

1 Einleitung

Der wirtschaftliche Energieverbrauch ist eine wichtige Aufgabe der heutigen Gesellschaft, um die Nachhaltigkeit in Bezug auf ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte zu wahren. Aus dem Ziel des effizienten Wirtschaftens zugunsten nachfolgender Generationen lassen sich zwei Problemfelder ableiten. Zum einen die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und zum anderen die Minimierung des Energieverbrauchs aus fossilen Primärenergieträgern.

Der größte Anteil am Gesamtenergieverbrauch im Haushalt entfällt auf die Bereitstellung von Wärme für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung [1], sodass auf diesen Bereich ein hohes Optimierungspotential entfällt. Für eine umweltgerechte Energieversorgung sind regenerative Energien zu nutzen, welche in der Lage sind einen erheblichen Beitrag zur Verminderung der Treibhausgase zu leisten [2]. Die fortschreitende Verknappung fossiler Primärenergieträger [3], die mit einer enormen Kostensteigerung einher geht, führt zusätzlich auf eine zunehmende Nutzung von regenerativen Energiequellen [4].

Aufgrund der hohen Optimierungspotentiale in der Gebäudeheizungstechnik und der verstärkten Nutzung von regenerativen Energiequellen sind die Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit auf diese Bereiche gelegt. Es ist eine Methodik für die selbsttätige optimale Betriebsführung, das sogenannte Engineering von Steuerungen und Regelungen, für Wärmeversorgungsanlagen als Hauptenergieverbraucher im Bereich der Gebäudetechnik zu entwickeln. Das Ziel ist es, die entstehenden Betriebskosten durch die Nutzung der Methodik zu minimieren. Die Wirtschaftlichkeit beim Betrieb derartiger Anlagen ist durch eine Verringerung des Energieverbrauches zu verbessern.

Die zu entwickelnde Methodik ist am Beispiel einer Wärmeversorgungsanlage darzustellen, welche aus einer Kombination von regenerativen und konventionellen Wärmeerzeugern im Verbund und einem Wärmespeicher besteht. Diese Anlagen, auch Kombinationsheizungsanlagen oder Verbundanlagen genannt, sind in der Praxis stark vertreten [5]. Die Berücksichtigung von Investitionskosten derartiger Anlagen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet. Der interessierte Leser sei auf die Literatur [6] und [7] verwiesen.

Die zu optimierende Prozessführung der Heizungsanlage steht in unmittelbarem Zusammenhang mit nutzbaren leittechnischen Einrichtungen, beziehungsweise deren Funktionen. Sie dient maßgeblich dazu in reproduzierender Arbeitsweise für wiederkehrende Prozesszustände, optimale Bedingungen zu sichern. Für die automatische Informationsverarbeitung ist geeignete Prozessleittechnik zu verwenden, welche durch Erfassungssysteme selbsttätig Messdaten in die umgesetzten Algorithmen einbezieht.

Das Ziel der automatischen Betriebsführung von Verbundanlagen, ist die Minimierung der Betriebskosten. Diese resultieren aus dem Einsatz der Wärmeerzeuger, im Speziellen aus der dadurch verursachten Brennstoffnutzung beziehungsweise dem Verbrauch an elektrischer Energie. Der Wärmeerzeugereinsatz bewirkt dabei gleichzeitig eine Anhebung der Wärmespeichertemperatur auf ein höheres Energieniveau. Der Wärmespeicher ist damit in der Lage, die Heizkreisanforderungen sowie die Trinkwarmwasserbereitstellung umzusetzen. Es ist gewünscht, die regenerativen Energiequellen vorrangig, je nach Verfügbarkeit einzusetzen. Der Einsatz der konventionellen Energiequellen ist aufgrund der hohen Kostenverursachung zu senken.

Aktuell regeln autarke Leitgeräte die einzelnen Komponenten der Verbundanlage separat. Teilweise stammen die Leitgeräte von verschiedenen Herstellern, da die Anlagen in der Regel historisch gewachsen sind. Es ist ihnen nicht möglich, prädiktiv auf Störwirkungen, verursacht durch ein anderes Leitgerät zu reagieren. Lediglich bei auftretenden Störwirkungen, können sie durch Veränderung der Betriebsparameter entgegenwirken. Damit erfolgt keine operative Koordination der Wärmeerzeuger, wobei vereinzelt jedoch eine Zeitsteuerung umgesetzt ist.

Die Prozessführung ist aufgrund der fehlenden Koordination der Betriebsparameter der Wärmeerzeuger untereinander nicht optimal zu realisieren. Dies ist zum einen mit der fehlenden Informationsverarbeitung von prognostizierten Wetterdaten zu begründen, welche zum Fehlen einer vorausschauenden Planung der Verfügbarkeit von regenerativen Quellen führt. Zum anderen erfolgt kein Bezug der Wärmespeichertemperatur zu den realen Nutzeranforderungen. Dies ist jedoch von entscheidendem Einfluss, da der Wärmebedarf von Gebäuden in Abhängigkeit des

Lüftungsverhaltens, dem Nutzerverhalten und den Wetterbedingungen um bis zu 300% schwankt (100% Wärmebedarf entspricht dem Normwärmebedarf) [8].

Um die Prozessführung zu optimieren, ist eine detaillierte Prozessanalyse durchzuführen. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, die ablaufenden internen und externen Prozesse zu erfassen und zu bewerten sowie bestehende Probleme aufzudecken. Idealerweise mündet die Analyse in der Schaffung eines Prozessabbildes in Form eines deskriptiv erstellten Modells.

Voraussetzung für die Bewertung eines Prozesses ist die Definition einer Bewertungsfunktion (Zielfunktion) [9]. Bei der Optimierung der Betriebsführung von Verbundanlagen ist diese durch die entstehenden Betriebskosten erklärt. Sie setzt sich aus den Betriebskosten verursacht durch die einzelnen Wärmeerzeuger additiv zusammen und ist durch technische und technologische Prozesszusammenhänge beschränkt. Die definierten Beschränkungen lassen sich durch das erstellte Prozessmodell in Form von Gleichungs- und Ungleichungsnebenbedingungen mathematisch beschreiben [10].

Eine Herausforderung bei der Optimierung ist die Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der Wärmeerzeuger untereinander. Diese ergibt sich aufgrund der Energieeinspeisung über Wärmeübertrager und der resultierenden Variation der Energieeinspeisungs-Wirkungsgrade je nach Speichertemperatur. Ist diese sehr hoch, verringert sich der Wirkungsgrad im Gegensatz zu einer Einspeisung in einen kühleren Speicher.

Eine andere Hürde ergibt sich durch das Zusammenwirken verschiedenster Einflussgrößen auf die Betriebsführung des Prozesses [11]. So nehmen das Klima und die Nutzeranforderungen (in der Grafik als Nutzer gekennzeichnet) zusammen mit der Wärmeverteilung und –Abgabe Einfluss auf das Gebäude mit seinen bauphysikalischen Besonderheiten. Das Klima beeinflusst weiterhin die regenerativen Wärmeerzeuger (wie zum Beispiel die Solaranlage) und verändert deren Verfügbarkeit. Die Betriebskosten variieren in Abhängigkeit aller beschriebenen Einflussgrößen und bilden die zentrale Größe in dem vernetzten, mehrfach rückgekoppelten System, welches in Abbildung 1-1 gezeigt ist.

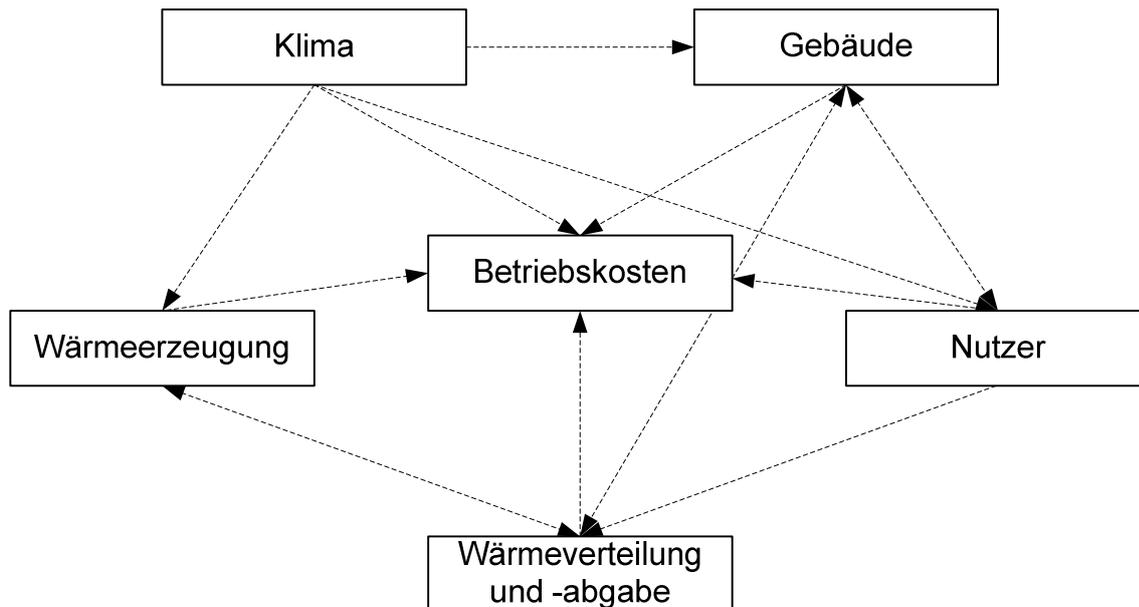


Abbildung 1-1: Zusammenwirken der Einflussgrößen des Prozesses

Die beschriebenen Einflussgrößen treten teilweise stochastisch auf, sodass operative Korrekturen der Betriebsführung unter Beachtung der dynamischen Systemeigenschaften, wie zum Beispiel der Speicherfähigkeit des Gebäudes und innerhalb der Heizungsanlagen erforderlich sind. Dies begründet die Notwendigkeit, in dieser Arbeit vorgesehene Untersuchungen auf Basis von dynamischen Prozessmodellen zu führen.

Das Abbilden der Zusammenhänge im dynamischen Prozessmodell ermöglicht deren Bewertung. Dadurch ist das Ziel, den kostengünstigsten Wärmeerzeuger vorrangig einzusetzen, zu erreichen. Der Einsatz von fossilen Energiequellen ist aufgrund der hohen Kostenverursachung zu minimieren, womit die Betriebskosten gering zu halten sind.

Eine gezielte vorausschauende Koordination der Wärmeerzeuger sowie eine Prognose über den real benötigten Wärmebedarf führen zu einer Minimierung der Speichertemperatur und damit der Verbesserung der Einspeisungs-Wirkungsgrade. Die Lastprognose ist durch die Erstellung eines detaillierten Prozessmodells der Verbundanlage und des Wärmeverbrauches zu erreichen [12]. Die Lösung der definierten Zielfunktion führt auf die minimierten Betriebskosten sowie die dazugehörigen optimalen Betriebsparameter der Wärmeerzeuger. Aufgrund der mathematischen Struktur der Zielfunktion und der dazugehörigen technisch und technologisch bedingten Restriktionen ist als Lösungsmethode die dynamische Programmierung zu wählen.

Die zu entwickelnde Optimierungsmethodik ist in einem hierarchischen Prozessrechensystem umzusetzen. Dieses ist definiert als ein System bei dem mehrere untergeordnete Prozessrechensysteme parallel mit dem Prozess und einem übergeordneten System gekoppelt sind. Dieses übergeordnete System in welches die Methodik zu implementieren ist, koordiniert die Arbeitsweise der Untergeordneten [13]. Die Besonderheit bei dem Einsatz der Methodik ist die zwingend erforderliche Kopplung zwischen dem übergeordneten System und dem Prozess mit der Messdatenerfassung, wie in Abbildung 1-2 dargestellt.

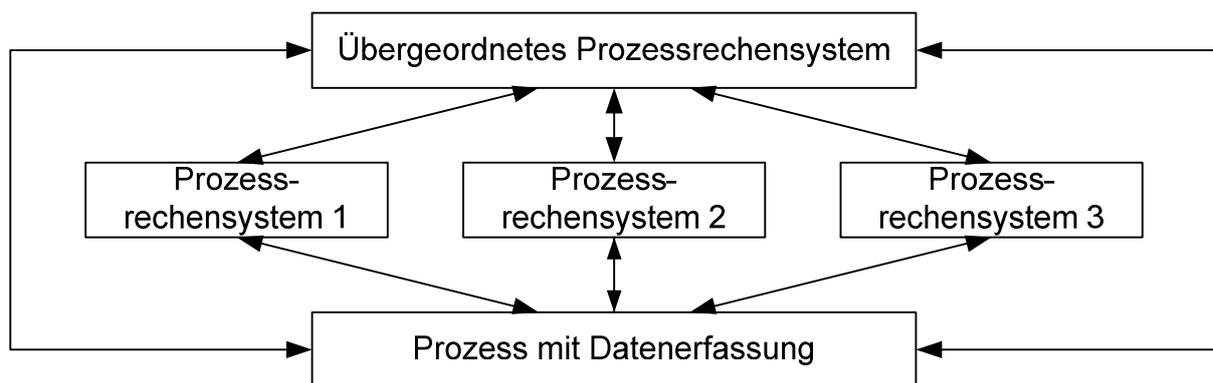


Abbildung 1-2: Hierarchisches Prozessrechensystem mit Kopplung zum Prozess

Im folgenden Abschnitt der Arbeit erfolgt eine detaillierte Problemanalyse. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung des Prozessmodells, welches zur Darstellung und Bewertung der Prozesszusammenhänge sowie der wirkenden Einflussgrößen notwendig ist. Da in der vorliegenden Arbeit ein modellbasierter Forschungsansatz gewählt wurde, ist dieser Abschnitt sehr detailliert gearbeitet. Es folgt eine allgemeine Zusammenfassung von Optimierungsmethoden und die Begründung, warum die dynamische Programmierung die einzige Möglichkeit zur Lösung des Zielfunktional darstellt. Die Vorstellung der entwickelten Methodik, welche aus zwei Teilen besteht, erfolgt in Abschnitt 5. Im darauffolgenden Abschnitt ist die Anwendung und Bewertung der Methodik beschrieben, was im letzten Abschnitt für die Generalisierung der Methodennutzung verwendet wird. Dabei ist im Speziellen auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Methodik hingewiesen und am Beispiel erläutert.