

Ortsgemeinde Enkenbach-Alsenborn

Machbarkeitsstudie

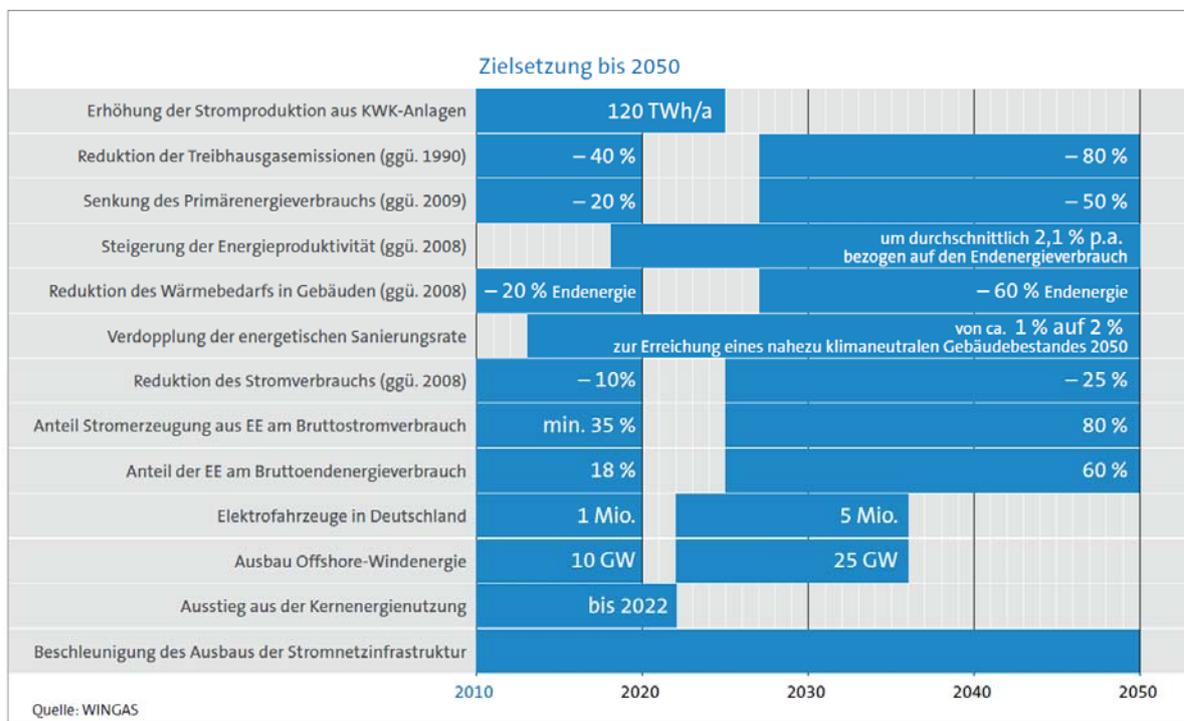
**„Einsatz von KWK-Anlagen in Wohngebäuden der
Ortsgemeinde“**

Inhaltsverzeichnis

1. ZIELSETZUNG DER STUDIE.....	1
2. KWK POTENZIAL IN DER ORTSGEMEINDE	5
3. ERSTELLUNG VON VERBRAUCHSPROFILIEN.....	8
4. KWK-TECHNOLOGIEN.....	11
5. BETREIBERMODELLE	15
6. REFERENZOBJEKTE	16
7. FAZIT UND WEITERE VORGEHENSWEISE.....	25

1. Zielsetzung der Studie

Die Energieversorgung in der Bundesrepublik Deutschland befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. So belegten die erneuerbaren Energien in 2014 erstmals Platz eins im deutschen Strom Mix. In 2015 betrug der Anteil regenerativen Stroms 32,5%.¹ Die Zielsetzung der Bundesregierung sieht vor den regenerativen Anteil der Bruttostromerzeugung bis zum Jahr 2025 auf 40 bis 45% auszubauen.



Ein wesentlicher Baustein zur Erreichung der hoch gesteckten Klimaziele ist die Neuausrichtung der Energieversorgung. Dabei stehen unter anderem die Nutzung regenerativer Energiequellen, eine verstärkte Dezentralisierung der Energieerzeugung sowie eine verbesserte Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie im Fokus der Bundesregierung. Eine bedeutende Rolle in den Plänen der Bundesregierung fällt daher der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zu.

¹ Vgl. Agora Energiewende (2015).

Sie ermöglicht sowohl eine Dezentralisierung der Energieerzeugung, als auch eine verbesserte Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie. Ein weiterer Vorteil von KWK-Anlagen ist, dass sie sich schnell an veränderte Betriebsbedingungen anpassen lassen. Somit sind sie geeignet, die zukünftigen Anforderungen an eine sichere Stromversorgung zu erfüllen, die im Zusammenspiel mit den fluktuierenden Erneuerbaren Energien (EE) wie Windkraft und Fotovoltaik entstehen.

KWK-Anlagen produzieren Strom und Nutzwärme gleichzeitig. Dabei wird die Wärme standardmäßig als Heizwärme genutzt. Gegenüber einer konventionellen Versorgung durch einen Heizkessel und den Strombezug aus dem öffentlichen Netz können so bis zu 30 % Primärenergie eingespart werden. Aus diesem Grund ist es Ziel der Bundesregierung, den Anteil des in KWK-Anlagen produzierten Stroms bis 2020 auf 120 TWh pro Jahr zu erhöhen.² Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen fördert die Bundesregierung KWK-Anlagen mit einer Vielzahl von Maßnahmen und Gesetzen. Hierzu zählen unter anderem das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) und das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG).

² Vgl. Präambel KWKG

Die Ortsgemeinde Enkenbach-Alsenborn unterstützt die energetischen Ziele der Bundesregierung und möchte langfristig selbst zur Null-Emissions-Gemeinde werden. Die Gemeinde liegt ca. 10 km östlich von Kaiserslautern und hat ca. 7.200 Einwohner. Die ortsansässigen Gemeindewerke betreiben sowohl das lokale Stromnetz sowie ein ca. 4,1 km langes Fernwärmenetz. Zur Erreichung des langfristigen Ziel der Klimaneutralität wurden bereits zahlreiche Projekte umgesetzt (Auszug):

- Installation eines Biomasseheizkraftwerkes (BMHKW) mit 2,6 MW elektrischer Leistung sowie einer möglichen Wärmeauskopplung bis zu 3 MW.
- Unterstützung des BMHKW durch eine erdgasbefeuerte BHKW-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 400 kW.
- Aufbau mehrerer „kleiner“ Nahwärmeinseln und Ausstattung mit Holzhackschnitzelheizungen sowie KWK-Anlagen.
- Errichtung einer Fotovoltaik Freiflächenanlage mit ca. 5 MW elektrischer Leistung sowie zahlreicher dezentraler Dachanlagen.

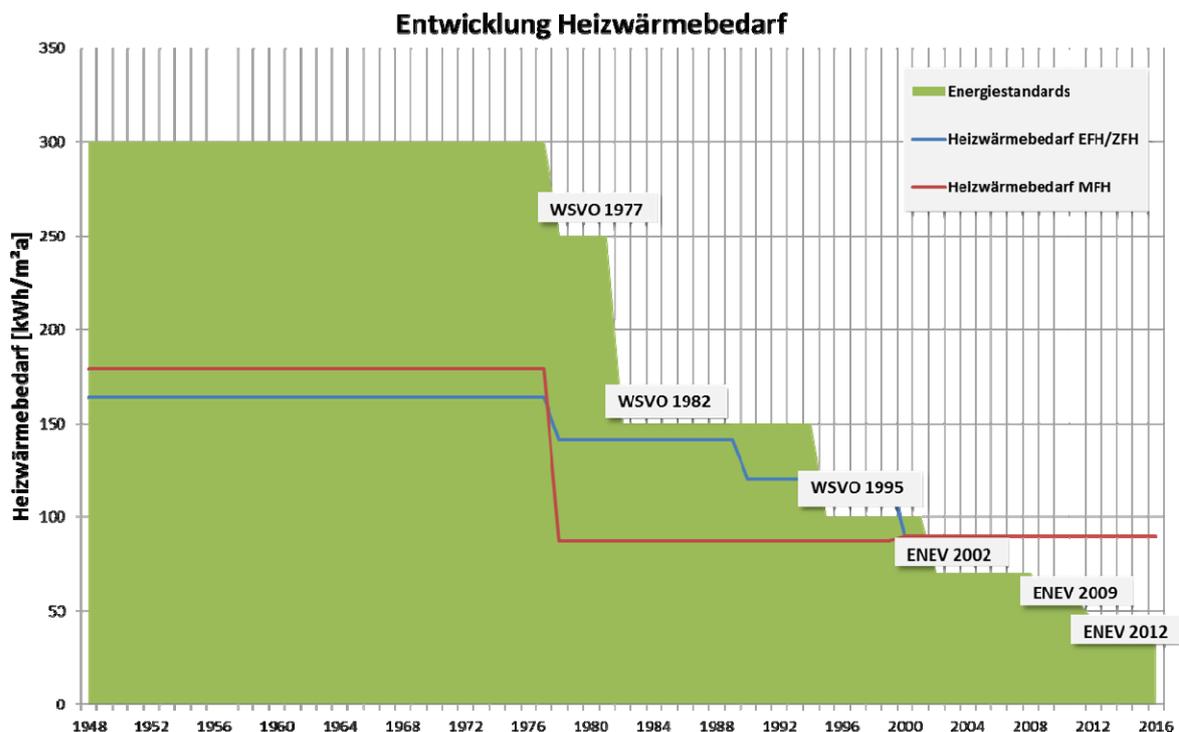
Mittelfristig strebt die Ortsgemeinde Enkenbach-Alsenborn die Implementierung eines virtuellen Kraftwerkes an. Dieses soll vorrangig dazu dienen, eine verbesserte Integration Erneuerbarer Energien und KWK-Technologien in das lokale Stromnetz einzubinden. Als Ergänzung zur Nah- und Fernwärmeversorgung in Enkenbach-Alsenborn kann ein dezentraler Kraftwerkspark die Steuerbarkeit von elektrischer Energie verbessern und einen Beitrag zur Netzstabilität leisten. Grundidee der vorliegenden Ausarbeitung ist es daher zu untersuchen, inwieweit KWK-Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. in größeren Mietobjekten eingesetzt werden können und mittelfristig in ein virtuelles Kraftwerk integriert werden können.

Zunächst wird hierzu das KWK-Potenzial in der Ortsgemeinde überschlägig anhand des Wärmebedarfes abgeschätzt. Anschließend werden Verbrauchsprofile für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie für Mietobjekte erstellt. Es werden die am Markt verfügbaren KWK-Technologien mit Hinblick auf ihre Vor- und Nachteile hin

untersucht. Die Festlegung von Betreiber Modellen dient dazu aufzuzeigen, wie bereits kurzfristig KWK-Anlagen in der Ortsgemeinde platziert werden können. Schließlich wird anhand zweier Referenzobjekte aufgezeigt, wie sich der Einsatz von KWK Stand heute wirtschaftlich darstellt.

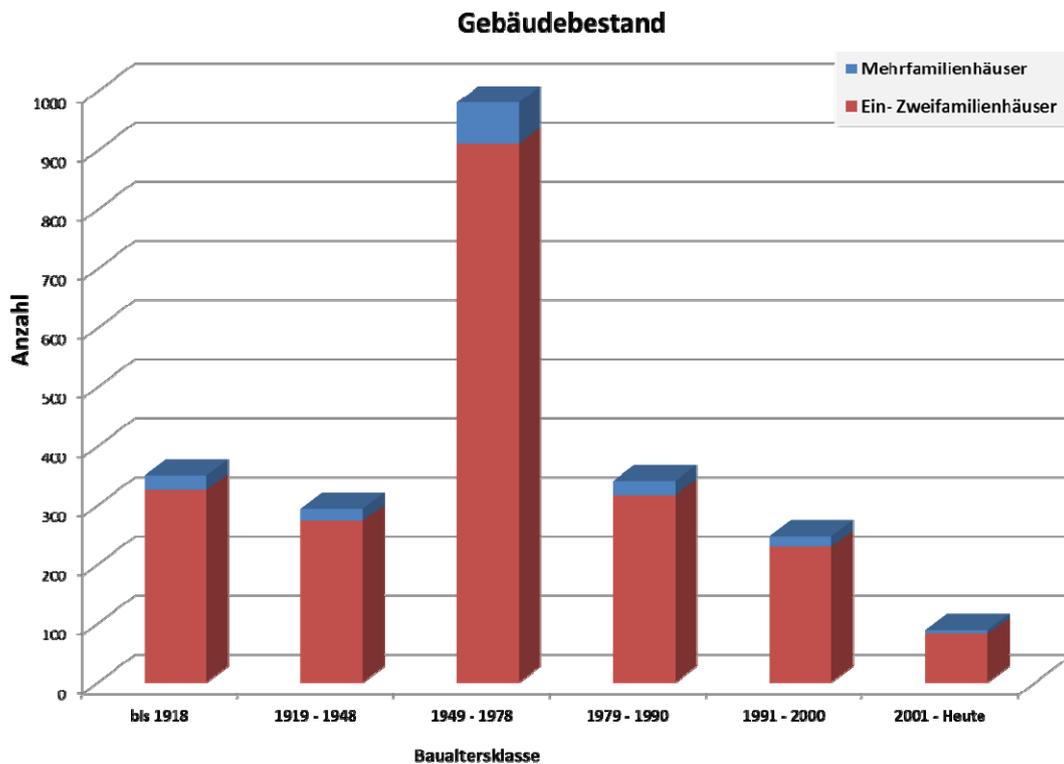
2. KWK Potenzial in der Ortsgemeinde

Ein wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen ist eine hohe Jahreslaufzeit. Somit ist die Wirtschaftlichkeit maßgeblich an die vorhandene Wärmesenke gekoppelt. Das bedeutet tendenziell ist eine KWK-Anlage umso sinnvoller je schlechter der Stand der Energieeffizienz eines Gebäudes ist. Somit sind KWK-Anlagen vorwiegend für Bestandsbauten attraktiv. Die Steigerung der Energieeffizienz im Bereich Wärmeverbrauch von Wohngebäuden lässt sich schematisch an der Entwicklung der Energiestandards nachvollziehen.



Die Grafik zeigt, dass seit Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung (WSVO) aus dem Jahr 1977 hin zur Energieeinsparverordnung (ENEV) im Jahr 2012 eine Effizienzsteigerung von über 80 % erfolgt ist.

Betrachtet man den Gebäudebestand der Ortsgemeinde Enkenbach-Alsenborn ist zu erkennen, dass über 70% der Gebäude vor Inkrafttreten der ersten WSVO erbaut wurden.³

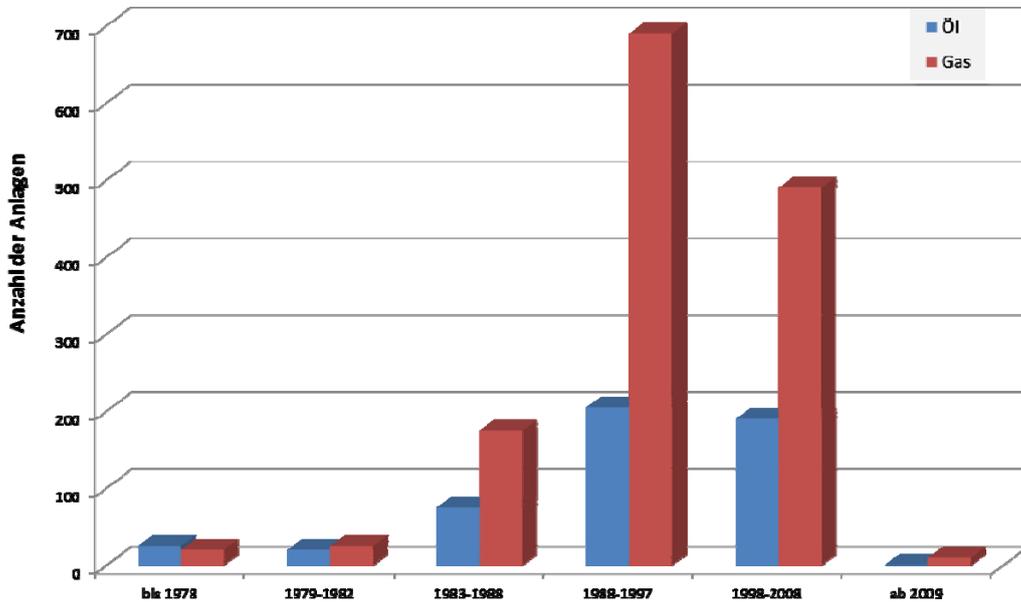


Es ist daher in einer ersten Grobanalyse von entsprechenden Wärmesenken und dementsprechend von einem Potenzial für KWK-Anlagen auszugehen.

Neben der Laufzeit der KWK-Anlage wirkt es sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus, wenn in dem zu versorgenden Objekt ohnehin Maßnahmen zur Erneuerung der Heizungsanlagen notwendig sind. In diesem Fall sind die für die Installation der KWK-Anlage anzusetzenden Kosten geringer zu bewerten, als bei Vorhandensein einer neuwertigen konventionellen Heizungsanlage. Die VDI 2067 gibt eine rechnerische Nutzungsdauer von 20 Jahren für den Betrieb von Heizkesseln an. Betrachtet man die Altersstruktur der Wärmeezeuger in der Ortsgemeinde so ist hier ein hohes Maß an Heizungserneuerungen in den kommenden Jahren abzuleiten.

³ Datenquelle: Bericht Masterplan 100% Klimaschutz Enkenbach-Alsenborn

Wärmeerzeuger nach Altersklassen



Gemäß den vorliegenden Daten sind über 60% der installierten Wärmeerzeuger vor dem Jahr 1997 erbaut und somit mindestens 19 Jahre alt.⁴ Dementsprechend ist in den kommenden Jahren mit einer hohen Sanierungsrate und mit „Sowiesokosten“ im Bereich der Wärmeerzeugung zu rechnen. Über alle Heizungsanlagen gemittelt beträgt das durchschnittliche Alter ca. 13 Jahre.

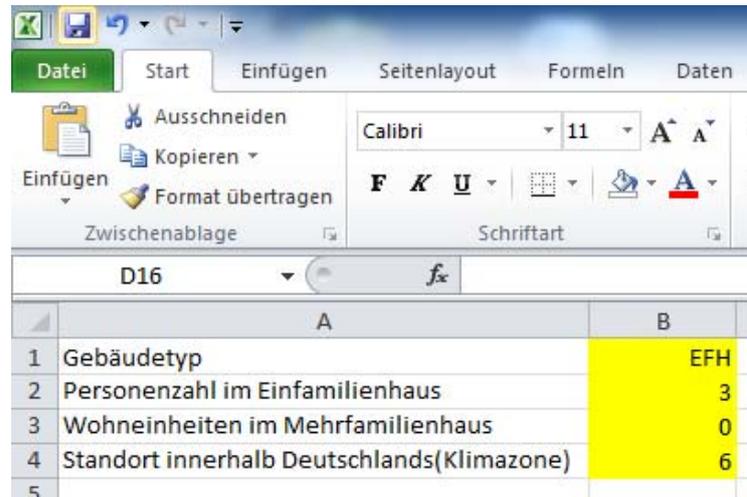
⁴ Datenquelle: Bericht Masterplan 100 % Klimaschutz Enkenbach-Alsenborn

3. Erstellung von Verbrauchsprofilen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde das Potenzial für KWK-Anlagen in der Ortsgemeinde anhand von Jahresverbrauchsdaten ermittelt. Angesprochen wurde bereits auch, dass die Laufzeit der KWK-Anlagen eine wichtige Einflussgröße für die Wirtschaftlichkeit darstellt. Daher ist für die Auslegung der KWK-Anlage weniger der absolute Verbrauch sondern vielmehr der zeitliche Verlauf des Wärmeverbrauchs von Bedeutung. In der Regel liegen diese Daten für Wohngebäude nicht vor, sondern die Energieverbräuche werden in Form von Jahresrechnungen erfasst. Um dennoch eine qualifizierte Aussage über zu erwartende Jahreslaufzeiten von KWK-Anlagen zu ermöglichen werden im Folgenden Referenzprofile unter Zuhilfenahme der VDI 4566 erstellt. Die VDI 4566 „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ wurde veröffentlicht um eine Basis für die Auslegung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von kleinen KWK-Anlagen zu schaffen. Die Referenzlastprofile sind unabhängig von Gebäudearten und Größen. Zur Erstellung des Profils werden dabei folgende Eingabeparameter benötigt:

- Gebäudetyp
 - Ein- und Zweifamilienhaus (EFH / ZFH) bis 3 Wohneinheiten
 - Mehrfamilienhaus /MFH) ab 4 Wohneinheiten
- Personenanzahl
- Anzahl der Wohneinheiten
- Standort innerhalb Deutschlands (je nach Klimazone werden Typtage mit den Einflussfaktoren Werk- oder Feiertag, Jahreszeit, Intensität der Sonneneinstrahlung etc. festgelegt)

Auf Basis der VDI 4566 wurde ein Excel-Tool erstellt, dass durch Eingabe der oben genannten Parameter sowie des Jahresbrennstoffbedarfes und Jahresnutzungsgrades der Heizungsanlage jeweils ein Referenzlastprofil für den Wärme- und den Strombedarf des betrachteten Objektes erstellt.



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Start' ribbon selected. The active cell is D16. The following table is displayed in the worksheet:

	A	B
1	Gebäudetyp	EFH
2	Personenzahl im Einfamilienhaus	3
3	Wohneinheiten im Mehrfamilienhaus	0
4	Standort innerhalb Deutschlands(Klimazone)	6
5		

Mittels fünf Eingabefeldern kann so eine individuelle Grundlage für die Auslegung einer KWK-Anlage erarbeitet werden. Die Referenzprofile können im nächsten Schritt mit einer marktgängigen KWK-Simulationssoftware oder durch händige Ausarbeitung in eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überführt werden.

Zur konkreten Anwendung in der Ortsgemeinde wurde daher ein zweiteiliger Fragebogen entwickelt, dessen erster Teil alle relevanten Informationen zur Erstauslegung erhebt und durch interessierte Hausbesitzer oder Mietergemeinschaften selbst ausgefüllt werden kann.

Erfassungsbogen Potenzialanalyse KWK-Einsatz



Ansprechpartner Ortsgemeinde
 Name: Lisa Marie Rothe
 Funktion: Klimaschutzmanagerin
 Tel: 0 63 03 - 80 07 39
 Email: lisa.rothe@enkenbach-alsenborn.de



Ansprechpartner FAMIS
 Name: Jan Fehlhaber
 Funktion: Projektleiter
 Tel: 0681 - 607 12 82
 Email: jan.fehlhaber@famis-gmbh.de

Allgemeine Objektinformationen		
Objekteigentümer		
Objektname (optional)		
Adresse	Straße	
	Plz / Ort	
Ansprechpartner	Name	
	Funktion	
	Tel	
	Email	
Bemerkung		

Gebäude Daten	
Gebäudetyp (EFH / MFH)	
Baujahr Gebäude	
Nutzfläche	
Energieträger	
Brennstoffverbrauch	
Alter Wärmeerzeuger	
Anzahl Bewohner	
Anzahl Wohneinheiten	
Bemerkung	

4. KWK-Technologien

Das Prinzip der KWK ist mit einer Vielzahl von Technologien umsetzbar. Diese werden kurz vorgestellt und auf ihre Vor- und Nachteile bzgl. des Vorhabens Einsatz im Wohnungssektor hin untersucht.

Die am Markt verfügbaren Technologien sind im Wesentlichen:

- Organic-Rankine-Cycle
- Gasturbine
- Stirlingmotor
- Brennstoffzelle
- Ottomotor

Beim Organic-Rankine Cycle (ORC) handelt es sich um einen Dampfturbinenprozess. Anstatt Wasser kommt jedoch ein organisches Arbeitsmedium zum Einsatz, das sich durch niedrige Siedetemperaturen auszeichnet. Hierdurch eignet sich der ORC-Prozess bspw. zur Verstromung von Abwärmequellen. ORC-Anlagen werden standardmäßig im Bereich von 40 bis 375 kW_{el} angeboten und erreichen dabei elektrische Bruttowirkungsgrade von ca. 12 %. ORC-Anlagen können auch in Kombination mit BHKW-Anlagen mit Ottomotor eingesetzt werden. Dies bietet vor allem bei nachträglicher Installation eine Möglichkeit, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage weiter zu steigern. Für den Bereich der Wohnungswirtschaft spielen ORC-Anlagen keine Rolle.

Bei großen Anlagen im Bereich von bis zu 20 MW finden Gasturbinen häufig Anwendung. Es sind mittlerweile aber auch zahlreiche Hersteller am Markt vertreten, die eine Anlagengröße von 30 bis 300 kW elektrischer Leistung anbieten. Die elektrischen Wirkungsgrade dieser Anlagen bewegen sich im Bereich von 15 bis 25 % und liegen damit unter denen von BHKW-Anlagen mit Verbrennungsmotoren vergleichbarer Größe. Ihr Einsatz kann dennoch sinnvoll sein wenn auf thermischer Seite höhere Temperaturen benötigt werden, als ein BHKW mit Verbrennungsmotor sie bereitstellen kann. Die Abgastemperaturen von Gasturbinen liegen im Bereich von ca. 275 °C. Für den Wohnungssektor sind Gasturbinen daher aber ebenfalls nicht von Bedeutung.

Auch wenn der Stirlingmotor schon sehr lange existiert, so ist seine Verwendung als KWK-Anlage noch relativ jung. KWK-Anlagen mit einem Stirlingmotor zeichnen sich durch einen nahezu verschleißfreien Betrieb und geringen Schmierölverbrauch aus, was sehr geringe Wartungskosten und kaum nötiges Know-how bei der Betriebsführung bewirkt. Daher werden Stirlingmotoren vorwiegend im Mikro-KWK Bereich etwa in Ein- und Zweifamilienhäusern eingesetzt. Die externe Verbrennung ermöglicht zudem einen sehr emissionsarmen Verbrauch. Ein Nachteil von Stirlingmotoren ist der geringe elektrische Wirkungsgrad, der bei Anlagen der Größenordnung von 1 kW_{el} bei etwa 10 bis 16 % liegt und damit deutlich unter dem von Verbrennungsmotoren.⁵

Die Brennstoffzelle hat mittlerweile ebenfalls den Reifegrad zur Markttauglichkeit erreicht. Gerade für den Einsatz in Wohngebäuden hat ihre Bedeutung in den vergangenen Jahren zugenommen. Im Unterschied zu den anderen genannten Technologien handelt es sich bei der Brennstoffzelle um eine elektrochemische Reaktion. Vorteile der Brennstoffzelle liegen in ihrem hohen elektrischen Wirkungsgrad, ihrer sehr guten Modulationsfähigkeit und ihrem geräuscharmen Betrieb.

BHKW-Anlagen mit Verbrennungsmotoren – auch Ottomotor genannt – haben am Markt die weiteste Verbreitung. Sie werden standardmäßig in einer elektrischen Leistungsgröße von 1 kW bis 10 MW hergestellt. Sie sind Stand der Technik und der am Markt überwiegend vertretende Bautyp. Dies liegt unter anderem daran, dass die hier zum Einsatz kommenden Motoren denen der Automobilindustrie sehr ähnlich und entsprechend ausgereift sind. Als Energieträger können Heizöl, Erdgas oder Diesel eingesetzt werden. Der wirtschaftlich günstigste Betrieb ist jedoch mit Erdgas möglich. Nachteile des Verbrennungsmotors sind verhältnismäßig hohe Wartungskosten sowie die entstehenden Geräuschemissionen.

⁵ VDI Statusreport 2013 Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

Prinzipiell sind demnach die Technologien Stirlingmotor, Brennstoffzelle und Verbrennungsmotor (BHKW) für den Einsatz im Wohnungssektor geeignet. Zur Bewertung der Eignung der verschiedenen Technologien müssen Anforderungen an die Erzeugerseite definiert werden. Diese umfassen neben der KWK-Anlage selbst die Nebenaggregate sowie die Einbindung in die Infrastruktur des Gebäudes. Im Detail gilt es folgendes zu beachten:

- Eine Aufstellung sollte im bestehenden Heizungskeller oder der vorhandenen Dachzentrale möglich sein. Das bedeutet das Gewicht, die Abmessungen und die Handhabung der KWK-Anlage sollte mit denen einer konventionellen Heizungsanlage vergleichbar sein.
- Die Einbindung in das bestehende Heizungssystem muss möglich sein.
- Der Anschluss an das Stromnetz unter Berücksichtigung der Einspeisefunktion muss möglich sein.
- Die Schallemissionen sollten auf ein Minimum reduziert werden.
- Zusätzliche Kosten, wie etwa die Installation eines zusätzlichen Abgasweges, sollten vermieden werden. Daher sind bivalente Systeme sofern vorhanden zu bevorzugen.

Zur Beurteilung welche der drei Technologien die Anforderungen an die Erzeugerseite am besten erfüllt wurde ein Bewertungskatalog aufgestellt. Dieser umfasst die Kriterien:

- Investitionskosten
- Wartungskosten
- Gesamtwirkungsgrad
- Elektrischer Wirkungsgrad
- Teillastverhalten
- Schallemissionen
- Ausführung als bivalentes System

Für jedes der Bewertungskriterien wurde gemäß der Reihenfolge der 3 konkurrierenden Technologien 0, 1 oder 2 Punkte vergeben. Zudem wurden die

einzelnen Bewertungskriterien mit einer Wichtung zwischen 10 und 20% versehen.

	BHKW		Stirling		Brennstoffzelle		Gewichtung
	Punkte nach Platzierung	Punkte gewichtet	Punkte nach Platzierung	Punkte gewichtet	Punkte nach Platzierung	Punkte gewichtet	
Investitionskosten	2	0,4	1	0,2	0	0	20%
Wartungskosten	0	0	1	0,2	2	0,4	20%
Gesamtwirkungsgrad	1	0,1	2	0,2	0	0	10%
elektr. Wirkungsgrad	1	0,1	0	0	2	0,2	10%
Teillastverhalten	0	0	1	0,1	2	0,2	10%
Schallemissionen	0	0	1	0,15	2	0,3	15%
Ausführung als bivalentes System	0	0	1,5	0,225	1,5	0,225	15%
Summe		0,6		1,075		1,325	100%

Rang 1 = 2 Punkte

Rang 2 = 1 Punkt

Rang 3 = 0 Punkte

Gemäß dem Bewertungskatalog schneidet die Brennstoffzelle unter den drei Technologien am besten ab. Der Stirlingmotor belegt Platz 2. Dies liegt unter anderem daran, dass beide als bivalentes System am Markt verfügbar sind. Dies gilt jedoch nur für die unteren Leistungsbereiche daher ist bei größeren Mietobjekten die BHKW-Anlage durchaus als Alternative zu sehen.

5. Betreibermodelle

Mittelfristig sollen die dezentralen Anlagen in einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschlossen werden. Um jedoch in einem ersten Schritt Anlagen im Feld platzieren zu können müssen Betreibermodelle, die bereits heute einen wirtschaftlichen Einsatz - unabhängig vom Zusammenschluss mehrerer Anlagen und den daraus resultieren wirtschaftlichen Vorteilen - ermöglichen. Je nach Eigentumsverhältnissen kommen daher zwei Betreibermodelle in Betracht:

1. Das Eigenstrommodell im EFH
2. Das Mieterstrommodell im MFH

Beim Eigenstrommodell ist der Hauseigentümer zugleich Betreiber der KWK-Anlage. Der erzeugte Strom und die erzeugte Wärme werden durch den Hauseigentümer selbst genutzt. Überschüssiger Strom wird in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist. Der Vorteil dieses Modells besteht darin, dass der Steuern-, Abgaben- und Umlagenanteil des Strompreises vermieden wird. Zusätzlich wird die Zahlung von Netzentgelten vermieden. Steuern, Abgaben und Umlagen sowie die Netzentgelte machen bei der Zusammensetzung des Strompreises in 2016 durchschnittlich einen Anteil von ca. 77 % aus.

Beim Mieterstrommodell wird eine Contractinggesellschaft Betreiber der KWK-Anlage. Der erzeugte Strom wird durch den Contractor an die einzelnen Mieter verkauft. Die Wärme wird im Objekt genutzt. Die KWK-Anlage verfügt über eine fernwirktechnische Anbindung und kann auf Signale des Strommarktes reagieren. So wird in Zeiten hoher Strompreise der Strom direkt Vorort erzeugt und an die Mieter veräußert. In Zeiten geringer bis negativer Strompreise wird die KWK-Anlage abgeschaltet und der Strom aus dem öffentlichen Netz der Versorgung bezogen. In diesem Fall wird die im Objekt benötigte Wärme über einen konventionellen Wärmeerzeuger, beispielsweise eine Kesselanlage, bereitgestellt. Im Gegensatz zum Eigenstrommodell ist bei der Belieferung durch einen Contractor die volle EEG-Umlage zu entrichten.

6. Referenzobjekte

Ziel der Studie ist es unter anderem interessierte Hausbesitzer oder Mietergemeinschaften auf die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung aufmerksam zu machen und ihre wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile aufzuzeigen. Zur Konkretisierung wurden ein EFH sowie ein MFH ausgewählt. Für beide Häuser wurden die notwendigen Parameter gemäß Abschnitt 3 erfasst und die Referenzprofile erstellt. Anschließend wurde auf Basis der Referenzprofile eine Auslegung verschiedener KWK-Technologien und Anlagengrößen vorgenommen. Schließlich wurde eine Wirtschaftlichkeitsdarstellung für den Einsatz der KWK-Anlagen in den beiden Objekten vorgenommen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden aus Sicht der Hausbesitzer bzw. der Mieter erstellt.

Für das betrachtete EFH wurden folgende Daten erhoben:

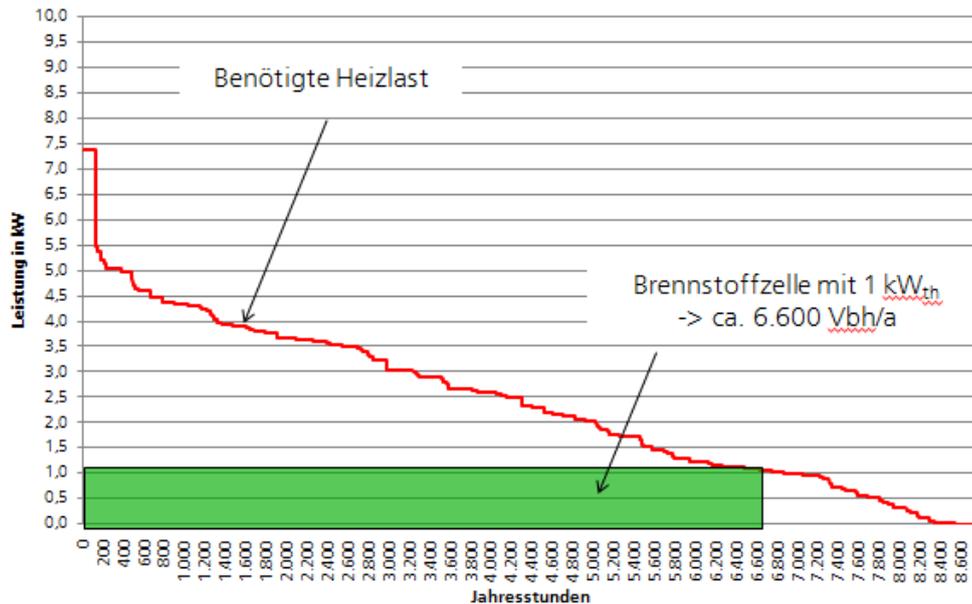
- Gebäudetyp: Einfamilienhaus
- Personenanzahl: 3
- Standort innerhalb Deutschlands: Klimazone 6 (Enkenbach-Alsenborn)
- Energieträger: Erdgas
- Brennstoffverbrauch: 60.000 kWh /a

Aufgrund des Anlagenalters und der Anlagenfahrweise ist jedoch von einem sehr schlechten Jahresnutzungsgrad auszugehen, der mit einer neuen Anlage deutlich verbessert werden könnte. Um eine Überdimensionierung der Anlage zu vermeiden wurde der Wärmebedarf daher parallel über einen Benchmark ermittelt. Aufgrund des Gebäudealters sowie der Gebäudegröße wurde ein Jahresheizwärmebedarf von ca. 34.000 kWh pro Jahr ermittelt und in der weiteren Betrachtung verwendet.

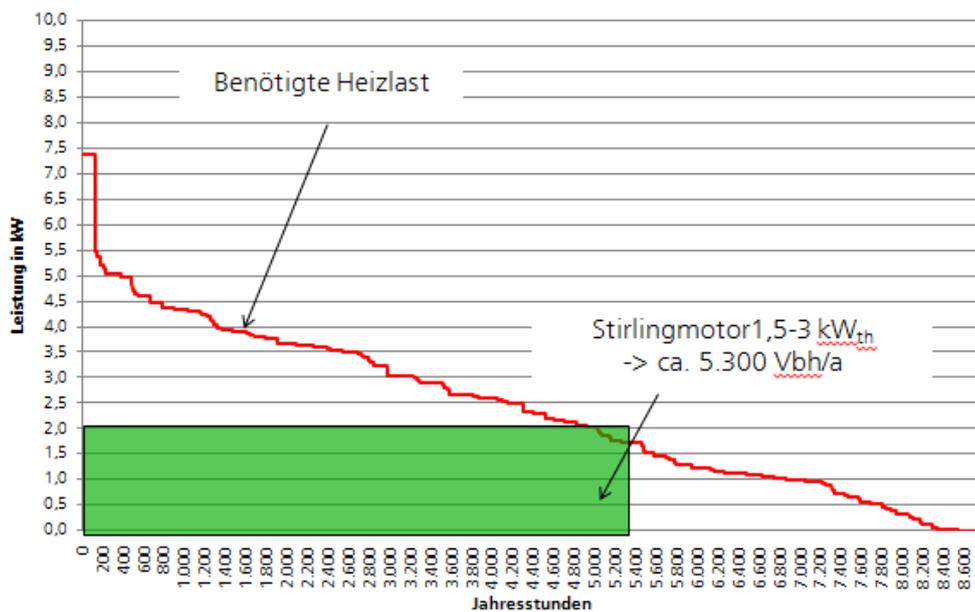
Die Parameter wurden mittels der VDI 4566 in eine Jahresdauerlinie überführt. Anschließend wurden in einer Auslegungssoftware eine Brennstoffzelle mit einer thermischen Leistung von 1 kW und ein Stirlingmotor mit einer thermischen

Leistung von ca. 1,5 kW simuliert. Die simulierten Laufzeiten sind in den beiden folgenden Grafiken dargestellt.

Wärmebedarf mit WWB

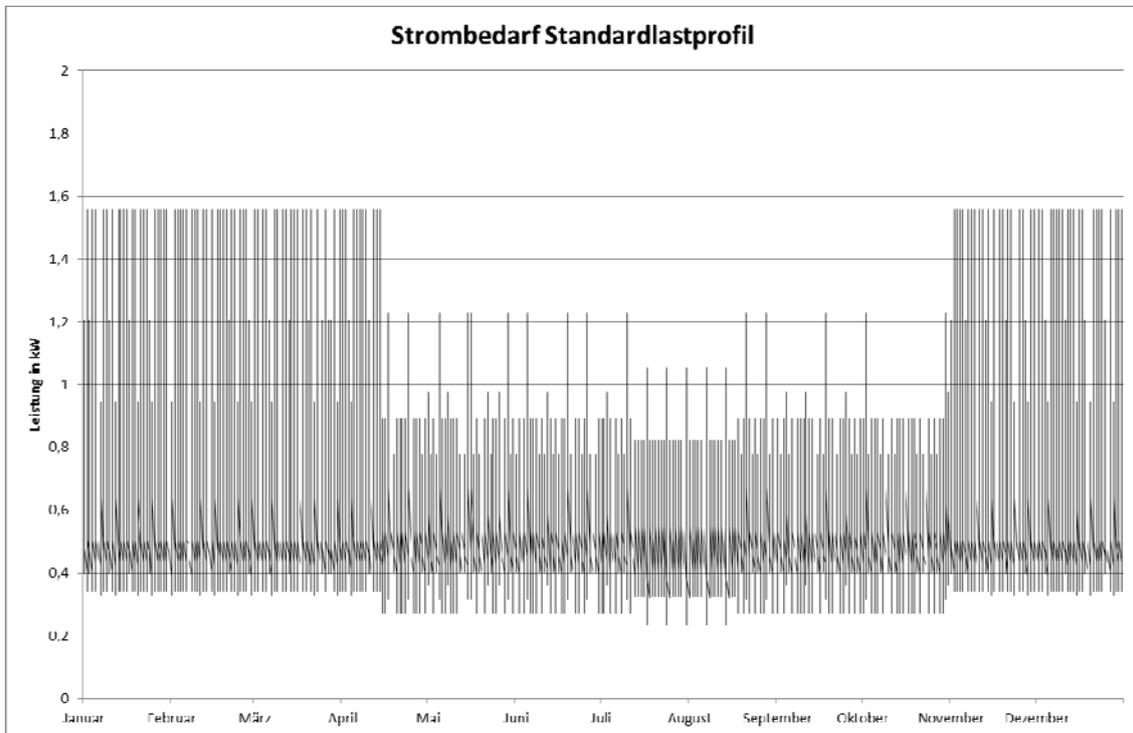


Wärmebedarf mit WWB



Gemäß der Auslegung würde die Brennstoffzelle mit einer thermischen Leistung von 1 kW und einer elektrischen Leistung von 0,75 kW eine Jahreslaufzeit von ca. 6.600 Vollbenutzungsstunden erreichen. Der Stirlingmotor verfügt über eine elektrische Leistung von 1 kW und eine thermische Leistung von 3,2 kW. Für den

Stirlingmotor wurde eine Laufzeit von ca. 5.300 Vollbenutzungsstunden ermittelt. Dabei gilt es zu beachten, dass für beide Anlagen ein modulierender Betrieb angenommen wurde.



Durch Erstellung des Standardlastprofils des EFH und Simulation in der KWK-Software wurde die Eigenstromquote ermittelt und in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließen gelassen. Der Modulationsbetrieb der Anlagen wurde dabei so gewählt, dass eine hohe Eigenstromquote erreicht wird.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind bei den Investitionskosten aktuelle Förderprogramme wie beispielsweise die Förderung von Brennstoffzellenheizungen gemäß des Anreizprogrammes Energieeffizienz bereits eingeflossen. Verglichen wurden die beiden KWK-Technologien mit der aktuellen Situation, also der Heizungsanlage mit verhältnismäßig schlechtem Wirkungsgrad, und mit dem Austausch der bestehenden Heizungsanlage gegen ein modernes Brennwert-Gerät.

	Brennstoffzelle	Stirlingmotor	Bestands- kesselanlage	Neue Kesselanlage
Investitionskosten abzgl. Förderung	19.500 €	22.300 €	0 €	8.500 €
Betriebsgebundene Kosten (Wartung)	590 €/a	400 €/a	150 €/a	150 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas KWK)	690 €/a	1.340 €/a	0 €/a	0 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas Zusatzheizgerät)	1.650 €/a	1.017 €/a	2.640 €/a	2.053 €/a
EEG-Abgabe	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Summe laufende Kosten	2.930 €/a	2.760 €/a	2.790 €/a	2.200 €/a
Stromersparnis (Minderbezug)	1.180 €/a	1.030 €/a	0 €/a	0 €/a
Einspeisung	10 €/a	40 €/a	0 €/a	0 €/a
KWK Bonus (10 Jahre)	270 €/a	290 €/a	0 €/a	0 €/a
Energiesteuerrückerstattung	80 €/a	150 €/a	0 €/a	0 €/a
Summe Einsparungen	1.540 €/a	1.510 €/a	0 €/a	0 €/a
Jährliche Heizkosten	1.390 €/a	1.250 €/a	2.790 €/a	2.200 €/a
Einsparung gegenüber Status Quo	1.400 €/a	1.540 €/a	0 €/a	590 €/a
Amortisationszeit	13,9 Jahre	14,5 Jahre	-----	14,4 Jahre

Demnach weist die Brennstoffzelle, nicht zuletzt aufgrund Investitionsförderung von ca. 9.000 Euro, im Falle eines Austausches, die geringste Amortisationszeit auf. Die absoluten Einsparungen des Stirlingmotors pro Jahr liegen um ca. 140 Euro über denen der Brennstoffzelle.

Geht man davon aus, dass die Bestandsanlage defekt ist und getauscht werden muss betragen die zusätzlichen Kosten für ein KWK-Gerät etwa 11.000 bzw. 13.800 Euro. Demnach ergibt sich folgende Wirtschaftlichkeitdarstellung gegenüber der neuen konventionellen Heizungsanlage.

	Brennstoffzelle	Stirlingmotor	Neue Kesselanlage
Zusätzl. Investitionskosten abzgl. Förderung	11.000 €	13.800 €	0 €
Betriebsgebundene Kosten (Wartung)	590 €/a	400 €/a	150 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas KWK)	690 €/a	1.340 €/a	0 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas Zusatzheizgerät)	1.650 €/a	1.017 €/a	2.053 €/a
EEG-Abgabe	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Summe laufende Kosten	2.930 €/a	2.760 €/a	2.200 €/a
Stromersparnis (Minderbezug)	1.180 €/a	1.030 €/a	0 €/a
Einspeisung	10 €/a	40 €/a	0 €/a
KWK Bonus (10 Jahre)	270 €/a	290 €/a	0 €/a
Energiesteuerrückerstattung	80 €/a	150 €/a	0 €/a
Summe Einsparungen	1.540 €/a	1.510 €/a	0 €/a
Jährliche Heizkosten	1.390 €/a	1.250 €/a	2.200 €/a
Einsparung gegenüber neuer Heizungsanlage	810 €/a	950 €/a	0 €/a
Amortisationszeit	13,6 Jahre	14,5 Jahre	-----

Betrachtet man die CO₂-Bilanz des Gebäudes, so ist durch die Brennstoffzelle im Vergleich zu der Bestandskesselanlage eine Einsparung von ca. 4,2 Tonnen CO₂-Äquivalenten möglich, dies entspricht einer Einsparung von ca. 35 %. Gegenüber einer neuwertigen konventionellen Anlage ist eine Einsparung von ca. 1,5 Tonnen CO₂-Äquivalenten möglich, dies entspricht einer Einsparung von ca. 16 %.⁶

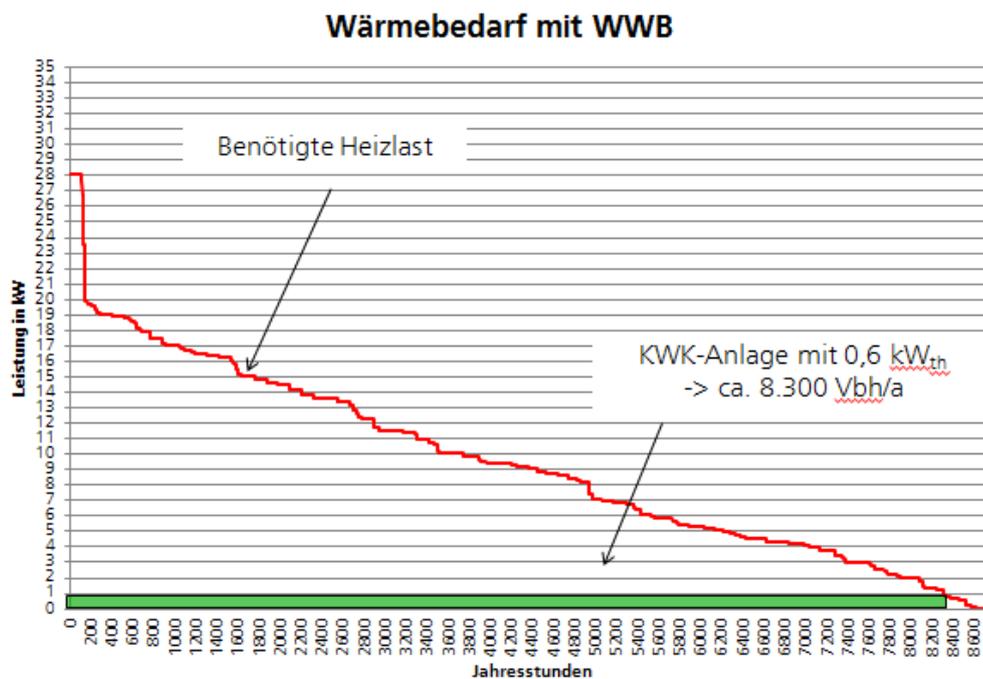
Als zweites Referenzgebäude wurde ein MFH ausgewählt und folgende Daten erhoben:

- Gebäudetyp: Mehrfamilienhaus
- Personenanzahl: 13
- Anzahl der Wohneinheiten im MFH: 6

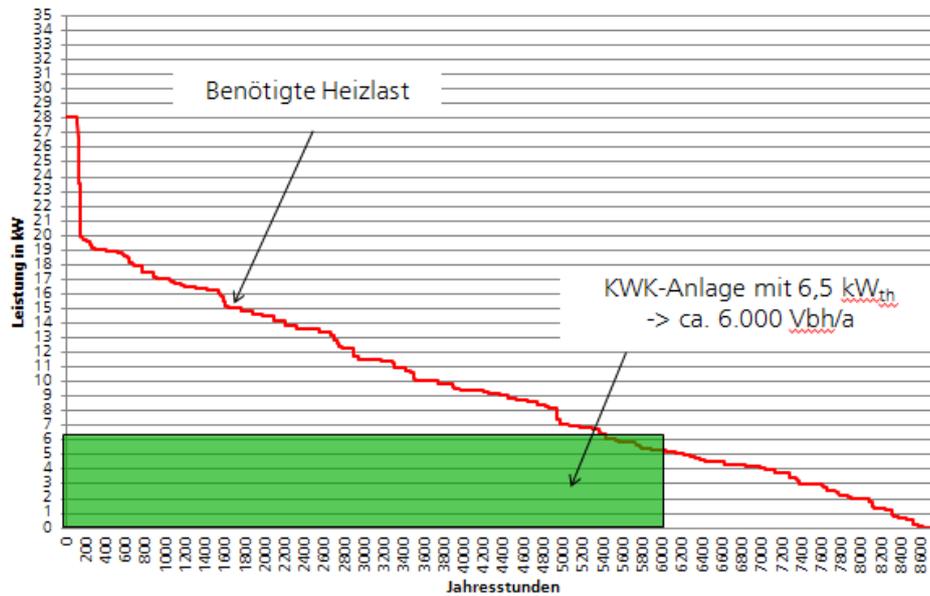
⁶ Grundlage für die Ermittlung der CO₂-Einsparungen sind die Primärenergiefaktoren gemäß gemis.

- Standort innerhalb Deutschlands: Klimazone 6 (Enkenbach-Alsenborn)
- Energieträger: Erdgas
- Brennstoffverbrauch: 105.000 kWh /a
Wärmebedarf: ca. 79.000 kWh / a

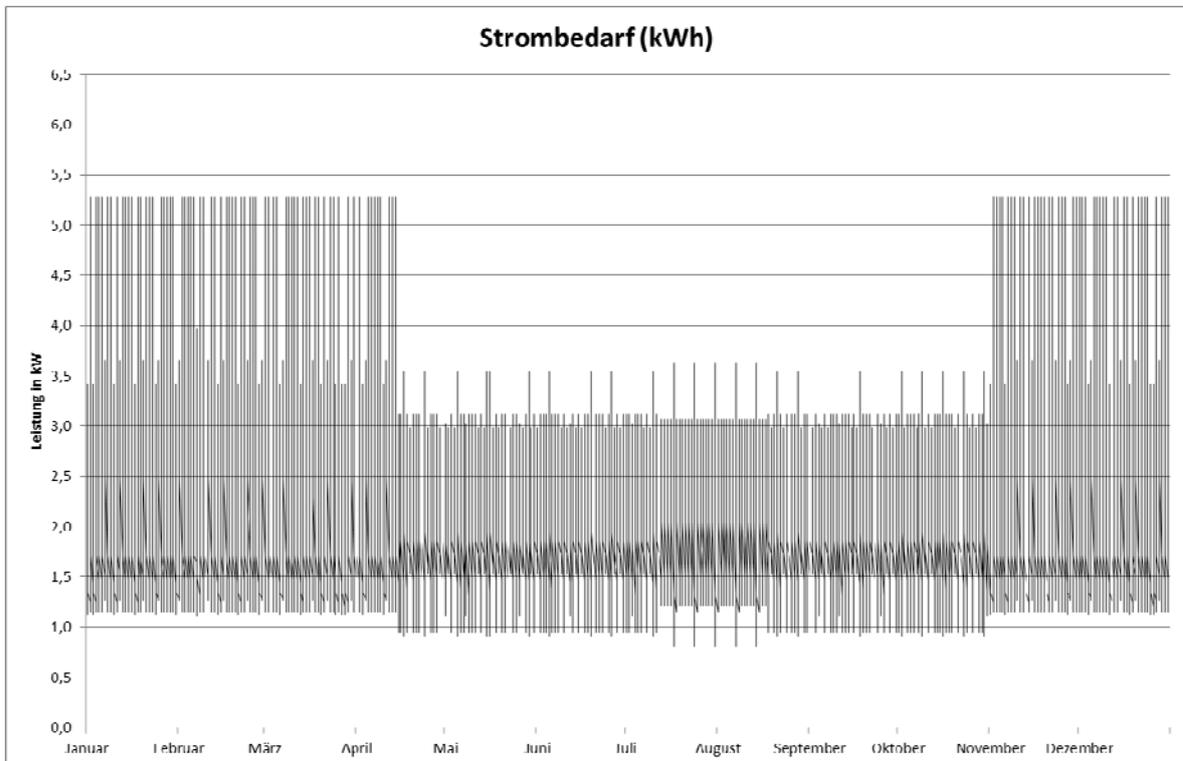
Die Parameter wurden mittels der VDI 4566 in eine Jahresdauerlinie überführt. Anschließend wurden in einer Auslegungssoftware eine Brennstoffzelle mit einer thermischen Leistung von 0,6 kW und eine BHKW-Anlage mit einer thermischen Leistung von ca. 6,5 kW simuliert. Die simulierten Laufzeiten sind in den beiden folgenden Grafiken dargestellt.



Wärmebedarf mit WWB



Gemäß der Auslegung würde die Brennstoffzelle mit einer thermischen Leistung von 0,6 kW und einer elektrischen Leistung von 1,5 kW eine Jahreslaufzeit von ca. 8.300 Vollbenutzungsstunden erreichen. Die BHKW-Anlage verfügt über eine elektrische Leistung von 2,6 kW und eine thermische Leistung von 6,5 kW. Für die BHKW-Anlage wurde eine Laufzeit von ca. 6.000 Vollbenutzungsstunden ermittelt.



Durch Erstellung des Standardlastprofils des MFH und Simulation in der KWK-Software wurde die Eigenstromquote ermittelt und in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließen gelassen. Der Modulationsbetrieb der Anlagen wurde dabei so gewählt, dass eine hohe Eigenstromquote erreicht wird.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind bei den Investitionskosten aktuelle Förderprogramme wie beispielsweise die Förderung von Brennstoffzellenheizungen gemäß des Anreizprogrammes Energieeffizienz bereits eingeflossen. Verglichen wurden die beiden KWK-Technologien mit der aktuellen Situation, also der Heizungsanlage mit verhältnismäßig schlechtem Wirkungsgrad, und mit dem Austausch der bestehenden Heizungsanlage gegen ein modernes Brennwert Gerät.

	Brennstoffzelle	BHKW	Bestands- kesselanlage	Neue Kesselanlage
Investitionskosten abzgl. Förderung	16.500 €	22.000 €	0 €	16.000 €
Betriebsgebundene Kosten (Wartung)	660 €/a	850 €/a	150 €/a	150 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas KWK)	1.140 €/a	3.630 €/a	0 €/a	0 €/a
Verbrauchskosten (Erdgas Kessel)	5.816 €/a	3.143 €/a	6.207 €/a	4.828 €/a
EEG-Abgabe	750 €/a	610 €/a	0 €/a	0 €/a
Summe laufende Kosten	8.370 €/a	8.230 €/a	6.360 €/a	4.980 €/a
Stromersparnis (Minderbezug)	3.080 €/a	2.510 €/a	0 €/a	0 €/a
Einspeisung	20 €/a	180 €/a	0 €/a	0 €/a
KWK Bonus (10 Jahre)	670 €/a	860 €/a	0 €/a	0 €/a
Energiesteuerrückerstattung	130 €/a	400 €/a	0 €/a	0 €/a
Summe Einsparungen	3.900 €/a	3.950 €/a	0 €/a	0 €/a
Jährliche Heizkosten	4.470 €/a	4.280 €/a	6.360 €/a	4.980 €/a
Einsparung gegenüber Status Quo	1.890 €/a	2.080 €/a	0 €/a	1.380 €/a
Amortisationszeit	8,7 Jahre	10,6 Jahre	-----	11,6 Jahre

Demnach weist die Brennstoffzelle, nicht zuletzt aufgrund der Investitionsförderung von ca. 12.500 Euro, im Falle eines Austausches, die geringste Amortisationszeit auf. Die absoluten Einsparungen der BHKW-Anlage pro Jahr liegen um ca. 190 Euro über denen der Brennstoffzelle.

Betrachtet man die CO₂-Bilanz des Gebäudes, so ist durch die Brennstoffzelle im Vergleich zu der Bestandskesselanlage eine Einsparung von ca. 5 Tonnen CO₂-Äquivalenten möglich, dies entspricht einer Einsparung von ca. 18 %.

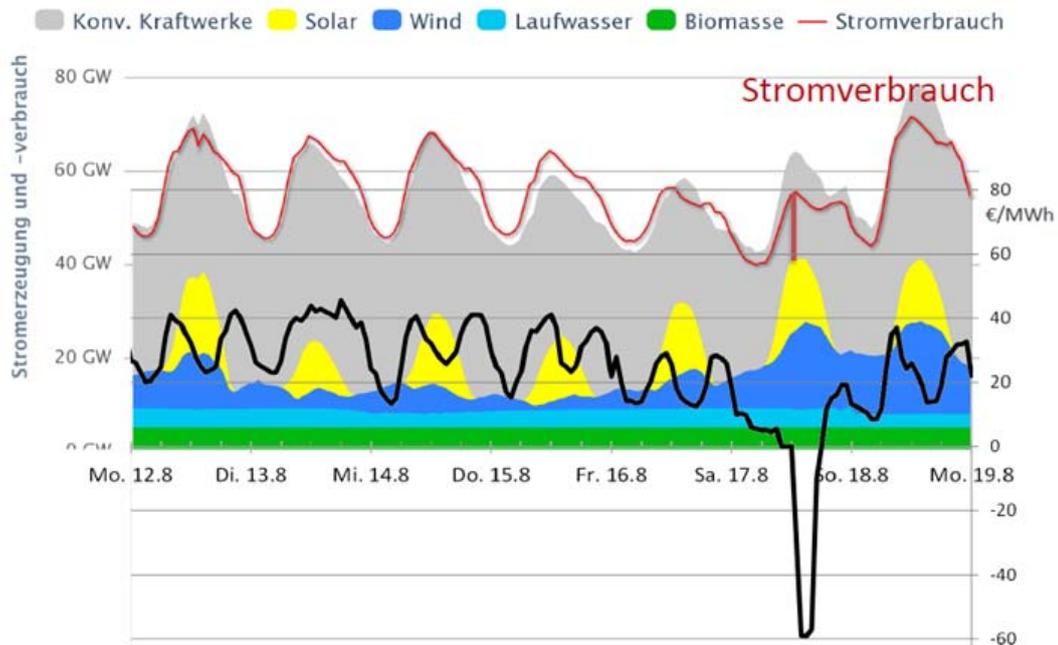
7. Fazit und weitere Vorgehensweise

Die Ausarbeitung zeigt auf, dass aufgrund der Gebäudestruktur und aufgrund des Alters der Heizungsanlagen Potenzial für KWK-Anlagen in der Ortsgemeinde Enkenbach-Alsenborn besteht.

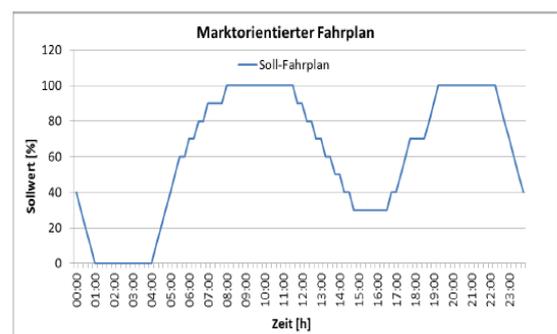
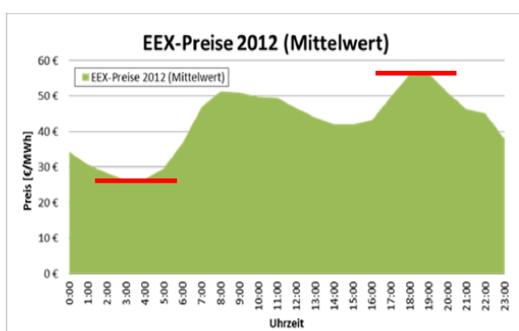
Die beiden Referenzmodelle für ein EFH und ein MFH zeigen auf, dass unter den aktuellen wirtschaftlichen und förderrechtlichen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Einsatz von KWK-Anlagen im Wohnungsbereich bereits heute möglich ist. Auf welche KWK-Technologie dabei zurückgegriffen werden sollte ist im Einzelfall zu prüfen. Insbesondere im Bereich der Brennstoffzellen ist zukünftig noch eine Preisdegression zu erwarten.

In einem nächsten Schritt soll eine Informationsveranstaltung für interessierte Bürger stattfinden. Insbesondere für Wohneinheiten mit Wärmeerzeugern älter Baujahr 2000 sind Einsparpotenziale zu erwarten.

Gelingt es erste KWK-Anlagen in Wohnungsgebäuden zu installieren kann mittelfristig mit dem Aufbau eines virtuellen Kraftwerkes begonnen werden. Aus diesem Grund sollten etwaige Anlagen bei Installation bereits über die notwendige Fernwirktechnik verfügen. Ausschlaggebend für die Fahrweise der KWK-Anlage wäre dann nicht mehr ausschließlich das Verbrauchsprofil des zu versorgenden Wohngebäudes. Die Fahrweise der Anlage würde über eine zentrale Leitstelle erfolgen und Preissignalen des Strommarktes folgen.



Die Grafik⁷ zeigt auf, dass in Zeiten hoher konventioneller Erzeugung tendenziell hohe Strompreise an der Börse gezahlt werden. In diesem Zeitraum ist ein Betrieb der dezentralen KWK-Anlage ökonomisch und ökologisch sinnvoll. In Zeiten hoher regenerativer Erzeugung sinkt der Strompreis, es treten im Extremfall negative Strompreise auf. In diesem Fall würde die dezentrale KWK-Anlage mittels Fernwirksignal abgeschaltet und die Wärmeversorgung des Wohnobjektes durch die konventionelle Heizungsanlage sicher gestellt.



⁷ Quelle: agora Energiewende

Auf diese Weise ergänzen die dezentralen KWK-Anlagen die regenerative Stromerzeugung in idealer Weise. Eine große Bedeutung haben dabei auch die Pufferspeicher inne. Sie flexibilisieren die Laufzeiten der KWK-Anlagen und stellen sicher, dass die Anlage gemäß den externen Anforderungen gefahren werden kann. Sinnvoll ist eine Ausstattung des Pufferspeichers mit einem zusätzlichen Power-To-Heat Modul. Mittels diesem kann in Zeiten regenerativer Überproduktion zusätzlich Stromabnahme generiert und die öffentlichen Netze weiter entlastet werden. So kann es gelingen einen flexibilisierten Wärmesektor mit dem Stromsektor zu verknüpfen und den Wärmesektor als Energiespeicher eines regenerativ geprägten Stromsektors zu nutzen.