

■ Energieerzeugung für Wärme und Verkehr

- Effiziente Nutzung von Biomasse – Reststoffe, Nutzungskonkurrenzen und Kaskadennutzung
- Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden für solares und energieeffizientes Bauen
- Das Technologieentwicklungspotenzial für die Nutzung der Solarwärme

Effiziente Nutzung von Biomasse – Reststoffe, Nutzungskonkurrenzen und Kaskadennutzung

Prof. Frank Baur
IZES
baur@izes.de

Einleitung

Deutschland hat sich bezüglich des Ausbaus der Erzeugung erneuerbarer Energien sowie hinsichtlich der Nutzung nachwachsender Rohstoffe – insbesondere im Kontext des Klimaschutzes sowie der Ressourcenschonung – anspruchsvolle Ziele gesetzt. Da Biomasse als einziger erneuerbarer Energieträger zu allen Energiebereichen (Strom, Wärme, Kraftstoff) einen Beitrag leisten kann und darüber hinaus auch als Rohstoff im Rahmen stofflicher Nutzungsketten (z. B. Bodensubstrate, Holzwerkstoffe, Chemie) anwendbar ist, spielt sie eine Schlüsselrolle.

Im Jahr 2009 leistete die Bioenergie zum Endenergieverbrauch in Deutschland einen Beitrag von ca. 7% (5,2% beim Strom, 7,7% bei der Wärme und 5,5% bei den Kraftstoffen; BMU, 2010). Dieser Anteil soll mittel- bis langfristig weiter ausgebaut werden. Gemäß der aktuellen Leitstudie des BMU (BMU, 2009) sollen dabei im Jahr 2050 – unter Berücksichtigung weitreichender Effekte im Bereich der Energieeinsparung – mit 54% mehr als die Hälfte der Endenergie durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden, über ein Drittel davon (ca. 1.200 PJ) aus Biomasse. Dies kommt, im Vergleich zur aktuellen Situation (2009: ca. 590 PJ), einer weiteren Verdopplung der Biomasse-Nutzung gleich. Wege und Maßnahmen zum Ausbau der Bioenergie werden in diesem Zusammenhang im „Nationalen Biomasseaktionsplan für Deutschland“ (BMELV/BMU, 2009) aufgezeigt.

Dass die konventionelle Energieerzeugung aus Biomasse dabei den Charakter einer „Übergangstechnologie“ habe, wird angesichts ihrer derzeitigen Dominanz im Wärmesektor sowie der erforderlichen Anstrengungen und technischen Möglichkeiten im Bereich der Gebäudedämmung immer häufiger konstatiert. Ziesing et al. fordern hier z. B. im „Modell Deutschland“ (WWF, 2009), Biomasse langfristig nur noch dort einzusetzen, wo keine Alternativen bestehen (z. B. biobasierte

Chemikalien, Treibstoffe, etc.). Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt man, wenn die Zielsetzungen und Handlungsfelder des „Aktionsplans der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ (BMELV, 2009) betrachtet werden. Hier sind unter anderem folgende potenziellen zukünftigen Effekte gelistet:

- Verstärkter Einsatz von Holz im Sektor Bauen und Wohnen (z. B. Steigerung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Holz von 2004 bis 2014 um 20%; „Charta für Holz“)
- Steigerung des Anteils biobasierter Rohstoffe im Bereich der chemischen Industrie (von derzeit 10% auf 30% im Jahr 2030)
- Starke Zuwächse im Bereich der weißen Biotechnologie und der Phytopharmaka
- Anstieg der Rohstoffnachfrage in der Holzwerkstoffbranche (von ca. 25 Mio. t_{atro} im Jahr 2005 auf ca. 35 Mio. t_{atro} im Jahr 2015)

Die oben benannten Zielsetzungen und Maßnahmen im stofflichen und energetischen Bereich werden mittelfristig insgesamt einen starken Druck auf die Verfügbarkeit von Biomassen ausüben, welcher sich bereits derzeit – zumindest teilweise – in Knappheiten und Preissteigerungen äußert. Hinsichtlich der nachhaltig nutzbaren landwirtschaftlichen Produktionsfläche wird gemäß diverser Untersuchungen von bundesweit bis zu 4 Mio. ha ausgegangen, von denen 2009 bereits knapp 2 Mio. ha zum Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt wurden (ca. 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche), ca. 85% davon für Energiepflanzen (FNR, 2010). Bezüglich der Verfügbarkeit von Holz kritisiert z. B. der Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie heftig die Förderung der energetischen Holznutzung in der derzeitigen Form und die damit initiierte Rohstoff-Verknappung (euwid, Juni 2010).

Aus der Sicht des Klimaschutzes kann die Biomasse sowohl über eine energetische, als auch über eine stoffliche Nutzung, bei der fossil basierte Produkte ersetzt werden und Kohlenstoff – je nach Lebens-

zyklus des Produktes – über einen entsprechenden Zeitraum gebunden wird, einen signifikanten Beitrag leisten. Die besten Effekte werden sich – nach derzeitiger Einschätzung – bei Kaskadennutzungen einstellen, bei denen ein nachwachsender Rohstoff zunächst (mehrfach) stofflich und erst anschließend – dann als Abfall – energetisch genutzt wird. Während für die reine energetische Nutzung jedoch bereits umfangreiche Untersuchungen zu CO₂-Minderungspotenzialen vorliegen, sind für stoffliche und/oder stofflich-energetische Nutzungsoptionen bislang kaum wissenschaftlich belastbare Aussagen zu den Gesamtpotenzialen verfügbar.

Vor dem Hintergrund der obigen Zusammenhänge lassen sich im Kontext der Biomasse-Nutzung – aus derzeitiger Sicht – folgende Probleme und Optimierungspotenziale darstellen:

- Die Mobilisierung von Biomasse-Reststoffen (z. B. Gülle, Bioabfälle, Grünschnitt/Landschaftspflegematerialien, etc.) ist bislang nur eingeschränkt gelungen.
- Biomasse wird oftmals in wenig effizienten Nutzungsketten verwertet (z. B. Scheitholz in Ofenheizungen, rein stromgeführte Abfallanlagen, etc.)
- Es treten sowohl im globalen, als auch im regionalen Kontext verstärkt (Flächen-)Nutzungskonkurrenzen auf. Auch im Hinblick auf zukünftige Aktivitäten erfolgt dabei oftmals eine „gedankliche“ Mehrfachbelegung der vorhandenen Flächen im Rahmen der spezifischen Strategien verschiedener Nutzer.
- Durch teilweise vorhandene Zentralisierungstendenzen (z. B. bei Anlagen zur Biogaseinspeisung) ergeben sich negative Auswirkungen auf Landnutzungssysteme und Aspekte der Biodiversität (z. B. Grünlandumbruch, Monokulturen)
- Bei KWK-Anlagen oftmals keine reale Substitution fossiler Energieträger, sondern Generierung einer zusätzlichen Wärmenachfrage (z. B. Trocknungsanlagen)
- Mangelnde Kenntnis und Anwendung stofflich-energetischer Nutzungssysteme (Kaskadennutzung)

Nachfolgend werden die daraus resultierenden, potenziellen Handlungsfelder „Biomasse-Reststoffe“, „Nutzungskonkurrenzen“ und „Kaskadennutzung“ etwas näher beleuchtet.

Handlungsfeld „Biomasse-Reststoffe und biogene Abfälle“

Durch die aktuellen globalen Entwicklungen wie Klimawandel, Ressourcenverknappung und der begrenzten Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe, müssen verstärkt Anstrengungen unternommen werden, die in den Reststoffen und Abfällen steckenden Potenziale umfänglicher und – im Vergleich zu heute – in einer effizienteren Form zu nutzen.

Dies erfordert einen Paradigmenwechsel von einer entsorgungsorientierten Planung von Abfallsystemen auf eine versorgungsorientierte Sichtweise im Sinne einer themenübergreifenden Ressourcen- bzw. Stoffstromwirtschaft. Abfälle und Reststoffe sind dabei zukünftig nicht mehr als Entsorgungsgut zu verstehen, sondern als (Sekundär-)Rohstoff.

Für den Klimaschutz haben die geänderten Rahmenbedingungen zur Reststoffentsorgung in Deutschland und hier insbesondere die konsequente Abkehr von der Deponierung unbehandelter biogener Abfälle zweifellos einen erheblichen Beitrag geleistet. Ca. 45 Mio. Tonnen an CO₂-Äquivalenten (hier insbesondere Methan) konnten dabei reduziert werden, womit alleine die Abfallwirtschaft ca. 20 % zu den, gegenüber 1990 insgesamt erzielten Treibhausgasminderungen beitrug (Öko-Institut, 2005). Gleichwohl sind bei der Abfall-/Reststoffentsorgung hinsichtlich der Klimaschutzpotenziale und der Ressourceneffizienzen noch deutliche Optimierungspotenziale auszumachen:

- Die Nutzung der biogenen Anteile von Siedlungsmischabfällen in Müllverbrennungsanlagen ist bei einem mittleren energetischen Wirkungsgrad von ca. 36 % ineffizient (möglich sind bis zu 76 %).
- Energetische Altholzverwertungsanlagen wurden auf der Basis der ersten EEG-Version größtenteils stromgeführt (ohne effiziente Wärmeauskopplung) konzipiert.
- Die Praxis der Bioabfallentsorgung entspricht tendenziell immer weniger den Anforderungen an eine nachhaltige Entsorgungslösung. Bioabfälle werden verstärkt am Spotmarkt gehandelt, an den billigsten Bieter vergeben, über weite Strecken transportiert und letzt-

endlich in minderwertigen bzw. überlasteten Anlagen entsorgt. Hier sind dringend (wieder) nachhaltige Verwertungslösungen einzufordern, die neben der Umsetzung der Biogastechnologie auch die Produktion von hochwertigen Bodensubstraten mit einer real substituierenden Wirkung (z. B. Torfersatzprodukt) beinhalten.

- Die vorhandenen Potenziale an Grünschnitt und Landschaftspflegematerialien werden ebenfalls – in vielen Fällen – nur unzureichend genutzt (oftmals nur Herstellung von Mulchmaterialien). Hier sollten ganzheitliche regionale Strategien aufgebaut werden, welche trotz einer Abscheidung von Holzanteilen noch die Produktion von hochwertigen Bodensubstraten – dann aus den Gärrückständen einer Biogasanlage für die halmgutartigen Materialien – erlauben.
- Zu industriellen organischen Reststoffen liegen – auch aufgrund der teilweise vorhandenen Überschneidungen zur Abwasserthematik – kaum belastbare Datenmaterialien vor. Eine Überprüfung der vorhandenen Anreizsysteme (EEG) hinsichtlich der Wirkung in diesem Sektor erscheint daher erforderlich.
- Auch im Klärschlammbereich sind hinsichtlich der Ressourceneffizienz eindeutige Optimierungspotenziale darstellbar. Der Trend zur energetischen Entsorgung in Groß-Kraftwerken führt dabei in der Regel zu hohen Transportaufwendungen und unterbindet zudem eine mögliche stoffliche Nutzung als Stickstoff- und Phosphor-Dünger. Hier dürfte eine Verwertung in einer thermischen Mono-Anlage in Verbindung mit einer möglichen Fällung von Nährstoffen aus den Rückständen zu einer höheren Effizienz führen.
- Hinsichtlich der nutzbaren Potenziale an Biomasse-Reststoffen liegen diverse Untersuchungen vor, welche – bei vorhandenen Ungenauigkeiten z. B. in den Bereichen Altholz, industrielle Substrate, etc. – auf eine verfügbare Primärenergie von ca. 700 PJ pro Jahr hinweisen (z. B. Fritsche et al., 2004). Biomasse-Reststoffe alleine reichen also trotz der vorhandenen Ausbaupotenziale nicht aus, die z. B. in der Leitstudie 2009 unterstellte Abdeckung der nationalen Energieversorgung (ca. 1.200 PJ) zu gewährleisten. Anbau-Biomasse und Biomasse-Importe müssen hier flankierend eingesetzt werden.

Handlungsfeld „Nutzungskonkurrenzen“

Der forcierte Ausbau der Bioenergie-Nutzung erzeugt sowohl im globalen als auch im regionalen Kontext Wechselwirkungen im Sinne von Landnutzungsänderungen, welche einen spürbaren Druck auf die Verfügbarkeit von Flächen ausüben und – z. B. unter Berücksichtigung der weltweiten Bevölkerungsentwicklung – bereits Anlass dafür sind, die aktuelle Form der Förderung einer energetischen Biomasse-Verwertung sowie insbesondere die Zielsetzungen zu Biotreibstoffanteilen kritisch zu hinterfragen (siehe hierzu z. B. Bringezu et al., 2009).

Insgesamt wurde durch die bisherige Entwicklung – und dies ist durchaus positiv zu verstehen – zumindest auf nationaler/europäischer Ebene eine höhere Sensibilisierung im Umgang mit Flächen und Böden erreicht. Flächen werden verstärkt als ein knappes Gut wahrgenommen, das in seiner Qualität zu erhalten bzw. zu verbessern ist, um die Nutzungsansprüche langfristig befriedigen zu können, wie z. B.

- Produktion von Nahrungsmitteln
- Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die stoffliche Nutzung
- Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die energetische Nutzung
- Schaffung von Erholungsräumen
- Gewährleistung von Naturschutz sowie Biodiversität

Im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Biomasse-Potenzialen hat z. B. bei den forstwirtschaftlichen Hölzern in den letzten Jahren eine stark zunehmende Konkurrenzsituation zwischen der energetischen und der stofflichen Nutzung zu Unsicherheiten in der Versorgung sowohl von Holzenergieprojekten als auch von stofflichen Holznutzern geführt. In einzelnen Forstrevieren hatten die Bürger Schwierigkeiten, Holz aus „ihrem eigenen“ Kommunalwald zu beziehen. Gleichzeitig sind aus der Holzwerkstoffindustrie (wie z. B. der Spanplattenproduktion) bzw. der Papierindustrie Signale gekommen, dass der Rohstoff Holz teurer wird und nicht mehr in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Und tatsächlich hat sich der Holzpreis für „schwache Holzsortimente“ im Vergleich der Jahre 2000 und

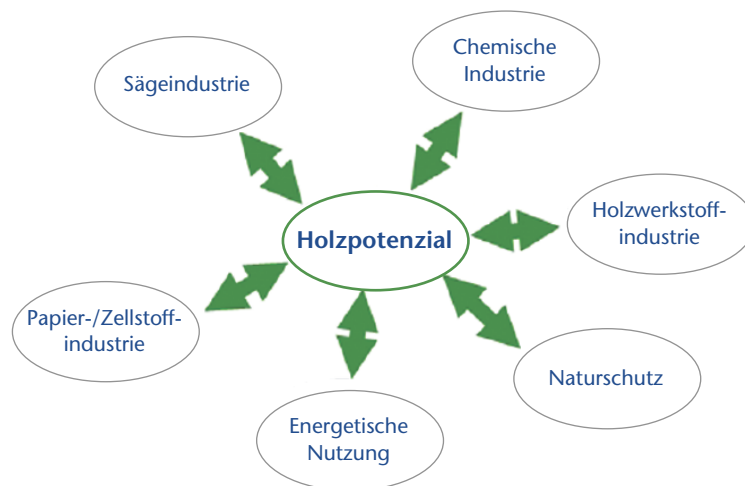


Abbildung 1
Ansprüche an das
Holzpotenzial

2007 um 50% gesteigert, um sich dann nach einer kurzen Schwächephase auf hohem Niveau zu stabilisieren. Holz wird aber noch von weitaus vielschichtigeren Nutzungsinteressen tangiert. So werden immer mehr Wälder im Zeichen des Naturschutzes außer Nutzung gestellt, zudem werden zukünftig neue Holzverwendungen im Sinne von Kunststoffersatzprodukten aus Bioraffinerien zu einer verstärkten Holznachfrage führen. *Abbildung 1* zeigt das aktuelle Spannungsfeld, in dem verschiedene Akteure Anspruch auf die gleiche, nur endlich verfügbare Ressource erheben.

Als Schlussfolgerung aus den obigen Zusammenhängen kann festgehalten werden, dass die Bioenergienutzung verstärkt in raumbezogene Planungsvorgänge auf Landes-, Regional- und Kommunalebene einbezogen werden muss. Des Weiteren ist verstärkt auf effiziente Biomasse-Produktions- und -Nutzungsverfahren abzielen, was teilweise auch eine Veränderung bzw. Beendigung bereits vorhandener, ineffizienter Biomassenutzungen beinhalten kann bzw. muss. Insgesamt bedarf es einer weiteren Sensibilisierung im Umgang mit Flächen, wobei es bemerkenswert erscheint, dass wir es uns – trotz rückläufiger Bevölkerungszahlen – immer noch leisten, täglich fast 100 ha an Freiflächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen umzuwidmen (UBA, 2009). Dies entspricht grob dem täglichen Verlust einer 200 kW-Biogasanlage.

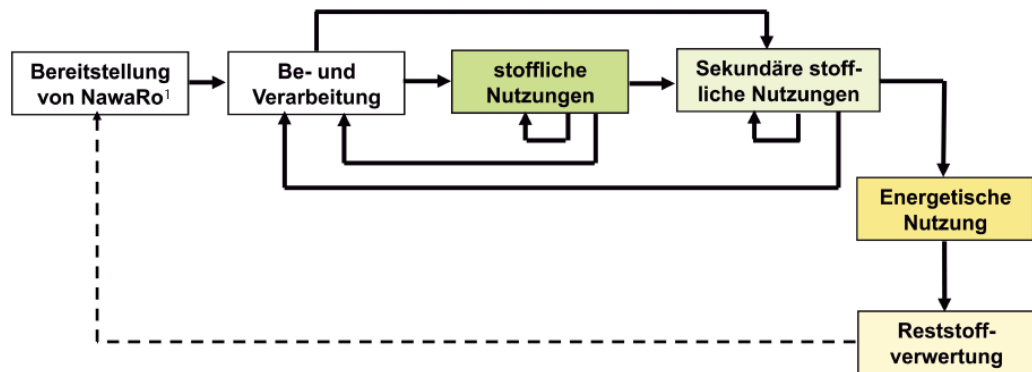
Handlungsfeld „Kaskadennutzungen“

Einen Weg in eine effizientere Form der Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann die Kaskadennutzung beinhalten. Kaskadennutzung bedeutet vereinfacht, dass ein nachwachsender Rohstoff zunächst (mehrfach) stofflich und dann erst energetisch genutzt wird. Dadurch wird der Kohlenstoff, z. B. in einem Holzwerkstoffprodukt in einer ersten Phase über eine längere Zeit gebunden und erst anschließend als Abfallholz über eine energetische Verwertung zur Substitution fossiler Energieträger eingesetzt. Damit wird tendenziell eine optimierte Klimaschutzwirkung erzielt.

Ein möglicher Ablauf wird in der nachfolgenden *Abbildung 2* erläutert.

Ansatzpunkte für Kaskadenprozesse lassen sich z. B. im Bereich der stofflich-energetischen Mehrfachnutzung von biogenen Fetten/Ölen, Stärke, Proteine, Cellulose und Holz darstellen. Neben den dabei zu erwartenden – im Vergleich zur reinen energetischen Nutzung – höheren Flächeneffizienzen und Umweltentlastungen bzw. Klimaschutzwirkungen können der Kaskadennutzung tendenziell auch optimierte volkswirtschaftliche Effekte im Sinne verbesserter Beschäftigungspotenziale sowie einer weiter gehenden Unterstützung des ländlichen Raums zugeordnet werden (Arnold et al., 2009). Im Hinblick auf den

Abbildung 2
Kaskadennutzung zur
Erhöhung der
Nutzungseffizienz bei
nachwachsenden
Rohstoffen



Aufbau entsprechender nachhaltiger Strukturen sowie hinsichtlich der Schaffung erforderlicher Anreizinstrumente zur Förderung von Kaskadensystemen fehlt es jedoch derzeit noch an wissenschaftlich belastbaren Daten und Informationen.

Fazit

Die Biomasse wird auch langfristig – gegebenenfalls in einer veränderten Nutzungsform – ein wichtiger Pfeiler der regenerativen Energieversorgung in Deutschland bleiben. Entsprechende Ausbaupotenziale sind im Sinne effizienter Versorgungsstrategien darstellbar. Es geht dabei heute weniger darum, die Biomasse zu mobilisieren, sondern sie verstärkt in effiziente Nutzungspfade zu überführen. Der optimierte Umgang mit Biomasse-Reststoffen sowie die verstärkte Auseinandersetzung mit Kaskadennutzungen sind dabei im Zusammenhang mit einer erhöhten Sensibilisierung hinsichtlich des Flächenverbrauches wichtige Maßnahmen im Rahmen des Aufbaus nachhaltiger Strukturen.

1 NawaRo¹ = Nachwachsende Rohstoffe

Energieeffizientes und solares Bauen für eine nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden

1. Bedeutung der energetischen Gebäudesanierung und des energieeffizienten Bauens

„Die Szenarien belegen, die energetische Sanierung des Gebäudebestands ist der zentrale Schlüssel zur Modernisierung der Energieversorgung und zum Erreichen der Klimaschutzziele“ so die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept vom 28. September 2010 [1]. Kenntnisse aus der Wissenschaft, wie z. B. aus 1992 „*Wer den Gebäudebestand vergißt, kann alle Energiesparziele vergessen*“ [2] haben sich mittlerweile auch in den Medien durchgesetzt und werden von der Politik übernommen.

Zur Sanierung des Gebäudebestands stehen zahlreiche, erprobte Mittel zur Verfügung. In zahlreichen Demonstrationsprojekten von *EnSan*, ein Forschungsprojekt des Bundesministeriums für

Wirtschaft und Technologie, werden Muster-sanierungen für verschiedene Gebäudetypen entwickelt und erprobt [3]. Die Deutsche Energieagentur (dena) führte den Wettbewerb „*Niedrigenergiehaus im Bestand*“ durch und die Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung (GRE) gab mittlerweile die 6. überarbeitete Auflage ihrer Broschüre „*Energieeinsparung im Wohngebäudebestand*“ [4] heraus.

Dennoch entspricht die Sanierungsquote nicht den Erfordernissen, da zahlreiche Hemmnisse dagegenstehen [5]. Bei der Festlegung der Wege, wie der Gebäudebestand intensiver energetisch saniert werden kann, herrscht Unklarheit, wenn nicht gar Konfusion. Deshalb ist es wichtig, dass gerade jetzt die richtigen Weichenstellungen erfolgen.

Prof. Dr. Gerd Hauser
Fraunhofer IBP

gerd.hauser@
ibp.fraunhofer.de

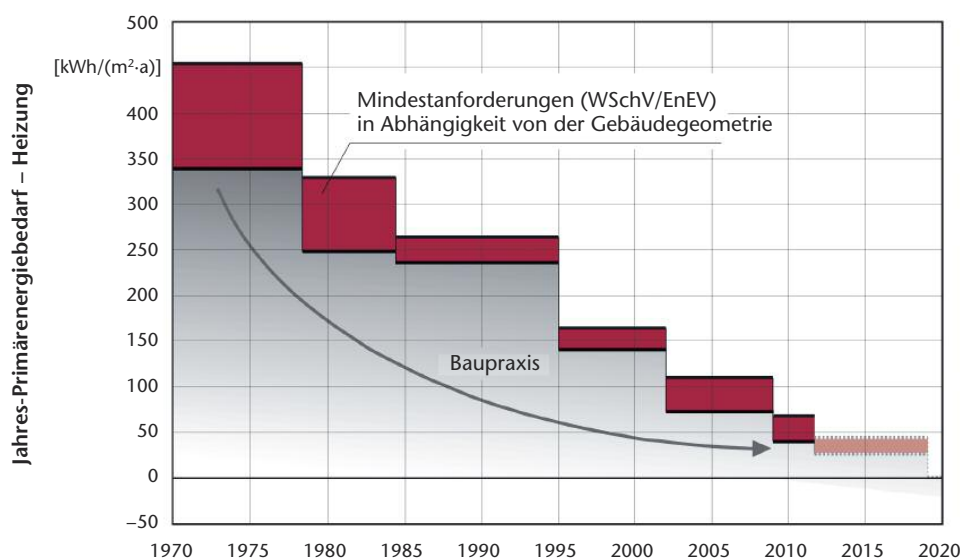


Abbildung 1
Entwicklung der Mindestanforderungen zum energieeffizienten Bauen in Deutschland. Darstellung des Jahresprimärenergiebedarfs Heizung für Wohngebäude.

2. Gebäude als „Minikraftwerke“

Knapp 40 % des gesamten Endenergieverbrauchs werden in Deutschland für die Konditionierung von Gebäuden – Heizen, Kühlen, Warmwasserbereiten, Kunstlicht, Lüftung – verbraucht. Selbstverständlich unterliegt dieser Endenergieverbrauch jährlichen Schwankungen, die durch wechselnde meteorologische Randbedingungen aber auch die Wirkung öffentlich-rechtlicher Anforderungen entstehen. So ist von 1990 bis 1996 ein kontinuierlicher Verbrauchsanstieg zu beobachten und seit 1997 ein sinkender Energieverbrauch in Wohngebäuden [5].

Die Wirkungen der öffentlich-rechtlichen Anforderungen an das energiesparende Bauen sind in *Abbildung 1* verdeutlicht. In den Jahren ab 1977 bis heute wurden Anforderungen an den energiesparenden Mindestwärmeschutz gestellt und immer wieder verschärft. Die roten Felder markieren den Einfluss der Gebäudegröße und Form.

Entsprechend der EU-RICHTLINIE 2010 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung) vom 7. April 2010 gilt gemäß

Artikel 9

Niedrigstenergiegebäude

(1) Die Mitgliedstaaten gewährleisten, dass
a) bis 31. Dezember 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude sind und
b) nach dem 31. Dezember 2018 neue Gebäude, die von Behörden als Eigentümer genutzt werden, Niedrigstenergiegebäude sind.

Es ist deshalb zu erwarten, dass künftige Neubauten von Wohn- und Bürogebäuden, Schulen und vergleichbaren Gebäuden ab ca. 2020 generell Plusenergiehäuser (Minikraftwerke) sein werden. Plusenergiehäuser sind Gebäude mit einer ausgezeigten Energieeffizienz und integrierten Systemen zur Gewinnung erneuerbarer Energie, die im Jahresdurchschnitt weniger Endenergie verbrauchen als sie erzeugen. Die in diesem Zusammenhang häufig gewählte Definition auf Basis des Jahres-Primärenergiebedarfs erscheint wenig sinnvoll, weil sich dieses Ziel über die Verwendung entsprechender Energieträger relativ leicht erreichen ließe.

Diese Prognose stützt sich auch auf die Erkenntnis, dass es mittlerweile realisierbar ist, derartige Gebäude zu erstellen wie der Sieger des Solar Decathlon Wettbewerbs 2007 und auch 1999, die Technische Universität Darmstadt, Prof. Hegger, belegen. Dabei werden keineswegs exotische Techniken oder Gebäudeformen realisiert, vielmehr ist es eine Umsetzung der vorhandenen Kenntnisse in einen Gebäudeentwurf, aufbauend auf bestehenden und bewährten Systemen. So

Abbildung 2
 Solar Decathlon Sieger 2007 der Technischen Universität Darmstadt, Prof. Hegger, mit Angabe technischer Kennwerte



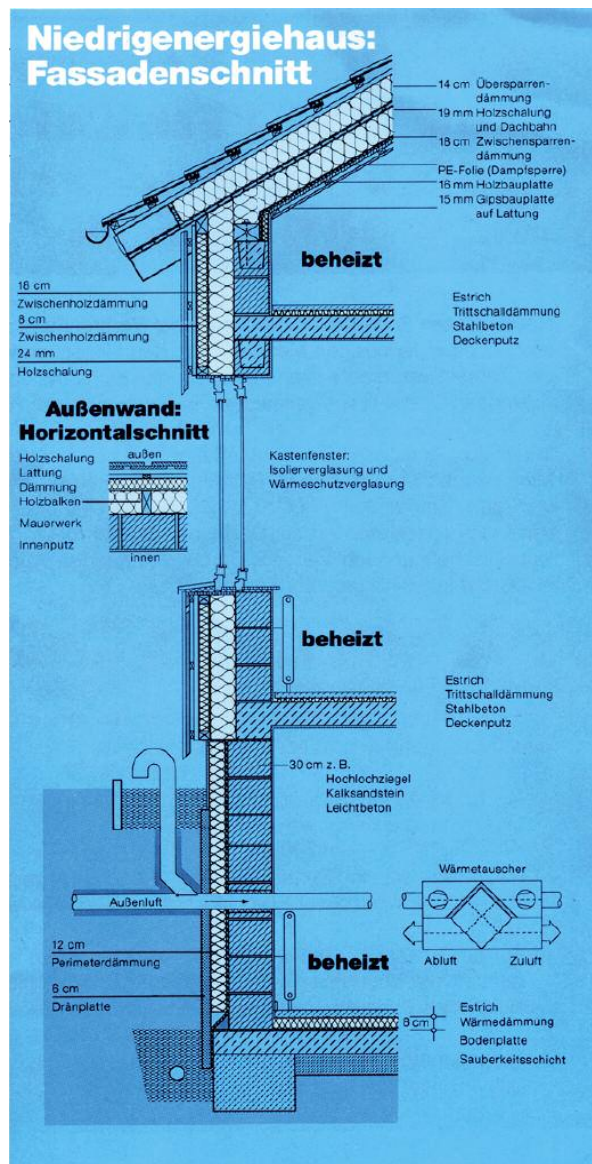


Abbildung 3
Titelseite des
Merkblattes
„Das Niedrigenergie-
haus“ der Gesellschaft
für Rationelle Energie-
verwendung (GRE) aus
dem Jahre 1990 [7]

wurden z. B. die entsprechenden wärmeschutz-technischen Kennwerte in einer ähnlichen Form bereits 1990 von der Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung in einem Merkblatt über Konstruktionsdetails dargestellt, wie *Abbildung 3* zeigt.

Um die Einführung und die Verbreitung derartiger Gebäude stärker zu forcieren, hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) einen offenen, interdisziplinären Planungswettbewerb „Plusenergiehaus mit E-Mobilität“ für Hochschulen in Zusammenarbeit mit Planungsbüros am 25. 8. 2010 ausgeschrieben, der mittlerweile auch durchgeführt ist [8].

Es ist zu erwarten, dass bereits deutlich vor der gesetzten Ziellinie 2020 zahlreiche Plusenergiehäuser entstehen und die Verbindung zur Elektromobilität dokumentieren werden. Somit wird der Neubausektor künftig eine Entlastung der Klimaproblematik darstellen und es gilt, den Schwerpunkt der Betrachtung auf den Gebäudebestand zu legen.

3. Gebäudebestand

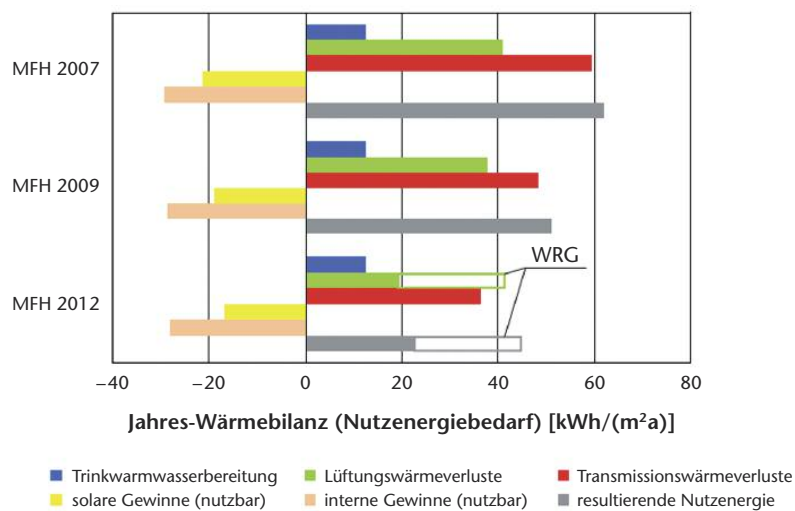
Zur Energieeffizienzsteigerung stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung. Die kostengünstigste und theoretisch am schnellsten umzusetzende ist die Änderung des Bewusstseins der Nutzer. Die in zahlreichen südlichen Ländern anzutreffenden „Kühlboxen“ an jedem Fenster mögen über eine hohe technische Effizienz verfügen, würden aber häufig durch Verwendung von Sonnenschutzvorrichtungen überflüssig gemacht werden. Das Bewusstsein für die Zusammenhänge ist häufig nicht vorhanden. Dennoch ist der Umfang der getätigten Modernisierungsmaßnahmen zu gering, um die für den Klimaschutz notwendigen Einsparziele zu realisieren.

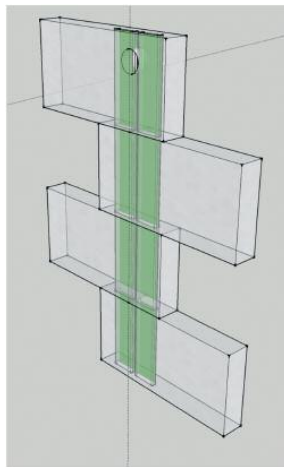
Als Mittel zur Steigerung der Sanierungsquote sind

- öffentlich-rechtliche Anforderungen, Energieeinsparverordnung (EnEV), zu nennen, die unbedingt 2012 einer weiteren Überarbeitung bedarf,
- Förder- und Anreizprogramme zu fordern. Bewusst wird hier zwischen Förder- und Anreizprogrammen unterschieden, da auch die Wiederbelebung des „§ 82 a“ der Einkommensteuer-Durchführungsverordnung 2000 eine Möglichkeit darstellt, relativ große Investitionssummen bereitzustellen.

- Aufklärung
Hierzu zählen zahlreiche Aktivitäten, wie unter anderem z. B. die mittlerweile 6. Auflage der Broschüre der Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung (GRE) „Energieeinsparung im Wohngebäudebestand“ [4] oder die dena-Broschüren aus dem Bereich Energieeffiziente Gebäude, so z. B. „Modernisierungsratgeber Energie“ [9]
- Demonstrationsprojekte,
die zur Veranschaulichung der Machbarkeit der einzelnen Maßnahmen unschätzbaren Wert aufweisen und in großem Umfang durch das EnSan-Projekt des Bundeswirtschaftsministeriums angestoßen wurden
- Technische Innovationen
Dieser Aspekt wird meist zu wenig beachtet, da häufig argumentiert wird, dass die entsprechenden Techniken zur Modernisierung bzw. Sanierung von Gebäuden in ausreichendem Maße und erprobt zur Verfügung stünden. Dies trifft zwar zu, andererseits sind diese Techniken häufig zu kostenintensiv, so dass durchaus durch Innovationen der Kostendruck und damit die Sanierungsbereitschaft gestärkt werden könnte. Diesem Bereich wird generell zu wenig Beachtung geschenkt. Dies gilt nicht nur für den Bereich der Gebäudesanierung sondern, wie in [10] dargelegt wird, generell für die Lösung der Problematik Klimawandel

Abbildung 4
Jahres-Wärmebilanz der Nutzenergie eines Mehrfamilienhauses (MFH) für unterschiedliche Anforderungsniveaus
WRG = Wärmerückgewinnung





Lüftungskanäle

- Die Dämmelemente bilden bei der Installation von „rechten“ und „linken“ Elementen den vertikalen Lüftungskanal an der Außenwand.
- Mit Hilfe von Kernbohrungen werden die Zu- und Abluftkanäle an die Räume angebunden.
- Die Anbindung an ein Zentrallüftungsgerät wird über Sammelleitungen im Sockelbereich eines Gebäudes hergestellt.

*Abbildung 5
Darstellung der in die
Außendämmung inte-
grierten Lüftungskanäle
einer Lüftungsanlage
mit Wärmerückgewin-
nung (WRG)*

und Energieverknappung. Zwei Beispiele für mögliche Innovationen im Bereich Gebäude werden im folgenden dargestellt:

In den Entscheidungsprozess einer möglichen energetischen Gebäudesanierung sollte stets mit einbezogen werden, dass im Gegensatz zu anderen Energieverbrauchssektoren durch bauliche Heizenergieeinsparmaßnahmen zusätzlich weitere positive Effekte erzielt werden. Dabei sind insbesondere die Steigerung der thermischen Behaglichkeit in Gebäuden im Winter aber auch im Sommer zu nennen. Darüber hinaus sind in zahlreichen Fällen Modernisierungsmaßnahmen die Voraussetzung für eine weitere Bausubstanz-erhaltung und damit Werterhaltung. Diese Werterhaltung lässt sich über die üblicherweise vorgenommenen Amortisationsrechnungen nicht erfassen.

3.1 Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Bestand

Mit zunehmender Verminderung der Transmissionswärmeverluste über Wärmedämmmaßnahmen bei opaken und transparenten Bauteilen gewinnen die Lüftungswärmeverluste eine immer größere Bedeutung, da sie prozentual einen immer größeren Wert annehmen. *Abbildung 4* veranschaulicht dies anhand eines Mehrfamilienhauses, welches exakt den Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2007 und 2009 und der erwarteten Werte 2012 entspricht. Es wird deutlich, dass die Lüftungswärmeverluste im Verhältnis zu den Transmissionswärmeverlusten

ansteigen und diese in 2012 sogar überragen würden, falls nicht eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz käme. Eine solche Technik ist für die Referenzgebäude zur Fixierung des Anforderungsniveaus von Neubauten auch im Wohnungsbau ab 2012 vorgesehen. Das Potential auf die resultierende Nutzenergie verdeutlicht die Notwendigkeit eines solchen Schrittes. Bei Passivhäusern ist dieser Schritt seit Jahrzehnten vollzogen.

Bei Sanierungsarbeiten im Gebäudebestand ist die Realisierung einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bislang beinahe unmöglich, da die zahlreichen Durchbrüche durch Wände und Decken das Gebäude nahezu in den Rohbauzustand verlagern und eine Nutzung während dieser Zeit so gut wie ausgeschlossen ist. Durch ein innovatives Konzept, das vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelt wurde und derzeit an einem ersten Objekt, einem Zweifamilienhaus, detailliert untersucht wird, lassen sich auch im Gebäudebestand Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung realisieren, indem die Lüftungskanäle in die Dämmung integriert werden, wie *Abbildung 5* zeigt. Hierdurch lassen sich die Investitionskosten für eine derartige Anlage extrem mindern und eine sehr flexible Anpassung an die Gegebenheiten aber auch Wünsche der Nutzer ist möglich.

Abbildung 6
Schematische Darstellung der Anordnung der Streifenabsorber in die Geschossdecke und Darstellung des Schallabsorptionsgrades in Abhängigkeit von der Frequenz

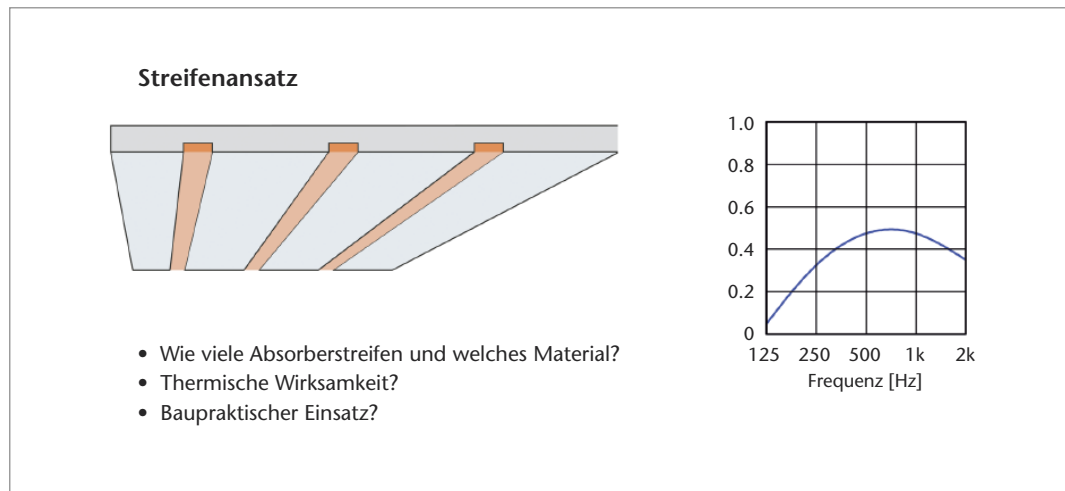


Tabelle 1
Flächenspezifischer Nutzungsgrad verschiedener erneuerbarer Energieträger [12] bei durchschnittlicher solarer Einstrahlung 1000 kWh/(m²a), und einer Flächenbelegung von PV 50 %

	flächenspezifischer Nutzungsgrad in Prozent von 1000 kWh/m ² a	flächenspezifischer Nutzungsgrad elektrisch	Herstellungs-/Produktionsaufwand pro kWh gewonnener Energie
Rapsöl/Biodiesel	0,11 % (1,1 kWh)		> 50 %
Biogas ¹⁾	0,46 % (4,6 kWh)	0,17 % (1,7 kWh)	25–50 % ²⁾
Bioethanol	0,18 % (1,8 kWh)		80–90 %
Btl-Diesel, Ft-Diesel	0,23 % (2,3 kWh)		> 50 %
PV-monokristallin	7–9 % (7–9 kWh)	7–9 % (7–9 kWh)	ca. 14–20 %
PV-Dünnschicht	3–5 % (3–5 kWh)	3–5 % (3–5 kWh)	ca. 5–10 %
Windkraft onshore	ca. 5 % (5 kWh)	ca. 5 % (5 kWh)	ca. 2 %

1) In [Scheffer, Konrad: Vom Bioenergiedorf zur autonomen Solarenergie-Region. In: Solarzeitalter 4/2008: 23–30] wird ein Konzept zur Biomasse-Nutzung mit höheren (insbesondere thermisch verwertbaren) Erträgen beschrieben;

2) Der Herstellungs-/Produktionsaufwand hängt bei Biogasanlagen entscheidend vom Nutzungsgrad der Abwärme ab.

Quelle: Lücking, R.-M.; Hauser, G.: Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden. In: TAB, 10/2009, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S. 62–66

3.2 Gute Raumakustik trotz thermischer Bauteilaktivierung

Im Büro- und Verwaltungsbau hat die thermische Bauteilaktivierung in Form einer Betonkernaktivierung der Geschossdecke einen großen Marktanteil errungen, weil mit dieser Technik sehr komfortabel gute Raumklimazustände herzustellen sind. Diese Flächen müssen funktionsgemäß im thermischen Kontakt mit dem Raum stehen und dürfen nicht durch die für die Raumakustik erforderlichen Absorptionsmaterialien abgedeckt werden. Deshalb gibt es stets einen Konflikt zwischen raumakustischen Maßnahmen und Maßnahmen zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit bzw. des Energieverbrauchs. Die Einbettung des vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten Streifenabsorbers, wie in

Abbildung 6 wiedergegeben, ermöglicht einen hohen Schallabsorptionsgrad und damit eine deutliche Verminderung der Nachhallzeit im Raum ohne die beschriebenen Nachteile der Deaktivierung der Geschossdecke.

Derartige, limitierende Faktoren für Energieeffizienz-Konzepte können mittels Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauen, wie sie in [11] beschrieben sind quantifiziert und dokumentiert werden.

4. Energieversorgung der Gebäude

Die Konditionierung von Gebäuden wird künftig im Neubaubereich überwiegend über strombasierte Systeme erfolgen, da der Anschluss mit Strom ohnehin erforderlich ist, allein schon aus Gründen der Einspeisung des am Gebäude gewonnen Überschussstroms in das Netz. Auch beim Vergleich der Effizienz der einzelnen erneuerbaren Energieformen erweisen sich stromgetragene Systeme wie Photovoltaik als am Günstigsten wie in [12] bereits dargelegt wurde. Die wesentlichen Ergebnisse sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Hier wird gezeigt, dass nicht nur der flächenspezifische Nutzungsgrad gering ist, sondern dass bis auf Biogas mehr als die Hälfte der gewonnenen Energie in den Herstellungs- und Produktionsprozess gesteckt werden muss.

Im Gebäudebestand bei noch relativ hohem Heizenergiebedarf erscheint der Einsatz von Wärmepumpen für die Bereitstellung der Heizwärme und des Warmwassers am sinnvollsten, wobei möglichst als Energiequelle das Erdreich herangezogen werden sollte. Auch im Gebäudebestand erscheinen Technologien zur Anzapfung des Erdreichs, gegebenenfalls sogar durch die Bodenplatte eines mehrgeschossigen Hauses, machbar.

Bei strombetriebenen Wärmepumpen kann ein Großteil des am Gebäude erzielten Stroms auch für den Antrieb der Wärmepumpe genutzt werden. Bei fehlendem selbstproduziertem Strom muss auf das Netz zurückgegriffen werden. Im Netz entsteht die Problematik, dass generell sehr instationär große Mengen an durch erneuerbare Energien erzeugtem Strom eingespeist werden, die nicht synchron verlaufen mit dem Verbrauch. Die Gestaltung des Netzes und die Frage der Speicherung von elektrischer Energie rückt damit in den Vordergrund.

5. Gebäude als „Energiespeicher“

Der zuvor aufgeworfenen Fragestellung wie kurzfristig auftretende große Strommengen am sinnvollsten zu speichern wären, da sie mit der Nachfrage nicht synchron laufen, versucht man

entweder mit sehr überregionalen Netzen, mit chemischen Speichern oder Pumpwasserspeichern zu begegnen, die aufwendig und kostenintensiv sind. Dabei blieb bislang das Gebäude ohne Beachtung. Würde man jedoch die zuvor beschriebenen, elektrisch betriebenen Wärmepumpen heranziehen, um bei einem hohen Stromangebot Gebäude im Winter etwas aufzuheizen bzw. im Sommer etwas abzukühlen, können kurzfristig sehr große Energiemengen untergebracht und somit in Form thermischer Energie gespeichert werden. Um sich einen Überblick über die damit verbundene Größenordnung zu verschaffen, sei der Wohngebäudebestand betrachtet bei dem auf die Wohnfläche bezogen rund $320 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ Wärmespeicher vorliegen. Bei einer Gesamtwohnfläche in Deutschland von $3,375 \text{ Mia. m}^2$ ergäbe sich ein Speicher, der bei einer Temperaturänderung von einem Kelvin 1 TWh aufnehmen könnte. Somit liegt ein riesiges Potential vor und die Gebäude würden künftig nicht mehr nur als Energieerzeuger (Minikraftwerke) sondern auch als Energiespeicher einen großen Beitrag zur Lösung unserer Energieprobleme leisten können.

6. Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin, 28. Sept. 2010
- [2] Hauser, G.: Wer den Gebäudebestand vergißt, kann alle Energiesparziele vergessen; *Isoliertechnik* 18 (1992), H 5, S. 37. *Umwelt & Energie-Report* 14 (1993), Nr. 10/11, S. 30.
- [3] Reiß, J., Erhorn, H. und Reiber, M.: *Energetisch sanierte Wohngebäude*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002.
- [4] Hauser, G., Höttges, K., Lüking, R.-M., Maas, A. und Stiegel, H.: *Energieeinsparung im Wohngebäudebestand*. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung, Berlin, 6. überarbeitete Auflage (2010).

- [5] Friedrich, M., Becker, D., Grondey, A., Laskowski, F., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Hauser, G., Sager, Ch. und Weber, H: CO₂ Gebäudereport 2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin 2007.
- [6] Hegger, M.: Sonnige Zeiten – Solar Decathlon Haus Team Deutschland. Verlag Müller + Busmann KG, Wuppertal 2008
- [7] Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung (GRE), Merkblatt „Das Niedrigenergiehaus“, 1990.
- [8] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. „Plusenergiehaus mit E-Mobilität“, Auslobungstext BMVBS, 25. 8. 2010.
- [9] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Modernisierungsratgeber Energie – Kosten sparen – Wohnwert steigern – Umwelt schonen. 4. überarbeitete Auflage, Berlin 2009
- [10] Kübler, K.: Leserbrief „Vom Ende der Steinzeit und des fossilen Zeitalters“ FAZ, 2.1. 2010
- [11] Ebert, Thilo; Eßig, Natalie; Hauser, Gerd: Zertifizierungssysteme für Gebäude – Nachhaltigkeit bewerten Internationaler Systemvergleich Zertifizierung und Ökonomie. München: Detail-Verlag, 2010.
- [12] Lüking, R.-M. und Hauser, G.: Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden. TAB 40 (2009), H.10, S. 62–66.

Das Technologienentwicklungspotenzial für die Nutzung der Solarwärme

Markt und Perspektiven

Die Solarthermie¹ zur Trinkwassererwärmung, Raumheizung und Prozesswärmebereitstellung wird schon seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts in Deutschland genutzt. Seit 1990 hat sie zwar einen deutlichen Aufschwung erfahren, doch trägt sie nur zu 0,4 % zur Wärmeversorgung bei. Ein Grund für ihre bislang bescheidene Rolle ist ihre vergleichsweise langsame technologische Entwicklung in den letzten Jahrzehnten, die auf einer deutlichen Unterschätzung ihres großen technologischen Entwicklungspotenzials beruht. Dass die Erschließung dieses Potenzials dringend erforderlich ist, belegen die folgenden Daten.

54 Prozent des Endenergiebedarfs in Deutschland entfällt auf Wärmeanwendungen, 5,0 % auf Warmwasser, 26,1 % auf Raumwärme und 23,1 % auf sonstige Prozesswärme. Um bis zum Jahr 2050 insgesamt 60 % des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien zu decken, wie es die Bundesregierung im Energiekonzept 2050 anstrebt, muss der Wärmebereich einen deutlichen Teil beisteuern [1]. Im Jahr 2009 betrug der Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung 8,8 %. Bis zum Jahr 2020 will die Bundesregierung den Anteil auf 14 % steigern. Der Anteil der oberflächennahe Geothermie einschließlich Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Solar/Wasser-Wärmepumpen an der Wärmeversorgung betrug 0,4 %, ebenso viel wie der Anteil der Solarthermie. Den größten Anteil steuerte die Biomasse mit ca. 8 % bei, einschließlich 0,8 % Klärgas, Deponiegas und biogener Anteil des Abfalls.

In den kommenden Jahrzehnten wird der Wärmebedarf deutlich sinken aufgrund der energetischen Sanierung des Gebäudebestands. Die Bundesregierung geht von einer Halbierung des gesamten Primärenergiebedarfs bis zum Jahr 2050 aus. Dies wird von Experten auch für den Wärmebereich angenommen. Somit besteht ein großer Bedarf an Lösungen zur Deckung des verbleibenden Wärmebedarfs mit erneuerbaren Energien. Der FVEE erwartet in seinem Energiekonzept [2], das

100% erneuerbare Energien bis zum Jahr 2050 vorsieht, dass neue Biomasse vor allem zur stoffliche Verwertung verwendet wird und nur Biomasse-Reststoffe zur Energieversorgung zur Verfügung stehen werden [2]. Die Wärmeversorgung wird sich deshalb zusammensetzen aus Solarwärme, aus Kraft-Wärme-Kopplung angetrieben mit Biogas, Wasserstoff oder Methan, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden, und aus Wärmepumpen, die mit erneuerbar erzeugtem Strom angetrieben werden.

Wie groß die Marktpotenziale der Solarwärme sind, hat die Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP ermittelt. In ihrer Vision geht sie davon aus, dass sie im Jahr 2050 einen Anteil von 50 % an der Deckung des bis dahin verbleibenden Bedarfs haben wird [3]. Die DSTTP ist ein Zusammenschluss von Solarthermie-Experten aus Forschung und Industrie, der gemeinsam mit der Politik und den Forschungsförderstellen die Technologieentwicklung der Solarwärme beschleunigen möchte. Sie wird vom Bundesumweltministerium und dem Projektträger Jülich im Rahmen des Projektes TechnoSol gefördert.

Die Vision der DSTTP sieht im Neubau das Solar-Aktivhaus vor, das zu 100 % mit Solarwärme beheizt wird und das zum Baustandard werden soll. Im Gebäudebestand soll die solare Modernisierung, bei der die Gebäude eine Hülle aus Wärmedämmung, Solarthermiekollektoren und Photovoltaikmodulen in Dach und Fassade erhalten und damit einen sehr niedrigen Heizenergiebedarf aufweisen, zur kostengünstigsten und damit attraktivsten Art der Gebäudesanierung werden. In diesen energetisch modernisierten Gebäuden soll der Anteil der Solarwärme an der Wärmebereitstellung über 50 % betragen.

Für verdichtete Wohn- und Gewerbegebiete werden vielfach mit Solarwärme versorgte Nahwärmanlagen genutzt werden. Mit einem großen saisonalen Wasserspeicher lässt sich die im Sommer gewonnene Solarwärme im Winterhalbjahr zur Raumheizung nutzen. Für viele gewerbliche,



Gerhard Stryi-Hipp
Fraunhofer ISE

gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

Gunter Rockendorf
ISFH

g.rockendorf@isfh.de

Manfred Reuß
ZAE Bayern

reuss@muc.zae-bayern.de

Abbildung 1
Von der Trinkwassererwärmung zum Solaraktivhaus

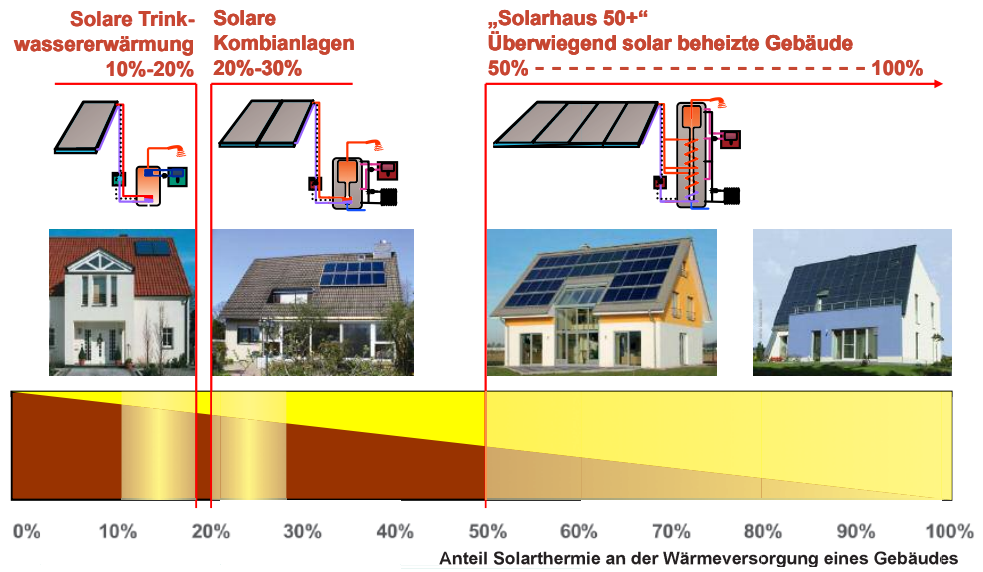
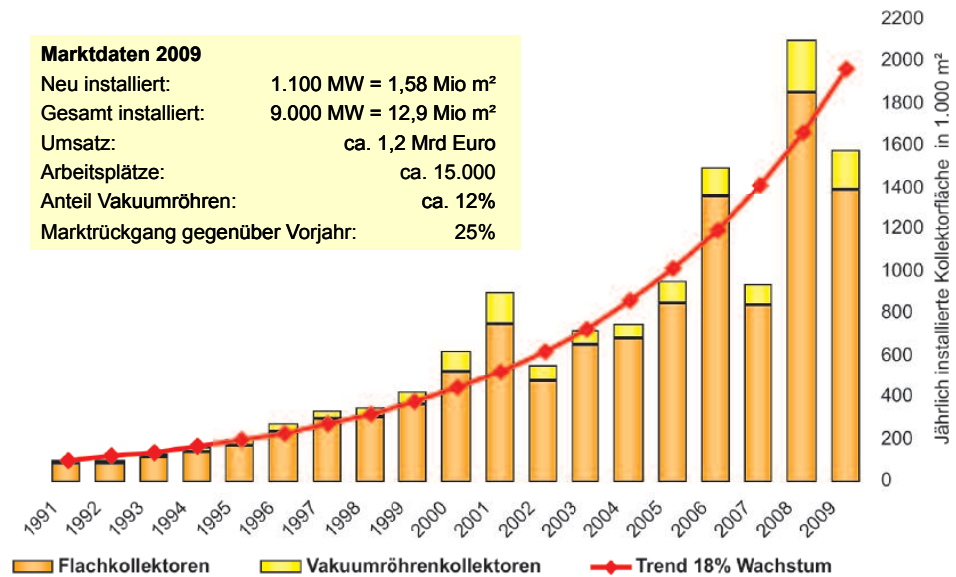


Abbildung 2
Entwicklung des deutschen Solarwärmemarkts



industrielle und landwirtschaftliche Prozesse kann die Solarthermie die benötigte Wärme kostengünstig zur Verfügung stellen und mit solarthermisch angetriebenen Kühlmaschinen lässt sich ein Teil des steigenden Kühlbedarfs in Deutschland decken. In Kombination aller Anwendungen wird erwartet, dass der Gesamtwärmebedarf zu 50% mit Solarthermie gedeckt werden kann.

Um diese Vision zu realisieren, muss der Solarthermiemarkt stark ausgebaut werden. Im Jahr 2009 wurden 1,6 Mio m² Solarkollektoren mit einer thermischen Leistung von 1,1 GW neu installiert. Insgesamt sind in Deutschland 12,9 Mio m² Solarkollektoren mit einer thermischen Leistung von 9 GW installiert. Die Kollektorfläche wird nach Ansicht der DSTTP bis 2020 auf 80 Mio m² und bis 2050 auf 400 Mio m² ansteigen, um dann 50% am Wärmebedarf zu decken.

Strategien zum Marktausbau

Um den beabsichtigten Marktausbau zu bewerkstelligen, bedarf es mehr als die Weiterentwicklung und Multiplizierung der aktuellen Anlagentechnik. Derzeit besteht der Markt zu über 90 % aus Solarthermieanlagen zur Trinkwassererwärmung und aus Kombianlagen, die im Ein- und Zweifamilienhausbereich eingesetzt werden. Kombianlagen erwärmen das Trinkwasser und tragen zusätzlich zur Raumheizung bei. Zum gezielten Marktaufbau sind deshalb folgende vier Strategien erforderlich:

- Erstens ist die Markteinführung der heute angebotenen Kombianlagen deutlich zu beschleunigen. Auf den Einsatz von Solaranlagen, die nur Trinkwasser erwärmen sollte weitgehend verzichtet werden, da ihr Anteil an der Wärmebereitstellung relativ gering ist. Diese decken zwar ca. 60 % des Energiebedarfs zur Trinkwassererwärmung, allerdings nur 10 % bis 20 % am Gesamtwärmebedarf, je nach Heizenergiebedarf des Gebäudes. Kombianlagen können dagegen bereits bis zu 30 % am Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser und Heizung decken.
- Zweitens ist der solare Deckungsanteil der Solarthermie pro Gebäude deutlich zu steigern. So kann der solare Anteil der Wärmeversorgung eines Gebäudes von heute 20 % bis 30 % in Einfamilien-Solarhäusern im ersten

Schritt auf deutlich über 50 % angehoben werden, wenn ein großer Wärmespeicher mit 6 bis 10 Kubikmeter Wasserinhalt eingebaut und eine Kollektorfläche zwischen 30 und 60 m² installiert wird. Damit lässt sich ein deutlicher Teil der im Sommer gewonnenen solaren Wärme bis zum Winter speichern und dann zur Beheizung verwenden. Schon über 500 solcher Häuser wurden in Deutschland gebaut. Langfristig lässt sich der Solaranteil dann auf 100 % erhöhen.

- Drittens ist die Großanlagentechnik z. B. für Mehrfamilienhäuser, Hotels, Wohnheime und Krankenhäuser sowie in Großanlagen für Nahwärmesysteme weiter zu entwickeln und in der Breite einzuführen. Die Technik ist vorhanden und wird in einer zunehmenden Zahl von Anlagen eingesetzt. Allerdings ist das Know-how noch auf relativ wenige Spezialisten konzentriert, so dass sowohl die Anlagen als auch das Know-how in die Breite geführt werden.
- Viertens müssen neue Anwendungsfelder für die Solarthermie erschlossen werden, in denen bisher nur wenige Pilotanlagen und noch keine breit einsetzbaren Produkte vorhanden sind. Dies ist z. B. der Fall bei solarthermisch angetriebenen Kühlmaschinen, bei Prozesswärmeanlagen für höhere Temperaturen und bei solarthermischen Fassadenanlagen.



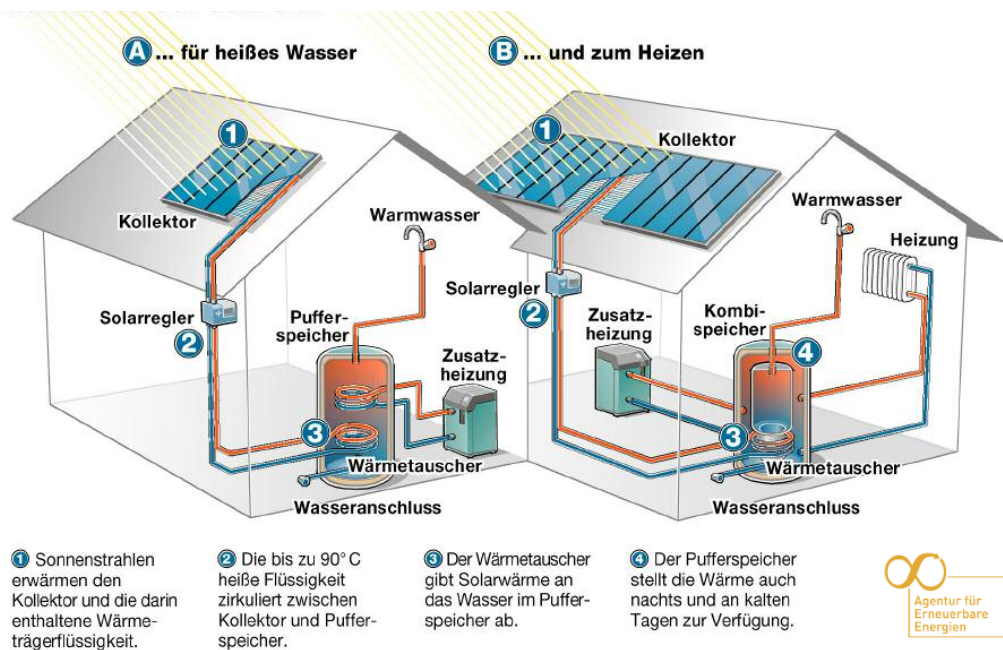
Solarwärmekollektoren
30 m² – 60 m²

Saisonaler Wärmespeicher
(Wasser)
6 – 10 m³

Solaranteil am gesamten
Wärmebedarf für
Brauchwasser und
Raumheizung:
60 % – 70 %

Abbildung 3
Konzept Sonnenhaus

Abbildung 4
Wärme von der Sonne
für Trinkwasser-
erwärmung und
Kombianlagen
Quelle: AEE

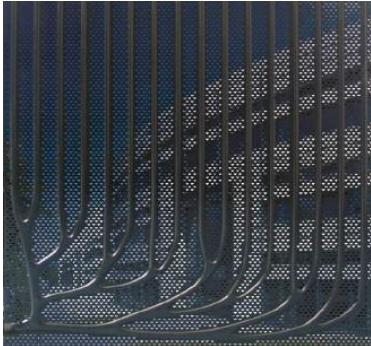


Technologie- Entwicklungspotenziale

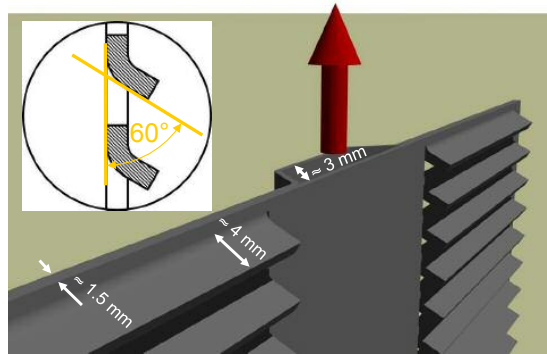
Aus den genannten Aufgabenstellungen leiten sich viele technologischen Entwicklungsziele für die Solarthermie ab:

- Kostenreduktion der Solarkollektoren durch den Einsatz von neuen Materialien und Fertigungsmethoden.
 - Ansprechende architektonische Integration der Solarkollektoren in Dach und Fassade.
 - Entwicklung neuer Kollektortypen zur Prozesswärmeerzeugung über 100 °C.
 - Entwicklung von Solarluftkollektoren und -systemen zur Luftheizung von Gebäuden.
 - Entwicklung leistungsfähiger photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren zur optimalen Nutzung von solargeeigneten Flächen.
 - Optimierung großer Wasserwärmespeicher für die saisonale Speicherung in einzelnen Gebäuden u. a. durch verbesserte Wärmedämmung und Be- und Entladung.
 - Kostenreduktion und Vereinfachung im Bau großer saisonaler Wärmespeicher für solare Nahwärmanlagen.
 - Entwicklung von Speichern mit Phasenwechselmaterialien sowie chemischen Speichern
- mit einer bis zu zehnfach höheren Wärmespeicherkapazität im Vergleich zu Wasser sowie geringen Wärmeverlusten.
 - Erhöhung der Effizienz und der Betriebssicherheit der Solaranlagen sowie Kostenreduktion durch Weiterentwicklung der Systemtechnik. Hierzu gehört auch die bessere Abstimmung und Zusammenführung mit der konventionellen Heiztechnik.
 - Optimierte Steuerung und Überwachung des Anlagenbetriebs durch Weiterentwicklung der Regelungs- und Überwachungstechnik, beispielsweise unter Einbeziehung der Wettervorhersage. Dazu werden die Anlagen auch vernetzt und können per Fernwartung gewartet werden.
 - Optimierung von Solarhäusern mit mehr als 50 % solarer Beheizung.
 - Optimierung von Hybridsystemen von Solarkollektoren und Wärmepumpen.
 - Entwicklung von kompakten und kostengünstigen solarthermischen Kühlmaschinen.
 - Entwicklung von multifunktionellen Fassaden mit integrierten solarthermischen Kollektoren zur energetischen Sanierung von Gebäuden.
 - Entwicklung von einfachen Planungstools für Planer und Installateure.

- Öffnungen im Absorberblech
- Einbau zwischen Glasscheiben
- Winkelselektiver Sonnenschutz
- Durchsicht schräg nach unten



Visueller Eindruck (Montage)



- Konstruktion (Geometrie der Öffnungen)
- Simulation (IAM-Bestimmung durch Raytracing)
- Messung (Kollektorwirkungsgradfaktor F' , Wirkungsgradkennlinie, Stagnationsverhalten)

Abbildung 5
Multifunktionale Fassadenkollektoren am Beispiel eines teiltransparenten Fassadenkollektors

Quelle: Fraunhofer ISE

Projektbeispiele

Einige der Aufgabenstellungen werden bereits in Projekten bearbeitet. Projekte aus dem Fraunhofer ISE, dem ISFH und dem ZAE Bayern werden im Folgenden vorgestellt:

- Im Bereich Kollektorentwicklung wurde ein optimierter Aluminium-Rollbondabsorber mit Fractherm-Design zur Reduzierung des Druckverlusts und Vergleichmäßigung der Durchströmung von Solarabsorbern entwickelt.
- Multifunktionale Fassadenelemente für Bürogebäude mit integrierten, teiltransparenten

solarthermischen Kollektoren befinden sich in der Entwicklung.

- Ein Prozesswärme-Flachkollektor mit zweiter transparenter Abdeckung und einem festen Spiegel zur Produktion erhöhter Temperaturen befindet sich in der Pilotphase.
- Ein evakuierter Prozesswärme-Flachkollektor mit integrierten CPC-Spiegeln wurde entwickelt.
- Direktlamination von PV-Solarzellen auf den Absorber und eine reine Folienabdeckung der Solarzellen sind neue Ansätze im Aufbau von photovoltaisch-thermischen Hybridkollektoren (PVT), auf deren Basis ein effizienter PVT-Kollektor entwickelt wird.

Prozesswärme

1/3 des industriellen Prozesswärmebedarfs $T < 200^\circ\text{C}$
Ziel: $h = 50\%$ bei 150°C

Evakuierter CPC Flachkollektor

- Strahlungskonzentration
- Verlustminimierung durch Evakuieren und Kryptonfüllung (0,01 bar)

Zukunft:

- Entwicklung zur Produktionsreife
- superisolierter Wärmespeicher



Abbildung 6
Kollektor für solare Prozesswärme

Quelle: ZAE Bayern

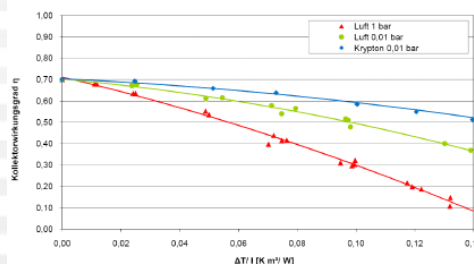
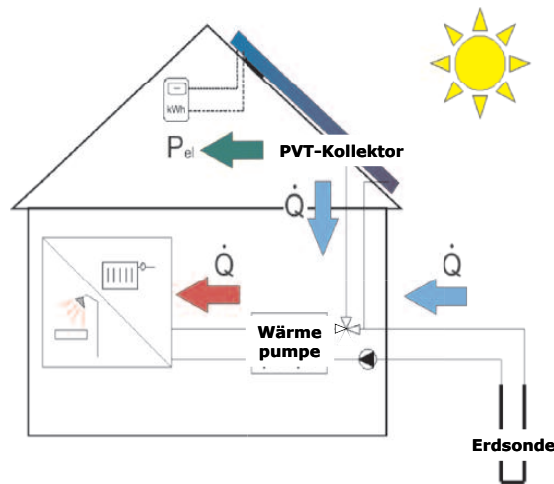


Abbildung 7
PVT-Kollektoren
in Wärmepumpen-
systemen
Quelle: ISFH



Synergieeffekte

- Höhere Wärmepumpen-Quellentemperatur
- Kühlung der PV-Zellen
- Pilotanlage Dreieich:
4 % höherer PV-Ertrag
10 % geringer WP-Bedarf

Abbildung 8
Wärmespeicher –
Grundlagenforschung
erforderlich
Quellen: ZAE Bayern, ISFH,
Fraunhofer ISE

**Ziel: Verachtfachung der
Wärmeenergiedichte im Speicher**

Sensible Wärme: $\approx 70 \text{ kWh/m}^3$
(delta T = 70 K)
Latentwärme (PCM): 150 - 300 kWh/m³
Thermo-Chemisch: $\approx 650 \text{ kWh/m}^3$

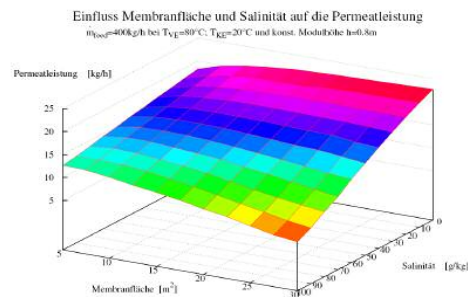
Forschungsaufgaben

- Optimierung Wärmefluss
- Bewertung chemische Speicher
- Klassifizierung Speichersysteme
- Implementierung Simulationswerkzeuge
- ...

Basic Research - New Materials



Abbildung 9
Solare Meerwasserent-
sorgung mit Membran-
destillation: EU-Projekt
Mediras
Quelle: Fraunhofer ISE



Optimierung der Modulkonfiguration, (z.B. Salinität, Membranfläche und Permeat)

Parallel verschaltete MD-Module zur Meerwasserentsalzung

- Entwicklung und Optimierung der Membrandestillationsmodule
- Entwicklung und Umsetzung einer (solar-)thermisch getriebenen Wasseraufbereitungsanlage
- Einbindung von direkt mit Sole beschickte solarthermischen Kollektoren

- Die Entwicklung eines PVT-Kollektor/Wärmepumpensystems mit einfach verglastem PVT-Kollektor und einer Erdsonde erhöht den Wirkungsgrad des PV-Moduls als auch der Wärmepumpe.
- Ein Controller zur Ertragsüberwachung von solarthermischen Anlagen, der den tatsächlichen Solarertrag mit einem errechneten Erwartungswert vergleicht, ist mittlerweile auf dem Markt verfügbar.
- In mehreren Forschungsprojekten zu Phasenwechselmaterialien und chemischen Speicherpaaren werden die Grundlagen für die Entwicklung von Wärmespeichern mit erhöhter Wärmedichte gelegt.
- In mehreren Projekten wird die solare Meerwasserentsalzungs-technologie auf Basis der Membrandestillation erprobt und weiter optimiert.

Literatur

- [1] BMWi/BMU, Energiekonzept, Berlin, 28. September 2010
www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=360808.html
- [2] Energiekonzept 2050: „Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien“, 7 Institute des Forschungsverbands Erneuerbare Energien FVEE, Berlin Juni 2010
www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf
- [3] Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP, Solarthermie-Forschungsstrategie, Berlin, Dezember 2010
www.dsttp.de

Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Umstellung unseres Energiesystems auf erneuerbare Energien wird die Solarthermie im Wärmebereich eine wichtige Rolle spielen. Hierzu sind neben einer Verstärkung von Markteinführungsaktivitäten eine Vielzahl von Innovationen und eine deutliche Intensivierung der Forschungsaktivitäten erforderlich. Da das große technologische Entwicklungspotenzial der Niedertemperatur-Solarthermie bislang unterschätzt wurde, befindet sich die Forschungsförderung noch auf einem niedrigen Niveau.

Die Deutsche Solarthermie-Technologieplattform DSTTP hat die Vision, langfristig 50 % des Wärmebedarfs mit Solarwärme zu decken. Welche technologischen Fortschritte zur Realisierung dieses Ziel erforderlich sind, hat sie in der Forschungsstrategie beschrieben, die im Dezember 2010 veröffentlicht wurde [DSTTP2010]. Damit verbunden ist die Aufforderung an die Politik, die Forschungsförderung für die Solarthermie deutlich zu erhöhen und eine Beschleunigung der technologischen Entwicklung zu ermöglichen.

