

Perspektiven von Strom zur Wärmeerzeugung in Niedrigstenergiegebäuden

Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität
Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Jörg Arold

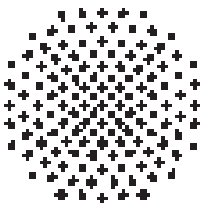
aus Bad Windsheim

Hauptberichter:
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:
Apl. Prof. Dr.-Ing. Klaus Spindler

Tag der Einreichung:
16.01.2014

Tag der mündlichen Prüfung:
16.05.2014



Universität Stuttgart

IGE
2014

Institut für Gebäudeenergetik

Kurzfassung

Um die steigenden Anforderungen an den Energiebedarf zu erfüllen, werden künftig in Einfamilienhäusern häufiger Anlagen zur Stromerzeugung eingesetzt. Hierfür kommen entweder Mikro-BHKWs oder Photovoltaik in Frage. Im ersten Teil dieser Arbeit wird überprüft, ob der Einsatz von Mikro-BHKWs in gut gedämmten Gebäuden sinnvoll ist. Da Mikro-BHKWs aufgrund des geringen Wärmebedarfs dieser Gebäude maximal 2.900 Volllaststunden erreichen, wird die Stromerzeugung mit Photovoltaik-Modulen bevorzugt. Der reduzierte Wärmebedarf des zukünftigen Gebäudebestandes und der langsam aber stetig steigende Anteil erneuerbarer Energieträger im deutschen Strommix macht eine technische Lösung wieder interessant, welche in Deutschland bislang keine Rolle spielt. Nämlich das Heizen direkt mit Strom. Deshalb wird der Energiebedarf eines Typgebäudes zum einem mit einer Heizung mit Elektrodirektheizkörpern und zum anderen mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Heizkörpern verglichen. Unter Berücksichtigung des durch die Photovoltaik-Module erzeugten Stroms wird der Nettoprimärenergiebedarf für verschiedene Gebäude- und Anlagenvarianten berechnet. Aufgrund des absolut niedrigen Heizenergiebedarfs beträgt der Unterschied zwischen den beiden Heizungsanlagenvarianten bei sehr gut gedämmten Gebäuden etwa 9 kWh/(m²a) beim Endenergiebedarf für die Heizung.

Abstract

To reach the increasing requirements on the energy demand, single-family houses prospectively will have a system for power generation. Therefore combined heat and power plants (CHP) or photovoltaic-modules could be used. In the first part of this work is investigated, if the usage of CHPs in high-insulated buildings makes sense. As CHPs reach in these buildings maximally 2,900 full-load hours, the power generation with photovoltaics is preferred. Because of the reduced heating-energy demand of future buildings and the slowly but steady increasing amount of renewable energy carriers in the German electricity-mix a technical solution is getting interesting, which is in Germany not prevalent till now. Because of that, the energy demand of a typical single-family house with an electric heating on the one hand and a heating system with an air to water heat pump and radiators on the other hand is compared. Taking account the power generation of the photovoltaic-modules, the net primary energy demand is calculated for different building- and facility-variants. By reason of the absolutely low heating energy demand of very high-insulated buildings, the difference between both variants of heating systems is also low. The amount is about 9 kWh/(m²a) to the delivery energy demand for space heating.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Nomenklatur | VI |
| Abkürzungen | VII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Entwicklung der Gebäudestandards..... | 2 |
| 1.1.1 Gesetzliche Vorgaben für den Gebäudeneubau in Deutschland | 2 |
| 1.1.2 Niedrigenergiehäuser..... | 4 |
| 1.2 Strom zur Wärmeerzeugung..... | 7 |
| 1.3 Stand der Forschung..... | 9 |
| 1.4 Ziele der Arbeit | 11 |
| 2 Grundlagen | 13 |
| 2.1 Definition von Niedrigstenergiegebäuden..... | 13 |
| 2.1.1 Vorschlag für einen primärenergetischen Grenzwert für Niedrigstenergiegebäude | 14 |
| 2.1.2 Primärenergetische Bewertungsfaktoren..... | 16 |
| 2.2 Grundlagen der Bedarfsentwicklungsmethode..... | 17 |
| 2.3 Gekoppelte Strom- und Wärmeproduktion | 19 |
| 2.4 Energetische Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung..... | 20 |
| 2.4.1 Stromkennzahl von BHKWs..... | 21 |
| 2.4.2 Strombedarfskennzahl des Gebäudes..... | 21 |
| 2.4.3 Berechnung der Volllaststunden eines BHKWs..... | 22 |
| 2.4.4 Empfohlene Soll-Leistung des BHKWs..... | 23 |
| 2.5 Energetische Bewertungsgrößen für den Einsatz eines Stromspeichers . | 23 |
| 2.5.1 Solare Deckungsanteile | 25 |
| 3 Randbedingungen der Untersuchung | 27 |
| 3.1 Gebäude..... | 27 |
| 3.2 Wandaufbauten | 28 |
| 3.3 Abmessungen..... | 28 |
| 3.4 Freie Lüftung | 29 |
| 3.5 Maschinelle Lüftung..... | 30 |
| 3.6 Verschattung | 31 |
| 3.7 Heizung | 32 |
| 3.8 Klima | 32 |
| 3.9 Nutzung | 33 |
| 3.9.1 Anwesenheit | 33 |
| 3.9.2 Steuerung der Beleuchtung | 33 |
| 3.9.3 Elektrische Geräte | 34 |
| 3.9.4 Zapfprofile für das Trinkwarmwasser..... | 35 |
| 4 Auswertung der Simulationen mit idealer Anlagentechnik | 37 |
| 4.1 Energiebedarf aus den Simulationen..... | 38 |
| 4.1.1 Haushaltsstrom..... | 38 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.1.2 | Trinkwarmwasser..... | 39 |
| 4.1.3 | Heizenergiebedarf | 39 |
| 4.1.4 | Zusammenfassung des Wärme- und Strombedarfs | 40 |
| 4.2 | Bewertung des BHKW-Betriebs..... | 43 |
| 4.2.1 | Strombedarfskennzahl | 43 |
| 4.2.2 | Betriebsstunden eines Mikro-BHKWs | 44 |
| 4.3 | Bewertung des Einsatzes von Mikro-BHKWs in Einfamilienhäuser..... | 47 |
| 5 | Anlagenkonzepte für Niedrigstenergiegebäude | 48 |
| 5.1 | Auswahl der Anlagentechnik | 48 |
| 5.2 | Varianten der Anlagentechnik für die Heizung | 48 |
| 5.2.1 | Luft/Wasser-Wärmepumpe und Heizkörper..... | 48 |
| 5.2.2 | Warmwasserheizkörper | 50 |
| 5.2.3 | Elektrodirektheizkörper | 50 |
| 5.3 | Anlagentechnik für das Trinkwarmwasser | 50 |
| 5.3.1 | Beschreibung der Varianten der TWW-Speicher | 51 |
| 5.3.2 | Einsatz von Solarthermie | 52 |
| 5.4 | PV-Module..... | 53 |
| 5.5 | Mögliche Systemkombinationen für die Solarenergienutzung | 54 |
| 6 | Auswertung der gekoppelten Simulationen..... | 55 |
| 6.1 | Primärenergiebedarf für den Haushaltsstrom | 56 |
| 6.2 | Energiebedarf für die TW-Erwärmung | 56 |
| 6.3 | Energiebedarf für das Heizen | 57 |
| 6.4 | Gesamter Endenergiebedarf für den Gebäudebetrieb..... | 59 |
| 6.5 | Zusammenfassung für den Endenergiebedarf | 61 |
| 6.6 | Stromerzeugung mit Photovoltaik..... | 63 |
| 7 | Nettoprimärenergiebedarf..... | 64 |
| 7.1 | Nettoprimärenergiebedarf für die Bilanzgrenze „EPBD“ | 65 |
| 7.2 | Nettoprimärenergiebedarf für die Bilanzgrenze „REHVA“ | 68 |
| 7.3 | Auswertung für weitere Bewertungsfaktoren | 71 |
| 7.3.1 | Nettoprimärenergiebedarf nach der Bilanzgrenze „EPBD“ mit zukünftigen Bewertungsfaktoren | 72 |
| 7.3.2 | Nettoprimärenergiebedarf nach der Bilanzgrenze „REHVA“ mit zukünftigen Bewertungsfaktoren | 82 |
| 8 | Betrachtungen zum Einsatz eines Stromspeichers | 92 |
| 8.1 | Auswahl der Lastgänge | 92 |
| 8.2 | Regelung der Be- und Entladung | 93 |
| 8.2.1 | Auswahl einer geeigneten Regelstrategie..... | 95 |
| 8.3 | Auswertung der Simulationen mit Stromspeicher | 96 |
| 8.3.1 | Auswertung der Speicherausnutzung | 97 |
| 8.3.2 | PV- und solare Deckungsanteile..... | 102 |
| 8.4 | Fazit zum Einsatz eines Stromspeichers..... | 104 |
| 9 | Zusammenfassung..... | 105 |
| 10 | Literaturverzeichnis | 108 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 11 | Anhang | 111 |
| 11.1 | Grundrisse und Schnitt durch das Typgebäude..... | 111 |
| 11.2 | Wandaufbauten bei den unterschiedlichen Dämmvarianten | 113 |
| 11.3 | Anwesenheits- und Zapfprofile für die Nutzungsprofile „N1“-„N3“ | 116 |
| 11.4 | Ergebnisse für den Strom- und Wärmebedarf | 122 |
| 11.5 | Ergebnisse der Simulationen mit Stromspeicher | 124 |
| 11.6 | Dokumentation der verwendeten Types | 125 |
| 11.6.1 | Warmwasserheizkörper Type 803 | 125 |
| 11.6.2 | Elektrodirektheizkörper (ED) Type 811 | 127 |
| 11.6.1 | Vakuurröhrenkollektor Type 71 | 128 |
| 11.6.1 | TWW-Speicher Type 60..... | 128 |
| 11.6.2 | Photovoltaikmodul Type 194..... | 128 |
| 11.6.3 | Stromspeicher Type 847..... | 130 |