

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 5

Artikel: PC-Modell für die Entscheidungsfindung beim Einsatz von Blockheizkraftwerken
Autor: Wälchli, Thomas / Längin, Eduard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77357>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

PC-Modell für die Entscheidungsfindung beim Einsatz von Blockheizkraftwerken

Als zeitgemässes und umweltbewusstes Unternehmen redet die ELEKTRA BIRSECK Münchenstein (EBM) nicht

VON TH. WÄLCHLI UND
ED. LÄNGIN,
MÜNCHENSTEIN

nur von der sparsamen und rationellen Energieverwendung, sondern liefert auch laufend Tatbeweise. Gemäss ihrem Konzept der optimalen Energienutzung soll einerseits bei Bauten mit einem Wärmebedarf von mehr als 1000 MWh p.a. oder in Gebieten mit einer hohen Wärmebedarfsdichte der Grundbedarf an Wärme mit Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) erzeugt werden, andererseits der in WKK-Anlagen produzierte Strom zum Betrieb von Wärmepumpen in Liegenschaften verwendet werden, die nicht mehr wirtschaftlich mit Fernwärmenetzen erschlossen werden können.

Im Gegensatz zu einer isolierten Betrachtung der WKK-Anlagen wird beim System WKK-Anlage/Wärmepumpe die eingesetzte Primärenergie wesentlich besser genutzt, und gegenüber einer konventionellen Heizung werden nur noch rund $\frac{2}{3}$ des Primärenergieeinsatzes für die Erzeugung derselben Nutzwärmemenge benötigt. Damit wird sowohl die Schadstoffbilanz bei der Erzeugung von Nutzwärme für die Raumheizung im Vergleich zu Einzelheizungen beträchtlich reduziert als auch der von den Wärmepumpen zusätzlich benötigte Strom durch die dezentrale Stromproduktion abgedeckt. Es braucht jedoch die Infrastruktur des Elektrizitätswerkes, um den Strom von den WKK-Anlagen zu den Wärmepumpen zu transportieren.

Leider ist die Realisation dieses Konzeptes nicht ganz so einfach, wie man annehmen könnte. Erstens ist das Potential für den wirtschaftlichen Einsatz von WKK-Anlagen nicht so gross, wie sich dies gewisse «Fachleute» vorstellen, und zweitens müssen bei der Entscheidungsfindung eine Vielzahl von ökonomischen und technischen Parametern mitberücksichtigt werden. Nachdem wir vor einem Jahr ein PC-Programm für die Entscheidungsfindung beim Einsatz

von Wärmepumpen (vgl. «Schweizer Ingenieur und Architekt», Heft Nr. 35/88, Seite 969) vorgestellt haben, schliessen wir nun den Kreis mit einem zweiten Programm, mit dem die Wirtschaftlichkeit von WKK-Anlagen bzw. Blockheizkraftwerken (BHKW) rasch und einfach beurteilt werden kann.

Der Einsatz des Programmes eignet sich vor allem zur Beurteilung von Sanierungs- oder Ausbauvarianten bei bestehenden Energieerzeugungs- und Wärmeverteilungsanlagen. Das Programm ist vor allem sehr nützlich bei der Optimierung der Bandenergieversorgung. Mit dem Programm kann jedoch die Wirtschaftlichkeit der gesamten Energieerzeugung (Spitzen- und Bandenergie) und Wärmeverteilung nur begrenzt beurteilt werden. Zur Beurteilung von neuen Gesamtanlagen sind neben den Kosten der WKK-Anlage auch jene der Spitzenenergieerzeugung sowie Wärmeverteilung mitzubetrachten. Es empfiehlt sich in jedem Falle, bei einem Investitionsentscheid neben den Teilkosten auch die Vollkosten zu analysieren.

Um mit dem Programm die gewünschten Wirtschaftlichkeitsberechnungen vornehmen zu können, muss der Com-

puter in einem ersten Schritt mit projektspezifischen Informationen gefüttert werden. Je nach der Güte der eingegebenen Daten können mit dem Programm globale Schätzungen oder exakte Berechnungen gemacht werden. Das Programm eignet sich besonders zur Durchführung von Sensitivitätsrechnungen wie z.B. Einfluss des Einsatzes einer/eines teureren, grösseren versus einer/eines kleineren, billigeren WKK-Anlage/Speichers. Die Berechnung des Ertrages aus der Rücklieferung von elektrischer Energie basiert auf nach den Tarifzeiten differenzierten Preisanätzen. Im folgenden werden die erforderlichen Eingabedaten als auch die Resultate beschrieben.

Eingabedaten

Energiebedarf

Damit das Programm aufgrund der langjährigen Klimadaten den täglichen Wärmebedarf berechnen kann, ist der Wärmeleistungsbedarf der ab der WKK-Anlage versorgten Liegenschaften einzugeben (vgl. Tabelle 1). Es wird davon ausgegangen, dass die Raumtemperatur der zu beheizenden Objekte am Tage 20 °C beträgt. Eine allfällige Nachttemperaturabsenkung während eines frei wählbaren Intervalls kann vom Planer vorgegeben werden. Das Programm rechnet mit den langjährigen Klimadaten von Basel; je nach Projekt ist eine Anpassung an die örtlichen Klimadaten erforderlich.

Projekt: XY	Projektverfasser: Lă		
Datum: 26.6.89	Variante: 1		
Eingabe			
Energiebedarf:			
- Raumheizung:			
Wärmeleistungsbedarf (kW)	1560		
bei T innen (°C)	20		
bei T aussen (°C)	-8		
Nachtsabsenkung:			
Raumtemperatur Nacht (°C)	16		
Nachstunden von 23 h	bis	6 h	
Heizleistungsbedarf (kW) Nacht:		1337,1	
Heizgrenze:	untere	obere	
Temperatur (°C)	12	14	
Lage im Temp.band (%)	45		
- Tagesenergiebedarf für Warmwasser:			
Energiebedarf in kWh/Tag	200		
Nachtleistung (% vom Tag)	30		
Nachstunden von 23 h	bis	6 h	
Leistungsbedarf (kW)	Nacht:	3,1	

Tabelle 1. Energiebedarf

Speicher:			
Speichertemperatur			85
Speicherinhalt (m ³)			20
Blockheizkraftwerk (BHKW):			
Wärmeleistung:		604 kW	
Elektrische Leistung:		280 kW	
Brennstoffleistung (Hu):		921 kW	
Heizsystem / Wärmeverbund:			
Betriebszustand	Aussen-temp. (°C)	Vorlauf (°C)	Rücklauf (°C)
- 1)	12	85	40
- 2)	-8	85	65

Tabelle 2. Speicher/BHKW/Heizsystem

Im weiteren ist die zur Erzielung einer Raumtemperatur von 20 °C erforderliche untere und obere Heizgrenze einzugeben. Die Heizgrenze berücksichtigt einerseits die Aufwärmung durch externe Strahlung, andererseits auch die im Gebäude nebst der Heizung vorhandenen Wärmequellen wie Personen, elektrische Geräte usw. Die Lage im Temperaturband charakterisiert diejenige Tagesdurchschnittstemperatur im Vergleich zum Minimum und Maximum, bei der mit der unteren bzw. oberen Heizgrenze gerechnet werden kann. Bei einer Tagesminimumtemperatur von beispielsweise 10 °C, einer Tagesmaximumtemperatur von 16 °C sowie einer Lage im Temperaturband von 45% würde bei einer Tagesmitteltemperatur von über 12,7 °C mit der oberen, ansonsten mit der unteren Heizgrenze gerechnet. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei Ta-

gesdurchschnittstemperaturen, die in der Nähe des Tagesmaximums liegen, aufgrund der niedrigen passiven Strahlung mit der oberen Heizgrenze gerechnet werden muss.

Nebst dem Wärmeleistungsbedarf für die Raumheizung ist auch der Energiebedarf für die Warmwassererzeugung in kWh/Tag einzugeben. Da der Warmwasserbedarf im Normalfall grösstenteils am Tage anfällt, kann für ein freiwählbares Nachtintervall der Nachtleistungsbedarf in Prozent von der Tagleistung eingegeben werden.

Wärmeverluste des Fernwärmenetzes sind entweder beim Wärmebedarf für die Raumheizung oder dem Energiebedarf für die Warmwasseraufbereitung durch einen entsprechenden Zuschlag mitzuberechnen.

Anlagedaten

Von der geplanten WKK-Anlage bzw. dem Blockheizkraftwerk sind die abgegebene Wärmeleistung und elektrische Leistung sowie die auf den unteren Heizwert bezogene, von der Anlage aufgenommene Brennstoffleistung einzugeben (vgl. Tabelle 2). Die Differenz zwischen dem Wärmeleistungsbedarf und der thermischen Anlagenleistung ist fallweise von einem Spitzenlastkessel abzudecken. Die Speichergrosse bezieht sich auf die mit einem Wasserspeicher speicherbare Wärmemenge. Nebst der Speichergrosse ist auch die Speichertemperatur anzugeben. Im weiteren werden die Rücklauftemperaturen beim Heizsystem/Wärmeverbund für zwei unterschiedliche Aussen-temperaturen benötigt. Die Vorlauf-

temperaturen des Wärmeverbundes entsprechen in der Regel der Speichertemperatur.

Anhand dieser technischen Daten und dem zuvor schon berechneten stündlichen Wärmebedarf wird der Einsatz der WKK-Anlage derart optimiert, dass die Anlage möglichst viel Wärme und gezwungenermassen auch Strom während der Hochtarifzeiten für die elektrische Energie produziert. Während der *Niedertarifzeiten soll primär der Wärmespeicher entladen* werden. Eine Ausnahme bilden Tage mit sehr tiefen Aussentemperaturen, die einen vollen Betrieb während der Hochtarifzeiten und einen vollen bzw. teilweisen Betrieb während der Niedertarifzeiten erfordern. Mit dieser optimierten Betriebsführung wird die bestmögliche Wirtschaftlichkeit der Anlage angestrebt.

Finanzielle Daten

In einem dritten Block sind die für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erforderlichen finanziellen Daten einzugeben (siehe Tabelle 3). Diese umfassen:

- die Investitionskosten, Amortisationsdauer und Unterhaltskosten für den Generator, den Gasmotor, die Pumpen, die Regelung und die Lüftungsanlagen der WKK-Anlage
- die Investitionskosten, Amortisationsdauer und Unterhaltskosten für den Bau, Honorare, Speicher, Spengler, Isolationen, Installationen usw. der WKK-Anlage
- allfällige einmalige Anschlussgebühren für das Gas und/oder Elektrisch
- den kalkulatorischen Zinsfuss und die jährlichen Verwaltungskosten sowie
- die Energiepreise für den vom Elektrizitätswerk zurückgekauften Strom, differenziert nach Tarifzeit, das Gas, unterteilt in jährlichen Grundpreis pro kW Anschlussleistung und in Arbeitspreis sowie die zu Vergleichszwecken in einer konventionellen Anlage (Gas- oder Ölheizung) produzierte Wärme.

Bei der Beurteilung einer Gesamtanlage können unter den ersten beiden Punkten die Kosten der Spitzenenergieerzeugung mitberücksichtigt werden. Beim Referenzpreis für Wärme aus einer konventionellen Anlage (letzter Punkt) sind zwei Betrachtungsweisen möglich. Zum einen kann der Vergleich auf der Ebene der durch den BHKW-Einsatzes vermiedenen Energiekosten erfolgen, oder zum anderen können korrekterweise die Vollkosten der konventionellen Wärmeproduktion herangezogen werden. In jedem Falle ist darauf zu achten, dass nicht Äpfel

- Generator, Gasmotor, Pumpen, Regelung, Lüftung:			
• Investitionen (Fr.):		35 000	
• Amortisation (Jahre):		15	
• Service (Rp./kWh el und Jahr):		2,5	
- Bau, Honorare, Speicher, Spengler, Isolationen, Installationen usw.:			
• Investitionen (Fr.):		525 000	
• Anschlussgebühren			
• Gas (Fr.)		12 000	
• Elektrisch (Fr.)		15 000	
• Amortisation (Jahre):		30	
• Reparaturen + Unterhalt:		2	(% v. Investitionen)
Kalkulatorischer Zinsfuss (%):		5,5	
Verwaltungskosten (Fr. p.a.):		5 000	
Heizwert Gas Hu (kWh/kg bzw. m ³):		9,55	
Heizwert Gas Ho (kWh/m ³):		10,6	
Energiepreise:			
- Rücklieferungstarif Elektrisch:	Sommer HT	9 (Rp./kWh)	
	Sommer NT	7 (Rp./kWh)	
	Winter HT	12 (Rp./kWh)	
	Winter NT	10 (Rp./kWh)	
- Wärmepreis (Vermiedene Kosten/Vollkosten):		5,5 (Rp./kWh)	
- Gaspreis:	• Grundgebühr (Fr./kWh anno)	8,3	
	• Arbeitspreis (Rp./kWh)	2,3 (für Ho)	

Tabelle 3. Wirtschaftlichkeit

Resultate:					
Projekt: XY	Projektverfasser: LÄ				
Datum: 26.6.89	Variante: I				
BHKW:	Sommer	Sommer	Winter	Winter	Total
	HT	NT	HT	NT	
Betriebsstunden (h):	480	140	2348	1233	4201
Wärmeproduktion (MWh):	290	85	1418	745	2538
Stromproduktion (MWh):	134	39	658	345	1176
Wärmebedarf:	Heizung	Wasser		Total	
Wärme (MWh):	3217	73		3290	
Deckungsgrad BHKW (%):					77

Tabelle 4. Resultate/Energiebilanz

mit Birnen verglichen werden; der Referenzpreis muss sich auf das beim Investitionsentscheid bzw. mit dem Programm analysierte System beziehen.

Resultate

Nachdem die Daten in den Personal Computer eingegeben worden sind, können die gewünschten Resultate berechnet werden.

Energiebilanz

Für die vier Tarifzeiten Sommer-Hochtarif, Sommer-Niedertarif, Winter-Hochtarif und Winter-Niedertarif sowie für das ganze Jahr werden die Betriebsstunden der WKK-Anlage, ferner die Wärme- und Stromproduktion bestimmt (vgl. Tabelle 4). Im weiteren wird der Wärmebedarf für Warmwasser und Raumheizung sowie der von der WKK-Anlage erreichte Deckungsgrad ausgewiesen. Wie erwähnt, muss der Wärmemehrbedarf von einer Spitzenkesselanlage abgedeckt werden.

Wirtschaftlichkeit

Der Ertrag setzt sich zusammen aus den Einnahmen von der Stromrücklieferung und dem Wärmeverkauf, basierend auf einem Wärmepreis, der einer konventionellen Anlage entspricht

(vgl. Tabelle 5). Die Gesamtkosten setzen sich aus den fixen und variablen Kosten zusammen. Die einzelnen Positionen entsprechen dem Detaillierungsgrad der Eingaben. Anhand der gesamten Erträge und Kosten wird das jährliche Betriebsergebnis und die Pay-Back-Zeit ermittelt. Folgende weitere Grössen werden zusätzlich berechnet:

- mittlere Strom- und Wärmekosten der WKK-Anlage
- mittlere Wärmekosten der WKK-Anlage bei Strompreisen gemäss Rückliefertarif und
- mittlere Stromkosten der WKK-Anlage bei Wärmepreisen entsprechend der Wärmeproduktion in einer konventionellen Anlage.

Schlussbemerkung

Das auf dem Tabellen-Kalkulationsprogramm Lotus 1-2-3 (deutsche Version 2.01) aufgebauten Programm steht jedem Interessierten zur Verfügung und kann gegen Entrichtung eines Unkostenbeitrages bei der ELEKTRA BIRSECK, Münchenstein (Tel. 061/46 66 66) erworben werden. Für weitere Auskünfte im Zusammenhang mit dem hier vorgestellten PC-Modell oder auch anderweitige, die rationelle und sparsame Energieverwendung betreffende Fragen stehen die Fachleute der EBM gerne zur Verfügung.

Ertrag (Fr.):

Elektrizitätsrücklieferung:	128 267
Wärmelieferung (konv. Anlage):	139 569
Total Ertrag:	267 836

Kosten (Fr.):

- Fixe Kosten	
• Abschreibungen:	41 733
• Kapitalzinsen:	24 805
• Reparatur & Unterhalt:	10 500
• Verwaltungsaufwand:	5 000
• Grundpreis Gaswerk:	7 644
= Total Fixkosten	89 683
- Variable Kosten	
• Energie:	98 782
• Servicekosten:	29 409
= Total variable Kosten:	128 192
- Total Kosten:	217 874

Betriebsergebnis: 49 962

Pay-Back: 9,8 Jahre

Energiepreise:

- mittlerer Wärme- und Strompreis:	
	5,9 Rp./kWh
- mittlerer Wärmepreis aus BHKW:	
	3,5 Rp./kWh
(Strompreis gemäss Rücklieferungstarif)	
- mittlerer Strompreis aus BHKW:	
	6,7 Rp./kWh
(Wärmepreis ex konventioneller Anlage)	

Tabelle 5. Resultate/Wirtschaftlichkeit

Adresse des Verfassers: Thomas Wälchli, dipl.Ing.ETH und Eduard Längin, Ing. SWKI, Elektra Birseck (EBM), 4142 Münchenstein.