

3. Versorgungsvarianten

3.1. Exergieeffiziente Erzeuger

3.1.1. Exergetische Begründung

Werden Wärmeversorgungssysteme ausschließlich nach dem Energieerhaltungssatz bewertet, scheinen moderne Kesselanlagen die Grenze der physikalischen Möglichkeiten darzustellen. Die Wirkungsgrade liegen bei über 90 %, bei Brennwertanlagen aufgrund einer ungewöhnlichen Definition des Wirkungsgrades gar über 100 %. Vergessen wird dabei, daß Energie eigentlich in unbegrenzten Mengen in der Umgebung enthalten ist. Sie kann daraus entnommen werden, allerdings mit der Restriktion der Einhaltung des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Er soll hier in der exergetischen Formulierung verwendet werden, daß bei einem Energieumwandlungs- oder Transportvorgang die Exergie nicht ansteigen, sondern nur abnehmen oder im Grenzfall gleichbleiben kann.

Im Folgenden soll dies an einem Beispiel erläutert werden. Ein Haus habe einen Heizwärmebedarf von 10 MWh/a. Warmwasserbedarf liegt nicht vor. Die Raumtemperatur betrage 20 °C und die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode 5 °C. Verglichen werden sollen eine Versorgungsvariante, die ideal dem 1. Hauptsatz entspricht und eine Versorgungsvariante, die exakt dem 2. Hauptsatz entspricht.

Die erste Variante ist in Bild 55 dargestellt. Es werden 10 MWh Wärme benötigt, wofür 10 MWh im Brennstoff enthaltene chemische Energie bereitgestellt werden müssen. Diese chemische Energie ist mit einer sehr hohen Exergie verbunden, etwa 90 %, womit also 9 MWh Exergie zugeführt werden. Wie groß ist nun aber die Exergie, die das Haus wirklich benötigt? Sie berechnet sich für die isotherme Wärmezufuhr gemäß der Gleichung:

$$E = Q \frac{T_{\text{Raum}} - T_{\text{außen}}}{T_{\text{Raum}}}$$

Bei nichtisothermer Wärmezufuhr muß entsprechend über die Temperatur integriert werden.

Es ergibt sich ein Betrag von 512 kWh/a. Es sind also nur 5,7 % der im Brennstoff enthaltenen Exergie wirklich im Haus angekommen. Die Berechnung mit einer durchschnittlichen Außentemperatur ist allerdings nur eine Näherung.

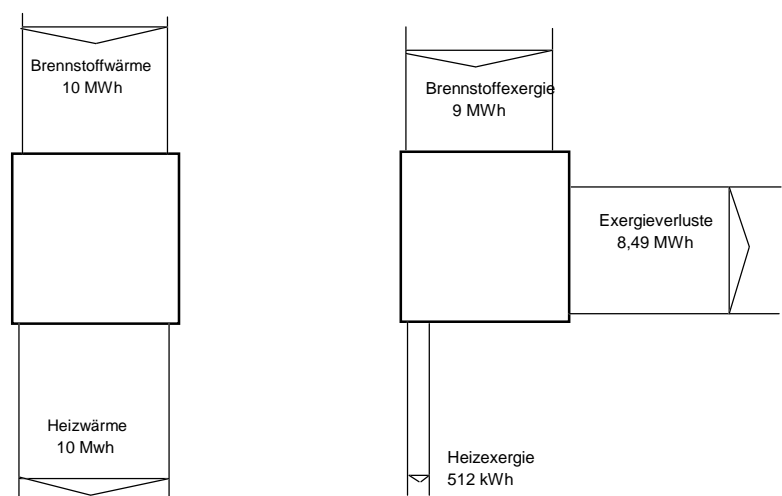


Bild 55: Heizungsanlage ohne Energieverluste

In Bild 56 ist die zweite Variante dargestellt. Hier wird die Brennstoffexergie genutzt, um der Umgebung Wärme zu entziehen (z. B. mit einer hypothetischen idealen Sorptionswärmepumpe). Die benötigten 512 kWh/a Exergie sind bereits in einer Brennstoffmenge von 569 kWh/a enthalten. Die restlichen 9,43 MWh/a werden der Umgebung entzogen. Es wird nur ein Fünftel des Brennstoffs der ersten Variante benötigt.

Es scheint sich ein gewaltiges Einsparungspotential zu eröffnen. Die Realität ist hier aber wesentlich weiter von der Theorie entfernt, als bei Kesselanlagen. So kann die Exergie eines Brennstoffs nur sehr unvollständig gewonnen werden, weil die erforderlichen hohen Prozeßtemperaturen materialmäßig nicht beherrscht werden und innere Verluste auftreten. Die Exergie wird unter hohen Verlusten in das Gebäude hineingebracht, da die Temperaturen der Heizkörper die Raumtemperatur deutlich übersteigen müssen.

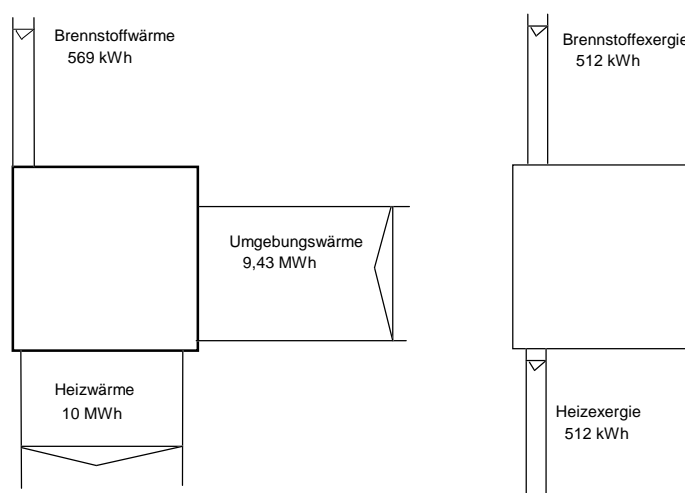


Bild 56: Heizungsanlage ohne Exergieverluste

In Bild 57 ist die bei bestimmten Heiznetzparametern und einer exergieverlustfreien Wärmepumpe maximal mögliche Jahresarbeitszahl aufgetragen. Durch Multiplikation mit dem Exergieinhalt des Brennstoffs und aller exergetischen Nutzungsgrade kann man die Jahresarbeitszahl der Gesamtanlage erhalten, die nur etwa 1/3 des Idealwertes beträgt

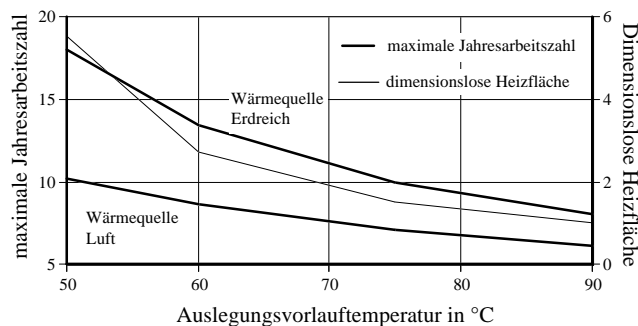


Bild 57: Abhängigkeit von Heiznetz und Wärmequelle

Die Werte wurden durch Ganzjahressimulation eines konkreten Gebäudes erhalten. Es wird erkennbar, daß mit steigender Heizfläche die Jahresarbeitszahl ansteigt und daß als Wärmequelle, soweit möglich, das Erdreich anstatt der Umgebungsluft genutzt werden sollte.

Zumeist liegt das praktische Einsparungspotential, also das Verhältnis von Nutzwärme und Brennstoffwärmezufuhr nicht über 2, im Gegensatz zum Faktor 15 des theoretischen Grenzfalls.

Um die Exergie effizient zu nutzen, wurden eine Reihe technischer Systeme geschaffen. Dem in Bild 56 skizzierten System entspricht am ehesten die Motorwärmepumpe. Dort wird mittels eines Rechtsprozesses die Exergie aus einem Brennstoff extrahiert und in mechanische Energie umgesetzt. Diese dient dann zum Betrieb eines Linksprozesses, welcher der Umgebung Wärme entzieht. Gemeinsam mit der im Brennstoff bereits enthaltenen Anergie und der im Prozeß aus Exergie entstehenden Anergie, abzüglich von Wärmeverlusten, wird sie den Wärmeverbrauchern zugeführt. Motorwärmepumpen sind noch sehr wenig verbreitet.

Eine Sorptionswärmepumpe hat den gleichen Effekt, koppelt aber beide Prozesse direkt und vermeidet den Umweg über die mechanische Energie.

Die wichtigste Anwendung ist gegenwärtig aber die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Hier wird die im Rechtsprozeß extrahierte Exergie in elektrischen Strom umgewandelt, in das Netz abgegeben und dort vordergründig für stromspezifische Anwendungen benötigt. Zudem erfolgt eine Wärmeauskopplung, die den Anergieanteil reduziert. Ein großer Vorteil gegenüber Wärmepumpen besteht darin, daß die oft sehr aufwendigen Anlagen für die Wärmeentnahme aus der Umgebung entfallen.

Die andere Seite des Systems stellt die Elektrowärmepumpe dar. Sie entnimmt ihre Antriebsenergie dem elektrischen Netz und realisiert damit einen Linksprozess. Da sie nur eine Leistungszahl um 3 hat, ermöglicht sie nur geringe oder keine Primärenergieeinsparung, weil der Kraftwerkswirkungsgrad nicht deutlich über 30 % liegt.

Seitens der Wärmepumpenhersteller wird argumentiert, daß ein Teil des Stroms der Kraft-Wärme-Kopplung entstammt. Dies ist nicht korrekt, da der Stromverbrauch der Elektrowärmepumpe dann an anderer Stelle im Netz fehlt und zusätzlich in Kondensationskraftwerken erzeugt werden muß. Die Argumentation wird erst dann richtig, wenn der Anteil der KWK extrem ansteigt, so daß eine Winterspitze der KWK-Stromerzeugung entsteht, die im Netz nicht mehr untergebracht werden kann. In diesem Fall kann nur durch Zusatzverbraucher wie Wärmepumpen die technisch mögliche Auslastung der Kraft-Wärme-Kopplung aufrechterhalten werden.

3.1.2. Kraft-Wärme-Kopplung

Im großtechnischen Maßstab werden vorrangig Gas- und Dampfturbinen betrieben, die besonders wenn sie gekoppelt werden, sehr hohe elektrische Wirkungsgrade erzielen. Für kleine Fernwärmenetze kommen sie nicht in Betracht. Hier werden bevorzugt Motor-BHKW eingesetzt. Während im Bereich kleiner Leistungen nur gasbetriebene Ottomotoren genutzt werden, sind bei größeren Leistungen auch gas- oder heizölbetriebene Dieselmotoren im Einsatz. Weiterhin gibt es Sonderbauformen in Gestalt holz- oder biogas- und raps- oder abfallölbetriebenen Motoren.

Ottomotoren erreichen elektrische Wirkungsgrade von 30 bis 35 %, Dieselmotoren bis etwas über 40 %. Dieselmotoren sind aber technisch komplizierter und teurer, vorrangig aufgrund der teureren Abgasreinigung. Gegenwärtig wird auch an der Entwicklung geeigneter Stirlingmotoren und Brennstoffzellen gearbeitet.

Obwohl es BHKW bereits ab 25 kW Wärmeleistung gibt, ist ein wirtschaftlicher Einsatz erst ab einem Bedarf um 500 kW denkbar. Kleinanlagen sind spezifisch teuer und haben einen hohen Wartungsaufwand. Zudem ist die Eigenversorgung mit Strom oft aus energierechtlichen Gründen nicht möglich und der elektrische Lastgang kleiner Verbraucher sehr unausgeglichen.

Technisch bereitet der Einsatz in kleinen Fernwärmenetzen zumeist keine Schwierigkeiten. Zu beachten sind lediglich Beschränkungen der Vorlauftemperatur, die üblicherweise 100 °C nicht übersteigt. Etwas höhere Temperaturen sind beim Einsatz teurerer heißgekühlter Motoren erreichbar. Probleme kann es nur beim beabsichtigten Anschluß von

Prozeßwärmeverbrauchern und Absorptionskältemaschinen geben. Ein Vorteil der Motorsysteme gegenüber Dampfturbinen liegt darin, daß die Stromerzeugung mit steigender Temperatur der ausgekoppelten Wärme konstant bleibt und nicht wie bei diesen zurückgeht.

Kleine und mittelgroße BHKW werden zumeist wärmegeführt betrieben. Dies hat zum einen energierechtliche Gründe. Zum anderen ist die Spanne zwischen Einkauf des Brennstoffs und Stromverkauf bei kleinen Anlagen nicht groß genug, um die bei stromgeführter Fahrweise auftretenden Wärmeverluste zu akzeptieren.

Bedingt durch die hohen Investitionskosten werden BHKW nur für die Bereitstellung der Grundlast ausgelegt. Die Spitzenlast wird von einem Kessel übernommen. Die Aufteilung des zu deckenden Bedarfs in diese Anteile ist das Grundproblem der Auslegung eines BHKW. In der Praxis des Ingenieurs erfolgt dies heute vorrangig mit dem Jahresganglinienverfahren gemäß Bild 58.

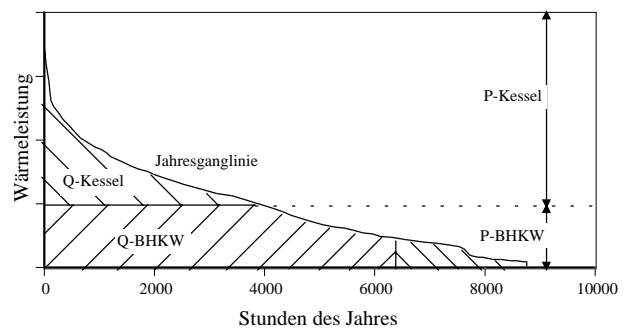


Bild 58: Jahresganglinienverfahren

Es wird eine geordnete Jahresganglinie des Wärmebedarfs bestimmt und in diese das BHKW plziert. Die Fläche unterhalb der BHKW-Leistung symbolisiert nun die Wärme und macht damit auch die Stromerzeugung des Blockheizkraftwerks berechenbar

In Bild 59 ist zusätzlich das Energieflußbild einer KWK-Spitzenkessel-Anlage dargestellt. Es wird erkennbar, daß ein Teil des Stroms selbst verbraucht und ein Teil in das Netz eingespeist wird. Zeitweilig muß auch Strom aus dem Netz bezogen werden. Zu beachten sind zudem noch unterschiedliche Tarifzeiten. Über diese für die Wirtschaftlichkeit wesentliche Aufteilung des Stroms gibt das Jahresganglinienverfahren keinerlei Auskunft.

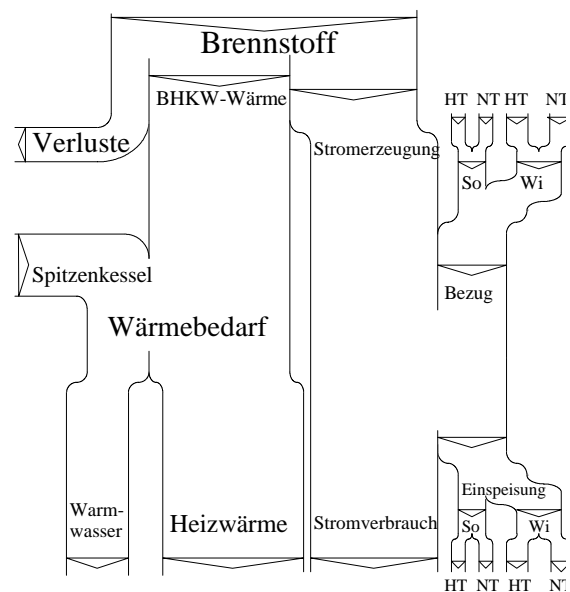


Bild 59: Energieflußbild einer gekoppelten Anlage

Für eine exakte Bilanzierung müßte Stunde für Stunde des Jahres einzeln betrachtet werden, wie es in Bild 60 exemplarisch für einen Tag angedeutet ist. Da dies zu aufwendig ist, wird das Jahr in Gruppen ähnlicher Tage aufgeteilt. Für diese Tagesgruppen sind mittlere Ganglinien des Wärmebedarfs zu ermitteln, aus denen sich dann Ganglinien der Stromerzeugung bestimmen lassen.

Die entsprechende Norm /70/ empfiehlt eine Einteilung des Jahres in trübe und heitere Winter- und Übergangstage sowie Sommertage, also fünf Tagesgruppen. Es stellte sich aber heraus, daß die Unterschiede innerhalb der Tagesgruppen zu groß sind. Speziell die Gruppe "klare Übergangstage" enthält sehr kalte und auch relativ warme Tage, Tage mit maximalem und Tage mit gegen Null gehendem Wärmebedarf.

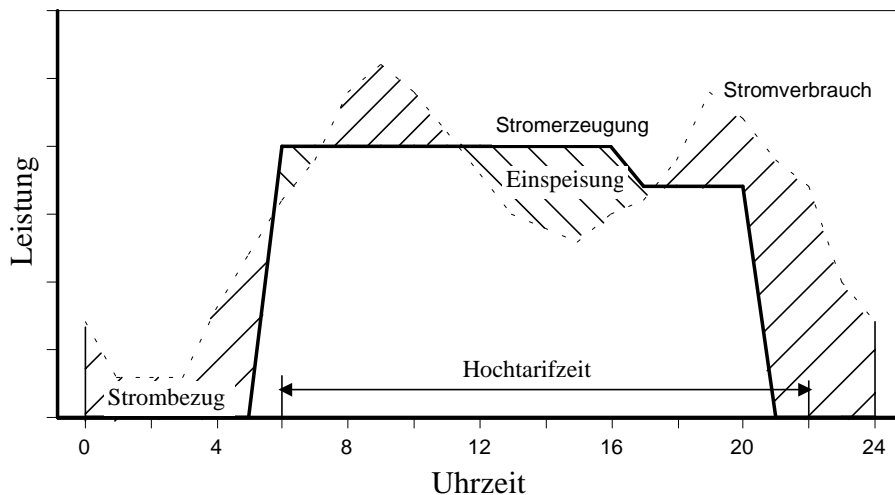


Bild 60: Bilanzierung eines Einzeltags

Es wird deshalb eine Einteilung anhand der Tagesdurchschnittstemperatur gemäß Tabelle 16 vorgeschlagen. Dies ist in Tabelle 17 mit Beispielwerten eines kleinen Hotels unterlegt. In Bild 60 sind Tagesganglinien des Heizwärmebedarfs dargestellt. Es wird erkennbar, daß die wichtigste Ganglinie diejenige für kühle Tage ist. Fast 50 % des Jahresheizwärmebedarfs tritt an diesen Tagen auf.

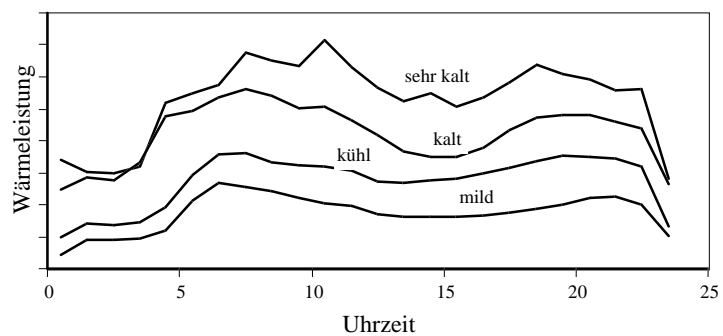


Bild 61: Tagesganglinien in einem Beispielobjekt

Tabelle 16: Tageseinteilung

Gruppenname	t_{mittel}
	°C
sehr kalte Tage	<-7,5 °C
kalte Tage	7,5 °C ... 0 °C
kühle Tage	0 °C ... 7,5 °C
milde Tage	7,5 °C ... 15 °C
warme Tage	> 15 °C

Tabelle 17: Beispielobjekt in Dresden nach Wetterdaten 1954

Anzahl			Wärmeanteil	Q_{mittel}
Winter	Sommer	Jahr	%	kWh/d
21	0	21	19	1.380
35	0	35	23	1.000
88	23	111	46	640
35	77	112	13	180
2	84	86	0	10

In Bild 62 ist für das Beispielobjekt Gernsheim/71/ dargestellt, wie sich Strombezug und Einspeisung mengen- und kostengemäß in Abhängigkeit vom Wärmeleistungsanteil der KWK-Anlage verhalten. Es handelt sich dort um ein Mischgebiet mit den Hauptverbrauchern Wohngebiet, zwei Schulen und einer Schwimmhalle. Die drei Verbraucher sind annähernd gleichberechtigt. Ihre Tagesgänge unterscheiden sich wesentlich und führen in der Gesamtbilanz zu sehr ausgeglichenen Ganglinien. Das Gebiet ist daher sehr gut für den Einsatz der KWK geeignet - ein Effekt, der durch den ganzjährig hohen Wärmebedarf der Schwimmhalle noch verstärkt wird.

Bis zu einem KWK-Anteil von 0,17 steigt die im Eigennetz absetzbare Elektrizitätsmenge kontinuierlich an und sinkt dann langsam ab. Ein relativ großer Teil des Verbrauchs ist an diesem Punkt gedeckt. Ab dieser Stelle beginnt die Einschränkung der Teillastfähigkeit zu wirken, die auf 50 % definiert war.

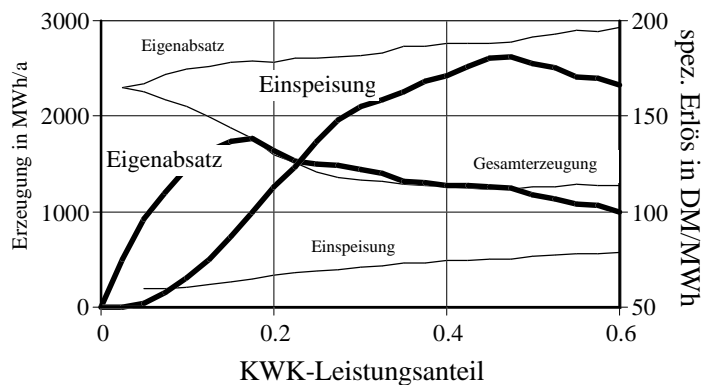


Bild 62: Stromrelationen

Wird der Verbrauch mit steigendem KWK-Anteil häufiger überschritten, steigt die Einspeisung in das Netz des EVU und übersteigt ab einem KWK-Anteil von 0,23 den Eigenabsatz. Ab einem Anteil von 0,47 wird der Teillasteinfluß so hoch, daß auch die Einspeisung zurückgeht.

Die spezifischen Erlöse aus Eigenabsatz und Einspeisung steigen mit dem KWK-Anteil stetig an, da sich der Anteil der in der Hochtarifzeit erzeugten Elektrizität erhöht. Da sich jedoch die Relation von Eigenabsatz und Einspeisung zugunsten der schlechter vergüteten Einspeisung verschiebt, sinkt der spezifische Erlös ab. Besonders auffällig ist dies gerade im Bereich von 0,1 bis 0,3, in dem sich das Optimum im allgemeinen befindet. Es ist daher eine unzulässige Vereinfachung, mit konstanten Erlösen zu rechnen, wie dies im Jahresganglinienverfahren zwangsläufig der Fall ist.

Die Ergebnisse in Gernsheim sind nur exemplarischer Natur und sollen vordergründig zeigen, daß die spezifischen Erlöse eine starke Abhängigkeit von der Anlagenauslegung aufweisen. Die dem Jahresganglinienverfahren zugrundeliegende Unabhängigkeit dieser Größen führt zu Fehlern, die die Anwendung des Tagesganglinienverfahrens zwingend erforderlich machen.

Die konkreten Zahlenwerte müssen für anderen Projekte neu berechnet werden. Neben der Netzgröße und den Ganglinien der Verbraucher sind sie auch stark von der einsetzbaren Modulanzahl und deren Teillastfähigkeit abhängig.

In Kapitel 5 erfolgt ein energiewirtschaftlicher Vergleich der Kraft-Wärme-Kopplung mit anderen Maßnahmen zur Primärenergieeinsparung. Dafür sind spezifische Investitionskosten erforderlich, die nach Kretschmer /72/ wie folgt abgeschätzt werden können:

$$k_i = 10^4 * P^{-0,314} \quad \text{Leistung in kW ; Investition in DM/kW}$$

Im Gegensatz zu einfachen Kesselanlagen ist bei Blockheizkraftwerken mit hohen Wartungsaufwendungen zu rechnen. Diese werden üblicherweise auf die Stromerzeugung bezogen /72/:

$$k_w = 0,293 * P^{-0,484} \quad \text{Leistung in kW ; Wartungskosten in DM/kWh}_{el}$$

3.1.3. Berechnung von Wärmepumpenanlagen

In Bild 63 sind Leistung und Leistungszahl für eine Elektrowärmepumpe /73/ als Funktion von Wärmequellen- und Heizungsvorlauftemperatur exemplarisch dargestellt. Die Leistungszahl steigt mit der Wärmequellentemperatur an und sinkt mit der Heizungsvorlauftemperatur ab.

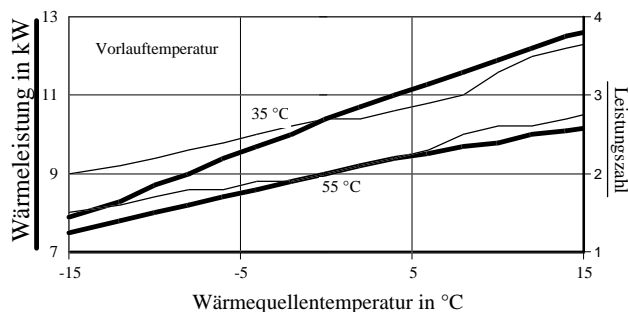


Bild 63: Eigenschaften einer Elektrowärmepumpe

Die angesichts eines Kraftwerkswirkungsgrades von 33 % notwendige Leistungszahl von 3 wird auch bei der niedrigen Heizungsvorlauftemperatur von 35 °C erst bei einer Wärmequellentemperatur von 8 °C erreicht, in einem Temperaturbereich, der laut Tabelle 17 nur zu einem geringen Anteil zum Heizwärmebedarf beiträgt. Eine Wärmepumpe mit einem derartigen Kennfeld sollte also nicht eingesetzt werden. Generell haben größere Anlagen allgemein, und Wasser-Wasser-Wärmepumpen speziell, höhere Leistungszahlen bis etwa 4. Dennoch muß der Sinn des Einsatzes stets im Einzelfall geprüft werden.

In Ländern mit sehr hohem Wasserkraftanteil, wie Österreich und Schweden, kann der Wärmepumpeneinsatz primärenergetisch günstiger als in Deutschland sein.

Eine Nebenaussage des Diagramms betrifft die Wärmeleistung, die mit sinkender Wärmequellentemperatur zurückgeht. Dies bereitet Probleme, da dann zumeist der höchste Heizwärmebedarf besteht.

Kleinere Wärmepumpen wird man dennoch so dimensionieren, daß sie auch dann den Bedarf befriedigen können. Sie werden **monovalent** betrieben. Die Systeme erreichen eine sehr niedrige Vollbenutzungsdauer und sind nicht wirtschaftlich.

Bereits bei mittelgroßen Versorgungsobjekten sollte die Wärmepumpe nur für die Grundlast eingesetzt und ein Spitzenkessel vorgesehen werden. Es besteht nun die Wahl, die Wärmepumpe stets zu betreiben und nur den Restbedarf durch den Kessel zu decken oder bei Unterschreitung einer sinnfälligen Leistungszahl die Wärmeversorgung ausschließlich dem Kessel zu überlassen. Die Varianten werden als **parallel** und **alternativ** bezeichnet.

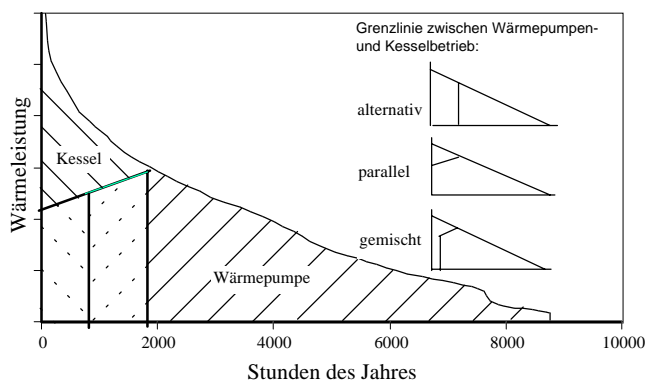


Bild 64: Einsatzverfahren

In Bild 64 sind die Varianten in geordneten Jahressganglinien dargestellt. Es wird erkennbar, daß der parallele Betrieb prinzipiell mit der Einsatzweise eines Blockheizkraftwerkes identisch ist, sich aber darin unterscheidet, daß die Leistung einer Wärmepumpe mit steigendem

Heizwärmebedarf aufgrund zunehmender Heizungsvorlauftemperatur und absinkender Wärmequellentemperatur abnimmt. Mit steigendem Heizwärmebedarf sinkt ebenfalls die Leistungszahl, so daß der Betrieb der Wärmepumpe ab einem bestimmten Bedarf energetisch nicht mehr sinnvoll ist und daher unterbleibt. Ist dieser Abschaltwert mit der Leistung der Wärmepumpe identisch oder kleiner, spricht man von einem alternativen Betrieb, anderenfalls von einem gemischtem Betrieb. Alternativer bzw. gemischter Betrieb sind energetisch sinnvoller als der Parallelbetrieb, erfordern jedoch einen größeren Spitzenkessel.

Bild 64 symbolisiert neben den Betriebsweisen zugleich das momentan übliche Berechnungsverfahren. Die geordnete Jahreganglinie wird in mehrere Sektoren eingeteilt. Ihr werden Ganglinien der Vorlauf- und der Wärmequellentemperatur zugeordnet und daraus eine Ganglinie der Leistungszahl bestimmt, mit der der Strombedarf bilanziert wird. Das Verfahren basiert auf der Annahme, daß die Ganglinien synchronisierbar sind. Da jedoch die entsprechenden ungeordneten Linien nicht proportional verlaufen, trifft dies nur in eingeschränktem Maße zu.

Die Betriebsweise ist von wesentlichem Einfluß auf Wärmeanteil und Jahresnutzungsgrad (Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpe. Die entsprechenden Zusammenhänge sind in Bild 65 für ein typisches Beispiel dargestellt.

Generell erreicht eine Wärmepumpe bereits bei kleinen Leistungsanteilen höhere Wärmeanteile als ein Blockheizkraftwerk. Dies liegt daran, daß die Wärmepumpe für die volle Leistung eine sehr hohe Nennleistung besitzen muß. Im Auslegungsfall ist die Heizungsvorlauftemperatur hoch und die reale Wärmepumpenleistung niedrig.

Wie bereits in Bild 65 erkennbar ist, besitzt die Wärmepumpe bei paralleler Betriebsweise stets einen höheren Wärmeanteil als bei Alternativbetrieb.

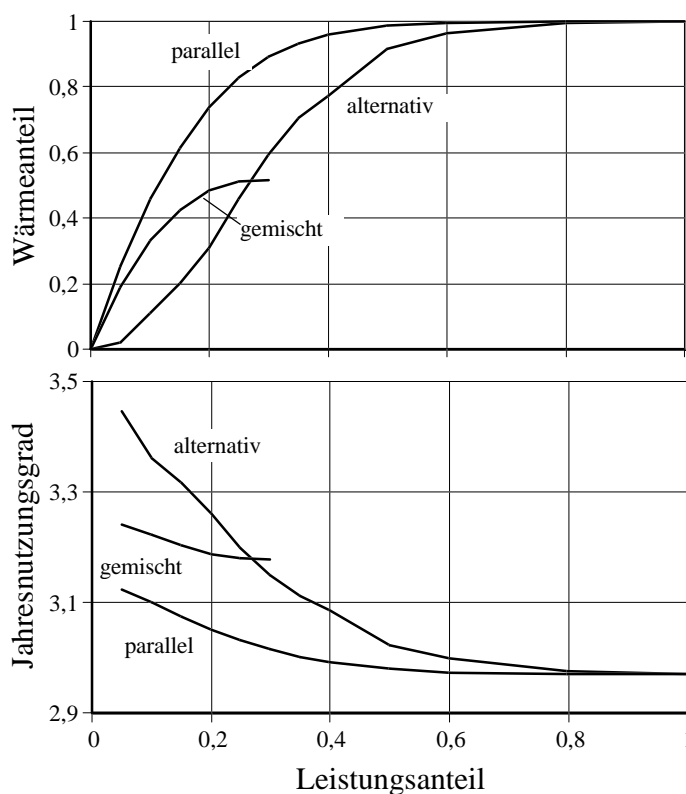


Bild 65: Wärmeanteil und Jahresnutzungsgrad

Beim Jahresnutzungsgrad liegen umgekehrte Verhältnisse vor. Der Alternativbetrieb weist die höchsten Werte auf, da die schlechten Leistungsverhältnisse im Hochwinter vermieden werden.

Der gemischte Betrieb liegt in seinen Eigenschaften jeweils zwischen den beiden anderen Betriebsweisen. Diese Betriebsweise kann nur bis zu einem bestimmten maximalen Leistungsanteil sinnvoll angewendet werden, da der Wärmeanteil einen Grenzwert erreicht.

Bei den Berechnungen ist zu beachten, daß nach dem Normtext /74/ keine Ganglinie des Wärmebedarfs, sondern des Tagesdurchschnittswerts der Außentemperatur verwendet wird. Dies kann aber nur für Luft-Wasser-Wärmepumpen als günstig angesehen werden, da hier die Außentemperatur den größten Einfluß auf die Leistungszahl hat. Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen ist die Wärmequellentemperatur nur in geringem Maße von der Außentemperatur abhängig. Sehr viel wichtiger sind die Temperaturen im Heiznetz, die vom Wärmebedarf abhängen, welcher wiederum nicht nur von der Außentemperatur, sondern auch von der Solarstrahlung, inneren Quellen und Regeleinriffen (wie der Nachtabenkung) beeinflußt wird.

Bei größeren Wärmepumpen kommt analog zur Kraft-Wärme-Kopplung die Einteilung des Strombezugs in unterschiedliche Tarifzeiten zum Tragen. Es wird daher vorgeschlagen, auch für die Berechnung von Wärmepumpen das Tagesganglinienverfahren einzusetzen. Ausgangspunkte sind dann die Tagesganglinien des Wärmebedarfs, der sich daraus ergebenden Vorlauf- und der Wärmequellentemperatur. Beim Einsatz von Erdreich oder Wasser als Wärmequelle sind dafür auch Konstantwerte, jedoch getrennt nach Liniengruppen, verwendbar

3.1.4. Der TRNSYS-Tagesgangliniensortierer

Die für die Berechnung von BHKW und Wärmepumpen erforderlichen Tagesganglinien des Wärmebedarfs sind zumeist nicht bekannt. Eine Lösung bietet der Einsatz von Simulationsprogrammen wie TRNSYS. Es können Vorhersagen über den Wärmebedarf für stündliche oder kleinere Abschnitte des Jahres erhalten werden, wobei die Umsetzung der Ergebnisd Dateien in Tagesganglinien mit Tabellenkalkulationsprogrammen sehr mühselig ist. Es wurde deshalb ein neues TYPE entwickelt, welches die Tagesganglinien während der Simulation erstellt.

Belegung

Parameter	Beschreibung
1 Δt_p	Zeitintervall (zunächst nur 1 [h])
2 t_{Beginn}	Beginn der Tagesganglinienerstellung (zunächst nur 1)
3 t_{Ende}	Ende der Tagesganglinienerstellung
4 LU	logische Nummer der Ausgabedatei
5 Modus	1 mit Überschriften 2 ohne Überschriften

Input	Beschreibung
1 t_a	Außentemperatur
2 g_{sort}	zu sortierende Größe

Outputs gibt es keine. Die Ergebnisse werden in einer Datei abgelegt, die nicht mit der Ausgabedatei eines anderen TYPE identisch sein darf. Dort sind die Tagesganglinien sowie die Tageshäufigkeiten im Jahr getrennt nach Sommer und Winter enthalten.

Die Datei hat im Modus 1 folgende Gestalt:

Tagesganglinien gemäß Temperaturmodell

Zeit	sehr kalt	kalt	kühl	mild	warm
1	3.460E+00	1.080E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	9.688E+00	7.007E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	1.753E+01	2.689E+00	1.160E-02	0.000E+00	0.000E+00
4	2.509E+01	6.009E+00	7.067E-02	0.000E+00	0.000E+00
5	3.151E+01	9.631E+00	1.545E-01	0.000E+00	0.000E+00
6	6.379E+01	3.952E+01	2.448E+01	1.150E+01	1.168E+00
7	9.321E+01	6.736E+01	4.838E+01	2.145E+01	1.854E+00
8	9.245E+01	6.633E+01	4.673E+01	1.738E+01	9.181E-01
9	8.917E+01	6.384E+01	4.306E+01	1.303E+01	3.746E-01
10	8.236E+01	5.980E+01	3.850E+01	9.619E+00	2.170E-01
11	7.444E+01	5.468E+01	3.484E+01	7.123E+00	1.318E-01
12	6.793E+01	5.083E+01	3.234E+01	5.744E+00	5.741E-02
13	6.389E+01	4.964E+01	3.110E+01	5.130E+00	5.017E-04
14	6.342E+01	5.052E+01	3.135E+01	5.079E+00	0.000E+00
15	6.575E+01	5.268E+01	3.257E+01	5.566E+00	0.000E+00
16	6.881E+01	5.486E+01	3.416E+01	6.415E+00	0.000E+00
17	7.081E+01	5.641E+01	3.569E+01	7.380E+00	3.030E-03
18	7.170E+01	5.719E+01	3.691E+01	8.496E+00	2.444E-02
19	7.210E+01	5.758E+01	3.778E+01	9.714E+00	5.904E-02
20	7.175E+01	5.774E+01	3.830E+01	1.085E+01	1.035E-01
21	7.199E+01	5.777E+01	3.866E+01	1.184E+01	1.640E-01
22	7.321E+01	5.781E+01	3.898E+01	1.277E+01	2.369E-01
23	3.684E+01	2.892E+01	1.958E+01	6.605E+00	1.387E-01
24	5.149E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Häufigkeiten der Typtage

Winter	2.100E+01	3.500E+01	8.600E+01	2.800E+01	3.000E+00
Sommer	0.000E+00	0.000E+00	2.500E+01	8.400E+01	8.300E+01
Summe	2.100E+01	3.500E+01	1.110E+02	1.120E+02	8.600E+01

Wird der Modus 2 verwendet, so fehlen die oberen drei Zeilen.

Sortiert werden die von TRNSYS berechneten Originalwerte, so daß zum Beispiel die Maßeinheiten erhalten bleiben. Wünscht man bezogene Größen, zum Beispiel in % des Maximalwertes, muß eine nachträgliche Bearbeitung in einem Tabellenkalkulationsprogramm erfolgen.

Die Einbindung in ein ausführbares Programm läßt keine besonderen Schwierigkeiten erwarten. Der Einsatz kann während der Simulation erfolgen, allerdings momentan nur, wenn die Zeitschrittweite eine Stunde beträgt. Anderenfalls werden Temperatur und zu sortierende Größe in Stundenzeitschritten mittels Type 25 in eine Datei übertragen und diese dann, gesteuert durch ein weiteres Deck, sortiert. Dies erfolgt sehr schnell, auf einem PC 486 DX2/66 in zwölf Sekunden.

Ist die Sortierung erfolgt, kann mit einem weiteren Deck die Online-Darstellung erfolgen. Dieses liest die sortierte Datei wie eine Wetterdatei. Damit das möglich wird, müssen die drei Überschriftszeilen fehlen. Dies kann man mit "Modus", also dem fünften Parameter einstellen. Nach Beendigung der Online-Darstellung muß mit einem "READ"-Fehler gerechnet werden. Damit die Linien dennoch voll sichtbar bleiben, sollten sie in das untere Diagramm eingetragen werden. Zur Erleichterung des Einsatzes mehrerer Decks kann man sich einer batch-Datei bedienen.

Der Tagesgangliniensortierer kann auch für andere Betrachtungen eingesetzt werden:

- Ermittlung der Tagesganglinien von Außentemperatur und Feuchte.
- Untersuchung der Einstrahlungsverhältnisse. So konnte festgestellt werden, daß im Wetterdatensatz "Dresden-Wahnsdorf 1954" an kalten Tagen höhere Strahlungswerte vorliegen als in vergleichbaren Testreferenzjahren. Hohe solare Deckungsraten nach diesem Datensatz in den Wintermonaten werden so verständlich.
- Überprüfung von Wetterdateien, die selbst aus Meßwerten erstellt wurden. So kann z. B. vermieden werden, daß zeitliche Fehlstellen in der Erfassung unentdeckt bleiben.
- Analyse der Nachtabsenkung oder anderer zeitlicher Vorgaben im Mehrzonengebäudemodell sowie des Tagesverlaufs der Zonentemperaturen.

Innerhalb des Unterprogramms werden in einem ersten Schritt die Temperaturen und die zu sortierenden Werte für die ersten 24 Stunden in eine Vormatrix A eingelesen. Anschließend wird die Tagesdurchschnittstemperatur bestimmt und die Tageszuordnung definiert. Nun können die zu sortierenden Werte in die Ergebnismatrix B eingeschrieben werden. Anschließend erfolgt das Gleiche mit dem zweiten Tag. Ist die entsprechende Spalte der Matrix nicht leer, erfolgt eine Mittelwertbildung. Ist das ganze Jahr berechnet, so ist auch die Ergebnismatrix B fertiggestellt, welche nun in die Ausgabedatei übertragen wird.