
Executive School of Management,
Technology and Law (ES-HSG)



Universität St.Gallen

Zertifikatskurs Management für Energieversorgungsunternehmen

Fallanalyse zu wärmegeführter Stromproduktion

Betriebswirtschaftliche Grenzen, Nutzen und Risiken für Kraftwärmekopplung (KWK)
mit einem mBHKW (mikroBlockheizkraftwerk)

Paul Schmid
28.02.2010

Betreuer: Prof. Dr. Karl Frauendorfer, ior/cf-HSG
Dr. Alexander Jungmeister, ES-HSG

Inhalt

Zusammenfassung	2
Abstract	2
Ausgangslage	3
BEARBEITUNGSSCHWERPUNKTE	4
LEITGEDANKE DER ARBEIT	4
Einführung mBHKW mit Stirlingmotor	5
BEGRIFF BHKW	5
MIKRO BHKW	6
STIRLING KREISPROZESS (FUNKTIONSWEISE)	6
EINSATZGEBIETE MIKROBHKW	7
VORGEHENSWEISE BEI DER AUSLEGUNG VON BHKW	8
mBHKW DAS EIGENE KRAFTWERK IM HEIZUNGSKELLER	8
Grundlagen der Energieversorgung	9
GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	9
EVU RAHMENBEDINGUNGEN	10
POLITISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	11
Förderungsmassnahmen und föderalistisches Tarifsysteem	14
MUSTERANLAGE	14
KENNWERTE EINFAMILIENHAUS	14
TARIFISIERUNG mBHKW	15
VERTRAGLICHE GEBÜHREN/TARIFE FÜR EINSPEISE-RÜCKVERGÜTUNG	15
VERTRAGSMANAGEMENT	16
INVESTITIONEN, GEBÜHREN UND VERGÜTUNGEN	17
Betriebswirtschaftliches Rechnungsmodell	19
STROMVERGÜTUNG UND ERLÖSRECHNUNG	19
KOSTENRECHNUNG	20
WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG	22
SWOT-ANALYSE	23
Offene Problemstellungen	25
ANLAUFPROZEDUR HEISSLUFTMASCHINE (mBHKW)	25
AUSWIRKUNGEN NETZPROFIL	26
EVU GESTEUERTE EINSCHALTZEITEN FÜR BHKW UND WÄRMEPUMPEN	31
Schlussfolgerung / Conclusion	32
Abkürzungen	34
Nomenklatur	35
References	36
LITERATURVERZEICHNIS	36
Verzeichnisse	37
ABBILDUNGEN	37
TABELLEN	37

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) produziert CO₂-neutral Wärme für Hausheizung und nebenbei Strom, welcher in das Versorgungsnetz eingespeist noch kostendeckend vergütet wird. Der Einsatz einer solchen Lösung ist somit sehr faszinierend für Hauseigentümer.

Für das Energieversorgungsgebiet Schweiz (Fallbeispiel Elektrizitätswerk Nidwalden) können die werbewirksamen Versprechungen für Investor und Bauherr nicht eingehalten werden. Einen wirtschaftlichen Betrieb eines mBHKW kann sich einstellen, wenn der Gerätepreis halbiert, die Gebühren des Netzbetreibers gestrichen und die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) 60 Rappen pro Kilowatt übersteigen würde.

Ein Dutzend vertragsgebunden Netzbetreiber-Auflagen & -Forderungen für ein mBHKW verlangen viel Zeit und Fachwissen vom Betreiber. Der administrative Aufwand könnte die Geduld und die Möglichkeiten einer Privatperson und Betreiber eines mBHKW übersteigen.

Mit der Fallanalyse konnten interessante Problemstellungen für den Netzbetreiber in Erfahrung gebracht (NE7 Netzbelastung und -auswirkungen bei verbreitetem Einsatz von Wärmepumpen und BHKW). Ein mBHKW wäre bei koordinierten Anstrengungen aller beteiligten Akteure eine förderungswürdige Lösung für die Wärmeerzeugung in Einfamilien- und kleinen Mehrfamilienhäuser. Die Energieeffizienz (Wirkungsgrad über 95%) und die hohe Lebenserwartung der eingesetzten Technik (Stirlingmotor) unterstreichen die Nachhaltigkeit für eine entsprechende Investition.

Das im Fallbeispiel evaluierte mBHKW substituiert eine Ölheizung mit einem Verbrauch von rund 3'000 Liter Heizöl EL, was einer Ausstoss-Verminderung von rund 10 Tonnen CO₂ entspricht. Die UN Klimakonferenz vom 7. bis 18.12.2009 unterstrich die Tatsache, dass Energieeffizienz und Klimaveränderung mit vielen, z.T. kleinen, aber richtungsorientierten Schritten verbessert werden kann.

ABSTRACT

Combined heat and power micro units (CHP-MU) allow the production of CO₂ neutral heat for housing and make use of the excess heat by turning it into electricity which can be fed back to the power grid for a commission. The use of such a solution is thus very fascinating for house owners.

For the swiss energy supply area, the promises given to investors and house builders can not be met as has been shown in the case of the electric power company in the canton Nidwalden. This work shows that a cost-effective operation of a CHP-MU can only be possible if the price for a device would be cut in half, the dues to the grid carrier would be discarded and if the break-even compensation for the electricity fed into the grid would not exceed 60 Rappen per kilowatt.

Furthermor, to meet the many demands and allowances given by the power carrier for a CHP-MU requires a lot of time and expertise from the operator. The administrative workload might exceed the endurance and the possibilities of a private operator of a CHP-MU.

In this case study, open problems have been evaluated which have to be addressed by the grid carrier Network loads and impacts in-spread use of heat pumps and CHP). A CHP-MU could be an eligible solution for the heat production in single- and Minergie multi-family houses if all the involved parties would coordinate their efforts. The high energy efficiency (with an efficiency factor > 95%) and the high lifespan of the applied technique (Stirling motor) emphasize the sustainability of an according investment.

The in this case study evaluated CHP-MU, which would substitute an oil heating with a consumption of around 3000 Liter of oil, would decrease the CO₂ emission of around 10 tons a year.

The UN climate summit in December 2009 in Copenhagen emphasized the fact that energy efficiency and climate change can be improved with small steps into the right direction.

AUSGANGSLAGE

Im benachbarten Ausland wird die Energieeffizienz im Wohnungsbau für Heizung und Warmwasser auf breiter Basis mit Wärmeverbundsystemen (Fernwärme) und KWK¹ gefördert. Im Normalfall werden BHKW² mit Leistungen im 100 MW-Bereich installiert. Seit rund zwei Jahren werden mBHKW³ für Einfamilienhäuser (10-15 kW Heizleistung) proklamiert. Dabei werden mit Gas oder Biomasse Holz-Pellet die KWK angetrieben. Typischerweise liegen dabei die Leistungen bei rund 10-15 kW (thermisch). Der Anteil Stromproduktion bei 1-3 kW. In der Schweiz ist die KWK-Technologie nicht stark verbreitet und folgedessen sind potentielle Eigner unzureichend informiert.

Ab 1. Januar 2010 sind die neue Kantonalen Energiegesetzgebungen auf Basis der MuEn⁴ in Kraft getreten. Diese verlangt in erster Linie die Verbesserung der Wärmedämmung an Gebäuden. In der Folge nimmt das Kantonale Energiegesetz mehrheitlich ungenügend Einfluss im integralen Denken und Handeln für die Bereitstellung von Wärme und Elektrizität. Für die Substitution von Öl- und Elektroheizungen sowie für die Verminderung des CO₂-Ausstosses werden Wärmepumpen empfohlen. Diese Strategie kann in Frage gestellt werden, wenn der Leistungsfaktor η (JAZ)⁵ der Wärmepumpe 3.0 unterschreitet. Dies ist bei Luft- und Solekreislauf-Wärmepumpenanlagen der Fall. In dieser Situation würde die thermische Stromproduktion durch AKW eine negative Energiebilanz ausweisen.

Eine starke Verbreitung von Wärmepumpen wird bei nicht ferngesteuerten Ein- und Ausschaltzeiten sich negativ auf das elektrische Verteilnetz auswirken. Nebst einer erschwerten Planung (Fahrpläne) sind auch die betriebswirtschaftlichen Aspekte mit zusätzlichem Risiko behaftet. Die täglichen und saisonalen Leistungsschwankungen bei der Energieproduktion wird zudem zu Stillstand- oder Teillastzeiten führen, was Investoren negativ beeinflussen wird. Diese Ausgangslage wird den Strompreis forciert verteuern.

Die vorliegende Arbeit versucht die in Deutschland mit Erfolg subventionierte Technologie der Kraft-Wärme-Koppelung im Bereich Einfamilienhaus, Minergie-Mehrfamilienhäuser) aus unterschiedlichen Sichtwinkeln zu verifizieren und zu analysieren. Als Basis wird die CO₂-neutrale Systemlösung eines mBHKW mit Pellet-Heizkessel, gekoppelt mit einem Stirlingmotor⁶ untersucht. Damit wird im Verhältnis 70:30, maximal 50/50 Prozentpunkte thermische und elektrische Energie produziert. Die maximale Gesamtleistung ist mit 15 kW ausgewiesen.

Das Ziel sind die betriebswirtschaftlichen Auswertungen für eine Entscheidungsfindung für oder gegen Einsatz und Betrieb einer mBHKW. Die Wirkungssichten Ökologie, Volkswirtschaft und Betriebswirtschaft von EVU⁷ sollen aufzeigen, welcher Nutzen und welche Risiken mit einer Verbreitung von mBHKW erzielt, bzw. wodurch und womit ein nachhaltiger Betrieb von KWK erreicht werden kann.

¹ Vgl. Europa, Press Releases: Reference: MEMO/08/695 [13.11.2008], KWK Kraft-Wärme-Koppelung in: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/695&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en>

² Vgl. Wyss, P., Bundesamt für Energie, Schlussbericht Kompaktanlage mit effizienter BHKW Blockheizkraftwerk-Technik in: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000009107.pdf&name=000000260050.pdf>

³ Vgl. Deutsche Energie-Agentur, mBHKW Mikro-Blockheizkraftwerk bis 10 kW [20.01.2010] in: <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/blockheizkraftwerke/groessenklassen/mikro-bhkw.html>

⁴ Vgl. Kanton Bern, Information zur Einführung KEnV per 01.01.2009, in: http://www.bve.be.ch/site/bve_aue_akt_en_kenv_2009_02_info_uebersicht_d.pdf und Mustervorschriften der Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK), [2008], in: <http://www.endk.ch/>

⁵ Vgl. AWES, Jahresarbeitszahl, [20.01.2010] in: <http://www.awes.ch/index.php?id=45>

⁶ Vgl. Motorlexikon von van Basshuysen, R., Schäfer, Fred [20.01.2010] Stirlingmotor (Heissgasmotor) in: <http://www.motorlexikon.de/?l=8261>

⁷ Vgl. Dienstleistungen EVU Energieversorgungsunternehmen am Beispiel SAK [20.01.2010] in: <http://www.sak.ch/sakint/de/geschaeftskunde/evu/dienstleistungen.html>

Bearbeitungsschwerpunkte

Die Literaturlauswertung soll den aktuellen Stand der Technologie von mBHKW bezüglich Energieeffizienz aufzeigen. Im Detail wird auf die CO₂-neutralen (holz- und pelletbefeueterten) mBHKW eingegangen. Ein weiteres Kapitel befasst sich mit dem Rechnungsmodell für die betriebswirtschaftliche Analyse und Auswertung von mBHKW hinsichtlich Investition, Betrieb und Amortisation. Mit Reflektion auf die aktuellen Tarifierung und der Förderungspraxis wird für das Marktgebiet Schweiz auf mögliche Lücken hingewiesen.

Mit dem Kapitel „Offene Problemstellungen“ werden kritische Erfolgsfaktoren für ein nachhaltiges Netzmanagement aufgezeigt. Diese dienen prioritär als Diskussionsgrundlage für EVU und Politik für Einsatz- und Förderungsmöglichkeiten von mBHKW in der Schweiz.

Leitgedanke der Arbeit

„Wirksame auf erneuerbaren Energien basierende Technologien gibt es bereits heute. Um die Industrie der erneuerbaren Energien jedoch voranzubringen, bedarf es der engen Zusammenarbeit von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Forschung, sowie der breiten Öffentlichkeit. Insbesondere in Zeiten der Wirtschafts- und Finanzkrise ist es wichtig, den Herausforderungen dieser Industrie mit wirkungsvollen und nachhaltigen Massnahmen zu begegnen“. ⁸

⁸ Vgl. Einladungsschreiben Veranstaltung „Solarenergie-Was braucht es noch jenseits der Technik?“ vom 5.-15.11.2009, (2009), organisiert vom Good Energies Lehrstuhl für Management Erneuerbarer Energien am Institut für Wirtschaft und Ökologie der Universität St. Gallen (IWÖ-HSG)

EINFÜHRUNG MBHKW MIT STIRLINGMOTOR

Begriff BHKW

Wird in einer Anlage gleichzeitig Wärme und Strom (Kraft) erzeugt, so spricht man von einer KWK. Basiert dies in einer kompakten Anlage und nicht in einem Heizkraftwerk, so handelt es sich dabei um ein Blockheizkraftwerk.

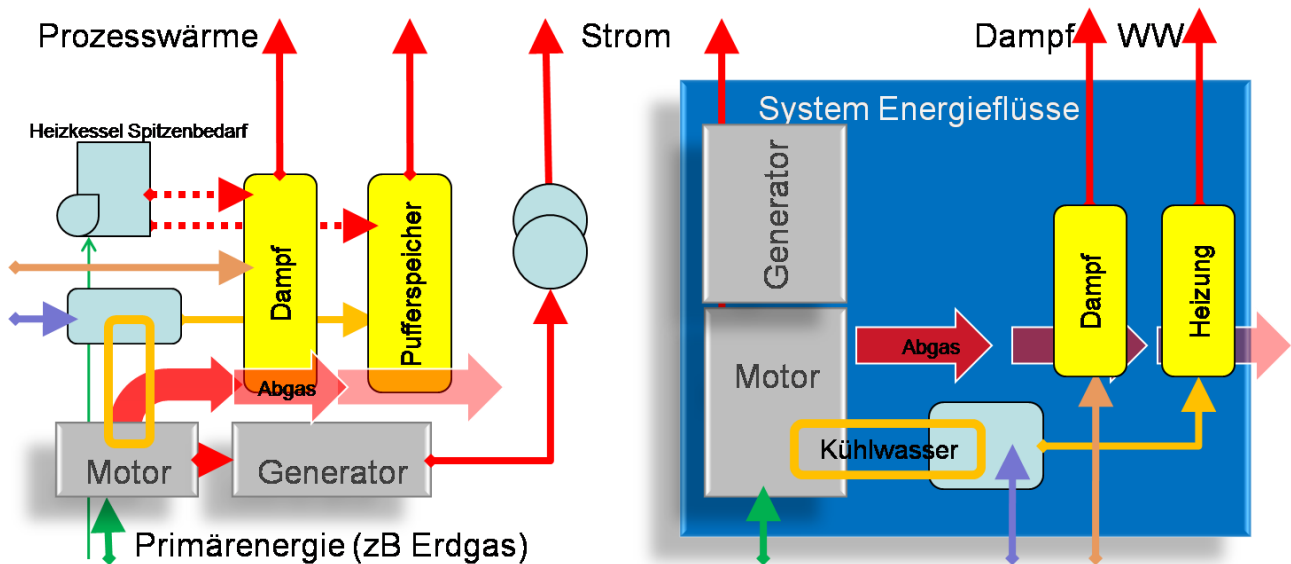


Abb. 1 Prinzipschema und Energieflüsse-Diagramm einer KWK-Anlage

Bei Standardanlagen treibt ein Diesel-, Gas- oder Biogasmotor einen Generator an. Die im Kühlwasser und in den Abgasen des Motors enthaltene Wärme wird gleichzeitig für Heizzwecke genutzt. Durch die Nutzung der Abwärme die beim Stromerzeugungsprozess in herkömmlichen Kraftwerken ungenutzt verpufft, lässt sich der Energienutzungsgrad des Gesamtprozesses entscheidend erhöhen. In der Praxis wird der Wirkungsgrad von 30 bis 45% (Motor) auf 80 bis 98% bei KWK (Gesamtwirkungsgrad der Anlage) erhöht. Dabei steigt der gewichtete Wirkungsgrad auf über 130%. Zudem werden bei gasbetriebenen KWK's auch die CO₂-Emissionen⁹, die bei der Energieumwandlung entstehen, um ca. 30% reduziert.

⁹ Vgl. UVEK, CO₂ und Klima, [20.01.2010] in: <http://www.uvek.admin.ch/themen/umwelt/00640/00839/index.html>

Mikro BHKW

Während die dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme in BHKW in mittleren Leistungsbereichen bereits seit Jahren zum Stand der Technik gehört und sich vielfach bewährt hat, beginnt sich der Markt für mBHKW bis 15 kW thermische Heizleistung für den Bereich Minergie-Mehrfamilien- und Einfamilienhäuser zu entwickeln.

Diese KWK-Motoren sind mehrheitlich gasgetriebene Verbrennungskraftmaschinen. Innovativ ist die Umsetzung KWK mit einem Stirlingmotor, einer Wärmekraftmaschine, die mit einem geschlossenen Kreisprozess aus Luft oder Helium wechselseitig von aussen erhitzt oder gekühlt wird. Der Stirlingmotor ist ein Vorzeigebispiel, wie schlecht ausnutzbare Wärmeenergie in mechanische Energie (Generator → Elektrizität) umgewandelt werden kann.

Am Markt offerieren über ein Dutzend Anbieter ihre mBHKW Produkte, davon einige mit Pellet-Befuerung. Eine Auswahl von mBHKW kann im Anhang CAS¹⁰ eingesehen werden. Eine mit Holzpellet befeuerte mBHKW Kompaktanlage arbeitet CO₂-neutral.

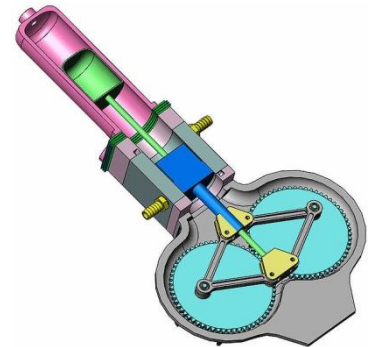


Abb. 2 Schnitt durch einen Stirlingmotor mit Rhombenantrieb

Stirling Kreisprozess (Funktionsweise)

Die Wärmekraftmaschine wird je nach Verwendungszweck (Kälte, Wärme) in unterschiedlichen Bauformen (Alpha, Beta, Gamma) angeboten. Für mBHKW wird speziell die Alpha-Bauform¹¹ mit zwei Kolben in getrennten Zylindern angeboten. Der heisse Zylinder ist in einem Hochtemperatur-, der Kalte im Niedertemperatur-Wärmetauscher eingebaut.

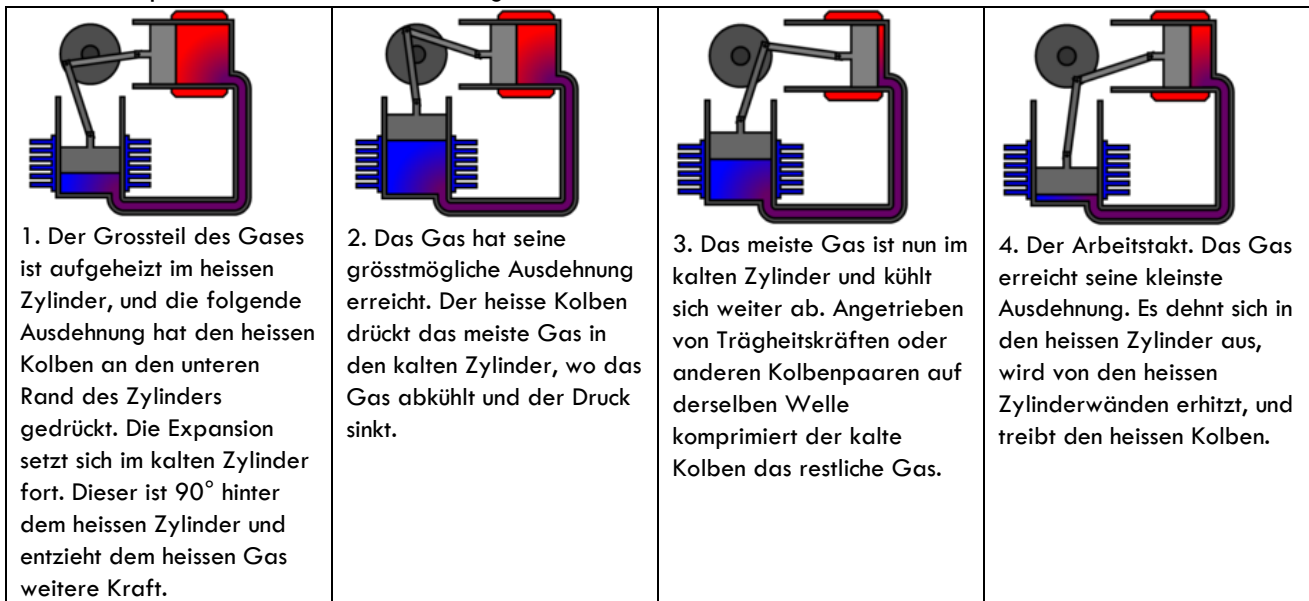


Abb. 3 Funktionsweise Stirlingmotor (Alpha Bauform)

¹⁰ Vgl. Schmid, P.: Wissenswertes über mBHKW, Anlage CAS EVU Management (2009), in: Register 2 und 3

¹¹ Vgl. Keveney, M.: Stirling Engines - Mechanical Configurations, (2010), in:

<http://www.ent.ohiou.edu/~urieli/stirling/engines/engines.html>

Einsatzgebiete MikroBHKW

Der Stirlingmotor ist vom Konzept her älter als Kraftmaschinen mit interner Verbrennung (Otto-Motor). Der Otto-Motor¹² wird mit Erfolg für den Fahrzeugantrieb eingesetzt, wodurch der Stirlingmotor in ein Nischendasein getrieben wurde. Der Stirlingmotor eignet sich nicht für schnelle Lastwechsel. Als Maschine für den KWK-Einsatz erlebt er eine Renaissance, weil aufgrund der äusseren Verbrennung mit kontinuierlicher Heizleistung gearbeitet werden kann. Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz der KWK ist der gleichzeitige Bedarf an Strom und Wärme sowie eine möglichst hohe Betriebsstundenzahl pro Einschaltzyklus. Die typischen Einsatzobjekte von BHKW zeichnen sich folglich durch einen kontinuierlichen Wärmeverbrauch aus. Diese Kontinuität kann auch mittels Pufferspeicher (Heizungswasser-Wärmespeicher) geschaffen werden. Einsatzbeispiele sind:

- Einfamilienhäuser, Minergie-Mehrfamilienhäuser
- Gewerbeobjekte
- Hallenbäder
- Industriegebäude mit entsprechendem Prozesswärmebedarf
- Nahwärmenetze mit gestreuter Gebäudecharakteristik

¹² Vgl. UNI Münschen.: Wirkungsweise Otto-Motor, (2009), in:
http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph09/umwelt_technik/08otto-motor/viertakt.htm

Vorgehensweise bei der Auslegung von BHKW

Die Auslegung eines BHKW verfolgt drei Ziele: Es wird eine Minimierung der zur Wärme- und Stromversorgung eingesetzten Brennstoffe und damit eine Reduzierung der Schadstoffemissionen angestrebt. Gleichzeitig muss ein wirtschaftlicher Betrieb des BHKW-Systems gewährleistet werden.

Die Optimierung gliedert sich in drei Schritte:

- **Wärme- und Strombedarfsberechnung** für das zu versorgende Objekt
- **Simulationsberechnungen und -auswertungen** des BHKW-Betriebs und die
- **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Ein Vergleich mit der getrennten Erzeugung von Wärme und Strom gibt Auskunft über die Wirtschaftlichkeit und die Schadstoffreduzierung.

Die grundlegenden Parameter für die Auslegung des BHKW sind der Wärme- und Strombedarf. Hierbei spielt das Lastprofil eine entscheidende Rolle. Ein gleichmässiger Wärmebedarf mit zeitlich parallel verlaufendem Strombedarf stellt den Idealfall für die BHKW-Nutzung dar. Anhand des Lastprofils und der Tagesganglinie wird die erforderliche thermische und die elektrische Leistung des BHKW ermittelt.

mBHKW das eigene Kraftwerk im Heizungskeller

Für die Fallanalyse steht mit der SUNMACHINE¹³ ein mBHKW zur Verfügung. Der mit Holz-Pellet befeuerte Heizkessel mit aufgesetztem Stirlingmotor für den Antrieb des Stromgenerators liefert typischerweise bis 3 kW elektrische und ca. 12 kW thermische Leistung.

SUNMACHINE[®] ist eine kleine, kompakte, anschlussfertige KWK-Anlage. Der Motor, der Generator zur Stromerzeugung und die Wärmetauscher zur Auskopplung der Nutzwärme sind in einem Block montiert. Die kompakte Einheit wird mit kompletter Systemsteuerung ausgeliefert. Sie werden als Seriengeräte industriell gefertigt und können am Installationsort einfach am Heizungskreislauf angeschlossen werden. Die Stromeinspeisung in das Netz erfolgt nach den örtlichen Vorschriften.



Abb. 4 SUNMACHINE Pellet ist eine innovative Systemlösung für mBHKW

¹³ Vgl. Homepage Sunmachine GmbH, D-Kempen, (2009), in: <http://www.sunmachine.com/>

GRUNDLAGEN DER ENERGIEVERSORGUNG

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Im Jahr 1990 wurde die Energiepolitik in der Schweizerischen Verfassung verankert. Der Energieartikel legt fest, dass sich "Bund und Kantone im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung sowie für einen sparsamen und rationellen Energieverbrauch einsetzen".

Ab 1990 haben alle Kantone eigene Energiegesetze und energiepolitische Vorschriften erlassen. Die Inkraftsetzung des Energiegesetzes¹⁴ und der Energieverordnung¹⁵ erfolgte am 1. Januar 1999. Am 1. Mai 2000 folgte das CO₂-Gesetz¹⁶, mit welchem sich die Schweiz verbindliche Ziele zur Reduktion des Treibhausgases CO₂ setzte. Diese Reduktion soll in erster Linie durch freiwillige Massnahmen von Unternehmen und Privaten sowie durch den Vollzug der Energiepolitik, aber auch der Umwelt-, Verkehrs- und Finanzpolitik erreicht werden. Wie in den Fussnoten aufgeführt wurden die Gesetze und Verordnungen zwischenzeitlich mehrfach korrigiert. Der Verweis zeigt auf die zur Zeit aktuellen Dokumente.

Auf der Basis des Energie- und CO₂-Gesetzes hat der Bundesrat im Jahr 2001 das Programm Energie Schweiz gestartet. Mit freiwilligen Vereinbarungen der Wirtschaft sowie mit Informationskampagnen soll das Nachfolgeprogramm von Energie 2000, welches 1990 nach der Annahme des Energieartikels lanciert worden war, dazu beitragen, die energie- und klimapolitischen Ziele der Schweiz zu erfüllen. Die Zunahme des Energieverbrauchs soll mit dem Nachfolgeprogramm gedämpft, die neuen Erneuerbaren Energien gefördert und die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen reduziert werden.

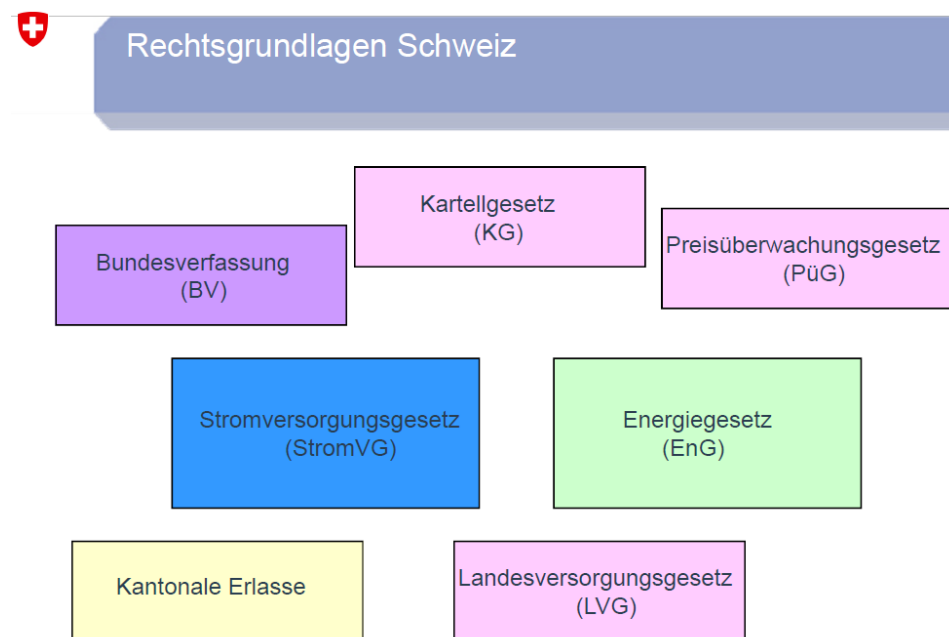


Abb. 5 Schweizerische Gesetzeswerke rund um die Energie

2004 wurden die Arbeiten für Energieperspektiven bis ins Jahr 2035 gestartet. Die Resultate bilden die Grundlage für die politische Diskussion zur künftigen Ausgestaltung der schweizerischen Energie- und Klimapolitik, der Gesetzeswerke und dessen Vollzug. Die einzelnen Titeln der Rechtsgrundlage in der Schweiz für den liberalisierten Strommarkt ist im Anhang „Gesetze und Vorschriften für die Installation von BHKW“ dokumentiert.

¹⁴ Vgl. SR 730.0 Energiegesetz vom 26. Juni 1998 (EnG), (2009), in: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/730.0.de.pdf>

¹⁵ Vgl. SR 730.0 Energiegesetz vom 4. Dezember 2009 (EnV), (2010), in: http://www.topmotors.ch/_data/6837.pdf

¹⁶ Vgl. Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen 641.71, (Stand 2010), in: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/6/641.71.de.pdf>

EVU Rahmenbedingungen

Auf Basis der neuen Gesetze und Verordnungen mussten sich die EVU neu strukturieren und organisieren. Dies könnte der Grund sein, dass der BHKW-Interessent und „Stromproduzent“ auf Anfrage nur zögerlich eine offene Kommunikation seitens des Stromlieferanten erhalten wird. Landesweit besteht kein einheitlicher Umsetzungsprozess noch eine Strategie im Umgang und Betrieb von mBHKW. Auch die Tarifierung, die Konditionen und Bedingungen für mBHKW müssen EVU-gebietspezifisch eingeholt werden.

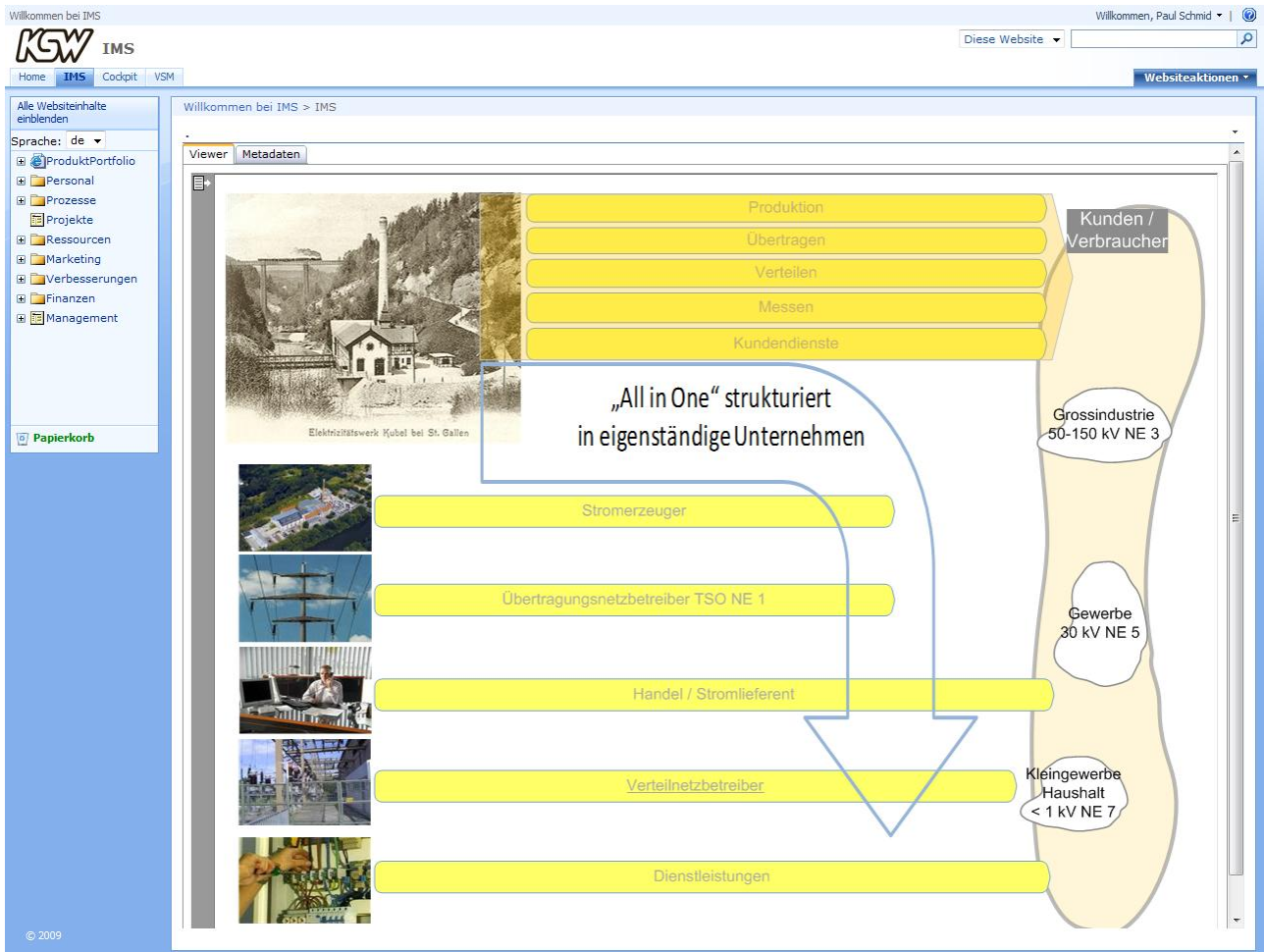


Abb. 6 EVU-Firmenstruktur im liberalisiertem Strommarkt

Mit einer nicht repräsentativen Umfrage bei EVU (Interview-Verfahren) wurde das mBHKW als innovatives System anerkannt. Bezüglich Förderungsmassnahmen, Unterstützung und Gebühren mussten unterschiedlichste Erfahrungen gemacht werden.

Mit einer auf Win-Win ausgerichteten Partnerschaftvereinbarung kann der Grundversorger und unbundling Stromlieferant¹⁷ mit ferngesteuerten mBHKW ein grosses Potenzial für eine optimierte Stromversorgung sicherstellen. Dies bedarf einer weitsichtigen Planung und Organisation des Netzmanagement um „aufgestellt“ zu sein, wenn die grosse BHKW-Verbreitung einsetzen wird. Die Aussage von Dr. Uwe Kolks (CEO eON Vertrieb, Deutschland) lässt aufhorchen, wenn ferngesteuerte mBHKW mit Pufferspeicher in die taktische Planung der Fahrpläne berücksichtigt werden sollen. Die vom Energieanbieter Lichtblick und Volkswagen per September 2009 gestartete Initiative(1) „Minikraftwerke für den häuslichen Keller“ soll in den nächsten Jahren rund 100'000 BHKW mit je einer elektrischen Leistung von 20 kW ans Netz bringen. Dass sich solche Überlegungen im angepassten Rahmen auch beim EWN positive Auswirkungen haben würden, zeigt das Lastprofil des Stromlieferanten in der vorliegenden Fallanalyse.

¹⁷ Vgl. PWC, Energiemarkt Schweiz, (2009), Lösungen für die Zukunft, in: http://www.pwc.ch/user_content/editor/files/publ_energy/pwc_energiemarkt_ch_d.pdf

Politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Gesellschaftspolitisch wird das EVU gleich nach Post, Bahn und Swisscom als „Service Public“-Betrieb erkannt. Viele EVU haben sich auf verschiedenen Ebenen (Arbeitgeber, Entwicklung/Investitionen in Gemeinden) sich als „Sozialpartner“ verstanden. Die Zukunft wird es weisen, ob die Versorgung mit Strom nicht auch zu den existenziellen Grundrechten gehören wird.

Die Sensibilisierung des Mitmenschen zum Thema Energie ist gross.. Getrieben durch Ereignisse, Fakten und politische Strömungen wird beim Mitbürger sachlich, zum Teil emotional über Energie und dessen Auswirkungen diskutiert. Es ist keine „grüne“ Einstellung mehr, wenn Geräte, Auto und andere energiekonsumierende Produkte und Prozesse nach energetischen Kennzahlen eingekauft wird.

Das Zusammentragen von Daten und Informationen über Energieträger und Energiekonsum ist aktuell zeit- und nervenaufwendig, da keine qualitativen Datenbanken für einheitliche Energiebilanzen für Regionen, Unternehmen und Mensch / Wohneinheit zur Verfügung stehen. Auf Basis der nachstehenden Statistiken wurde versucht, eine Art Energiebilanz für einen „typischen“ Haushalt für den Einfamilienhausbesitzer zu erarbeiten. Dieser dient als Rechnungsgrundlage für Einsatz und Betrieb eines mBHKW.

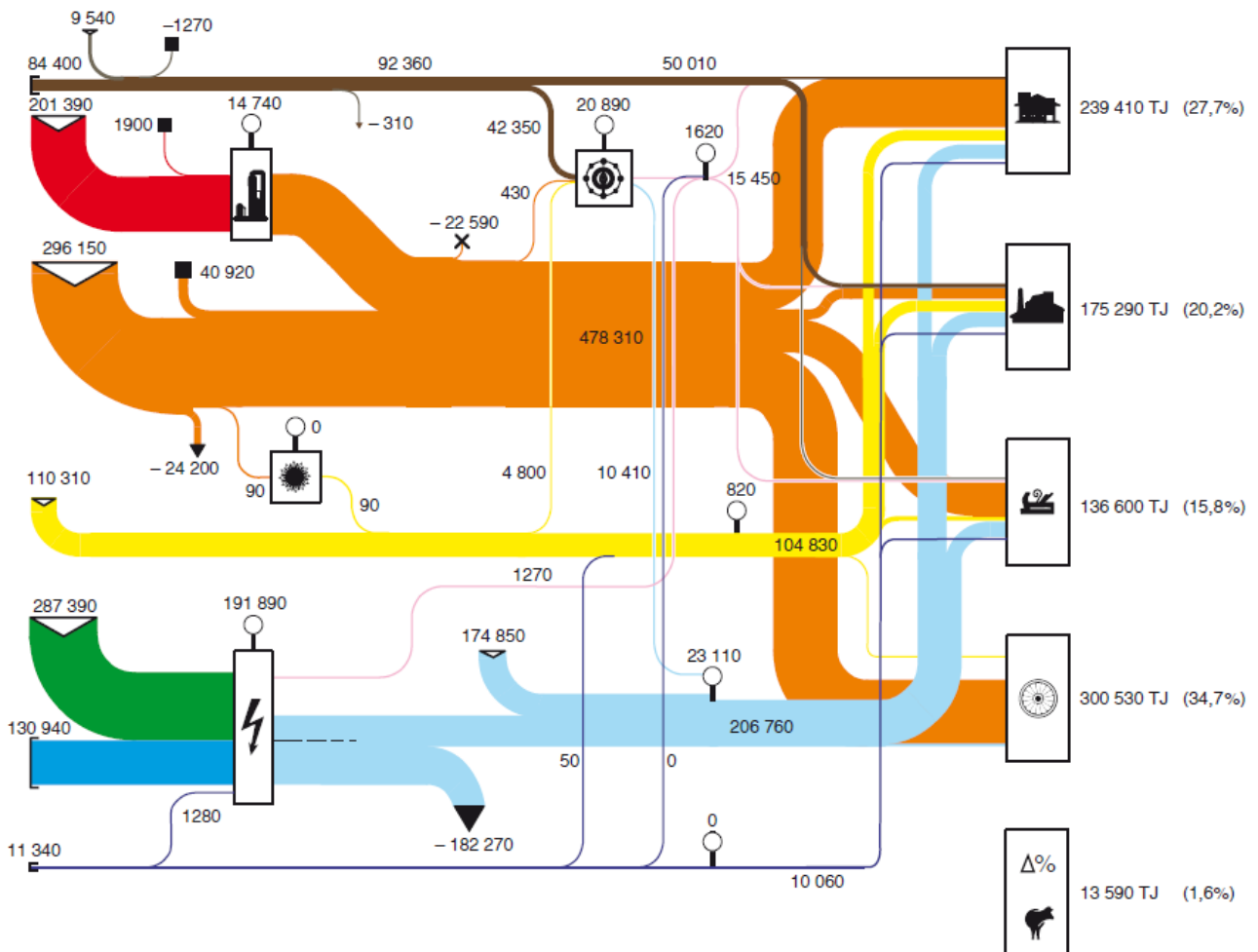


Abb. 7 ENERGIEFLUSSDIAGRAMM DER SCHWEIZ 2007 (BFE 2007)

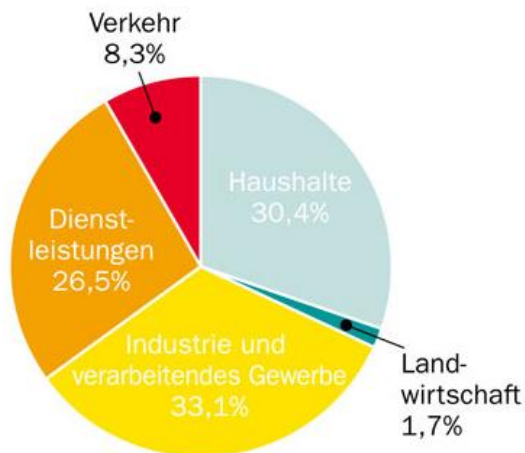


Abb. 8 Stromverbrauch nach Kundengruppen (Quelle: VSE 2009)

Gerätekategorie	Basis [kWh]	Mehrverbrauch pro zusätzliche Person [kWh]
Kochen/Backen inkl. Spezialgeräte, z.B. Kaffeemaschine	300	50
Geschirrspüler in etwa 60% der Haushalte (wenn vorhanden: rund 300 kWh)	200	50
Kühlschrank mit oder ohne Gefrierteil	450	
Separates Gefriergerät in etwa 60% der Haushalte (wenn vorhanden: rund 350 kWh)	200	
Beleuchtung	500	100
Unterhaltungselektronik (TV, Video, HiFi, diverse Player usw.)	250	ja
Heimbüro (PC, Drucker, Modem, Komforttelefon usw.)	150	ja
Diverse Pflege- und Kleingeräte (enthält auch einen Teil Luftbefeuchter und Elektrofeli-Nutzung)	350	ja
Waschmaschine	250	100
Trocknen (etwa $\frac{2}{3}$ der Wäsche mit Tumbler)	350	150
Total ohne «Allgemeinstromverbrauch»	3000	500
Elektroboiler (Warmwasser, etwa $\frac{1}{3}$ der Haushalte)	2000	800
«Allgemeinstromverbrauch» Mehrfamilienhaus, pro Wohnung	500	0
«Allgemeinstromverbrauch» Einfamilienhaus	1500	0

Abb. 9 Stromverbrauchs pro Haushalt (Bulletin SEV/VSE 19/07)



Abb. 10 Gesamtenergieverbrauch in TJ (BFS 2007)

Der Stromverbrauch in der Schweiz ist im Jahre 2006 auf 57 TWh (Terawatt) gewachsen. Daraus resultiert ein Verbrauch von rund 17 TWh ($61,23 \cdot 10^{12}$ Joule) in den rund 2,2 Mio. Haushalten. Gemäss BFS¹⁸ sind aktuell ca. 950'000 Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäuser eingetragen.

Annahme: Infolge höherem Lebensstandard wird in Ein- und Zweifamilienhäuser rund 20% mehr Strom konsumiert, was zu einem angenommenen Stromverbrauch von 10'000 kWh pro Haushalt (2 Erwachsene und 2 Kinder/Jugendliche) führt.

Seitens VSE wurde im Jahre 2007 eine Verbrauchsstudie im Haushalt veröffentlicht. Diese basiert auf 1.84 Personen pro Haushalt. Auch diese Statistik ist in Bezug auf den gesamten Energieverbrauch (Heizung, Verkehr) unvollständig.

In Würdigung des stetig wachsenden Stromverbrauchs und der Hochrechnung auf Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäuser / der Anzahl Bewohner, kann der angenommene Stromverbrauch pro Haushalt (ohne Heizung und Verkehr) als reell betrachtet werden.

Gemäss BFE¹⁹ wurde im Jahre 2008 in der Schweiz gesamthaft rund 900 TJ (250 TWh) Energie verbraucht. Der Anteil Strom beträgt 22,8%. Das Energieflussdiagramm Abb. 7 ermittelt ein Gesamtenergieverbrauch für Haushalte von 239'410 TJ (66,5 TWh).

Annahme: Infolge höherem Lebensstandard wird in Ein- und Zweifamilienhäuser rund 30% mehr Energie (Mobilität) konsumiert, was zu einem angenommenen Energieverbrauch von 40'000 kWh pro Haushalt (2 Erwachsene und 2 Kinder/Jugendliche) führt.

¹⁸ Vgl. Bundesamt für Statistik, [20.01.2010] in:

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/22/publ.Document.120194.pdf>

¹⁹ Vgl. Bundesamt für Energie, Detailliertes Energieflussdiagramm der Schweiz 2007, [2008] (11)

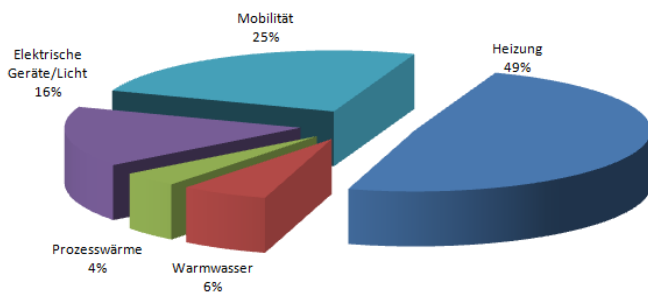


Abb. 11 Energieverwendung pro Haushalt (Extrapoliert)

Die Analyse unterschiedlicher Haushaltstypen ergibt eine ermittelte, prozentuale Zuteilung der Energieverwendung im Haushalt von Ein- und Zweifamilienhäusern (Diskussionsbasis). Daraus resultiert in kWh pro Tag (360d/a):

Verbrauchsart ²⁰	Winter	Sommer	Total a
Standard ²¹	22	22	8000
Warmwasser ²²	8	5	2400
Mobilität ²³	22	31	10000
Heizung ²⁴	87	22	19600
Total pro Tag	139	81	
Total Halbjahr	25145	14855	40'000

Abb. 12 Energieverbrauch pro Haushaltung in Ein- & Zweifamilienhäuser

An der ETH Zürich wurde das energiepolitische Modell der 2000-Watt-Gesellschaft (2) entwickelt. Unsere Gesellschaft ist durch Klimaveränderung, Treibhausgasen, Luftbelastung sensibilisiert und könnte das nachhaltige Energieverbrauchsmodell als Basis für eine neue Lebenshaltung und Ethik in Bezug auf Energieeinsatz und -verbrauch zu eigen machen.

Das Ziel der 2000wG²⁵ ist, den jährlichen Ausstoss von CO₂ zu senken, konkret entspricht dies 500 Watt pro Kopf aus fossilen Energien. Zusätzliche 1500 Watt pro Kopf würden mit Erneuerbaren Energien gedeckt. Aktuell liegt die durchschnittliche Leistung pro Bewohner in der Schweiz bei rund 6000 Watt. Letztmalig wurde im Jahre 1960 eine Leistung von 2000W/Bewohner gemessen. Gemäss den Spezialisten der ETHZ ist es ohne Komforteinbusse (Elektromobile, energieeffiziente Geräte) möglich, den Wert von 2000 W in kurzer Zeit zu erreichen.

Auf dieser Grundlage ist es wichtig, den Energieverbrauch vernetzt über alle Verwendungszwecke zu betrachten. In erster Priorität ist der CO₂-Ausstoss drastisch zu senken. Dies kann mittels neuer AKW²⁶ erreicht werden, welche nahezu CO₂-neutral, aber mit verbesserungsfähigem Wirkungsgrad arbeiten. In weiten Bevölkerungskreisen sind neue AKW nicht erwünscht und folglich politisch kaum durchsetzbar. Dies wiederum führt zur Erkenntnis, dass mBHKW speziell im Winterhalbjahr mithelfen können, die Energieeffizienz zu optimieren.

²⁰ Gerundete Werte/aus Hochrechnungen

²¹ Standard Elektrizitätskonsum (Licht, Geräte, Prozesse)

²² Mehrverbrauch Warmwasser im Winter (60:40%)

²³ Mehrmobilität im Sommerhalbjahr (60:40%)

²⁴ 80% des Energieverbrauchs im Winterhalbjahr

²⁵ 2000-Watt-Gesellschaft <http://www.novatlantis.ch/index.php?id=26>

²⁶ Atomkraftwerke

FÖRDERUNGSMASSNAHMEN UND FÖDERALISTISCHES TARIFSYSTEM

Eine detaillierte Untersuchung der Förderungsmaßnahmen und Tarifisierung der rund 800 schweizerischen EVU würde den Umfang dieser Arbeit sprengen. Für die Fallanalyse wurde das stromliefernde EVU²⁷ als Referenz angenommen. Auf Basis dieser nicht repräsentativen Basiswerten kann in der Folge situativ untersucht werden, wie EVU ein mBHKW tarifisieren und welche Förderungsbeiträge (kantonal, kommunal) bereit gestellt werden.

Musteranlage

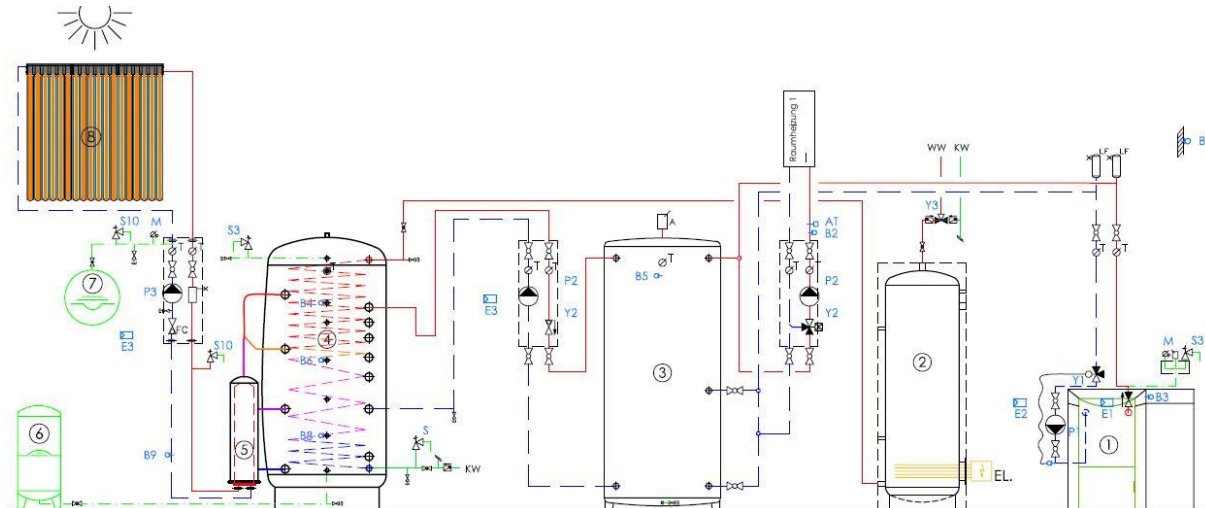


Abb. 13 Prinzipschema Hydraulik Musteranlage

Legende:

- ① Pellet Heizkessel mit Stirlingmotor/-generator 3 kW
- ② Elektro Warmwassererwärmer 400 Liter
- ③ PCM²⁸-Heizungspufferspeicher 1200 Liter (mit PCM(3) Latentspeichermaterial)
- ④ Solar Schichtspeicher
- ⑤ Entladungsautomatik Solarspeicher
- ⑥ Expansionsgefäß Heizung
- ⑦ Sicherheitsarmatur Solekreislauf Sonnenkollektor (SK)
- ⑧ Vakuum Hochleistungs-Röhren SK (3x6 Röhren = ca. 8 m² SK-Fläche)

Kennwerte Einfamilienhaus

Wohnfläche beheizt:	235 m ²
Umbauter Wohnraum:	650 m ³
Wärmebedarf SIA 380/1:	12 kWh
Heizgradtage (4):	3690

Energiebilanz mit Nachweis SIA 380/1²⁹ kann im Anhang (5) eingesehen werden.

²⁷ Elektrizitätswerk Nidwalden (12) [20.01.2010], in:

http://www.ewn.ch/cms/index.php?option=com_content&name=firmenportrait&task=view&id=1&Itemid=4

²⁸ Vgl. Schmid, P., Anhang CAS EVU Management, Wissenswertes über mBHKW, 2009, in: Reg. 8: PCM

²⁹ Vgl. BFE, Planungswerkzeuge und Vollzugshilfen, [20.01.2010] in:

http://www.bfe.admin.ch/energie/00580/00605/index.html?lang=de&dossier_id=00689

Tarifisierung mBHKW

In der Schweiz erfolgt die Tarifisierung auf Basis KEV³⁰(6) nach Art. 7a EnG für mBHKW (Biomasse) und wird mit CHF 0.395/kWh vergütet. Nachdem das Kontingent für KEV überzeichnet ist, erfolgt auf Goodwill des Netzbetreibers eine „föderalistische“ Vergütung. Im vorliegenden Praxisbeispiel CHF 0.07/kWh. Eine weitere Variante wäre die Vergütung des ökologischen Mehrwerts (Art. 7b EnG). Diese erfolgt über Institutionen wie zum Beispiel Naturemade (7), welche ohne schriftliche Zusicherung einen Richtpreis von 30 Rappen pro produzierte kWh angezeigt hat. Letzte Zertifizierungsfrist war Oktober 2009 für ein Audit im Jahre 2010, was eine erste Abrechnungsperiode per Januar 2011 ergeben könnte. Auf Grund der nicht bestätigten Ausgangslage und der Tatsache, bei Ablehnung Naturemade eine KEV über Art. 7a nicht mehr geltend machen zu können, wurde die Anmeldung über Dritte nicht weiter verfolgt.

Vertragliche Gebühren/Tarife für Einspeise-Rückvergütung

Gemäss Art. 2 Abs. 3 EnV³¹ muss die ins Netz eingespeiste Energie mit einer geeichten Messeinrichtung erfasst werden. Die Kosten für die Messeinrichtung sowie für die Bereitstellung der Messdaten gehen zulasten der Produzenten/Erzeugern von erneuerbaren Energien. Die Vergütung der eingespeisten Energie erfolgt vierteljährlich (Art. 3j Abs. 4 EnV) und bedingt vier Ablesungen.

Folgende Konditionen werden für die nachfolgenden Berechnungen festgehalten:

Messstelle	CHF	135.60 / Jahr	11.30/mt
Netznutzung		0.0045/kWh	
Rückvergütung ³²		0.0753/kWh	

Alle Beträge sind mit inkl. 7,60% MwSt ausgewiesen.

Im Anhang (5) sind die relevanten Daten und Informationen im Detail aufgelistet.

³⁰ Vgl. BFE, Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), [20.01.2010] in:
<http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html>

³¹ Vgl. Schweiz. Eidgenossenschaft, 730.01 Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 EnV, [20.01.2010] in:
http://www.admin.ch/ch/d/sr/730_01/index.html

³² Ab dem Zeitpunkt der Produktionsaufnahme bis zur bestätigten Aufnahme ins schweizerische Herkunftsnachweis-System (HKN CH) resp. Bestätigung der kostendeckenden Einspeisevergütung durch Swissgrid erhalten Erzeuger vom EWN folgende Vergütung für die ins EWN-Stromnetz eingespeiste erneuerbare Energie.

Vertragsmanagement

Die Faszination ein eigenes „Kraftwerk“ im eigenen Haus im Verbund mit dem Schweizerischen Stromnetz zu betreiben, bedarf eines grossen Vertrags- und Papieraufwandes. Details zu Vertragswerken und Strukturen sind im Anhang (5) zu dieser Arbeit dokumentiert. Nachstehende Grafik veranschaulicht die Vertragswerke in chronologischer Reihenfolge, die vom zukünftigen Betreiber eines mBHKW zu vereinbaren sind.

Vertragswerk	mBHKW Betreiber	VNB	Audit- stelle	TSO swissgrid	HKN swissgrid	KEV Fond	BG zB naturemade star	BGV EE	Bemerkungen
Projekt anmelden	◆—◆								KEV Art. 7a KEV Art. 7b
KEV Anmeldung	◆—◆			◆—◆	◆—◆	◆—◆			
Vorlagepflicht STI 219.0201	◆—◆		◆—◆						EStl Nachweis ProduktZertifikat
Anschlussgesuch EEA	◆—◆		◆—◆						Inkl. Installationsanzeige
Netzanschluss	◆—◆								Messverfahren- Vertrag
Netznutzung	◆—◆			◆—◆	◆—◆	◆—◆	◆—◆	◆—◆	Bilanzgruppen, Herkunftsnachweis
Fortschritts- kontrolle	◆—◆			◆—◆					
Installations- audit	◆—◆		◆—◆						Einmalig bei Inbetriebnahme
Inbetriebnahme- meldung	◆—◆		◆—◆						
Beglaubigte Anlagedaten	◆—◆		◆—◆	◆—◆	◆—◆				Änderungen sofort melden
Messdaten und Rückvergütung	◆—◆		◆—◆	◆—◆	◆—◆	◆—◆	◆—◆	◆—◆	
Anlageaudit	◆—◆		◆—◆						Jährliches Wiederholaudit

Abb. 14 Vertragsobjekte für Musteranlage (Stand September 2009)

◆—◆ Vertragswerk und Aktivitätenregelung zwischen UP (Unabhängiger Produzent) und Akteur Energieversorgung

◆—◆ Interne Vertragswerke und Aktivitätenregelung zwischen Akteuren der Energieversorgung

Die quartalsmässigen KEV-Vergütungen der Swissgrid an den mBHKW Besitzer erfolgt auf Basis der Auswertung (Zählerablesung) der Messstelle über die Abrechnung der Bilanzgruppe für erneuerbare Energien (BGV EE)³³ ab Inbetriebsetzungsmeldung.

³³ Vgl. BFE, Bilanzgruppe für erneuerbare Energien am Start, [20.01.2010] in:
<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=20223>

Investitionen, Gebühren und Vergütungen

Die nachstehenden Informationen basieren auf den aktuellen Angaben und Offerte des VNB³⁴, resultierend aus der geplanten Pilotanlage mBHKW in Emmetten (NW). Die Struktur der aufgelisteten Positionen ist je nach VNB unterschiedlich. Nachfolgende Tabelle dokumentiert ohne Anspruch auf Vollständigkeit, die im Markt gehandelten Minimal- und Maximalwerte.

Investitionen

Die Kosten für Abbau und Demontage der bestehenden Ölheizung und LW-Wärmepumpe werden nicht ausgewiesen. Die baulichen Massnahmen für Installation und Betrieb (Installationsraum, Kamin) sind in den Kosten nicht berücksichtigt.

CHF	≥	≤	ds. Werte	Bemerkungen
Produktzertifikat			3'500	Vorlagepflicht STI 219.0201 (ca.)
mBHKW	46'000	56'000	52'000	SunMachine Pellet
Pellet-Lageraum			3'500	Inkl. autom. Beschickung
PCM Pufferspeicher	3'000	12'000	8'000	Latentspeicher EnergyBall
Installationen			7'000	Heizung, Sanitär, Elektro
Planung			5'000	Approx. Bewertung (Eigenleistungen)
Gesamtkosten			<u>79'000</u>	

Tabelle 1: Investitionen mBHKW

Gebühren und Förderbeiträge Installation

	≥	≤	ds. Werte	Bemerkungen
Installationsanmeldung	1'200	3'000	2'000	Messstelle bereitstellen (approx.)
Installationsaudit	1'200	3'000	2'000	VNB eigenes Auditteam (approx.)
Inbetriebnahme	1'200	3'000	2'000	HKN ³⁵ , Bilanzgruppe
Förderbeitrag			- 3'000	Holzfeuerung Kanton Nidwalden
Gesamtkosten			<u>3'000</u>	

Tabelle 2: Gebühren und Förderbeiträge bei Installation mBHKW

Legende:

≥ Bestcase

≤ Worstcase

min≥ Betriebsstunden 1600 h/a, KEV CHF 0.075

min≤ Betriebsstunden 1600 h/a, KEV CHF 0.395

max≥ Betriebsstunden 2200 h/a, KEV CHF 0.075

max≤ Betriebsstunden 2200 h/a, KEV CHF 0.395

³⁴ Vgl. VSE, Verteilnetzbetreiber (VNB), [20.01.2010] in: <http://www.strom.ch/de/service/verteilnetzbetreiber-vnb.html>

³⁵ Vgl. Swissgrid, Anhang A, zu Punkt 4, [20.01.2010] in:

http://www.swissgrid.ch/power_market/renewable_energies/mkf/download/list/D080404_annex-A-info-sheet.pdf/de

Kosten und Vergütungen (inkl. Minderkosten) Betrieb

	min≤	min≥	max≥	max≤	Ds	Werte	Bemerkungen
Betriebsstunden/a	1600	1600	2200	2200		1900	Standort Heizgradtage
Leistung _{elekt} kWh/a	4800	4800	6600	6600		5700	Mittelwert 3 kW
KEV pro kWh	0,075	0,395	0,075	0,395			pro kWh gemäss Swissgrid
Netznutzung						0,0045	pro kWh gemäss Swissgrid
Zählermiete /a	136	136	136	136		136	Messstelle KEV
Wiederholaudit	3000	1200	3000	1200		2500	VNB hat ggf eigenes Auditteam
Kaminfeger /a	-50	-50	-50	-50			Minderkosten
Heizöl	-2500	-2500	-3500	-3500			Heizöleinkauf CHF 80/100kg
Ertrag/Kosten	- 586	1214	414	2214			

Tabelle 3: Kosten und Vergütungen Betrieb mBHKW**Aufwand und Erlös aus Betrieb**

Die Annuität³⁶ basiert auf einem Zinsfuss von 4,5% pa und einer Amortisationszeit von 25 Jahren. Daraus

folgt ein Kapitaldienst, inkl. Amortisation: $r = K_0 * \frac{q^T * i}{q^T - 1} = 79'000 * \frac{1.045^{25} * 4.5}{1.045^{25} - 1} = \text{CHF } 5216 \text{ pa}$

	min≥	max≥	min≤	max≤	Bemerkungen
Pelleteinkauf /a	-1556	-1556	-2140	-2140	Standort Heizgradtage
Netznutzung ³⁷					CHF 0.0045/kWh
Erlös KEV	360	1896	495	2607	Rückspeisung Swissgrid
Kosten/Vergütungen Betrieb	-586	1214	414	2214	Gemäss Tabelle 3
Total Betriebsergebnis 1	-1782	1554	-1231	2681	
Personalaufwand	0	0	0	0	
Kapitaldienst	-5216	-5216	-5216	-5216	Annuität (siehe oben)
Total Betriebsergebnis 2	-6998	-3662	-6447	-2535	
Unterhalt/Wartung	-500	-500	-500	-500	Revision/Rückstellungen (Annahme)
Total Betriebsergebnis 3	-7498	-4162	-6947	-3035	

Tabelle 4: Aufwand und Erlös aus Betrieb mBHKW

Eine erste Sichtung der Kostenrechnung ergibt: Eine BHKW kann nur dann ökonomisch betrieben werden, wenn...

- ... die Gebühren für Installation und Betrieb wegfallen oder sehr klein sind (Audit, Zähler).
- ... der KEV-Preis pro kWh hoch ist (über 60 Rp/kWh).
- ... das mBHKW nebst einer Mindestbetriebsdauer von über 2000h/a auch eine hohe elektrische Leistung hergeben.
- ... die Energiekosten und Gebühren für die konventionelle Heizanlage steigen.

³⁶ Vgl. Betriebswirtschaft.ch, [20.01.2010], in: <http://www.betriebswirtschaft.ch/default.asp?m=44>

³⁷ Netznutzung wird durch Swissgrid in Rechnung gestellt (Abklärung für Mittelwert 3 kW ist noch offen)

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHES RECHNUNGSMODELL

Stromvergütung und Erlösrechnung

Die Rentabilität von KWK-Anlagen wird nebst den vorgenannten Kosten in entscheidender Weise von dem anlegbaren Wert für die erzeugte thermische und elektrische Energie beeinflusst.

BHKW werden im Normalfall nach der Wärmeverbrauchsstruktur ausgelegt, so dass sich der anlegbare Wert für die erzeugte Wärme aus den Kosten der konventionellen Heizanlage ergibt. Damit sich das BHKW gegenüber der Konkurrenzvariante rentiert, muss somit der Wert für die produzierte Elektrizität mindestens der Differenz aus den Kosten der Anlage, abzüglich des anlegbaren Wertes für die Wärme entsprechen.

Für den BHKW-Betreiber bestehen zwei verschiedene Möglichkeiten der Stromverwendung und damit zwei verschiedene Strombewertungsansätze:

Der produzierte Strom kann in das öffentliche Netz eingespeist werden. Die Bewertung des eingespeisten Stroms erfolgt durch die vereinbarte Stromeinspeisevergütung des aufnehmenden EVU;

oder

Der produzierte Strom kann für den Eigenbedarf verbraucht werden. In diesem Fall erfolgt die Bewertung durch die vermiedenen Strombezugskosten. Die Strombezüger müssen über eine autonome Elektroinstallation nach bestehenden Vorschriften versorgt werden.

Für die Schweiz gilt im „on Netz“, dass der Strom über die Messstelle in das Netz eingespeisen und der Eigenverbrauch über den ordentlichen Zähler bezogen werden muss. Dadurch kann der HKN (8) der Stromproduktion nachgewiesen werden.

Der Gesamtstomerlös besteht aus der Summe der erzielbaren Einspeisevergütung minus die Strombezugskosten für Eigenverbrauch. Für das vorliegende Referenzsystem sind gemäss Tarif die Regelungen für KEV-Erzeuger $\leq 30\text{kVA}$ relevant und dass die Anlage von einem privaten Produzenten betrieben wird. Die Strompreise für Tarifkunden können je nach Abnehmergruppe (Dritt-Zertifikate (7)) und EVU zu Unterschieden der Durchschnittspreise und folglich zu unterschiedlichen Kostenrechnungen führen.

Kostenrechnung

Die Jahreskosten eines BHKW ergeben sich aus der Summe der kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten. Den grössten Anteil an den Gesamtkosten verursachen die Kapitalkosten gefolgt von den verbrauchsgebundenen Kosten. Allerdings können die Kostenanteile je nach Anlagegrösse und baulichen Voraussetzungen starken Schwanken unterliegen. Im Vergleich mit konventionellen Heizungssystemen ist aber der Anteil der Kapitalkosten an den Gesamtkosten höher.

Kapitalgebundene Kosten

Zur Berechnung der kapitalgebundenen Kosten ist die Ermittlung der Investitionskosten der einzelnen Anlagenteile notwendig. Daneben beeinflusst die Wahl der Abschreibungsdauer wie auch die Wahl des zugrunde zulegenden Zinsfusses die Höhe der kapitalgebundenen Kosten wesentlich.

Bei den Investitionskosten für das BHKW sind folgende Anlagenteile zu berücksichtigen:

- Investitionskosten der heizungstechnischen Einbindung des BHKW
- Investitionskosten des Pufferspeichers (3)
- Investitionskosten für sonstige bauliche Massnahmen (z.B. Fundamente)
- Investitionskosten der Stromeinspeisung
- Zusatzkosten für den Heizraum für BHKW (wenn gegenüber einer konventionellen Heizungsanlage zusätzlich benötigt)
- Investitionskosten Lagerraum für Heizmittel (Pellet, ..)
- Zusatz- und Nebenkosten wie Planung, Genehmigung, Erstaudit

Unter technischen Gesichtspunkten macht es Sinn, die Abschreibungsdauer einer mBHKW in Höhe der Anlagenlebensdauer anzusetzen, da die Anlage unter dem technischen Aspekt ihr gesamtes "Leben" Zeit hat, die für sie angefallenen Investitionskosten zu erwirtschaften. Unter dem Aspekt der Sicherheit einer Investition ist dagegen die Wahl einer kürzeren Abschreibungsdauer sinnvoll. Je weiter nämlich der Betrieb eines BHKW in der Zukunft liegt, desto unsicherer sind die zu erwirtschaftenden Erträge, da z.B. Wärmeabnehmer oder KEV ausfallen können. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf einem angenommenen Zinsfuss von 4,5% pa und einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren. Je nach Ziel und Zweck und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Anlagenbetreibers können diese Parameter situativ festgelegt werden.

$$\text{Kapitalgebundene Kosten pa: } r = K_0 * \frac{q^T * i}{q^T - 1} = 79'000 * \frac{1.045^{25} * 4.5}{1.045^{25} - 1} = \text{CHF 5216}$$

Verbrauchsgebundene Kosten

Verbrauchsgebundene Kosten fallen für den Bezug der Brennstoffe, im vorliegenden Beispiel Pellet (üblicherweise Erdgas und/oder Heizöl) und für Hilfsenergie, meist elektrische Energie, für Pumpen, Steuerung an. Der aktuelle Energiepreis für Holzpellet beträgt CHF 43/100kg.

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten bei 1600}^{\text{Ⓢ}} \text{ Betriebsstunden pa} = \text{CHF 1556}$$

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten bei 2200}^{\text{Ⓢ}} \text{ Betriebsstunden pa} = \text{CHF 2140}$$

Betriebsgebundene Kosten

Unter diese Kosten fallen Instandhaltungs- und Personalkosten, sowie ggf. Reserveleistungskosten. Die jährlichen Instandhaltungskosten lassen sich pauschal oder in Prozent der Investitionskosten kalkulieren.

$$\text{Betriebsgebundene Kosten ohne Gebühren}^{\text{Ⓢ}} \text{ pa} = \text{CHF 500}$$

$$\text{Betriebsgebundene Kosten mit Gebühren}^{\text{Ⓢ}} \text{ pa (Audits, Zahlermiete)} = \text{CHF 3136}$$

In der Folge werden die Kosten linear auf 25 Betriebsjahre in unterschiedlichen Sichtweisen analysiert.

Sichtweise Betriebsstunden vs KEV

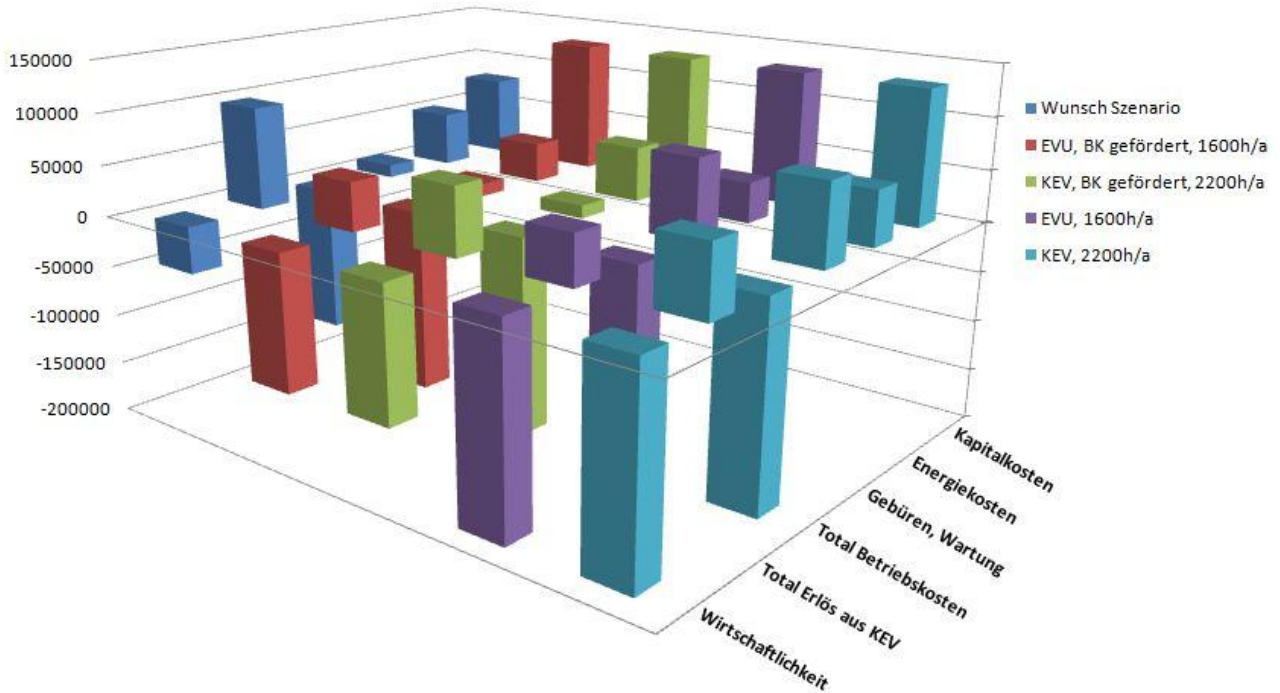


Abb. 15 Mehrkostenverlauf bei unterschiedlichen Betriebsstunden, mit oder ohne Gebühren und kleiner KEV

Messreihe	Wunsch ³⁸		① EVU gefördert 4,5% < 1600 < CHF 500 Nein, 7.5		② KEV gefördert 4,5% > 2200 < CHF 500 Ja, 39.5		③ EVU gefördert 4,5% < 1600h > CHF 3136 Nein, 7.5		④ KEV gefördert 4,5% > 2200h > CHF 3136 Ja, 39.5	
Zinsfuß	Z _f =0									
Betriebsstunden Bh	2200									
Betriebskosten	0									
KEV Rp /kWh	Spezial, 60									
Zeit	pa	∑ 25a	pa	∑ 25a	pa	∑ 25a	pa	∑ 25a	pa	∑ 25a
Kapitalkosten	3160	79000	5216	130400	5216	130400	5216	130400	5216	130400
Energiekosten	2140	53500	1556	38900	2140	53500	1556	38900	2140	53500
Gebühren, Wartung	500	12500	500	12500	500	12500	3136	78400	3136	78400
Total Betriebskosten	5800	145000	7272	181800	7856	196400	9908	247700	10492	262300
Total Erlös	3960	99000	1896	47400	2607	65175	1896	47400	2607	65175
Wirtschaftlichkeit	-1840	-46000	-5376	134400	-5249	131225	-8012	200300	-7885	197125

Tabelle 5: Messreihe Wirtschaftlichkeit von mBHKW

³⁸ Messreihe mit Ausprägung Wunsch geht davon aus, dass die Mehrkosten für Investition mit einem 0% verzinslichen Förderprogramm unterstützt würde.

Wirtschaftlichkeitsrechnung

BHKW stellen eine so genannte Koppelproduktion dar, bei der als Produkte Wärme und Strom erzeugt werden. Eine eindeutige Aufteilung der anfallenden Kosten auf die beiden Produkte ist nicht möglich. Daher ist es notwendig, entweder den Preis für die Wärme oder den Preis für den Strom vorzugeben. Daraus lassen sich dann Einnahmen berechnen, die die Gesamtkosten mindern. Der verbleibende Kostenblock ist folglich dem oppositen Prozessprodukt zurechenbar. Beide Verfahren dürften bezüglich der Wirtschaftlichkeit zu denselben Entscheidungen führen.

Es ist sinnvoll, den Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Wirtschaftlichkeit eines BHKW im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse darzustellen. Dabei sollten Parameter betrachtet werden, die entweder in ihrer Ausprägung besonders unsicher sind, oder welche einen grossen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage haben. Einen wirtschaftlichen Betrieb eines mBHKW wird aus vorgenannten Erkenntnissen (Optimierung der Betriebsstunden) und durch die Investition der KWK-Maschine getrieben. Damit ein mBHKW für den privaten Stromproduzenten wirtschaftlich betrieben werden kann, werden für die Grenzkosten-Betrachtungen nebst den aktuellen Marktbedingungen (KEV, Zins) mit nachstehenden Wunsch-Kennzahlen vorgegeben:

Anschaffungskosten mBHKW: CHF 25'000 (zweifacher Betrag eines modernen Pellet-Heizkessels), in der Folge muss nur 50% der Investition (Mehrkosten CHF 12'500) amortisiert werden.

Gebühren pro Jahr: CHF 400, pauschal (EVU-Verzicht auf monatliche Gebühren Messstelle und jährliche Audits)

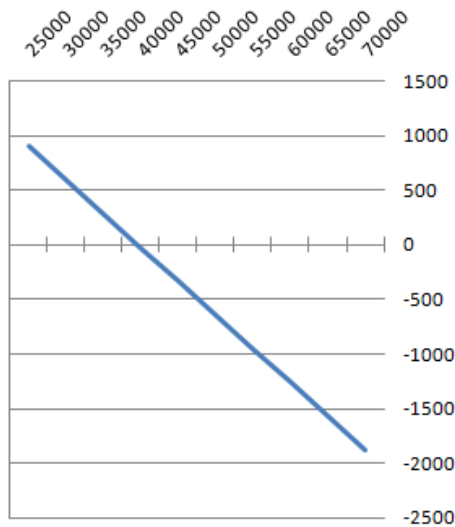


Abb. 16 Kennlinie Investition

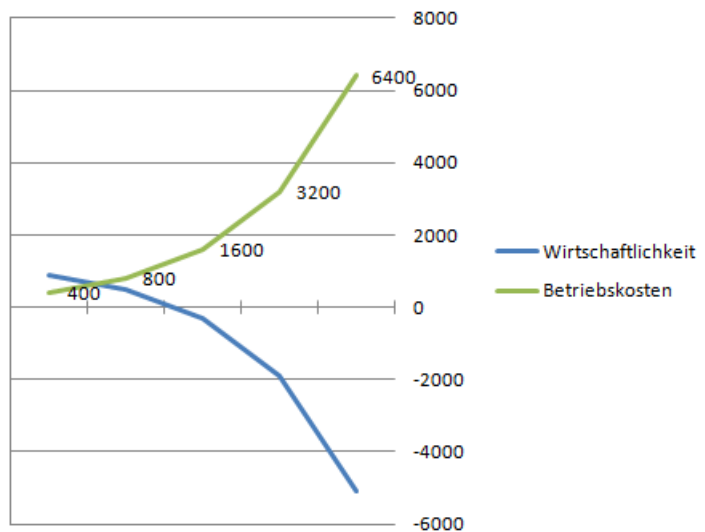


Abb. 17 Kennlinie Betriebskosten/Wirtschaftlichkeit

Ergebnisse:

Bei Anschaffungskosten mBHKW > CHF 37'000 kann mit den aktuellen, vom Markt getriebenen Parametern kein wirtschaftlicher Betrieb gesichert werden.

Wenn die von EVU/Swissgrid geforderten Gebühren die Grenze von CHF 800 pa übersteigen, kann trotz tiefer Investition für das mBHKW von CHF 25'000 keine Amortisation (Ertrag) erzielt werden.

SWOT-Analyse

Um die Chancen für mBHKW auch aus Sicht Hersteller und Markt bewerten zu können, wurde auf Basis einer SWOT³⁹ nachstehende Überlegungen gemacht.

Chancen	Externe Beeinflussung	Gefahren
Steigende E-Tarife [4] CO2 Gebühren [3] Steuern (Investitionen) [2] [3] Nachahmer [1]		tiefere KEV hoher Pelletpreis steigende Annuitätskosten Gebühren für Audits
Stärken	Interne Einflüsse	Schwächen
Referenzanlage [1] Glaubwürdigkeit [2] [3] Effiziente Projektarbeit [4]		Kleine Anlage Hohe Projektkosten Grosser Admin-Aufwand

SWOT Bewertung		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	Chancen (Opportunities)	<ul style="list-style-type: none"> • Interessierte Kunden finden praxisnahe Anlage [1] • Höhere Tarife, CO₂-Gebühren erleichtern Projektarbeiten [2] • Investitionen können an den Steuern abgezogen werden [3] • Höhere Strom-Tarife fördern die Sensibilisierung für die hochwertige Energie „Strom“ 	<ul style="list-style-type: none"> • Was im kleinen läuft, geht auch bei grösseren Anlagen • Investitionen für Nachahmer durch Stückzahl (Menge) kleiner werden lassen (Einkauf) • Zentrale Administration für Bewilligungs- und Betriebsverfahren sicherstellen • Audits für NB bereitstellen (zB über Servicevertrag)
	Gefahren (Threats)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefere KEV müssen durch effizientere PJ-Arbeit mit tieferen Investitionskosten ausgeglichen werden • Höhere Pelletpreise mit CO₂-Abgaben aufheben • Steigende Annuitätskosten mit Steuerabzügen geltend machen • Auditkosten durch Menge Installationen reduzieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefere KEV mit Geschäftsmodellen (zB Selbstversorger) begegnen • Betriebskosten mit genossenschaftlichen Organisationsformen klein halten • Auditverfahren hinterfragen und Nutzen aufzeigen (nicht zur Geldmaschine wie Hype ISO 9001 werden lassen)

Tabelle 6: SWOT Auswertung Ökonomie

[Werte] = Gewichtung/Reihenfolge

³⁹ SWOT ist ein Kunstwort aus der Abkürzung von Stärken (**S**trengths) und Schwächen (**W**eakness) sowie umwelt- bzw. umsystembedingter Chancen (**O**pportunities) und Risiken (**T**hreats)

Verbesserungsvorschläge für die Akteure von mBHKW:

EVU:	Strompreis erhöhen von 10 auf x Rappen/kWh (>30 Rappen)
Swissgrid:	KEV erhöhen von 39,5 auf y Rappen/kWh (identisch Photovoltaik zB 80 Rappen))
Hersteller:	mBHKW Verkaufspreis halbieren auf < CHF 25'000
Staat:	Fördermassnahmen verbessern (zinslose Darlehen, Beteiligungen)

Begründungen:

Strompreis:	Der CH-Strompreis ist im Verhältnis zum benachbarten Ausland sehr tief. Eine transparente Vollkostenrechnung mit Einbezug der - Risiken der Stromproduktion von Grosskraftwerken, sowie den - volkswirtschaftlichen Cash Drain (Investition, importierte Dienstleistungen und Waren), - Langzeit-Rückstellungen für Lagerung, Entsorgung und Unterhalt der AKW-Abfälle - Abgeltung der staatlichen Leistungen (Ausbildung, Verwaltung national, international) müssten zu höheren Stromtarifen führen.
KEV:	Im Sinne der „kostendeckenden Einspeisevergütung“ ist eine garantierte Entschädigung auf eine vertraglich festgelegte Zeitdauer sicher zu stellen.
VP mBHKW:	Der Stückpreis eines mBHKW wird auf CHF 1500-2000 geschätzt (Vergleich VW Golf < € 2500). Somit müsste der VP bei Serienfabrikation < CHF 25'000 betragen können.
Förderung:	Der Staat muss sich seiner volkswirtschaftlichen Verantwortung bewusst werden. Anstelle eines zentralen „Klumpenrisikos“ ist die dezentrale Produktion und Versorgung mit thermischer (Heizung) und elektrischer Energie, zum Teil mit landeseigener Primärenergie (Holz) mit allen Mitteln zu fördern. Dies könnte auch Hand in Hand mit der Privatwirtschaft umgesetzt werden (Deutschland mit 100'000 Einheiten BHKW von Volkswagen). Stromproduktion wird auch in Zukunft Milliarden von Franken verschlingen.

OFFENE PROBLEMSTELLUNGEN

Anlaufprozedur Heissluftmaschine (mBHKW)

Die elektrische Leistung P_e kann bei einem Holzpellet befeuerten mBHKW erst nach einer rund 30 minütigen Startphase (Aufheizphase) erreicht werden. Die optimalen Betriebsbedingungen werden nach rund 60 Minuten nach dem Start erreicht. Der Stirlingmotor ist ein Lang- und Dauerläufer.

Diese Erkenntnisse führen zu folgenden Massnahmen:

Für den Einsatz in Einfamilienhäuser ist ein Pufferspeicher (Heizungswasser-Wärmespeicher) dringendst zu empfehlen. Die Speichergrösse ist so auszulegen, dass pro Tag nur ein Startzyklus zu erfolgen hat.

Berechnungsbeispiel für Musteranlage: $V_{PS} = H_w * \frac{1000}{2} = 12 * \frac{1000}{2} = 6000$ Liter

V_{PS} Volumen Pufferspeicher

H_w Wärmebedarf nach SIA 380/1 [12 kW]

Für den Einsatz in Mehrfamilienhäuser ist eine Kaskadenschaltung vorzusehen. Dabei wird der Einschaltzeitpunkt der zweiten Einheit im Lastverhältnis H_w fixiert. Die mBHKW darf nicht überdimensioniert werden. Bei trägen Raumheizungen (Fussbodenheizung) kann das Volumen V_{SP} um ca. 20-30% reduziert werden. Der Ausschaltzeitpunkt wird 10 K höher als die max. T_{VL} fixiert.

K Kelvin (=1K= 1°C)

T_{VL} Vorlaufstemperatur zB T_{VLmax} 45°C → Ausschaltzeitpunkt 55°C

Das Volumen kann um Faktor 3-4 mit einem PCM Latentspeicher (3) reduziert werden. Der Vorteil: Platzsparende Installation.

Auswirkungen Netzprofil

Nachstehende Grafiken der Lastprofile eines mittelgrossen NB⁴⁰ zeigen die Strom-Unterproduktion im Winter- und die Strom-Überproduktion (Wasserkraft) im Sommerhalbjahr. Als kantonales Werk übernimmt der NB die Verantwortung in volks- und betriebswirtschaftlicher Hinsicht. Volkswirtschaftlich gibt es ein Verbesserungspotential für ein strategisches (politisches) Handeln für eine ausgewogenere Strom-Unabhängigkeit während des Winterhalbjahres.

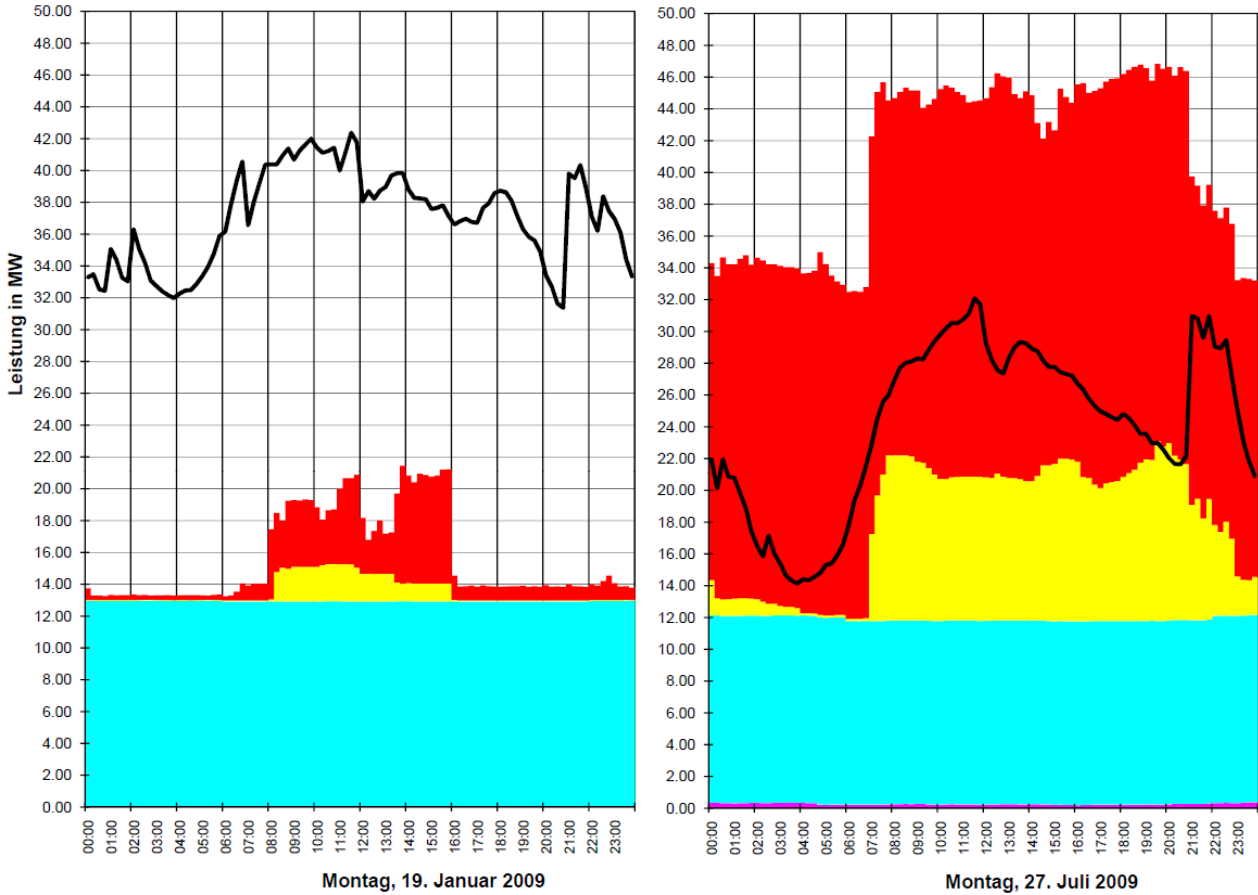


ABB. 25: TAGESPROFILE (SOMMER-WINTER) VNB EWN

Legende: MKF (pink), KKW Partn. (cyan), Eigen Prod. (yellow), KWE Prod. (red), Netzlast (black line)

Im Auftrage des Kantons Nidwalden wurde im Jahre 2007 ein Bericht „Das Potenzial erneuerbarer Energieträger im Kanton NW“ verfasst. Dieser liegt im Anhang (5) Reg. 6 bei. Der Bericht dokumentiert nachstehende Potenziale:

Potenziale in MWh/a	Anwendung	aktuelle Nutzung	Technisches Potenzial	Total Wärme	Total Elektrizität
	Wärme		73'200 18,9%	256'100 66,0%	329'300 84,9%
Elektrizität		130'260 56,4%	68'550 29,7%		198'810 86,1%
Endenergieverbrauch Kt. Nidwalden, BFE 2005 (Anteil NW 0.5% von CH) (Haushalte, Industrie, Dienstleistung, Landwirtschaft, exkl. Verkehr)				388'000 100%	231'000 100%

Tabelle 7: Zusammenfassung Potenziale Erneuerbarer Energieanwendungen Kanton Nidwalden

Das technische Potential Wärme von 256'100 MWh/a entspricht einer Einsparung von 85'000 t CO₂ oder 25'610'000 Liter Heizöl (El) pro Jahr. Setzt man die Schlussfolgerung des Berichts mit der aktuellen Stromproduktion EWN gegenüber und interpoliert/extrapoliert man dessen Daten und Informationen in die Netzlast-Diagramme, so resultieren bemerkenswerte Würdigungen.

⁴⁰ Netzbetreiber (EWN, CH-6370 Stans) mit Netzebenen (NE) 5 und 7

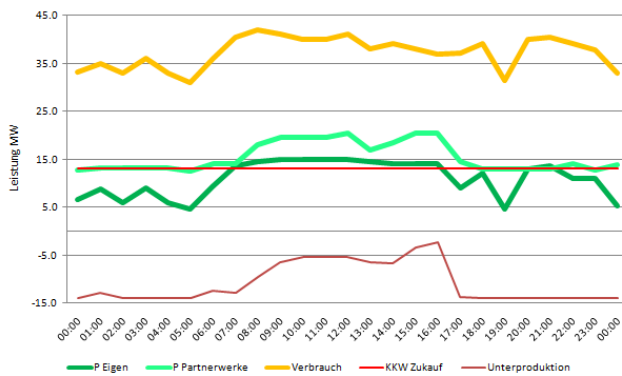


Abb. 18 Interpolierte Kennlinien Wintertag NB EWN

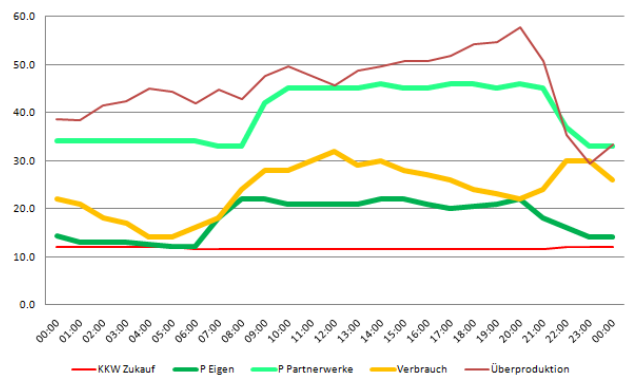


Abb. 19 Interpolierte Kennlinien Sommertag NB EWN

Potenzial bodennahe Geothermie (Wärmepumpen)

Basierend auf diversen nationalen Erhebungen und des AfU-Wärmenutzungskarte „Wärmenutzung aus Wasser und Boden“ aus dem Jahre 2006 kommt die Studie auf ein Potenzial von 42'000 MWh/a. In den Bemerkungen des Berichts(9) wird die Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Wärmepumpe mit 3.0 ausgewiesen (korrigierter Wert, da eine durchschnittliche JAZ von Faktor 3 und mehr bei Wärmequellen von 5-10° C als unrealistisch eingestuft wird). Diese Gegebenheit führt zur Tatsache, dass das Lastprofil um weitere 14'000 mWh /a ansteigt, was bei einer linearen Verteilung im Winterhalbjahr (180 Tage und 24 Stunden) eine Erhöhung der Leistung von 3,25 MW führt.

Anzahl Installationen bestehender Wärmepumpen mit Erdsonden, Grund- & Seewasser: 180 [2006]
 Bestehende Nutzung / Last NE 7 mit Wärmepumpen mit Erdsonden, Grund- & Seewasser: 2,7 MW
 Anzahl Installationen bestehender Wärmepumpen mit Wärmequelle Aussenluft: unbekannt; Annahme 100
 Bestehende Nutzung / Last NE 7 mit Wärmepumpen mit Wärmequelle Aussenluft, JAZ 2.0: 2,25 MW
 Annahme aktuelle Nutzung / Last NE 7 mit Wärmepumpen: Total 4,95 MW

Zukunftsszenario 1: Wärmepumpen und Netzlast

Bei gleichbleibender Energieversorgung und auf Vorgaben auf Basis der MuKE für die künftige Netzlast so ergeben sich durch Extrapolieren:

Neue Wärmepumpen mit Erdsonden, Grund- & Seewasser (JAZ 3): 200 → Erhöhung Last NE 7: 3,0 MW

Neue Wärmepumpen mit Wärmequelle Aussenluft (JAZ 2): 200 → Erhöhung Last NE 7: 4,5 MW

Erhöhung Leistung / Last NE 7: 7,5 MW = ca. 22%

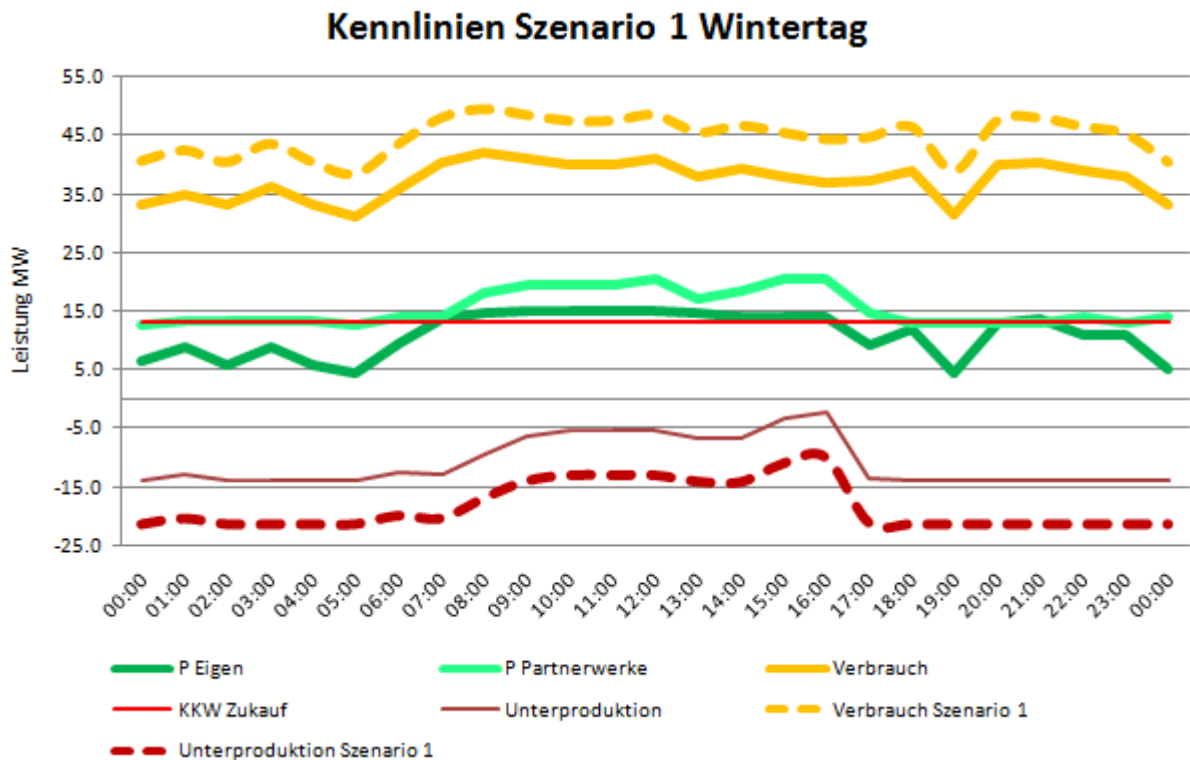


Abb. 20 Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 1 (Wärmepumpen)

Die aktuelle Unterproduktion von 48'942 MWh/Winterhalbjahr erhöht sich auf 82'692 MWh. Gemäss Studie (9) steht dieser Unterproduktion ein Potenzial von total 2310'000 MWh /a zur Verfügung. Das Hauptpotenzial mit 198'810 MWh (86.1%) ist Wasserkraft. Ob dieses Potenzial gleichmässig auf Winter- und Sommerhalbjahr, also zu je 115'500 MWh aufgeteilt werden kann, diese Information ist im Bericht nicht nachgewiesen.

Zukunftsszenario 2: Mikro BHKW anstelle Luftwasser-Wärmepumpen

Die uneingeschränkte Verbreitung von Wärmepumpen könnte sich kontraproduktiv auf die Anstrengungen hinsichtlich Energieeffizienz, Netzbelastung und -steuerung, aber auch auf die Stromproduktion auswirken. Mit Szenario 2 wird die Verbreitung der Wärmepumpen mit JAZ 3.0 zugelassen, das Installations-Potenzial Luftwasser-Wärmepumpen durch mBHKW ersetzt. Bei gleichbleibender Energieversorgung und auf Vorgaben auf Basis der MuKEN für die künftige Netzlast so ergeben sich durch Extrapolieren:

Neue Wärmepumpen mit Erdsonden, Grund- & Seewasser (JAZ 3): 200 → Erhöhung Last NE 7: 3,0 MW

Neue mBHKW mit $P_{\text{elektr}} 3\text{kW}$, mittlere Betriebsstunden 2200h/a: 200 → Last NE 7: - 0,3 MW

Erhöhung Leistung / Last NE 7: 2,7 MW = ca. 7 %

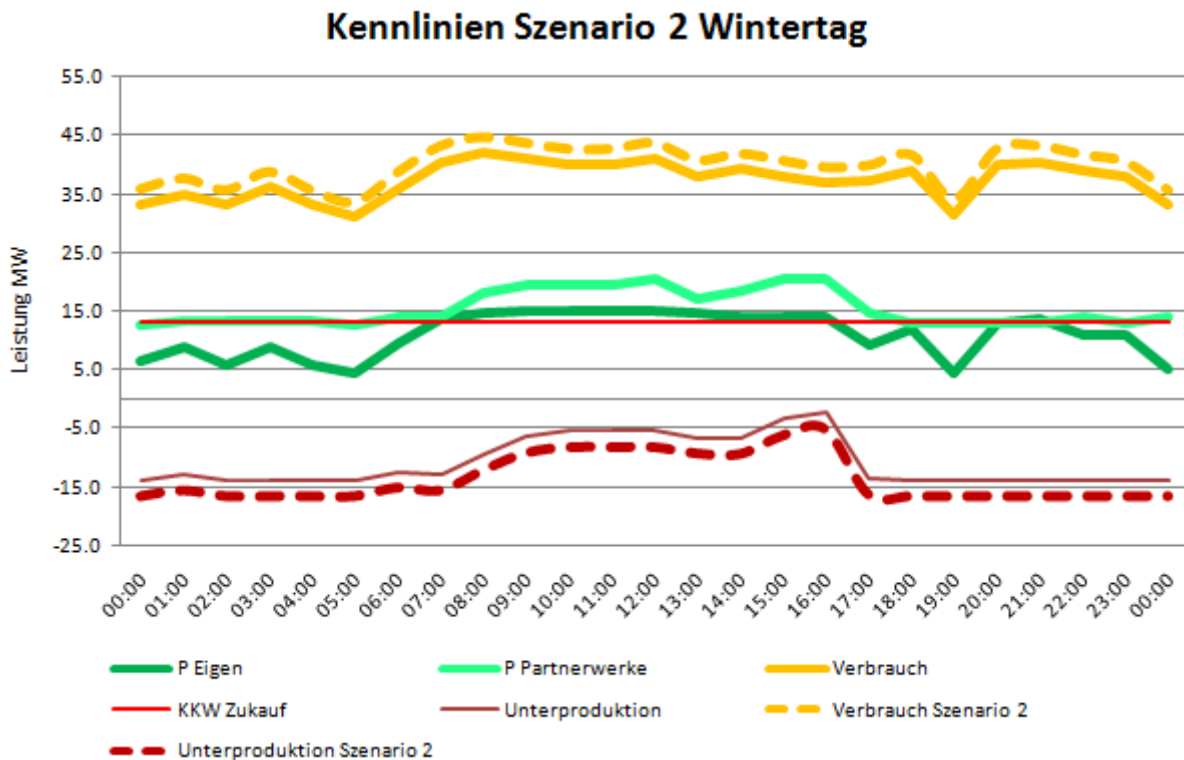


Abb. 21 Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 2 (200 mBHKW)

Trotz dieser Massnahme öffnet sich die Schere betreff Strom-Verbrauch und -Produktion weiter. Die Netzentlastung von linear 0,3 MW ist kaum merkbar. In Bezug auf die Investitionen (volks- und betriebswirtschaftlich) müssten weitere Abklärungen gemacht werden.

Bei Annahme trifft wohl zu, dass im Winterhalbjahr tendenziell der Verbrauch von Wärme und Strom ansteigt. Im Szenario 3 wird dieser Situation entsprechend Beachtung geschenkt.

Zukunftsszenario 3: Mikro BHKW und KWK für Stromproduktion

Das Geschäftsmodell vom EVU Lichtblick und dem Autokonzern VW (1) zeigt, dass auch BHKW in Wohnquartieren und KMU betriebswirtschaftlich und kurzfristig geplant und in Betrieb genommen werden können. In den nächsten Jahren sollen rund 100'000 BHKW durch VW in Deutschland gebaut und an das Netz angeschlossen werden. Man rechnet mit einer jährlichen Stromproduktion in der Größenordnung von über fünf Kernkraftwerken.

Für das Szenario 3 wird davon ausgegangen, dass auf 20 Standorten eine KWK-Anlage mit einem Gasmotor mit einer Leistung von 0,5 MW installiert. KWK-Systeme mit Gasmotor sind nicht CO₂-neutral, die Energieeffizienz ist jedoch mit nahezu 100% optimal.

Die Leistungen P_{elektr} und $P_{\text{thermisch}}$ wird mit 50:50 Prozentpunkten verteilt. Die Wärmeleistung wird über Fern- und Verbundwärme im urbanen Gebiet abgegeben. Der KWK-Betrieb wird auf die Heizperiode beschränkt.

Neue Wärmepumpen mit Erdsonden, Grund- & Seewasser (JAZ 3): 200 → Erhöhung Last NE 7: 3,0 MW
 Neue mBHKW mit Pelekt 3kW, mittlere Betriebsstunden 2200h/a: 200 → Last NE 7: - 0,3 MW
 Neue Mini-BHKW mit Pelekt 250kW, mittlere Betriebsstundenzahl 2200h: 20 → Last NE 7: - 2,55 MW
 Erhöhung Leistung / Last NE 7: 0,15 MW = ca. 0,43 %

Kennlinien Szenario 3 Wintertag

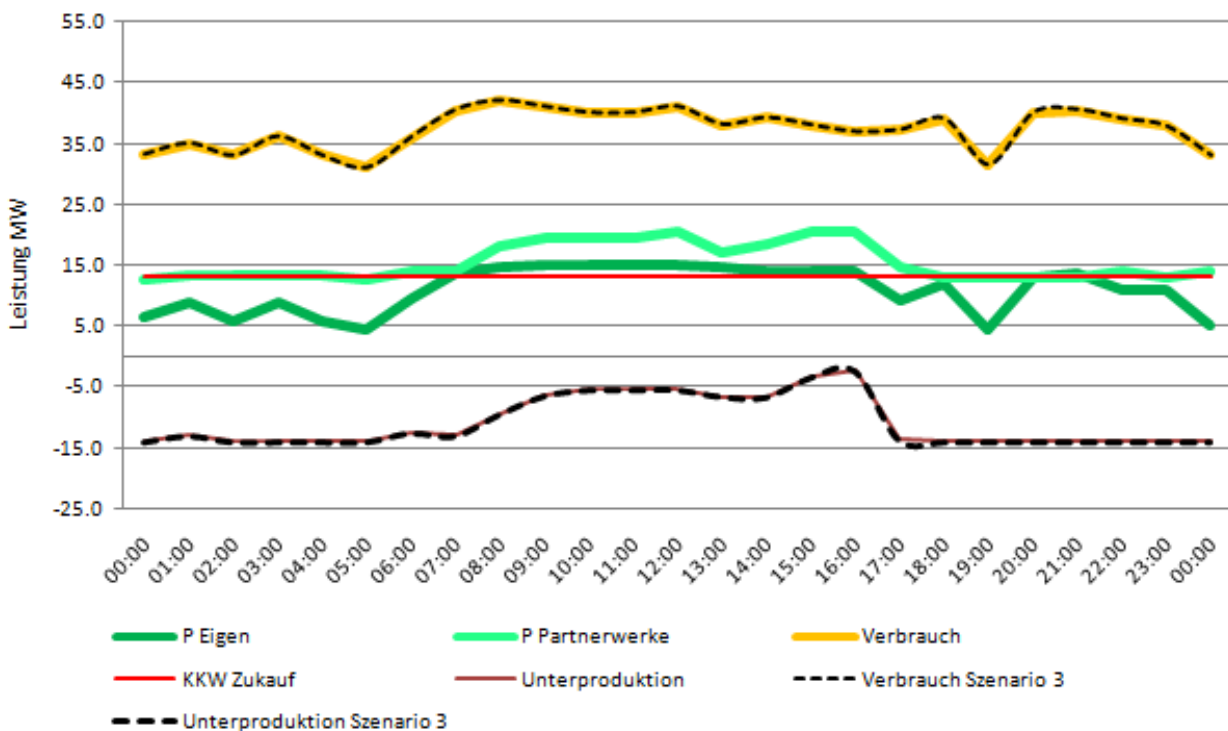


Abb. 22 Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 3 (200 Mikro- + 20 Mini-BHKW)

Szenario 3 sichert für rund 1400 Wohneinheiten ohne Mehrbezug von externen Stromproduktionsstätten und ohne Mehrverbrauch an elektrischem Strom die notwendige Wärmeenergie während des Winterhalbjahres. Dies entspricht einer Substitution von rund 2,5 Mio. Liter Heizöl (EL) und einer massiven Reduktion an CO₂-Ausstoss.

Eine Aufhebung der Unterproduktion von eigenem Strom im Netz EWN könnte mit der Installation von weiteren 100 Mini-BHKW erzielt werden.

EVU gesteuerte Einschaltzeiten für BHKW und Wärmepumpen

Ein nachhaltig geführtes Netzmanagement bedarf der Möglichkeit einer verfeinerten Ein- und Ausschalt-Steuerung von „Wärmegeräten“. Wärmepumpen und BHKW benötigen optimale Betriebsbedingungen, welche im Normalfall nach 20 bis 60 Minuten Betriebszeit erreicht werden. Dazu kommt die Tatsache, dass die Lebenserwartung einer Anlage durch die Anzahl Ein- und Ausschaltungen erhöht werden kann. Nimmt man die Erfahrung dazu, dass „Langläufer“ weniger Unterhaltsarbeiten benötigen, so ist die Empfehlung einer Einschalt-Periodizität von ein bis zwei Zyklen pro Tag optimal.

Die eingeschränkte Lastregelung von „Wärmegeräten“ kann technisch mit einer Stufenschaltung (Kaskade) und durch einen Pufferspeicher korrigiert werden. Da sich die Kaskadierung (2, oder mehr Systemeinheiten in Serie geschaltet) aus betriebswirtschaftlichen (Investition, Wartung) Überlegungen kaum lohnen wird, ist der Einsatz von Pufferspeichern (Heizungswasser) stark verbreitet. Seit geraumer Zeit gibt es PCM-Speichersysteme(3) die das Speichervolumen und somit die Rauminvestitionen um Faktor 3 bis 4 reduzieren.

Wenn BHKW für Politik und EVU's verstärkt am Markt abgesetzt werden und sich als Teil der Stromproduktion etablieren könnte, so ist eine Steuerung⁴¹ der Freigabe- und Sperrzeiten des BHKW sinnvoll. Weitere Steuerungs-/Regelungsparameter könnten sein:

- Stromgeführte Wärmeproduktion (moderne BHKW können intern P_{elekt} und P_{therm} bis zu einem Verhältnis von ca. 50:50 Prozentpunkten regeln
- Pufferspeicher
- ggf elektrische Heizung bei Überproduktion

⁴¹ Rundsteueranlage des EVU

SCHLUSSFOLGERUNG / CONCLUSION

Die gemachten Erkenntnisse ermahnen zukünftige Betreiber von mBHKW zu praxisorientiertem Denken und Handeln. Die energetisch und ökologisch positiven Vorteile werden durch administrative und betriebswirtschaftliche Aspekte massiv relativiert. Versucht man mBHKW im Wirkungsdreieck zu bewerten, so erkennt man in volkswirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht die Bestnoten.

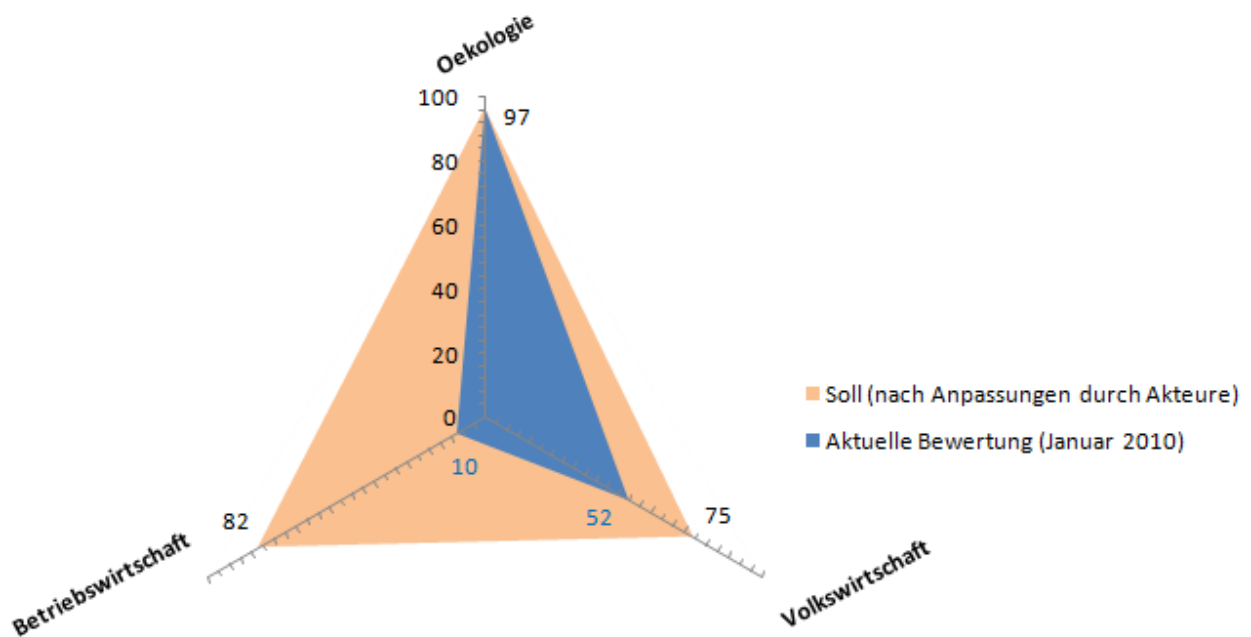


Abb. 23 Wirkungsdreieck mBHKW (aktuell und nach Anpassungen der Marktvorgaben)

Der unausgewogene Deckungsgrad für die Wirkungssicht *Betriebswirtschaft* eines BHKW wird in Abb. 23 ersichtlich. Die zugehörigen Werte Investitionen, Betriebskosten und KEV können im Gegensatz zu ökologischen und volkswirtschaftlichen Wirkungssichten durch Förderungsmassnahmen⁴² wesentlich verbessert werden. Bei Umsetzung der umschriebenen Empfehlungen wird eine Verbesserung der Wirkungssicht Betriebswirtschaft von 10 auf 82 Prozentpunkte erreicht.

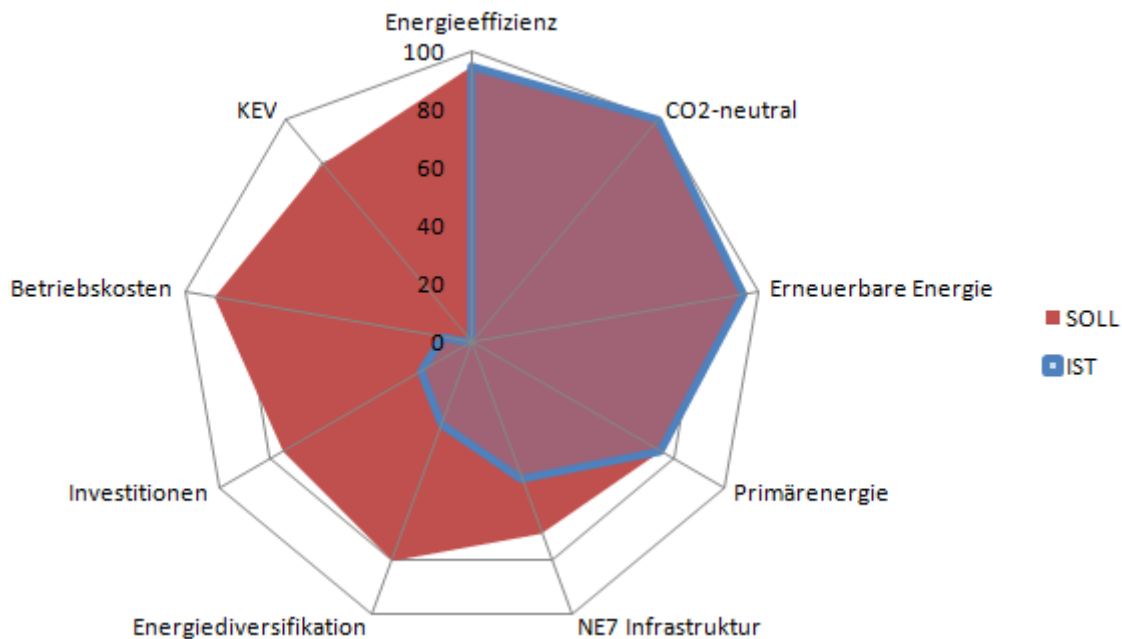


Abb. 24 Deckungsgrad mBHKW IST-SOLL der Markt-Bewertungskriterien

⁴² Förderungsmassnahmen sind: 0% Kapitalverzinsung der Mehrinvestitionen, kostenfreie Audits und Abrechnung Messstelle durch den Netzbetreiber, KEV CHF 0.60/kWh

Der Bewertungskatalog kann nicht als vollständig betrachtet werden. Dennoch muss bei Politik und bei den Marktakteuren die Tendenz ausgemacht werden, dass sie die Vorteile und den Nutzen von mBHKW noch nicht erkannt haben. Gegenüber anderen Stromproduktionsgeräten für Einfamilienhäuser wie zum Beispiel Windgeneratoren, Photovoltaik ist ein mBHKW, speziell bei den Ausprägungen wie Primärenergieverbrauch, Investition pro kW_{pic} und nicht bewertete Aspekte wie Landschaftsschutz und Raumplanung, im Vorteil.

Wirkungssicht/Thema	IST %-punkte	Ausprägung	%-punkte SOLL		
Oekologie / Gesellschaft	97	95	Energieeffizienz	95	97
		100	CO ₂ -neutral	100	
		95	Erneuerbare Energie	95	
Volkswirtschaft	52	75	Primärenergie	75	75
		50	NE7 Infrastruktur	70	
		30	Energiediversifikation	80	
Betriebswirtschaft	10	20	Investitionen	75	82
		10	Betriebskosten	90	
		0	KEV	80	

Tabelle 8: Ausprägungen (Auswahl) für Wirkungsdreieck mBHKW

Erkenntnis:

Bei den aktuellen Marktbedingungen und Energiepreisen ist ein wirtschaftlicher Betrieb eines mBHKW nicht möglich. Selbst bei Umsetzung der Empfehlungen und Förderungsmassnahmen wird ein negatives Betriebsergebnis erzielt. Diese rote Null kann durch zusätzliche ökologische Bewertungen zu einer „grünen Null“ verschönert werden.

Fazit: mBHKW können wirtschaftlich betrieben werden, wenn ...

- ... **grössere Einheiten** mit $> 10 \text{ kW } P_{\text{elektr.}}$ eingesetzt werden (grössere $P_{\text{thermisch}}$ → Wärmeverbund mit Nachbarn → Halbierung der Investitionskosten.
- ... die **Ein- und Ausschaltzeiten** (Steuerung der KWK) durch den EVU vorgegeben werden können um Verbrauchsspitzen im Netz zu dämpfen → Pufferspeicher für $P_{\text{thermisch}}$ → BHKW im Besitze des EVU.

In naher Zukunft wird sich die Qualität der Energieversorgungssicherheit in Anbetracht der enormen Verbreitung von Wärmepumpen und der daraus entstehenden Unausgewogenheit der Netzlast aufzeigen. Für das EVU könnte sich eine paritätische Aufteilung von mBHKW und Wärmepumpen als Optimum ergeben. Speziell dann, wenn beide Wärmeerzeugungsgeräte durch das EVU gesteuert und auf Pufferspeicher arbeitend, betrieben werden.

Für kleine und mittelgrosse Gemeindewerke könnte mit BHKW ein neues Produkt/Dienstleistung „Wärmelieferung“ lanciert und damit ein neuer Markt erschlossen werden. Getrieben von KWK-Anlagen mit einer mittleren Leistung wird die Vorhersage von Stromverbrauch besser und betriebswirtschaftlich mit kleineren Risiken kalkulierbar. Für die mitteleuropäischen Breitengraden stehen Wärme- und Stromverbrauch im Winterhalbjahr in einem direkten Verhältnis und zeichnen einen hohen Deckungsgrad auf.

ABKÜRZUNGEN

Kurzname	Name	Bemerkungen
2000wG	2000 Watt-Gesellschaft	Vision der ETHZ
ABu	Anlagenbuchhaltung	
Akteur	Person, Organisation (Unternehmen) im E Marktplatz	
AKW	Atomkraftwerk	
BAB	Betriebsabrechnungsbogen	
BeBu	Betriebsbuchhaltung	
BG	Bilanzierungsgruppe	
BHKW	Blockheizkraftwerk	
Cost plus	Zielkostenrechnung	
EIC	ETSO Identification Coding Scheme	
EICom	staatliche unabhängige Regulierungsbehörde der CH	http://www.elcom.admin.ch/
EnV	Energieverordnung vom 7. Dezember 1998	SR-Nummer. 730.01.
Estl	Eidg. Starkstrominspektorat	
ETSO	European Transmission System Operators	
EVU	Energieversorgungsunternehmen	
HKN	Herkunftsnachweis	Swissgrid Dienstleistung
KEV	Kostendeckende Einspeisvergütung	
KST	Kostenstelle	
KWK	Kraftwärmekopplung	
MMEE CH	Marktmodell für elektrische Energie Schweiz	
NE	Netzebene (1-7; 2,4,6=Transformierungsebenen)	
NUV	Nettoumlaufvermögen	= Umlaufvermögen - kurzfristiges Fremdkapital
PCM	Phase Change Material	Enthalpiewärme PCM
StromVG	Stromversorgungsgesetz	
StromVV	Stromversorgungsverordnung	
TSO	Transmission System Operator	Landesorientierte Organisation
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity	
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber	
VNB	Verteilnetzbetreiber	
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen	
SI	Schweizer Industrienorm	

NOMENKLATUR

Abgeleitete SI-Einheiten/Grösse	Einheit	Einheiten- zeichen	andere SI-Einheiten ausgedrückt	SI-Basiseinheiten ausgedrückt
Frequenz	Hertz	Hz		s^{-1}
Kraft	Newton	N	J/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Druck	Pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energie, Arbeit	Joule	J	$N \cdot m$; Ws	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Leistung	Watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
elektrische Ladung	Coulomb	C		$A \cdot s$
elektrische Spannung (elektrische Potentialdifferenz)	Volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
elektrische Kapazität	Farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
elektrischer Leitwert	Siemens	S	$1/\Omega$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetischer Fluss	Weber	Wb	V·s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetische Flussdichte Induktion	Tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induktivität	Henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C		K
Temperaturdifferenz	ΔT	°C		K
Lichtstrom	Lumen	lm	cd·sr	cd
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	lm/m ²	$m^{-2} \cdot cd$
Radioaktivität	Becquerel	Bq		s^{-1}
Energiedosis	Gray	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
katalytische Aktivität	<u>Katal</u>	kat		$s^{-1} \cdot mol$
Speicherkapazität			J/kg	
Spezifische Schmelzwärme (Enthalpie Phasenwechsel /kg)			J/kg	
Energieverbrauch (ds P 1kW*Jahresstundenzahl 8760 h)		E_V	MWh/a	
KWK Leistung elektrisch		P_{elekt}	kWh	
KWK Leistung thermisch		P_{therm}	kWh	
Elektrischer Nutzungsgrad KWK (typisch 0,3 ... 0,4)		η_{elekt}		
Thermischer Nutzungsgrad KWK (typisch 0,90 ... 0,98)		η_{therm}		
Gewichteter Nutzungsgrad KWK (typisch 1,0 ... 1,3)		η_{BHKW}		

REFERENCES

Literaturverzeichnis

1. **FAZ.** BHKW von Autohersteller VW. s.l. : Anhang, 2009.
2. **Gesellschaft, 2000Watt.** [Online] <http://de.wikipedia.org/wiki/2000-Watt-Gesellschaft>.
3. **Schmid, Silvan Dr.** PCMs in building applications (Scientific Report). s.l. : Advanceng GmbH, 2009.
4. **HEV.** Heizgradtage. [Online] 2008. <http://www.hev-schweiz.ch/vermieten-verwalten/heizgradtage/heizgradtage-2008/>.
5. **Schmid, Paul.** Wissenswertes über mBHKW. 2009. Anhang CAS EVU Management.
6. **Swissgrid.** Anmeldung für die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV). [Online] http://www.swissgrid.ch/power_market/renewable_energies/.
7. **Naturemade.** Energiefonds für ökologisch prouzierte Energie. [Online] http://www.naturemade.ch/Deutsch/Label/label_d.htm.
8. **Swissgrid.** Anmeldeformular Identifikationsdaten des Marktakteurs. 2009.
9. **Bossard, Beda und Zurfluh, Benno.** Das Potenzial erneuerbarer Energieträger im. 2007.
10. **Eidgenossenschaft, Schweizerische.** Rechtsgrundlagen Strommarkt Schweiz. [Online] <http://www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html>.
11. **BFE, Gesamtenergiestatistik.** Detailliertes Energieflussdiagramm der Schweiz 2007.
12. **EWN.** Konditionen für die Einspeisung von erneuerbaren Energien. 2009.
13. **Swissgrid.** Anmeldung zur Kostendeckenden Einspeisevergütung Biomasse. 2009.
14. **Annuität, Wikipedia.** Annuitätenrechnung.
15. **SWOT, Wikipedia.** SWOT-Analyse. [Online] <http://de.wikipedia.org/wiki/SWOT-Analyse>.
16. **BFS.** Gebäude und Wohnungen. [Online] <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/22/publ.Document.120194.pdf>.
17. **BHKW, Infozentrum.** Blockheizkraftwerk Kraft-Wärme-Kopplung. [Online] <http://www.bhkw-infozentrum.de/erlaeuter/kwkprinzip.html>.
18. **Meijer, Dr. Rolf. J.** sesusa.org. Stirlingmotor. [Online] <http://www.sesusa.org/types.htm>.
19. **Stirling, PowerModule.** SPM-Modul. [Online] <http://www.stirlingpowermodule.com/>.
20. **Stirling, Sunmachine.** SUNMACHINE.COM. [Online] <http://www.sunmachine.com/>.
21. **Stirling, WhisperGen.** OnGrid microCHP. [Online] <http://www.whispergen.com/main/acwhispergen/>.
22. **Stirling, James.** gap-system, Oranisation. [Online] <http://www.gap-system.org/~history/Mathematicians/Stirling.html>.
23. **Stirling, awtec.** SEM, die stromerzeugende Heizung. [Online] <http://www.awtec.ch/de/referenzen/projekte/energie/stirlingbhkw/index.html>.
24. **BFS, Energieverbrauch.** Gesamtentwicklung Kennzahlen. [Online] <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/>.
25. **Energieeffizienz, AEE Agentur für Erneuerbare Energien.** [Online] <http://www.aee.ch/de/home.html>.
26. **Hartmann, Christoph.** Climate Software Solutions. Regionale Energie- und Treibhausgasbilanzierung. [Online] <http://www.ecospeed.ch/>.
27. **BFE.** Mustervorschriften der Kantone im Gebäudebereich (MuKE). [Online] <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00528/index.html>.
28. **KWK, Infozentrum.** Mini/Mikro Kraft-Wärme-Kopplung. [Online] <http://www.bhkw-infozentrum.de/erlaeuter/kwkprinzip.html>.
29. **Eidgenossenschaft, Schweizerische.** Stromversorgungsgesetz. [Online] admin.ch, 2007. <http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/734.7.de.pdf>.
30. **SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik.** SEV. [Online] 2009. <http://www.strom.ch/de.html>.
31. **Schmid, Paul.** Wissenswertes mBHKW mit Pellet. Emmetten : s.n., 2009.
32. **Sterlingmotor, Wikipedia.** Stirlingmotor. [Online] <http://de.wikipedia.org/wiki/Stirlingmotor>.
33. **gap-system, Oranisation.** James Stirling. [Online] <http://www.gap-system.org/~history/Mathematicians/Stirling.html>.
34. **Eidgenossenschaft, Schweizerische.** MMEE CH. Marktmodell für die Elektrische Energie Schweiz (MMEE-CH). [Online] 2009. www.strom.ch/uploads/media/Ausgabe_12_2006_01.pdf.
35. —. Stromversorgungsverordnung. [Online] admin.ch, 2008. <http://www.admin.ch/ch/d/as/2008/1223.pdf>.

VERZEICHNISSE

Abbildungen

Abb. 1	Prinzipschema und Energieflüsse-Diagramm einer KWK-Anlage	5
Abb. 2	Schnitt durch einen Stirlingmotor mit Rhombenantrieb	6
Abb. 3	Funktionsweise Stirlingmotor (Alpha Bauform)	6
Abb. 4	SUNMACHINE Pellet ist eine innovative Systemlösung für mBHKW	8
Abb. 5	Schweizerische Gesetzeswerke rund um die Energie.....	9
Abb. 6	EVU-Firmenstruktur im liberalisiertem Strommarkt.....	10
Abb. 7	ENERGIEFLUSSDIAGRAMM DER SCHWEIZ 2007 (BFE 2007)	11
Abb. 8	Stromverbrauch nach Kundengruppen (Quelle: VSE 2009)	12
Abb. 9	Stromverbrauchs pro Haushalt (Bulletin SEV/VSE 19/07).....	12
Abb. 10	Gesamtenergieverbrauch in TJ (BFS 2007).....	12
Abb. 11	Energieverwendung pro Haushalt (Extrapoliert).....	13
Abb. 12	Energieverbrauch pro Haushaltung in Ein- & Zweifamilienhäuser	13
Abb. 13	Prinzipschema Hydraulik Musteranlage	14
Abb. 14	Vertragsobjekte für Musteranlage (Stand September 2009).....	16
Abb. 15	Mehrkostenverlauf bei unterschiedlichen Betriebsstunden, mit oder ohne Gebühren und kleiner KEV	21
Abb. 16	Kennlinie Investition.....	22
Abb. 17	Kennlinie Betriebskosten/Wirtschaftlichkeit	22
Abb. 18	Interpolierte Kennlinien Wintertag NB EWN.....	27
Abb. 19	Interpolierte Kennlinien Sommertag NB EWN.....	27
Abb. 20	Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 1 (Wärmepumpen).....	28
Abb. 21	Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 2 (200 mBHKW).....	29
Abb. 22	Extrapolierte Kennlinien Wintertag Szenario 3 (200 Mikro- + 20 Mini-BHKW).....	30
Abb. 23	Wirkungsdreieck mBHKW (aktuell und nach Anpassungen der Marktvorgaben).....	32
Abb. 24	Deckungsgrad mBHKW IST-SOLL der Markt-Bewertungskriterien.....	32

Tabellen

Tabelle 1:	Investitionen mBHKW.....	17
Tabelle 2:	Gebühren und Förderbeiträge bei Installation mBHKW	17
Tabelle 3:	Kosten und Vergütungen Betrieb mBHKW	18
Tabelle 4:	Aufwand und Erlös aus Betrieb mBHKW	18
Tabelle 5:	Messreihe Wirtschaftlichkeit von mBHKW	21
Tabelle 6:	SWOT Auswertung Ökonomie	23
Tabelle 7:	Zusammenfassung Potenziale Erneuerbarer Energieanwendungen Kanton Nidwalden	26
Tabelle 8:	Ausprägungen (Auswahl) für Wirkungsdreieck mBHKW	33