdings nur an ausgewiesenen Standorten möglich ist.

Hydrothermale Systeme funktionieren wie folgt:

Thermalwasser wird über eine Bohrung an die Erdoberfläche geführt, nach Wärmeaustausch wird das Wasser über eine zweite Bohrung in die Tiefe zurückgeleitet um die Mengenbilanz an Wasser im Untergrund zu erhalten.

Thermalwässer können aus Umweltschutzgründen nicht oberirdisch entsorgt werden, da sie einen zu hohen Mineralgehalt aufweisen.

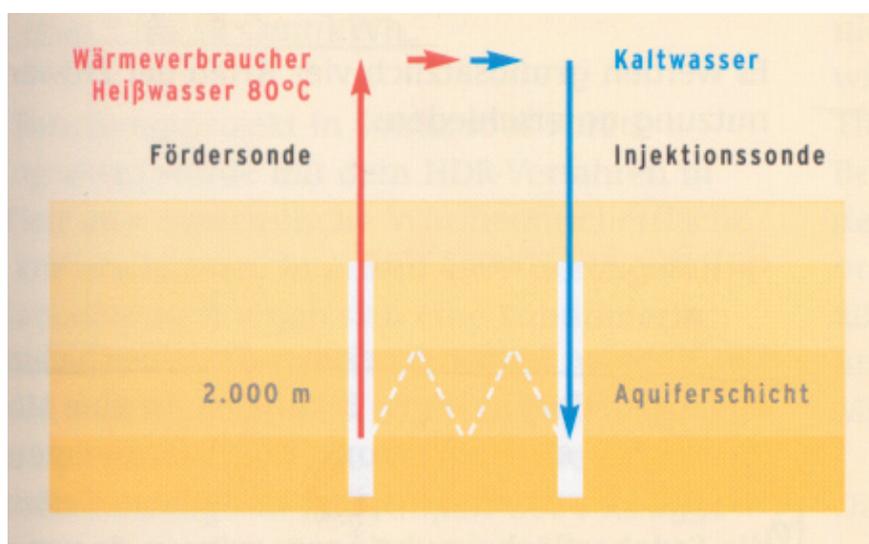


Abb.16.1
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai 2004.S.69



Abb.16.2
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai 2004.S.69

Abb. 17
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai 2004.S.69

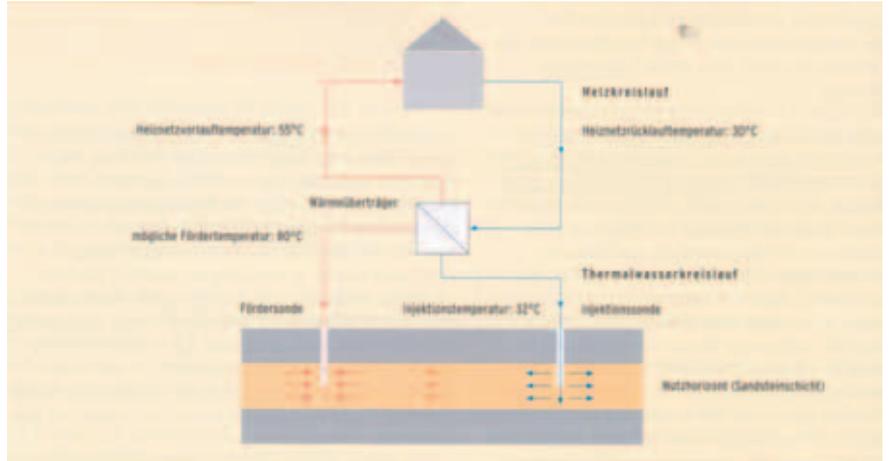


Abb. 18
 Förderung Thermalwasser
 Quelle: Bundesministerium für Umwelt,
 Naturschutz und Reaktorsicherheit
 (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien.
 Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai
 2004. S.72

Die beschriebenen hydrothermalen Systeme mit hohem Temperaturangebot werden für das Betreiben von Dampfturbinen zur Stromgewinnung und für die Abgabe von Wärme an andere Wärmeverbraucher genutzt. Weiter gibt es hydrothermale Systeme mit niedrigem Temperaturangebot, bei denen die Temperatur der Tiefengewässer 40 bis 100 Grad Celsius beträgt. Diese Systeme können nicht zur Stromerzeugung genutzt werden.

Die Funktionsweise allerdings ist dieselbe wie die der Systeme mit hohem Temperaturangebot. Genutzt werden die Systeme mit niedrigem Temperaturangebot für Gebäudeheizungen, zur Wasserbeheizung zum Beispiel in Thermalbädern und zu gewerblichen Zwecken wie zum Beispiel zum Beheizung von Gewächshäusern. Das Wasser aus solchen Systemen kann zur Weiternutzung als Trinkwasser gebraucht werden, da der Mineralanteil dieses Wassers nicht sehr hoch ist.

Die Investitionskosten einer geothermischen Heizzentrale mit installierten Leistungen zwischen drei und 30 MW liegen bei 400 bis 1.000 Euro pro KW zuzüglich entstehender Kosten für ein Wärmeverteilungsnetz. Die Wärmegestehungskosten bei einer Auslastung der Anlage von 2.500 bis 3.000 Vollaststunden pro Jahr liegen bei 2 bis 4 Cent pro KWh. Bei industriellen Abnehmern ab 5.000 ha liegen die Wärmegestehungskosten unter 2 Cent pro KWh.



Abb. 19
 Verlegung eines Erdkollektors
 Quelle: Bundesministerium für Umwelt,
 Naturschutz und Reaktorsicherheit
 (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien.
 Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai
 2004. S.76

Bei Systemen tiefer Erdwärmesonden erfolgt eine Nutzung vorhandener Tiefbohrungen die zum Beispiel zur Gewinnung von Erdgas angelegt wurden. Hier werden Doppelrohrsonden in das bereits vorhandene Bohrloch, welches bis zu 4 Kilometer tief in das Erdreich reichen kann, eingeführt. Das Wasser zirkuliert durch die Sonden in einem geschlossenen Kreislauf, wobei es in der Tiefe erwärmt und an der Oberfläche an Wärmepumpen abgegeben wird.

Systeme tiefer Erdwärmesonden werden zur Raum- und Gebäudeheizung sowie industrielle Prozesswärmenutzung eingesetzt. Ihr technisches Potential in Deutschland beträgt 800 Milliarden KWh im Jahr.

Die Wärmegestehungskosten liegen bei einer Auslastung von 2.000 Stunden im Jahr bei 8 bis 10 Cent/KWh; bei einer Auslastung von 5.000 Stunden im Jahr bei 3 bis 5 Cent/KWh.

Das vierte System zur Nutzung von Erdwärme bezeichnet man als oberflächennahe Geothermie.

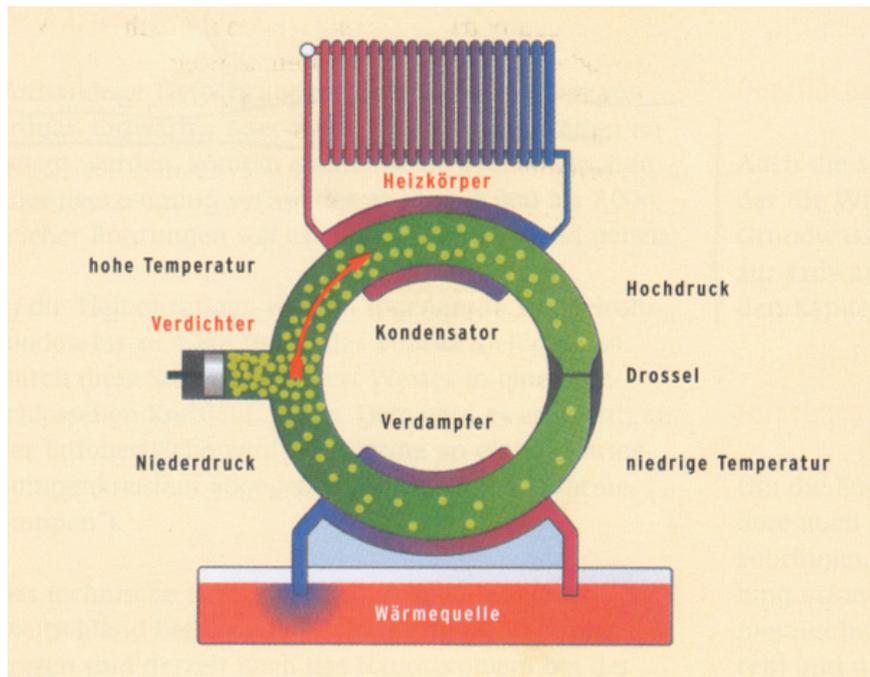


Abb. 20
Wärmepumpen
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. Berlin Mai 2004. S.74

Oberflächennahe Geothermie nutzt die Wärme der obersten Erdschicht sowie das Grundwasser. Das System funktioniert mit Hilfe von Wärmepumpen und unterscheidet sich insofern von den anderen Systemen, als dass eine zweite Art von Energie zur Aufheizung des Wassers genutzt werden muss. (1)

(1) vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft, Berlin Mai 2004, S.69-78;

7.1 Biomasse als Rohstoff zur Wärmeerzeugung

Wärmeerzeugung aus dem Energieträger Biomasse ist wohl die älteste Nutzung von Energie. Schon seit Jahrhunderten verbrennt der Mensch Holz und andere nachwachsende Rohstoffe und nutzt so die darin enthaltene Energie.

Unter Aspekten des Umweltschutzes ist die Nutzung von Biomasse eine attraktive Form der Energieerzeugung: Biomasse ist ein nachwachsender Rohstoff, er ist im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas unbegrenzt vorhanden. Außerdem ist ihre Verbrennung CO₂-neutral, da während des Verbrennungsprozesses von Biomasse nur die Menge an CO₂ in die Atmosphäre entweicht, die vorher während der Wachstumsphase der Atmosphäre entzogen wurde.

In der Biomasseverordnung des neuen Erneuerbare-Energien-Gesetzes von Mitte des Jahres 2001 ist festgelegt, welche Stoffe als Biomasse gelten. Biomasse ist „Phyto- und Zoomasse“ also Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs. Weiterhin sind es Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle aus eben genannten Stoffen.(2)

Biomasse enthält Energie, die in verschiedenen Umwandlungsprozessen freigesetzt werden kann. Nach unterschiedlicher Aufbereitung kann Biomasse im Bereich der Wärme und Stromenergieerzeugung als Energieträger eingesetzt werden.

In den folgenden Abschnitten werden einige Bioenergieträger und ihre Verwendung in Prozessen zur Erzeugung von Wärme vorgestellt werden.

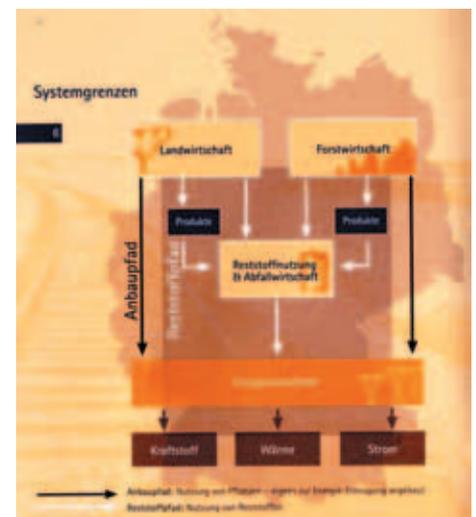


Abb. 21
Quelle: Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie (Hrsg.): Bioenergie. Nachwuchs für Deutschland. 2. Aufl. Freiburg, Darmstadt, Berlin 2004, S.6

(2) vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft, Berlin Mai 2004, S.56

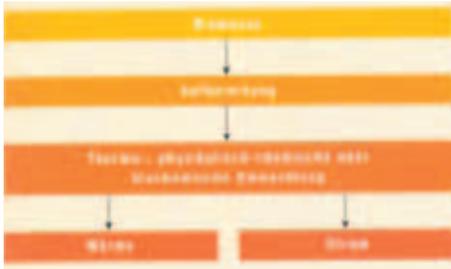


Abb. 22
 Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Natur
 schutz und Reaktorsicherheit (BMU)
 (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Einstieg
 in die Zukunft., Berlin März 2004. S. 55

(3) vgl. (BMU): Erneuerbare Energien.
 Innovationen für die Zukunft, S. 56



Abb. 23
 Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Natur
 schutz und Reaktorsicherheit (BMU)
 (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Einstieg
 in die Zukunft., Berlin März 2004. S.55



Abb. 24
 Quelle: Paradigma Werbebroschüre

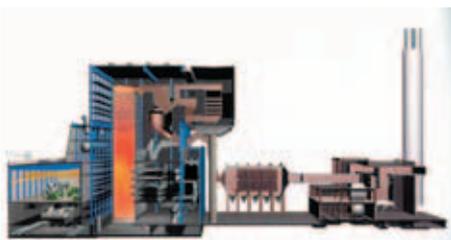


Abb. 25
 Quelle: Bewag, Information für Besucher,
 Rundgang im Heizkraftwerk Reuter West.

Holz zählt zu den wichtigsten Biobrennstoffen. Neben Rest- und Abfallstoffen aus Industrie und Forstwirtschaft und Hölzern aus Neuanbau werden auch Getreide, Reststroh und Schilfgras zur Wärmeerzeugung verbrannt. Zucker- Stärke- und Ölpflanzen werden durch Pressung in flüssige Energieträger umgewandelt und so in der Wärmeerzeugung verwertet. Organische Reststoffe und Bioabfall werden in der natürlichen Zersetzung in Gas vergärt. Dieses kann ebenfalls als Energieträger verwendet werden. (3)

Im Allgemeinen lassen sich zwei Felder definieren, in denen auf unterschiedliche Weise aus Biomasse Wärme erzeugt wird. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

7.2 Verbrennung von Biomasse

In Wärmekraftwerken kann Biomasse (wie z.B. Holz, Stroh und Getreide) direkt als Brennstoff eingesetzt werden. Dabei ist es vom Typ der Anlage und der technischen Ausstattung des Kraftwerkes abhängig welcher Brennstoff verwendet wird.

Die bei der Verbrennung entstehende Wärme wird direkt in Nah- oder Fernwärmenetze eingespeist und gelangt so zum Endverbraucher. Vor der Verbrennung erfolgt eine Aufbereitung der Biomasse, um eine effiziente Auslastung der Anlage zu erzielen. Kraftwerke dieser Art sind zum größten Teil Kleinst- und Kleinanlagen. In Österreich existieren 500 solcher Fernheizwerke auf der Basis von Biomasse.

Das gleiche Prinzip findet auch in Privat- und Einzelanlagen Anwendung. So kann z.B. durch eine Hausanlage, in der Holzpellets verfeuert werden, der Wärmebedarf eines Haushaltes gedeckt werden.

7.3 Biomasse als Energieträger in der Kraft-Wärme-Kopplung

Die bisher effizienteste energetische Nutzung von Biomasse ist Einspeisung in Kraftwerke, die Kraft-Wärme-Kopplung betreiben.

Hier wird Biomasse verbrannt, um mit dem entstehenden Dampf eine Turbine zur Stromerzeugung zu betreiben. Die während des Prozesses entstehende Wärme wird direkt abgeführt und in Fernwärmenetze eingespeist.

Die bisherigen Wirkungsgrade bei der Nutzung von Festbrennstoffen wie Holz sind aufgrund von zu wenig entwickelten Technologien unbefriedigend. Die Vergasung von Biomasse (z.B. die Erzeugung von Holzgas) und der Antrieb von Gasturbinen ist dagegen weiter fortgeschritten und liefert höhere Wirkungsgrade.

Eine weitere Art von Biomasse, die in der Kraft-Wärme-Kopplung verwendet werden kann, ist das in natürlicher Gärung entstehende Biogas.

In landwirtschaftlichen Betrieben werden Tierfäkalien und pflanzliche Reststoffe aus eigener Produktion in einem so genannten Fermenter gegärt. Das dabei entstehende Biogas Methan wird in einen Sammelbehälter abgeführt und kann als Brennstoff in KWK-Anlagen eingespeist werden.

7.4 Wirtschaftlichkeit

Holz leistet heute den mit Abstand größten Beitrag zur energetischen Nutzung von Biomasse. Dies wird auch in Zukunft so bleiben, da Waldrestholz und Restholz aus der Industrie weiterhin anfallen werden. Wie schon erwähnt ist die Wärmeerzeugung durch KWK am wirtschaftlichsten. Die Nutzung der bei der Stromerzeugung entstehender Abwärme ist heute und auch in der Zukunft sehr ertragsreich und effizient, da die allgemeine Stromnachfrage nicht zurückgehen wird.

Die Verbrennung von Biomasse in Einzelanlagen und auch Heizkraftwerken ist im Vergleich zu Öl und Gas noch sehr teuer. Sie wird bei Betrachtung der Energiepreissteigerung der fossilen Brennstoffe erst ca. 2020 konkurrenzfähig.

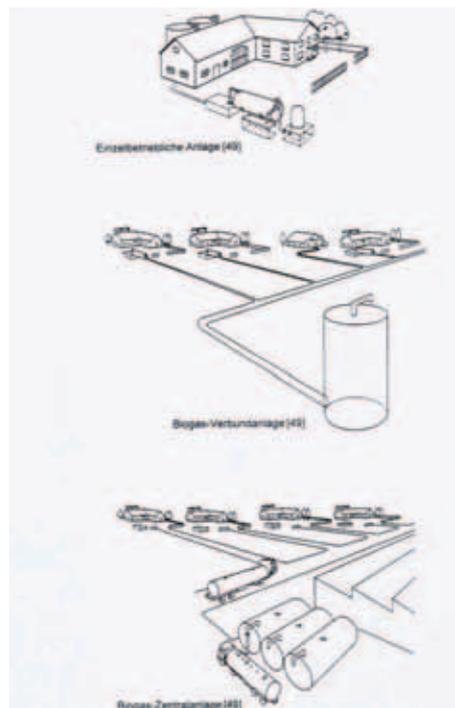
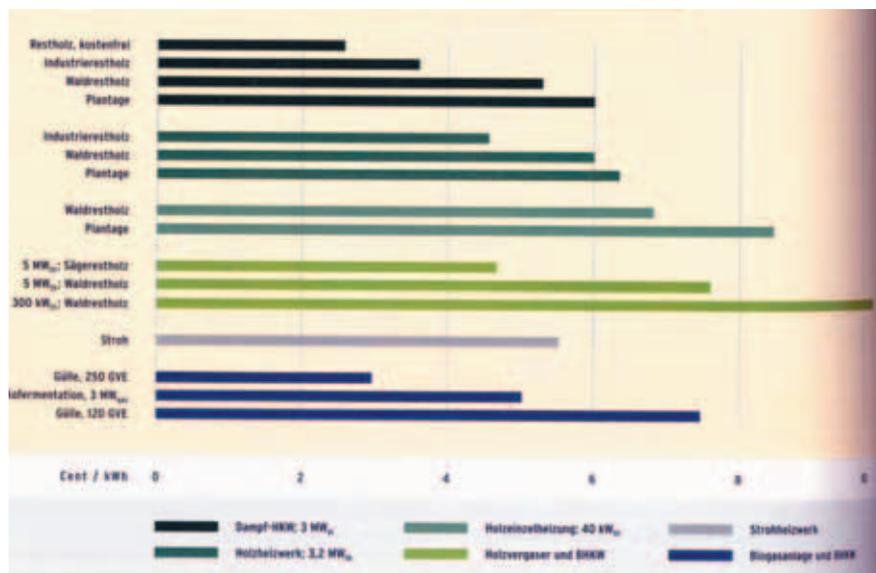


Abb. 26
Wirtschaftlichkeit biogener Wärmebereitstellung
Quelle: BMU

Abb. 27
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Natur
schutz und Reaktorsicherheit (BMU)
(Hrsg.): Erneuerbare Energien. Einstieg
in die Zukunft., Berlin März 2004. S.60

Derzeit leistet die Verwertung von Biomasse im Bereich der Wärmeerzeugung einen Beitrag von 3,8 % in Deutschland. Ende 2003 gibt es in Deutschland 80 Biomasse Heizkraftwerke, 130 Blockheizkraftwerken auf der Basis von Flüssigenergieträgern wie Rapsöl und Bioalkohol und 1.700 Biogasanlagen. Ziel der Bundesregierung ist es, den Gesamtwert der Wärmeerzeugung aus Biomasse bis 2030 auf 10 % zu steigern.

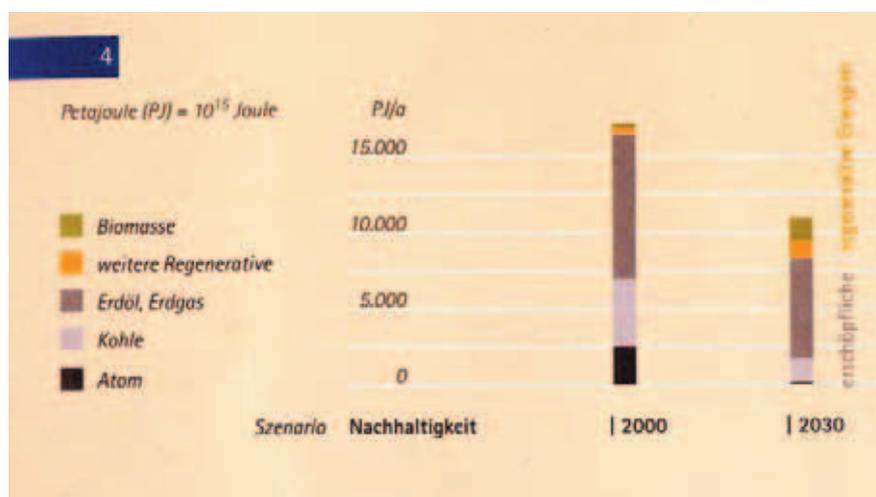


Abb. 28
Quelle: Öko-Institut e.V., Institut für angewandte
Ökologie (Hrsg.): Bioenergie.
Nachwuchs für Deutschland. 2. Aufl.
Freiburg, Darmstadt, Berlin 2004. S. 4

8.1 Funktionsschema Biogasanlage

Im folgenden Kapitel soll das Funktionsschema einer Biogasanlage anhand eines Beispiels dargestellt werden. Wir haben eine Modellanlage aus der „Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung“ ausgewählt, um eine mögliche Funktionsweise einer Biogasanlage erläutern zu können. Im Anschluss daran sollen einzelne Aspekte an einem realen Beispiel verdeutlicht werden.

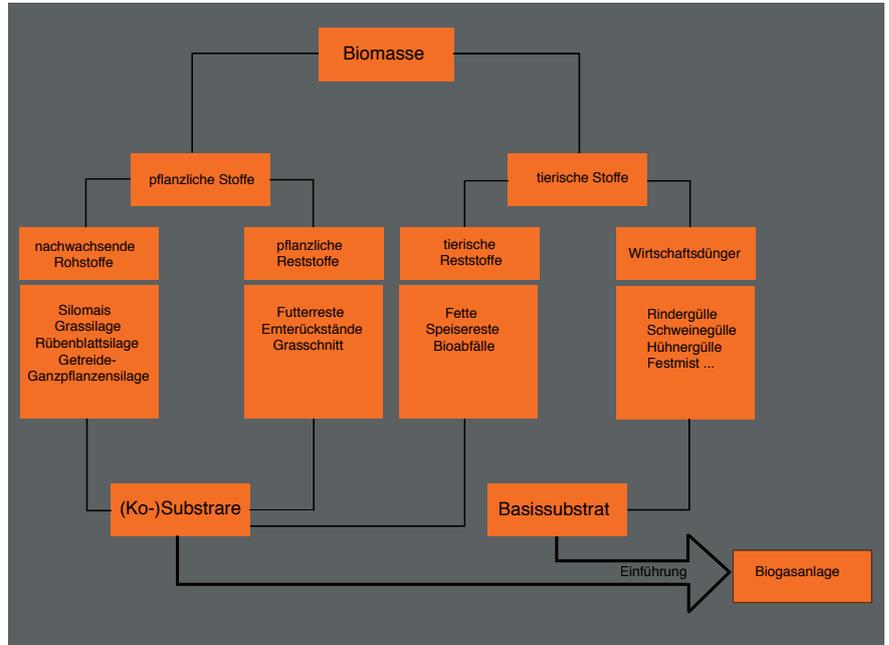


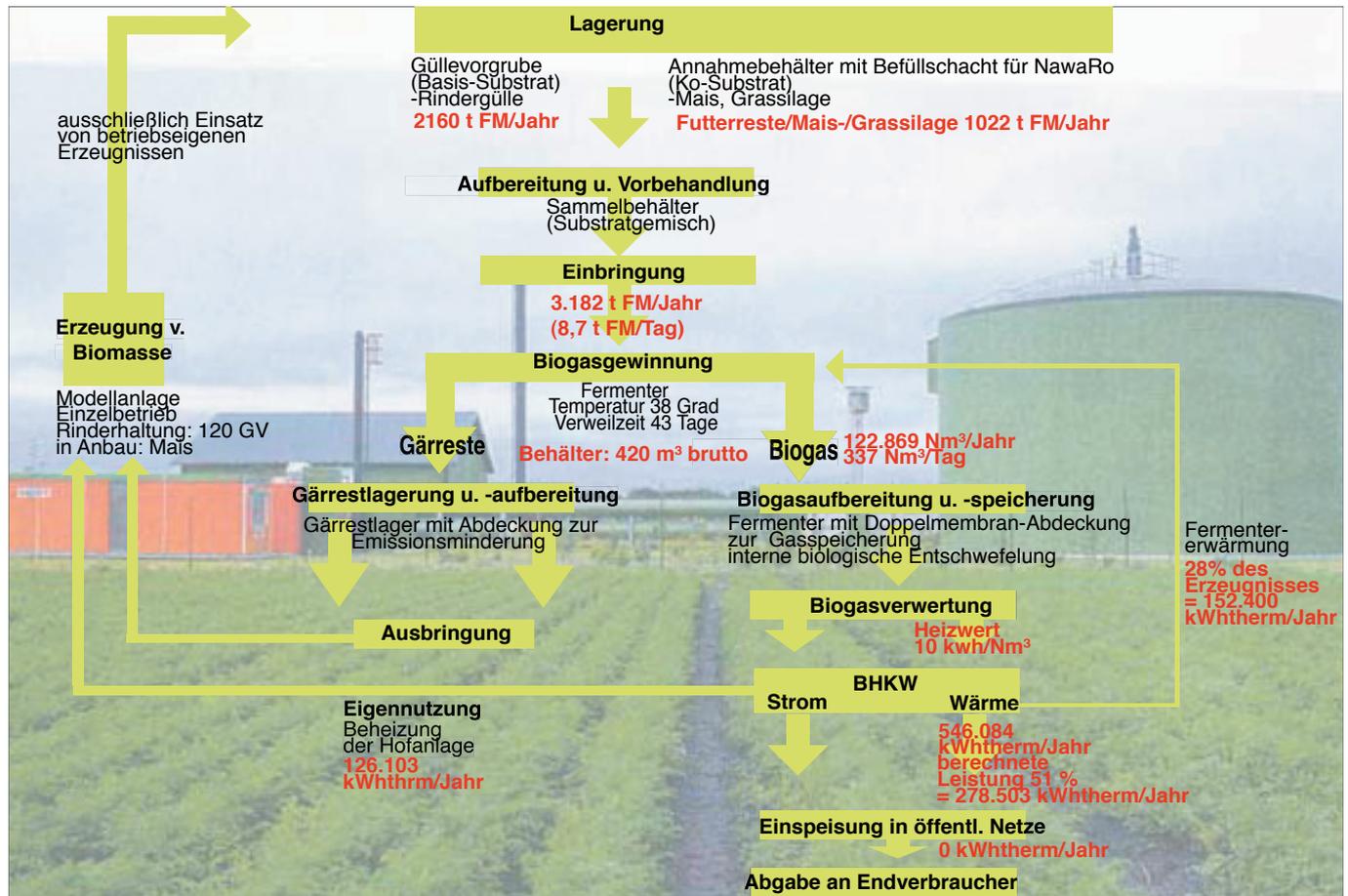
Abb. 29
 Schematische Übersicht:
 Basis- und Kosubstrate einer Biogasanlage
 Quelle: eigene Darstellung

Eine Biogasanlage ist zumeist an eine landwirtschaftliche Hofanlage gekoppelt. In ihr werden pflanzliche und tierische Reststoffe (Basis- und Kosubstrate, siehe Grafik) zum energiereichen Biogas Methan vergärt, das zur Wärmeabgewinnung als Energieträger in ein Blockheizkraftwerk eingespeist wird. Die Biogasanlage besteht aus vier Hauptteilen: Einer Sammelgrube für Basis- und Kosubstrate, die in die Anlage eingehen und vergärt werden, einem Gärungsbehälter, dem Fermenter, in dem der Gärungsprozess stattfindet, einem Gasspeicher, in den das bei der Gärung entstandene Biogas abgeführt wird und dort gespeichert wird und einen Düngerbehälter, in dem die Gärungsrückstände gesammelt werden.

Die ausgewählte Modellanlage ist ein Einzelbetrieb mit Rinderhaltung von 120 GV (1 Großvieheinheit entsprechen 500kg Vieh) und Anbau von Futtermais. Als Basissubstrate werden jährlich 2160 t Rindergülle und als Kosubstrate 722 t Futterreste, Maissilage und Grassilage in die Biogasanlage eingeführt. Insgesamt werden also 3.182 t Biomasse eingespeist, das sind 8,7 t täglich. Es werden somit ausschließlich betriebseigene Rohstoffe eingespeist. (4)

Zunächst werden Basis- und Kosubstrate voneinander getrennt in Güllevorgrube und Annahmebehälter gesammelt, um danach im Sammelbehälter vermischt und vorbehandelt zu werden. Das Substratgemisch wird in den Fermenter eingebracht und verweilt dort 43 Tage bis zur vollständigen Vergärung. Um den optimalen Ertrag an Biogas zu erzielen, muss im Fermenter eine stetige Temperatur von 38 Grad Celsius herrschen, Die dazu nötige Energie wird direkt von der aus Biogas erzeugten Wärme aus dem Blockheizkraftwerk bezogen.

(4) vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Leipzig 2004, S 128



Die Gärreste werden in einem Lagerbehälter aufbereitet und von dort aus direkt wieder in den landwirtschaftlichen Betrieb eingebracht oder an Dritte verkauft. Das Biogas wird im Fermenter gespeichert und von dort aus in ein nahe gelegenes Blockheizkraftwerk zur Wärme- (und Strom-) Erzeugung eingebracht. Der Anteil der Wärmeenergie fließt direkt zurück in den Anlagen- und Hofbetrieb und der Strom wird teilweise verkauft.

Abb. 30
Funktionsschema der Modellanlage
Quelle: eigene Darstellung

Aus der eingebrachten Menge von 3.182 t Frischmasse (FM) pro Jahr entstehen 122.869 netto Kubikmeter (Ncbm) Biogas pro Jahr. Pro Nettokubikmeter ist ein Heizwert von ca. 10 KWh zu erzielen. Das Biogas betreibt in dem nahegelegenen Blockheizkraftwerk eine Gasturbine. So werden Wärme und Strom erzeugt, wobei 51 % der Leistung des BHKW auf die Wärmeerzeugung entfallen. Somit beträgt der Heizwärmeanteil 278.503 KWh therm pro Jahr. Diese Menge wird vollständig in die Hofanlage und den zur Temperierung in den Fermenter rückgeführt, so dass keine Wärme ins Fern- oder Nahwärmenetz eingespeist wird. Der Wärmeertrag der Anlage reicht also nur zur Selbstversorgung aus. (5)

Eine genaue Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der oben beschriebenen Biogasanlage ist anhand dieser Daten nicht möglich, da ein Wert für die Heizkosteneinsparung des Landwirtschaftlichen Betriebes nicht gegeben ist. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Kosten und Erträge (inklusive der Heizkosteneinsparung) nach einer längeren Amortisationszeit ausgleichen und zukünftig ein geringer Gewinn erzielt wird. Bei dieser Anlagenform steht der ökologische Gedanke und eine erstrebenswerte Einsparung an nicht erneuerbaren Energien im Vordergrund.

(5) vgl. FNR: Handreichung Biogasgewinnung, S. 207f

Kennwerte	Einheit	
Investitionen		
Gesamtinvestition Fermenter	Euro	245.057
	Euro/kW	4.456
	Euro/m ³	583

Kosten		
Abschreibungen	Euro/Jahr	18.410
Zinsen	Euro/Jahr	7.352
Versicherung	Euro/Jahr	1.225
Unterhalt/Reparaturen	Euro/Jahr	7.322
genutzte Energie	Euro/Jahr	5.461
Lohnansatz (1/2-1Std./Tag)	Euro/Jahr	5.475
Rohstoffkosten	Euro/Jahr	36.016
Gesamtkosten	Euro/Jahr	81.261

Erträge		
Ertrag aus Stromverkauf	Euro/Jahr	71.674
Zuschüsse	Euro/Jahr	1.596
Dünger	Euro/Jahr	6.142
Gesamtertrag	Euro/Jahr	79.412

Abb. 31
Kostenauflistung

Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.):
Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Leipzig 20, S. 208

Bisherige Erfahrungen mit anderen Biogasanlagen haben gezeigt, dass kleine Einzelanlagen aufgrund der hohen Anlagenkosten nur selten wirtschaftlich sind und die gewonnene Energie nur für den Eigenbedarf genutzt werden kann.

Gemeinschaftsanlagen in denen mehrere Höfe einen Fermenter betreiben sind wirtschaftlich sinnvoller, da sich die Anlagekosten besser verteilen und dadurch schneller amortisieren. Darüber hinaus kann ein eventueller Überschuss ins öffentliche Netz eingespeist und vergütet werden.

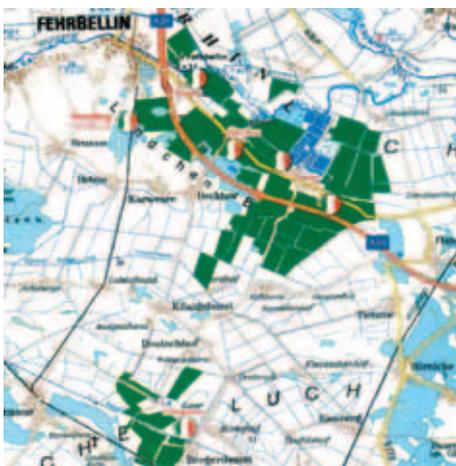


Abb. 32
Quelle www.rhinmilch.de

8.2 Biogasanlage des Rhinmilch-Verbundes

Als gebautes Beispiel einer Biogasanlage lässt sich hier die Biogasanlage des Rhinmilch-Verbundes nahe Berlin anführen.

Im Rhinmilch-Verbund arbeiten insgesamt fünf landwirtschaftliche Betriebe zusammen. Neben der Erzeugung und dem Vertrieb landwirtschaftlicher Produkte wie Milch, Getreide und auch Fleischprodukte aus eigener Produktion betreiben diese Betriebe eine gemeinschaftliche Biogasanlage zur Erzeugung von Strom und Wärme sowohl für den Eigenbedarf als auch zur Einspeisung in öffentliche Netze.

Mit dem Betrieb leistet der Verbund einen Beitrag um Klimaschutz. Würden in Deutschland alle Potentiale der Biogasproduktion ausgenutzt, so könnten insgesamt 5,5 Prozent des gesamten Energieverbrauchs, was 8,7 Milliarden cbm Gas entspricht, gedeckt werden und folglich könnte auf die Energieerzeugung aus zwei Kernkraftwerken verzichtet werden.

Für die Biogasanlage entstanden Investitionskosten in Höhe von 1,3 Mio. Euro. Betrieben wird die Anlage mit betriebseigenen Abfällen und Gülle aus der Masttierhaltung. Das Gülleaufkommen der fünf Betriebe beträgt jährlich 45.000 cbm die in Becken a 7.500 cbm gelagert werden. Die gesamte Verweildauer der Gülle im Fermenter, also die Gärdauer der Gülle beträgt 25 Tage.

Aus 1 cbm Rindergülle entstehen hier 23 cbm Biogas. Die Anlage hat eine maximale elektrische Leistung von 330 KW und arbeitet hier real mit einem Wirkungsgrad von 35,4%, was einer jährlichen Produktion von 2.202.163 KWh entspricht. Zur Deckung des Eigenbedarfs werden jährlich 296.015 KWh benötigt, was bedeutet, dass eine Zusatzversorgung über das Netz weiterhin notwendig ist.

Maximal 478 KW thermische Energie lassen sich mit Hilfe der Biogasanlage erzeugen; mit einem Wirkungsgrad von 51,2% werden jährlich 3.185.050 KW thermische Energie erzeugt. Davon werden jährlich 1.117.342 KWh zum Eigenverbrauch genutzt. Nach der Gärung der Gülle wird diese auf einem Einzugsgebiet von ungefähr 800 ha ausgebracht. Zum Zweck der Gülleausbringung wurden ca. 23 km Rohrleitungen verlegt; alle 50 ha befindet sich ein Hydrant. Durch diese Art der Gülleausbringung ist ein einfacher Umgang mit der vergorenen Gülle möglich, bei dem zudem die Geruchsbelästigung entfällt und durch den einfachen Transport der Gülle durch das Rohrsystem wird zusätzlich das Straßennetz entlastet.

Ein weiterer Vorteil für den gesamtlandwirtschaftlichen Betrieb entsteht durch die vergäerte Gülle, die als Düngemittel nach dem Vergärungsprozess besser pflanzenverfügbar ist. (6)

(6) vgl. www.rhinmilch.de

9.2 Solarsiedlung „ Am Petersberg “ in Berlin Zehlendorf

Zur Untersuchung einer möglichen Anwendungsweise einer Solaranlage haben wir im Folgenden die Wohnsiedlung „Am Petersberg“ genauer betrachtet.

Die Solaranlage gehört zu den 10 größten Anlagen in Berlin und wurde 1998 fertig gestellt. Die Wohnsiedlung mit Niedrigenergiehäusern und zentraler solarunterstützter Wärmeversorgung entstand aus einem städtebaulichen Realisierungswettbewerb, den das städtische Wohnungsbaunternehmen GEHAG mit dem Entwurf des Berliner Architekten Prof. K. Theo Brenner gewann.

Die Zehlendorfer Siedlung besteht aus 15 kubischen „Stadtvillen“ mit je 7 Wohneinheiten. Die 105 Wohnungen umfassen eine Wohnfläche von insgesamt ca. 9.660 qm die sich in Fünf- und Zwei-Zimmerwohnungen mit 85 bis 119 qm Wohnfläche aufteilen. Zur Reduzierung des Endenergiebedarfs der Siedlung wurden eine kompakte Kubatur der einzelnen Gebäude und eine dichte Bebauung umgesetzt.

Der Wärmeschutz entspricht dem Niedrigenergie-Standard und die Gebäude sind mit Niedertemperatur Nahwärmeversorgung mit zentraler Solaranlage und Kurzzeitwärmespeicher ausgerüstet. Darüber hinaus sind die Gebäude zur kontrollierten Be- und Entlüftung jeweils mit einer zentralen mechanischen Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ausgestattet.



Abb. 33
Siedlung „Am Petersberg“
Quelle: „Solarstadt“ N. Fisch
Foto: Bauherr: GEHAG, Berlin



Abb. 34
 Solarsiedlungen in Berlin Zehlendorf
 (Bildmitte: „Am Grunewald“, links oben:
 „Am Petersberg“)
 Quelle: „Solarstadt“, N. Fisch
 Foto: Bauherr: GEHAG, Berlin



Abb. 35
 Quelle: Eigenes Foto

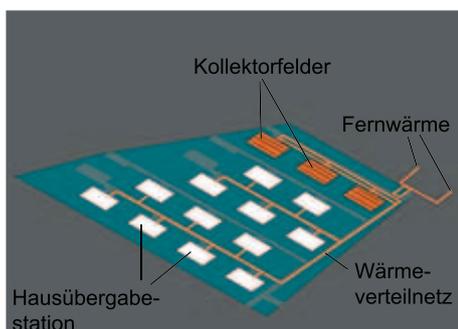


Abb.36
 Quelle: Eigene Darstellung

(7,8) : N. Fisch, Solarstadt. Konzepte,
 Technologien, Projekte.
 Stuttgart. Kohlhammer 2001.
 ISBN 3-17-015418-4

„Der durchschnittliche jährliche Heizwärmebedarf der Gebäude liegt mit ca. 50 kWh/(qm a) etwa 25 bis 30 % unter den gesetzlich geforderten Werten der geltenden Wärmeschutzverordnung (Außenwand U- Wert: 0,25 W/(qm K), Flachdach U- Wert: 0,16 W/(qm K), Fenster U-Wert: 1,3 W/(qm K), g-Wert: 0,58). Durch lediglich zwei Haustypen (U- Typ und T-Typ) und die Fertigteilbauweise- zweischalige Betonwandelemente mit Kerndämmung – wurde ein kostensparendes Bauen möglich.“ (7)

Zur Deckung von ca. 50% des jährlichen Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung wurde eine zentrale Solaranlage in die Nahwärmeversorgung der Siedlung integriert. Um diese Energieeinsparung zu erzielen reicht eine Kollektorfläche mit hocheffizienten Vakuum-Röhrenkollektoren (VRK) von ca. 180 qm Größe, die auf drei der Stadtvillen aufgeteilt wurde. Dies entspricht einer Fläche von nur ca. 1,7 qm pro Wohnung.

Für die Speicherung der von den Kollektoren gelieferten Wärme sind zwei Pufferspeicher mit einem Volumen von insgesamt 15 cbm (ca. 0,083 cbm Speicher pro qm Kollektorfläche) in den Vor- und Rücklauf des Zwei-Leiter-Wärmeverteilnetzes der Anlage integriert worden. Zur zeitweise notwendigen Nachheizung wurde den Pufferspeichern eine Fernwärmeübergabestation nachgeschaltet, die den Vorlauf des Wärmeverteilnetzes auf die Solltemperatur erwärmt (s. Abb. 36).

„Die Solaranlage übernimmt somit die Vorwärmung des Netzurücklaufes und wird auf dem niedrigsten Temperaturniveau im System betrieben. Die Heizanlagen in den Gebäuden sind auf Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 70°C bzw. 40°C ausgelegt und werden direkt ohne Wärmetauscher an das hausinterne Heizsystem angeschlossen.“ (8)

Um einen effizienten Betrieb der Solaranlage zu erreichen erfolgt die Warmwasserbereitung dezentral (je Gebäude) in Speicher-Ladesystemen



Abb. 37
Kollektorfelder auf den Flachdächern der
Stadtviellen „Am Petersberg“
Quelle: „Solarstadt“ N. Fisch
Foto: Bauherr: GEHAG, Berlin

mit externen Plattenwärmetauschern, die eine niedrige Temperatur im Netzurücklauf ermöglichen und Transmissionsverluste gering halten. (s. Abb. 38).

Gegenüber dem heute üblichen Neubaustandard führt die Umsetzung dieses integralen Energiekonzeptes zu einer jährlichen CO₂ Einsparung von rund 25%.

Die baulichen Mehrkosten für die Umsetzung des Energiekonzeptes belaufen sich auf lediglich 4050 € netto pro Wohnung. „Die Investitionskosten der Solaranlage lagen bei etwa 143.600 € (netto, inkl. Planungskosten) und damit bei rd. 800 € pro qm Kollektorfläche bzw. etwa 15 € pro qm Wohnfläche“ (9).

(9) : N. Fisch, Solarstadt. Konzepte,
Technologien, Projekte.
Stuttgart. Kohlhammer 2001.
ISBN 3-17-015418-4

Die Realisierung des integralen Energiekonzeptes wurde von der Berliner Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr – Referat Ökologischer Städtebau – gefördert. Das Institut für Gebäude und Solartechnik (IGS) an der TU – Braunschweig führte das wissenschaftliche Begleitprogramm während der Bau- und einer zweijährigen Betriebsphase durch.

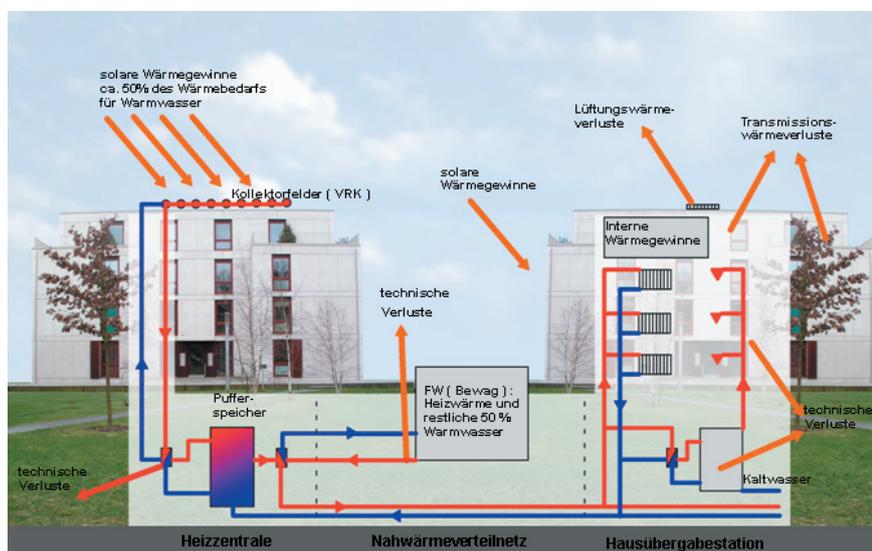


Abb. 38
Schema der solarunterstützten Nahwärmever-
sorgung (Planung:STZ/EGS, Stuttgart - Berlin)
Quelle: Eigene Darstellung



Abb. 39
Detail Vakuumröhrenkollektor
Quelle: Photo Vissmann

9.2 Anlagentechnik

Herzstück der oben beschriebenen Anlagentechnik sind hocheffiziente Vakuumröhrenkollektoren. Durch ihre röhrenförmige Bauart können sie in jedem beliebigen Einbauwinkel jeweils optimal zur Sonne ausgerichtet werden und daher auch auf Flachdächern wie in Zehlendorf oder an Fassaden ohne Verringerung des Wirkungsgrades montiert werden.

Die mit frostsicherem Glykol gefüllten Absorberrohre sind mit einer Titanlegierung beschichtet und erreichen somit einen hohen Wirkungsgrad. Die Wärmeverluste des Kollektors können rund 40 % der Gesamtverluste ausmachen und sind daher ein wichtiger Ansatz bei der Optimierung der Leistung der Gesamtanlage.

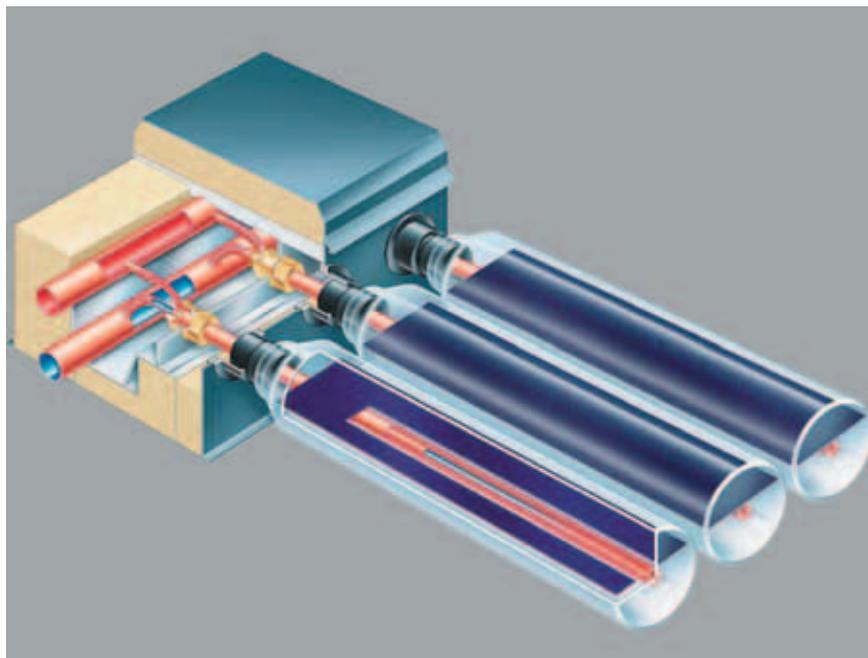


Abb. 40
Detail Vakuumröhrenkollektor
Quelle: Photo Vissmann

9.3 Kumulierter Energieaufwand

Um die energetische Amortisationszeit zu ermitteln und somit den ökologischen Nutzen der Anlage beurteilen zu können, muss die für die Herstellung notwendige Energiemenge, also der Primärenergieaufwand sämtlicher Abbau-, Transport und Produktionsprozesse aufkumuliert werden. Man spricht hier auch von „Grauer Energie“.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Werte eines Flachkollektors, der zwar anders aufgebaut ist aber zu dessen Herstellung ähnliche Materialien verwendet werden. Die Werte können daher nur als ungefähre Richtwerte angesehen werden.

Die Betrachtung sämtlicher Anlagenbestandteile ist für einen Vergleich gegenüber konventionellen Anlagen nicht notwendig, da abgesehen vom Pufferspeicher die anlagentypischen Unterschiede sehr gering sind.

Für 180 qm Kollektorfläche werden insgesamt 6831 kg Material benötigt (siehe Abb.41), wobei Stahl und Glas den größten Anteil einnehmen. Bei Betrachtung des Kumulierten Energieaufwands (KEA) wird deutlich, dass für die Herstellung von Aluminium im Vergleich zu den anderen benötigten Materialien überdurchschnittlich viel Energie aufgewendet wird (siehe

Lars Baeren, Annika Köster, Nico Kranenburg, Anna Medtisch, Julian Telger

Abb.42). Insgesamt beläuft sich der Primärenergieaufwand auf 128.736 KWh. Bei einem Jahresenergieertrag von etwa 81.000 KWh amortisiert sich die Anlage nach ca. 1 Jahr und 7 Monaten. Bei einer zu erwartenden Nutzungsdauer von 20 Jahren bedeutet dies, dass die Anlage in Ihrer Lebensdauer etwa das 12-fache der Energie bereitstellt, die für Ihre Herstellung notwendig waren (Erntefaktor = 12). Der jährliche Ertrag von 81.000 KWh entspricht ca. 8.100 Litern Heizöl, 8100 cbm Erdgas oder der Biogasjahresproduktion von 145 Rindern (13.370 cbm).

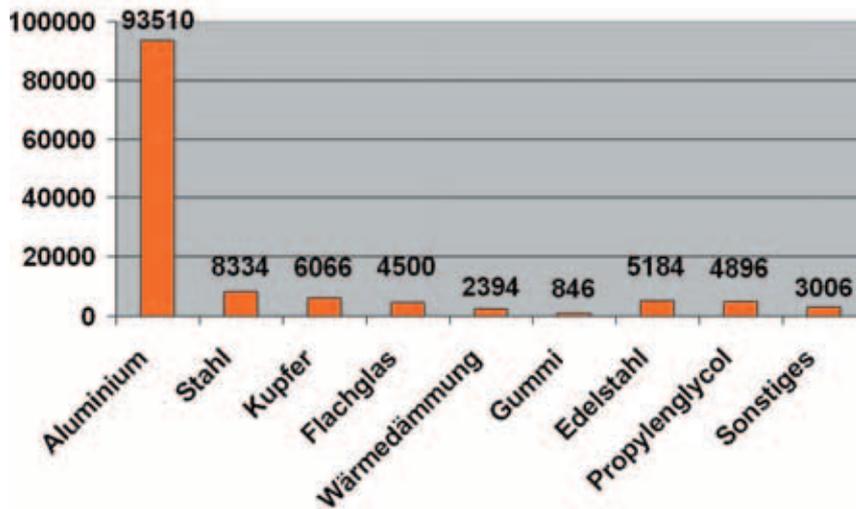


Abb. 41
Materialaufwand in Kg für 180 m² Kollektorfläche
Quelle: eigene Darstellung

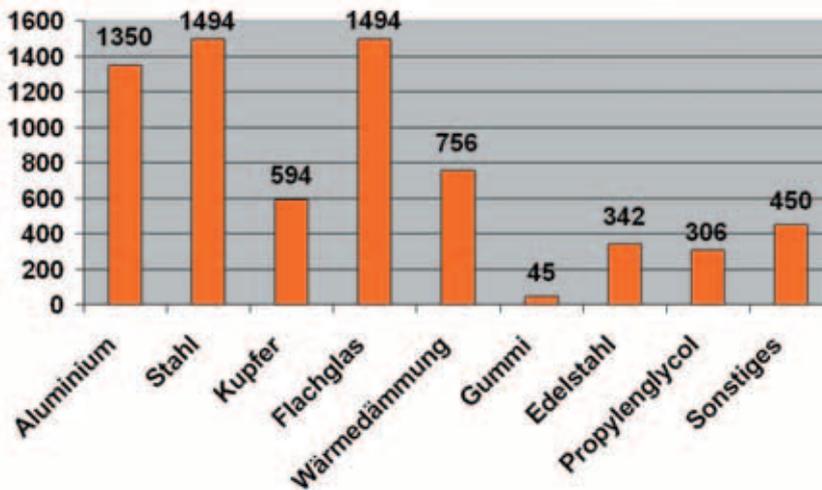


Abb. 42
Kumulierter Energieaufwand in KWh
Quelle: eigene Darstellung

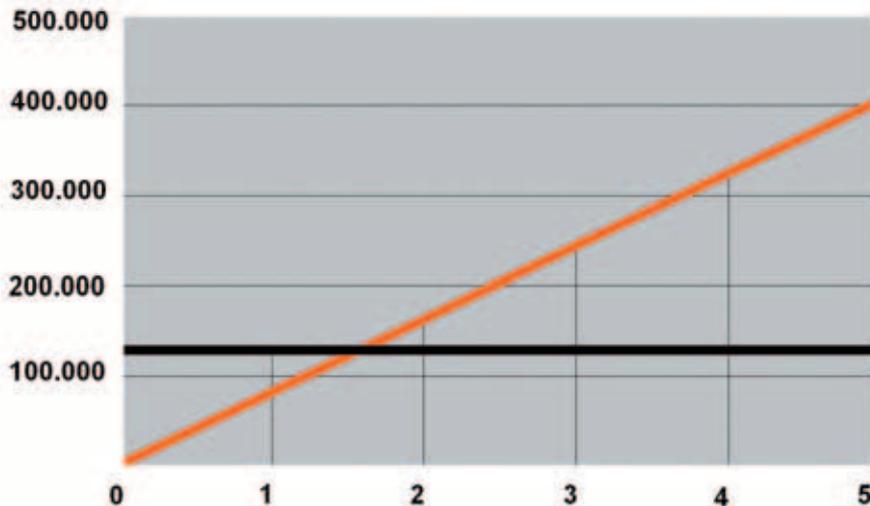


Abb. 43
Energieertrag in KWh nach Jahren
Quelle: eigene Darstellung

10.1 Solarthermische Anlagen in Europa

Mit ihrer Größe von 180 qm ist die Anlage am Petersberg eine der zehn größten Anlagen im Land Berlin. Insgesamt verfügt Berlin über ca. 2.800 Solarthermische Anlagen mit einer Gesamtgröße von ca. 31.000 qm. Die durchschnittliche Größe der Anlagen liegt bei 11,15 qm.

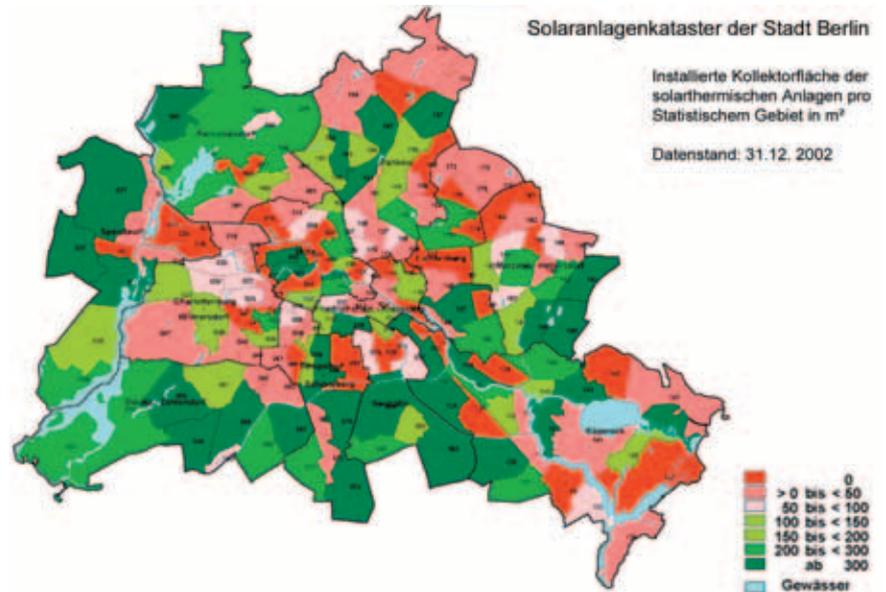


Abb. 44
 Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung

Von den im Jahr 2000 eingebauten Solarthermieanlagen sind 90 % Kleinanlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern, von denen etwa 80% der Brauchwassererwärmung und 20% der Raumheizungsunterstützung dienen. Der hohe Anteil der Anlagen für die Brauchwassererwärmung liegt in der Tatsache begründet, dass eine Solaranlage in den Monaten der Heizperiode nicht effektiv arbeitet und sich die Nutzung zur Heizungsunterstützung nur bei gleichzeitigem Einsatz von Langzeitwärmespeichern rentiert. Für einen 4 - Personen-Haushalt liegt die durchschnittlich benötigte Kollektorfläche von zur Brauchwassererwärmung genutzten Anlagen bei ca. 4-6 qm mit Flachkollektoren, bzw. bei 3-4 qm mit Vakuumröhrenkollektoren.

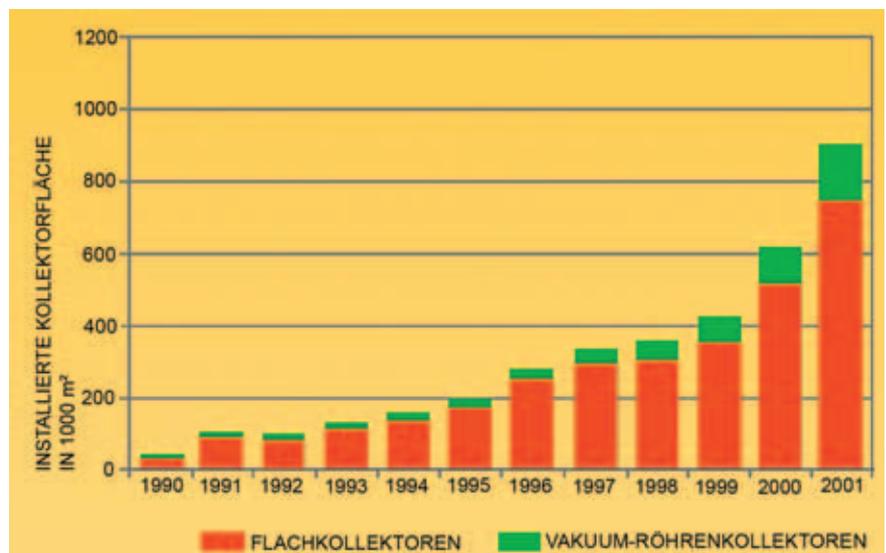


Abb. 45
 Marktentwicklung von Solarkollektoren in Deutschland
 Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Solarfibel. Städtebauliche Maßnahmen, April 2001, S. 15

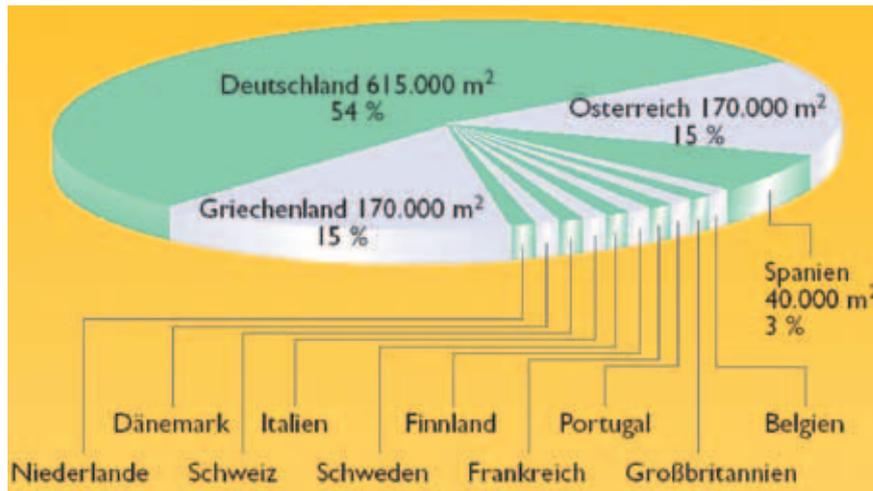


Abb. 46
Solarkollektorflächen im europäischen Vergleich
Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Solarfibel. Städtebauliche Maßnahmen, April 2001, S.37

Kombianlagen mit Raumheizungsunterstützung haben üblicherweise eine Kollektorfläche von ca. 8 bis 15 qm. Abbildung 46 verdeutlicht den starken Zuwachs an solarthermischen Anlagen in Deutschland seit 1990.

Mit 54 Prozent der europaweit installierten solarthermischen Anlagen (siehe Abb. 46) und einer Gesamtkollektorfläche von 615.000 qm in Deutschland wird am Beispiel des in Südeuropa höheren Strahlungsangebots deutlich, dass die erfolgreiche Einführung von erneuerbaren Energieträgern nicht nur von deren Verfügbarkeit sondern im Wesentlichen von vielfältigen politischen und wirtschaftlichen Bedingungen beeinflusst wird.

10.2 Lokale Einflussfaktoren auf Solaranlagen

Auf dem Weg durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche gehen 53% der Solarleistung durch Reflexion und Absorption verloren. Die verbleibenden 47% setzen sich zusammen aus direkter Solarstrahlung und diffuser Himmelstrahlung. Die Summe beider Komponenten wird als Globalstrahlung bezeichnet. Unter direkter Solarstrahlung versteht man den Anteil der Strahlung, der direkt aus der Sonnenrichtung als Parallelstrahlung einfällt. Diffuse Himmelstrahlung dagegen ist der Anteil, der durch Streuung an Molekülen und Aerosolen der Atmosphäre aus allen Richtungen auf die Erdoberfläche trifft.

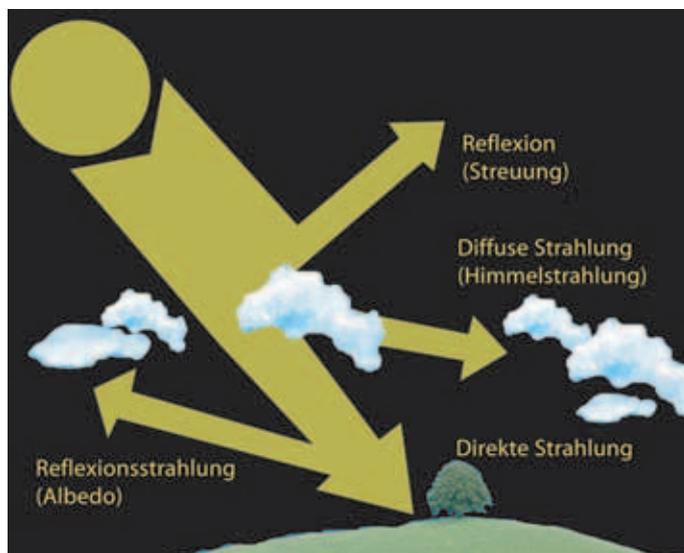


Abb: 47
Solareinstrahlung
Quelle: Eigene Darstellung

Während des Jahres ändert sich die Intensität der Sonnenstrahlung. Im Winter ist der Strahlungswinkel flacher und die Strahlung diffuser. Im Sommer erweitert sich der Abstand zwischen Sonne und Erde. Die Sonneneinstrahlung ist aber direkter. Dadurch erhält die Erdoberfläche eine größere Menge an Strahlung als im Winter.

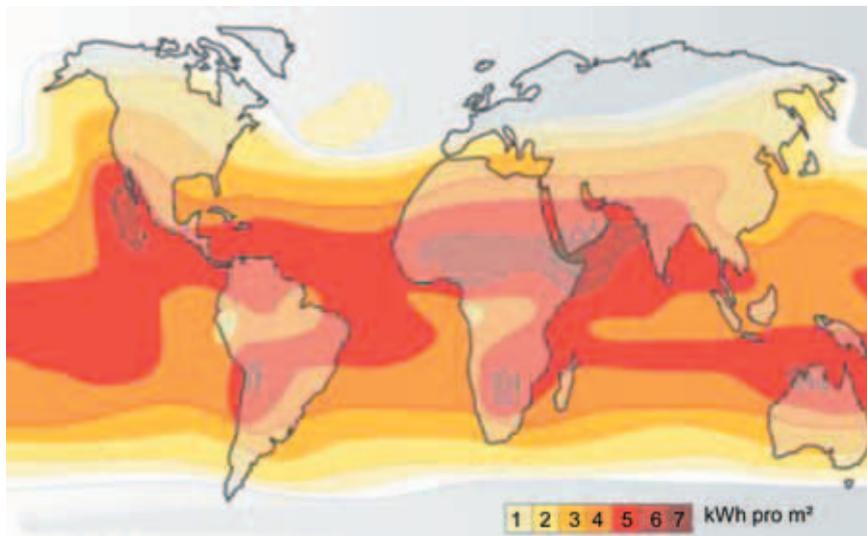


Abb. 48
Solareinstrahlung weltweit
Quelle: solarintegration.de

Im Sonnengürtel der Erde liegt die jährliche Globalstrahlung bei mehr als 2.200 KWh/ qm.

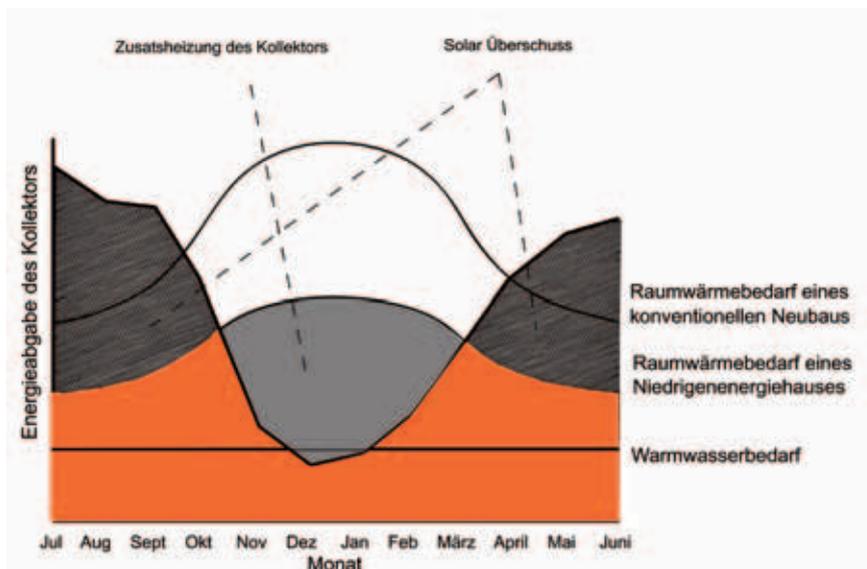


Abb.49
Energieabgabe eines Solarkollektors
Quelle: eigene Darstellung

Die oben gezeigte Grafik (Abb. 49) verdeutlicht den Raumwärmebedarf eines konventionellen Neubaus, den eines Niedrigenergiehauses und den üblichen Warmwasserbedarf.

Diese unterschiedlichen Wärmebedarfsanforderungen werden im Bezug zur Energieabgabe eines Solarkollektors übers Jahr gesehen angezeigt. Dabei wird deutlich, dass in der kühlen Jahreszeit mit hohem Wärmebedarf eine Zusatzheizung oder die Abgabewärme eines Langzeitwärmespeichers notwendig ist. In den warmen Monaten wird dagegen ein Solarüberschuss erzielt, der mit einem Saisonspeicher nutzbar gemacht werden kann.

11.1 Solarunterstützte Nahwärmeversorgung mit Kurz- und Langzeitwärmespeichern

Unsere näheren Betrachtungen der Solarsiedlung „Am Petersberg“ in Berlin Zehlendorf (Nahwärmeversorgung mit zentraler Solaranlage und Kurzzeitwärmespeicher) haben zahlreiche andere Untersuchungen von Solaranlagen bestätigt.

Diese ergaben, dass ohne die Integration eines Langzeit – Wärmespeichers in eine Solaranlage nur zwischen 10 und max. 25% des ges. Wärmeverbrauchs eines Gebäudes oder eines Gebietes mit einer Fernwärmeversorgung über die Solaranlage gedeckt werden können.

Eine deutliche Verbesserung der Effizienz bei der Solarenergienutzung lässt sich durch die Verwendung von Systemen mit einem saisonalen Wärmespeicher erzielen. In diesem wird die Solarenergie vom Sommer für den Winter gespeichert und es kann so mit 60 bis 80 % zum Heizenergieverbrauch beigetragen werden. Technisch sind sogar 100 % möglich. Damit ein Speichervolumen von einigen 1.000 cbm Inhalt genutzt werden kann ist der Verbund von 100 bis 200 Wohneinheiten notwendig. Diese Speichergröße ist notwendig, um einerseits die spezifischen Baukosten zu reduzieren und andererseits die Wärmeverluste des Speichers gering zu halten.

11.2 Integrale Konzepte zur Wärmeversorgung von Wohnsiedlungen und Gebäuden

Zur Optimierung der Maßnahmen für die Begrenzung des fossilen Brennstoffeinsatzes der zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs von Gebäuden notwendig ist, bietet sich ein integrales Konzept an.

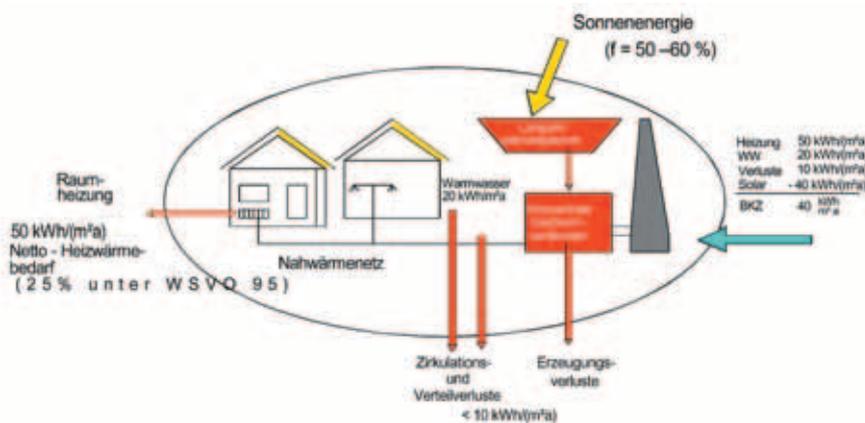


Abb. 50
 Integrales Wärmeversorgungskonzept für Neubau - Wohnsiedlungen, Ziel: Jährlicher Brennstoffeinsatz $40 \text{ kWh (m}^2\text{/a)}$ für Raumheizung und Warmwasser.
 Quelle: *Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen*, TU - Braunschweig, N. Fisch

Ein solches Konzept, bei dem ein Brennstoffbedarf von nicht mehr als 40 kWh/(qm a) (entspricht jährlich 4 cbm Erdgas oder 1 L. Öl pro qm Wohnfläche) zu erreichen war, zeigt die obige Abbildung (Abb. 50).

Im Vergleich zum üblichen Energiebedarf zur Brauchwassererwärmung und den Anforderungen der Wärmeschutz – Verordnung entspricht dies einer Reduzierung des Brennstoffbedarfes um etwa 60 %.

Diese deutliche Verbesserung wird durch die Kombination einer solarunterstützten Wärmeversorgung mit Langzeit – Wärmespeicher und eines verbesserten baulichen Wärmeschutzes erreicht.

11.3 Wohnanlage mit Langzeit-Wärmespeicher in Friedrichshafen

Zum besseren Verständnis eines integralen Energiekonzeptes möchten wir im Folgenden kurz eine Wohnanlage in Friedrichshafen – Wiggenhausen vorstellen. Die wissenschaftliche Betreuung des Vorhabens erfolgte durch das IGS, TU – Braunschweig und durch das ITW Universität Stuttgart. Die Anlage ist seit 1996 mit einem Heißwasser – Wärmespeicher in Betrieb.

Abb. 51
Erster Bauabschnitt der Siedlung mit MFH in Friedrichshafen - Wiggenhausen
Quelle: Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen, TU - Braunschweig, N. Fisch

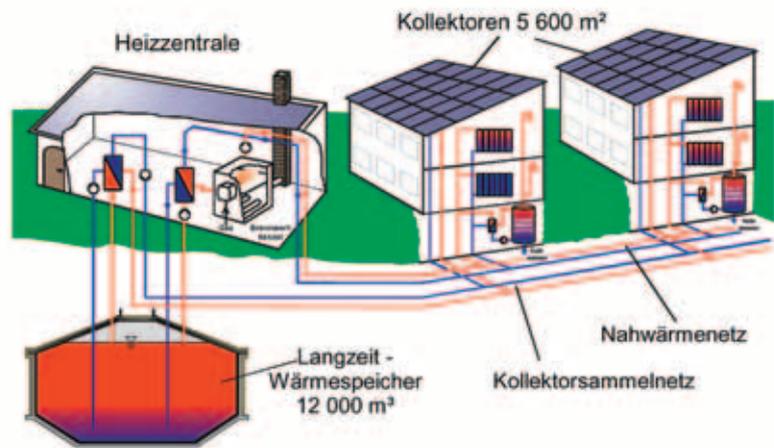


Abb. 52
Systemschema der Solaranlage mit Langzeit - Wärmespeicher in Friedrichshafen
Quelle: Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen, TU - Braunschweig, N. Fisch

Die obige Abbildung (Abb. 52) zeigt das Systemschema der solarunterstützten Nahwärmeversorgung mit Saisonalspeicher.

„Die Solarkollektoren auf den Hausdächern werden von der Heizzentrale aus mit einem Wasser/Glykollgemisch betrieben. Der Kollektorkreis wird in der Heizzentrale über einen Wärmetauscher in den Speicherladekreis eingekoppelt. Das Speicherwasser bildet ein geschlossenes System und wird von den Sonnenkollektoren auf Temperaturen zwischen 40 und 90°C erwärmt. Die Entladung des Speichers erfolgt über einen weiteren Wärmetauscher in der Heizzentrale ins Nahwärme – Verteilnetz.“ (10)

(10) : Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen, TU - Braunschweig, N. Fisch. Innovative NE - Wohnbauprojekte in Stuttgart - Fachtagung am 14. 04. 99

Die Auslegungsparameter der Solaranlage sowie die Planungsdaten des Wohngebietes und der Klimaverhältnisse sind in der folgenden Tabelle (Abb. 54) zusammengestellt.



Abb. 53
Erster Bauabschnitt der Siedlung mit MFH
in Friedrichshafen - Wiggerhausen
Quelle: *Ganzheitliche Energiekonzepte für
Wohnsiedlungen*, TU - Braunschweig,
N. Fisch

Wohngebiet		Friedrichshafen
Gebäudetyp		Mehrgeschoß
Anzahl der Gebäude/Wohnungen		8/586
Gesamte Wohnfläche	m ²	39500
Wärmedämmstandard		20% unter WSVO '95
Gesamtgasverbrauch (Referenz ohne Solar)	MWh/a	4106
Bez. Auf Wohnfläche	kWh/(m ² a)	104
Klima		
Heizgradtage	K d	3717
Globalstrahlung in Horizontalebene	kWh/(m ² a)	1177
Solaranlage		
Kollektorfläche	m ²	5600
Speichervolumen	m ³	12000
Vor-/Rücklauftemperatur	°C/°C	70/40
Gasverbrauch (mit Solar)	MWh/a	2191
Bez. Auf Wohnfläche	kWh/(m ² a)	55
Solarer Deckungsanteil	%	47

Abb. 54
Auslegungsdaten des Wohngebietes und der
Solaranlage in Friedrichshafen
Tabelle: *Ganzheitliche Energiekonzepte für
Wohnsiedlungen*, TU - Braunschweig,
N. Fisch

Der schematische Aufbau des Wärmespeichers in Friedrichshafen zeigt folgende Darstellung (Abb. 55). Durch die Ausbildung der Decke als Kegelstumpf kommt dieser Speicher ohne Stützen aus.

Das Foto (Abb. 56) zeigt die Bauphase des Speichers (Volumen 12000 cbm).

„Der Speicher besteht aus einer Tragkonstruktion aus Stahlbeton mit einer außenliegenden Wärmedämmung aus Mineralfaser. Die Dämmung ist nur im Bereich der senkrechten Wände (ca. 30 cm) und im Bereich der Decke (ca. 40 cm) angebracht. Die Innenseite des Betonbehälters ist mit einem 1,2 mm starken Edelstahlblech dampfdiffusionsdicht ausgeklebt. Die volumenbezogenen Baukosten des Speichers liegen bei 123 €/cbm.“ (11)

(11) : *Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen*, TU - Braunschweig, N. Fisch.
Innovative NE - Wohnbauprojekte in Stuttgart
- Fachtagung am 14. 04. 99

Abb. 55
Schnitt durch den Heiswasser - Wärmespeicher
in Friedrichshafen (Volumen 12000 m³)
Quelle: *Ganzheitliche Energiekonzepte für
Wohnsiedlungen, TU - Braunschweig.*
N. Fisch

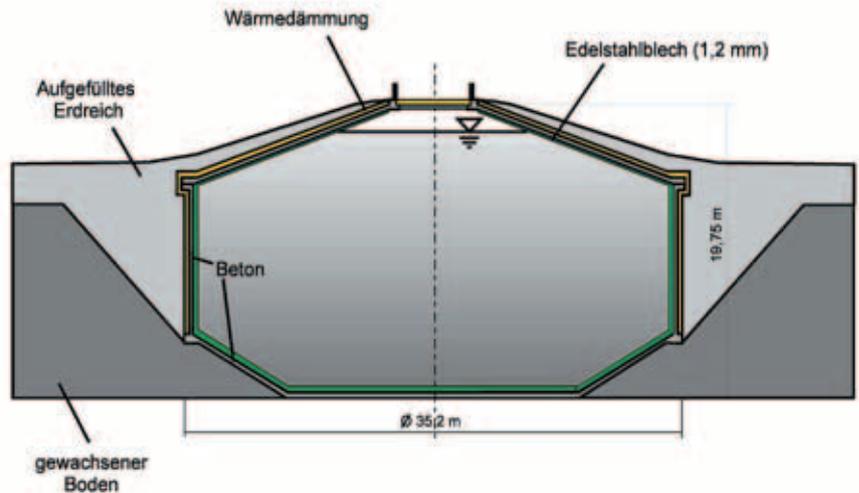


Abb. 56
Langzeit - Wärmespeicher in Friedrichshafen
im Bau (Volumen 12000 m³)
Foto: *Ganzheitliche Energiekonzepte für
Wohnsiedlungen, TU - Braunschweig.*
N. Fisch



12. Fazit

Die Endlichkeit der nicht erneuerbaren Energien (fossile Brennstoffe) zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs von Gebäuden oder Wohnsiedlungen macht es notwendig, sich mit der Erforschung und Verbesserung neuer Technologien zu befassen. Zur Optimierung der Maßnahmen bietet sich die Kombination verschiedener Technologien an.

Hier gilt, je höher die Anteile der erneuerbaren Energieträger sind, desto niedriger ist der maximal benötigte Brennstoffbedarf. Ein großes Ziel für die Zukunft wäre die ausschließliche Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Gesamtenergiebedarfs einer Siedlung. Für ein solches Vorhaben ist der Zusammenschluss von mindestens 300 bis 500 Wohneinheiten notwendig. Eine effektive Nullbilanz für die CO₂-Emissionen kann durch eine mögliche Kombination der Nutzung von Sonnenenergie und Biomasse erreicht werden.

Die wesentlichen Anlagenteile dieser Energieversorgungssysteme bestehen aus einem mit Biomasse (Biogas, Rapsöl, Holzpellets, etc.) betriebenen BHKW in Kombination mit einem Wärmespeicher und der Verwendung einer großen Solaranlage mit ca. zehn bis fünfzehn Quadratmetern Kollektorfläche pro Wohneinheit. Eine solche mögliche Konzeptvariante eines Gesamtsystems ist auf die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit als Forschungs- und Demonstrationsvorhaben durch IGS, TU-Braunschweig Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch untersucht worden (Abb. 57).

In dieser „CO₂-neutralen Energieversorgung einer Wohnsiedlung“ wird durch aktive thermische Sonnenenergienutzung eine etwa 50 bis 60 prozentige Deckung des Wärmebedarfs angestrebt. Für dieses Vorhaben ist eine Zusatzheizung auf Basis fossiler Brennstoffe nicht zulässig.

Zur Ergänzung der vollen Deckung wird die Abwärme aus den mit Biomasse betriebenen BHKW's (z.B. Brennstoffzelle mit Biogasbetrieb) genutzt. Unter wirtschaftlichen Aspekten werden die jeweiligen Anteile von Biomasse und Sonnenenergie in der Wärme- und Stromversorgung optimiert. Daher ist es z.B. möglich, durch den Einsatz von Photovoltaik-Anlagen das integrale Gesamtkonzept unter kostenoptimalen Gesichtspunkten zu ergänzen. Mögliche erwirtschaftete Überschüsse aus der Stromgewinnung können in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und entsprechend vergütet werden.

Weitere Forschung auf dem Gebiet der integralen Energiekonzepte ist im Hinblick auf die Begrenzung der fossilen Brennstoffe unbedingt notwendig. Die Auseinandersetzung mit dieser Thematik ist gerade im Bereich der Architektur eine wirtschaftlich attraktive Nische, zumal die einzelnen Komponenten eines solchen zukunftsorientierten Energiekonzeptes bereits entwickelt und erprobt sind.

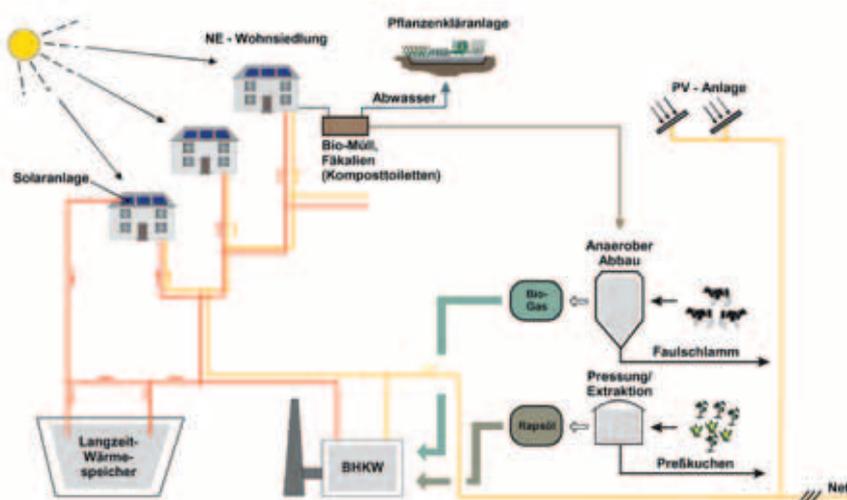


Abb. 57
Quelle: *Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen*, TU - Braunschweig, N. Fisch

Quellen

Bewag, Information für Besucher, Rundgang im Heizkraftwerk Reuter West.

Biogas Journal. Nachwachsende Rohstoffe- Neue Wege für die Landwirtschaft. Hrsg. v. Fachverband Biogas e.V., Heft Nr. 2/2004, November 2004.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Einstieg in die Zukunft., Berlin März 2004

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Innovationen für die Zukunft, Berlin Mai 2004

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Umweltpolitik. Energiewende und Klimaschutz. Neue Märkte, neue Technologien, neue Chancen. Dokumentation der Fachtagung vom 13. und 14. Februar 2004, Berlin September 2004

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Umweltpolitik, Umweltbewußtsein in Deutschland 2004, Berlin Juli 2004

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) (Hrsg.): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse, Rostock, März 2004

Bundesverband Windenergie (Hrsg.): Neue Energie, das Magazin für erneuerbare Energien, Nr. 01 Januar 2005

Fachgebiet Gebäudetechnik und Entwerfen, Prof. C. Steffan, Wissenschaftlicher Mitarbeiter M. Prytula: Urbaner Metabolismus, Textbuch, Berlin 2004

Deutsche Bauzeitung, Zeitschrift für Architekten und Bauingenieure, Energiekonzepte, Heft 10/2000

Dipl.-Ing. Frank Pfeiffer: Bestimmung der Emissionen klimarelevanter und flüchtiger organischer Spurengase aus Öl- und Gasfeuerungen kleiner Leistung, Universität Stuttgart

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -Nutzung, Leipzig 2004

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Biogas - eine natürliche Energiequelle, Juni 2002

Forschungsverbund Sonnenenergie (Hrsg.): Regenerative Kraftstoffe – Entwicklungstrends, Forschungs- – und Entwicklungsansätze, Perspektiven, 13.- 14. 11. 2003 im ZSW/ Stuttgart

Gottfried C.O. Lohmeyer: Praktische Bauphysik, 4. Auflage, Teubner 2001

Lars Baeren, Annika Köster, Nico Kranenburg, Anna Medtisch, Julian Telger

John R. Goulding, J. Owen Lewis, Theo C. Steemers: Energy Conscious Design, B.T Batsford for the Commission of the European Community

Institut für Gebäude- und Solartechnik Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch,
TU Braunschweig, Ganzheitliche Energiekonzepte für Wohnsiedlungen.
Innovative NE-Wohnbauprojekte in Stuttgart. Fachtagung am 14.4.99

Institut für Gebäude- und Solartechnik Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch,
TU Braunschweig, Thermische und hygienische Bauphysik, Braunschweig
1999

Institut für Gebäude- und Solartechnik Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch,
TU Braunschweig, Thermische Solarenergienutzung, Leitfaden für Planer,
Braunschweig Dezember 2001

Institut für Gebäude- und Solartechnik Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch,
TU Braunschweig, Technische Gebäudeausrüstung 1/2, Braunschweig
2002

Institut für industrielle Bauproduktion, Prof. Dr. N. Kohler, Universität Karlsruhe (TH): Strategien zur Reduktion von lebenszyklusbezogenen Emissionen von Gebäuden

Martin Treberspurg: Neues Bauen mit der Sonne. Springer Wien New York 1999

N. Fisch: Solarstadt, Konzepte, Technologien, Projekte, Stuttgart, 2001

Note Converting solar thermal collector area into installed capacity (m² to kWh), IEA - International Energy Agency nach Treff in Gleisdorf Österreich 08.09.2004

Perspektiven der Solarwärme- Nutzung in Deutschland
Parlamentarischer Abend der ARGE Solarwirtschaft 19. Juni 2001

Renewable Energy – Into the mainstream, IEA – Renewable Energy Working Party, SITTARD The Netherlands October 2002

Richard C Schubert: Fundamentals of Solar Heating. L D Ryan, Prentice Hall 1981

Rudolf Müller: Solares Bauen, Schempp – Krampen – Möllring, 1994

Solare Kraftwerke, Jahrestagung des Forschungsverbunds Sonnenenergie 14. – 15.10.2002 in Stuttgart

Solvis: SolvisMax Gas & Energiesparverordnung (EnEV)- Planungsunterlage, 2002

Viessmann, Programm regenerative Energiesysteme

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Solarfibel. Städtebauliche Maßnahmen, April 2001

<http://www.rhinmilch.de>

<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/provisuche.php?&proze...>

http://www.r-m-p.de/eng_w2251.html

Varmestudien 2003. Grunnlag for utbygging og bruk av varmeenergi i det norske energisystemet, Magnar Førde, Solvar Klokk, ENOVA

Workshop Wärmespeicherung 28. – 29.05. 2001 in Köln
Bernhard Milow, Gerd Stadermann, Forschungsverbund Sonnenergie