

---

Forschungsprogramm  
Umgebungs- und Abwärme,  
Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)

# Ausbau der Calc-Programme

## Phase 1: Konzept und Pflichtenheft

ausgearbeitet durch

<b>Prof. G. Zweifel</b>	<b>HTA Luzern (Projektleiter)</b> <a href="mailto:gzweifel@hta.fhz.ch">gzweifel@hta.fhz.ch</a>
<b>M. Stalder</b>	<b>Ingenieurbüro (stv. Projektleiter)</b>
<b>M. Erb</b>	<b>Dr. Eicher+Pauli AG</b>
<b>Dr. E. Shafai</b>	<b>IMRT-ETHZ</b>
<b>M. Achermann</b>	<b>HTA Luzern</b>
<b>R. von Euw</b>	<b>HTA Luzern</b>

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

## Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) Prof. Dr. M. Zogg Leiter Forschungsprogramm UAW Kirchstutz 3 3414 Oberberg	Projektbegleiter Email: <a href="mailto:martin.zogg@bluewin.ch">martin.zogg@bluewin.ch</a>
Beauftragte:	Hochschule für Technik+Architektur Fachhochschule Zentralschweiz Prof. G. Zweifel R. von Euw, M. Achermann Zentrum für Interdisziplinäre Gebäudetechnik (ZIG) Technikumstrasse 21 6048 Horw	Projektleiter Email: <a href="mailto:gzweifel@hta.fhz.ch">gzweifel@hta.fhz.ch</a>
	Ingenieurbüro für Energietechnik und Informatik M. Stalder Engelgasse 22 8911 Rifferswil	stv. Projektleiter
Projektgruppe:	Dr. Eicher + Pauli AG M. Erb Kasernenstrasse 21 4410 Liestal	Email: <a href="mailto:eicher.pauli@bluewin.ch">eicher.pauli@bluewin.ch</a>
	ETH-Zürich Institut für Mess- und Regeltechnik Dr. E. Shafai ETH-Zentrum 8092 Zürich	Email: <a href="mailto:shafai@imrt.mavt.ethz.ch">shafai@imrt.mavt.ethz.ch</a>
	Ing.-Büro Ruess und Hausherr K. Ruess Gallusstrasse 6 9000 St. Gallen	(nur Teilweis) Email: <a href="mailto:ruess@energiekiosk.ch">ruess@energiekiosk.ch</a>
Begleitgruppe:	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich Ch. Erb Tramstrasse 35 8050 Zürich	Email: <a href="mailto:christian.erb@ewz.stzh.ch">christian.erb@ewz.stzh.ch</a>
	Gruenberg & Partner AG H. P. Baumann Nordstrasse 31 8035 Zürich	Email: <a href="mailto:pb@gup.ch">pb@gup.ch</a>
	Conti & associés E. Conti 17, quai de Versoix 1290 Versoix	Email: <a href="mailto:e.conti@conti-ingenergy.ch">e.conti@conti-ingenergy.ch</a>

## Zusammenfassung

Mit den Calc-Programmen können aufgrund einer Jahressimulation die Betriebsdaten von Wärmeerzeugungsanlagen (Hauptsächlich WP- und WKK-Anlagen) ermittelt werden. Da die Programme mittlerweile etwa 8 Jahre alt sind, soll die Software komplett überarbeitet, erweitert und neu programmiert werden.

In dem hier vorliegenden Projekt wurde ein Pflichtenheft erstellt, das als Basis für die Entwicklung dieser neuen Calc-Programme dient.

Die Erarbeitung des Pflichtenhefts wurde von einer Arbeitsgruppe begleitet, in der neben Personen aus der aktuellen WP- und WKK-Forschung auch Planer von WP- und WKK-Anlagen Einsatz nahmen. Dadurch ist gewährleistet, dass die im Pflichtenheft formulierten Anforderungen und Schwerpunkte auch die Bedürfnisse der praktischen Planung von Anlagen widerspiegeln.

Aus diesem Prozess haben sich folgende Schwerpunkte für die Programmentwicklung gegeben:

- Simulation von Systemen, die hauptsächlich in Grossanlagen Verwendung finden
- Programmoberfläche mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad  
(Einfache "vorgefertigte" Systeme für schnelle Abklärungen und "komponentenbasiertes" System für eine detaillierte Eingabe der simulationsrelevanten Parameter.)
- Bessere Anpassung der Programmoberfläche an die Denkweise des planenden Ingenieurs.

Gegenüber den bestehenden Calc-Programmen sind im Wesentlichen folgende Neuerungen vorgesehen.

- Ermittlung des Wärmebedarfsprofils aufgrund einer standardisierten Gebäudesimulation.
- Eingabe der Simulationsparameter, ausgehend von einem Anlagenschema als Zentrale Programmoberfläche
- Entwicklung eines "komponentenbasierten" Systems für die detaillierte Eingabe der Kennwerte der einzelnen Anlagenkomponenten.
- Berücksichtigung der Wärmeerzeugung auf verschiedenen Temperaturniveaus. (WP: Enthitzer, Unterkühler; WKK: Prozessdampf)
- Entwicklung einer Webbasierten Anwendung, bei der die Simulation auf einem Zentralen Rechner ausgeführt wird.

Ein wichtiges Anliegen des Projektes war es auch, bereits vorhandenes Wissen aus den bestehenden Calc-Programmen und anderen für die Neuentwicklung relevanten Forschungsarbeiten möglichst gut zu dokumentieren. Diese Unterlagen (Forschungsarbeiten, Programmcode, Beschreibungen von Algorithmen und Simulationsmodellen usw.) sind sehr Umfangreich. Es war deshalb nicht sinnvoll, die Unterlagen direkt in das Pflichtenheft zu integrieren.

Aus diesem Grund enthält das vorliegende Pflichtenheft nur eine kurze Beschreibung der Anforderungen an die einzelnen Programmteile. Parallel dazu wurden zu jedem Unterkapitel in Kapitel 4 ein Dossier angelegt. Dieses enthält dann alle relevanten Informationen zum jeweiligen Thema.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschließlich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Summary

With the 'Calc' programs, the operational data of heat generation systems (mainly heat pumps and cogeneration plants) can be calculated by means of a yearly simulation. Since meanwhile the programs are about 8 years old, the software shall be totally revised, extended and newly programmed.

In the frame of the project reported here, specifications were developed which shall form the basis for the development of these new 'Calc' programs.

The development of the specification was accompanied by a group in which, besides persons from the current heat pump and cogeneration research community, also designers of heat pump and cogeneration systems were represented. By this it was guaranteed that the requirements and main focuses stated in the specifications also reflect the needs of the practical system design.

From this process, the following main focuses resulted:

- Simulation of system types which are mainly used in larger objects
- User interface with different levels of detail  
(Simple "pre designed" systems for quick answers and "component based" system for a detailed input of the simulation relevant parameters.)
- Better fitting of the user interface to the way of thinking of the designing engineer.

Compared to the existing Calc programs, mainly the following new features are proposed.

- Calculation of the heat demand profile based on a standardised building simulation.
- Input of the simulation parameters starting from a schematic drawing of the system as a central user interface.
- Development of a component based system for the detailed input of the parameters for the different components.
- Consideration of the heat generation on different temperature levels (heat pump: sub-cooler and desuperheater; cogeneration: process steam production)
- Development of a web based application, where the calculation is done on a central server.

It was also an important request to the project to document as well as possible already existing knowledge from the existing Calc programs as well as from other relevant research work. This documentation (research reports, program code, description of algorithms and simulation models etc.) is very voluminous. Therefore it was not sensible to integrate all this information into the specification.

For this reason, the present specification only contains a short description of the requirements for the different program parts. A separate file was created in parallel to each of the subchapters of chapter 4. These files contain all the relevant information to the respective topics.

This project has been supported by the Swiss Federal Office of Energy. The Swiss Federal Office of Energy assumes no responsibility for the content and the conclusions of this report.

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>AUSGANGSLAGE .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>PROGRAMMKONZEPT.....</b>	<b>1</b>
2.1	VERTIEFUNGSSTUFEN UND IHRE ANFORDERUNGEN .....	1
2.2	KRITISCHE ANMERKUNG ZUM PROGRAMMKONZEPT.....	3
2.3	EMPFEHLUNGEN DER AUTOREN BEZÜGLICH DER UMSETZUNG DES PROGRAMMKONZEPTS.	4
<b>3.</b>	<b>ZU SIMULIERENDE SYSTEME .....</b>	<b>5</b>
3.1	WÄRMEPUMPEN .....	5
3.2	WKK .....	7
<b>4.</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN BERECHNUNGSMODELLE UND PROGRAMM.....</b>	<b>7</b>
4.1	GEBÄUDEMODUL.....	7
4.1.1	<i>Wärmebedarf.....</i>	7
4.1.2	<i>Wärmebedarfsprofil .....</i>	8
4.1.3	<i>Systemtemperaturen .....</i>	10
4.1.4	<i>Betriebsperioden mit reduziertem Betrieb.....</i>	11
4.2	WP-ANLAGE.....	11
4.2.1	<i>Wärmepumpe.....</i>	11
4.2.3	<i>Spitzenlasterzeuger.....</i>	16
4.2.4	<i>Hydraulische Einbindung / Regelung .....</i>	17
4.2.5	<i>Warmwassererzeugung .....</i>	19
4.3	WKK .....	20
4.3.1	<i>WKK-Modul .....</i>	20
4.3.2	<i>Spitzenlasterzeuger.....</i>	22
4.3.3	<i>Hydraulische Einbindung / Regelung .....</i>	23
4.4	WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG .....	25
4.5	SIMULATIONSZEITSCHRITT.....	25
4.6	ANWENDERHANDBUCH .....	26
<b>5.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>28</b>

# **Inhaltsverzeichnis des separaten Anhangs**

Der Anhang ist gleich aufgebaut wie das Kapitel 4 von diesem Schlussbericht.

## 4.1 GEBÄUDEMODUL

- 4.1.1 *Wärmebedarf*
- 4.1.2 *Wärmebedarfsprofil*
- 4.1.3 *Systemtemperaturen*
- 4.1.4 *Betriebsperioden mit reduziertem Betrieb*

## 4.2 WP-ANLAGE

### 4.2.1 *Wärmepumpe*

- 4.2.1.1 WP-Bibliothek / Katalog
- 4.2.1.2 WP-Kennlinien
- 4.2.1.3 Enthitzer / Unterkühler
- 4.2.1.4 Komponentenbasiertes System
- 4.2.1.5 Massenströme in der WP / Leistungsdaten
- 4.2.1.6 Anfahrverhalten
- 4.2.1.7 Hilfsbetriebe
- 4.2.1.8 Tarifbildung des Stromverbrauchs

- 4.2.2. Wärmequellen für die WP
  - 4.2.2.1 Luft:
  - 4.2.2.2 Oberflächengewässer:
  - 4.2.2.3 Grundwasser:
  - 4.2.2.4 Erdwärmesonden:

### 4.2.3 *Spitzenlasterzeuger*

- 4.2.3.1 Einschaltverhalten (Freigabe der Spitzenlasterzeuge)
- 4.2.3.2 Endenergieverbrauch/Leistungsdaten
- 4.2.3.3 Energieverbrauch der Hilfsbetriebe

### 4.2.4 *Hydraulische Einbindung / Regelung*

- 4.2.4.1 Technischer Speicher
- 4.2.4.2 Wärmespeicher

### 4.2.5 *Warmwassererzeugung*

## 4.3 WKK

### 4.3.1 *WKK-Modul*

- 4.3.1.1 Konventionelles Modul mit konstanter Leistung
- 4.3.1.2 Wärmeerzeugung auf verschiedenen Temperaturniveaus
- 4.3.1.3 Leistungsvariable WKK-Module
- 4.3.1.4 Hilfsbetriebe
- 4.3.1.5 Tarifbildung des Strombezugs bzw. der Stromrücklieferung

### 4.3.2 *Spitzenlasterzeuge*

- 4.3.2.1 Einschaltverhalten (Freigabe der Spitzenlasterzeuge)
- 4.3.2.2 Endenergieverbrauch / Leistungsdaten

### 4.3.3 *Hydraulische Einbindung / Regelung*

- 4.3.3.1 Technischer Speicher
- 4.3.3.2 Wärmespeicher
- 4.3.3.3 Speicherlos

## **1. Ausgangslage**

Die Calc-Programme sollen grundlegend überarbeitet werden. Das hier vorliegende Arbeitspapier dient als Grundlage für die weiteren im Projekt durchzuführenden Arbeiten. Es werden hier aus der Sicht der Autoren und der Begleitgruppe die Anforderungen an die neuen Calc Programme definiert. Ebenfalls fließen die Erkenntnisse aus der Bedürfnisanalyse ein.

## **2. Programmkonzept**

### **2.1 Vertiefungsstufen und ihre Anforderungen**

Aus der Sicht der Anforderungen an das Programm können folgende drei Vertiefungsstufen der Simulation unterschieden werden:

- Konzept, Vorprojekt
- Planung, Erfolgskontrolle
- Forschung und Entwicklung

#### **Konzept, Vorprojekt**

Gängige Anlagetypen und Regelstrategien sollen mit wenig Aufwand simuliert werden können.

Der Hauptzweck der Simulation besteht für diese Vertiefungsstufe darin, eine Entscheidungshilfe für die Dimensionierung und Auswahl der Anlage zu haben. Ebenfalls soll dem Kunden die Effizienz der Anlage in einer einfachen Form dokumentiert werden. Die Simulation kann als Beleg für die Erreichung z.B. des Minergie-Standards dienen.

Vorgefertigte Inputs für verschiedene Anlagetypen (evtl. mit konkreten Produkten) in denen nur noch wenige Angaben auf das individuelle Projekt angepasst werden müssen, sollen den Eingabeaufwand verringern. In der Programmoberfläche muss klar ersichtlich sein, welche Größen unbedingt noch angepasst werden müssen.

Weitere zukünftige Anlagetypen und Regelstrategien müssen ins Programm mit wenig Aufwand integriert werden können.

Die Outputs sollen einfach und übersichtlich sein.

#### **Planung und Erfolgskontrolle**

Bei der Planung, insbesondere von mittleren und grossen Anlagen, kann mehr Zeit in die Dimensionierung und Auslegung einer Anlage investiert werden. Es müssen aber auch mehr Simulationsparameter individuell angepasst und konkretisiert werden können. Ebenfalls soll es möglich sein, spezielle Regelstrategien und Anlagekonfigurationen zu simulieren (z.B. Überhitzung und Unterkühlung für Warmwasseraufbereitung). Inputs aus der Vorprojekt- oder Konzeptphase müssen für diese Vertiefungsstufe übernommen werden können.

Damit eine höhere Transparenz der Simulation erreicht werden kann, sollen zusätzliche Outputs erzeugt werden können. (z.B. Wochen- oder Tagesbilanzen bestimmter Simulationsgrößen, Wochengrafik im Stundenschritt usw.)

## Forschung und Entwicklung

In der Forschung könnten die Calc-Programme gebraucht werden um spezifische Fragen zu Wärmeerzeugungssystemen zu beantworten. (z.B. Einfluss des Wärmespeichers auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage)

Ebenfalls könnten mit Hilfe des Programms neue Regel und Betriebsstrategien entwickelt werden.

Hier zu werden an das Programm folgende Anforderungen gestellt:

- Die wichtigsten Simulationsvariablen müssen im Stundenintervall oder sogar im Intervall des Berechnungsschrittes herausgeschrieben werden können.
- Komponentenmodelle, hydraulische Konzepte und Regelstrategien müssen ersetzt werden können.
- Variablen und Modelle müssen sehr gut dokumentiert sein.

## Mögliche Programmkonzept

Die oben beschriebenen Anforderungen an die verschiedenen Vertiefungsstufen widersprechen sich zum Teil stark.

In der Konzeptphase ist Einfachheit und Schnelligkeit, bei vernünftiger Berechnungsgenauigkeit gefragt. Bei Forschung und Entwicklung sind hohe Beeinflussbarkeit und Transparenz gefragt. Die Planung liegt dazwischen.

Damit diese Anforderungen unter einen Hut bzw. ein Programm gebracht werden können, ist folgendes notwendig:

- Die Programmoberfläche muss so aufgebaut sein, dass die Parameter, die für ein System unbedingt angepasst werden müssen, über wenige Haupt-Eingabemasken verändert werden können. Diese Eingabemasken müssen auf die verschiedenen Systeme individuell angepasst sein (kein Ballast durch Angaben, die für das entsprechende System nicht unbedingt verändert werden müssen. (Eventuell Unterstützung durch einen Eingabeassistenten)).
- Andere Sprachen (z.B. französisch, englisch) sollen einfach implementiert werden können.
- Parameter, die sich aufgrund von Hauptgrößen verändern, müssen so definiert sein, dass sie sich bei einer Veränderung der Hauptgrößen automatisch anpassen (z.B. Angabe der Leistung der Hilfsbetriebe in % der WP-Leistung)
- Der Programmcode ist so gestaltet, dass einzelne Variablen aus der Simulation im Stunden- oder Einzelschrittintervall in eine Separate Datei geschrieben werden kann. Ob diese Option aktiv ist und welche Variablen herausgeschrieben werden, wird über eine externe Datei gesteuert.
- Um den Programmcode übersichtlicher gestalten zu können, wird ein Variablenkatalog erstellt. In ihm ist festgelegt, wie die im Programm verwendeten Variablen zu gestalten sind (Abkürzungen für Physikalische Größen, Bezeichnung von Globalen und lokalen Variablen, Datentyp, Einheit usw.).
- Ebenfalls sollen während der Simulation Variablen durch externe Funktionen überschrieben werden können. Hierfür muss eine entsprechende Schnittstelle definiert und realisiert werden. Die externe Funktion könnte vom Programm z.B. als DLL aufgerufen werden. Diese Option soll ebenfalls über eine externe Datei gesteuert werden.

## **2.2 Kritische Anmerkung zum Programmkonzept**

Das entwickelte Programm muss ein Tool für den Praktiker sein.

Da sich die Anforderungen an ein Praktikertool und diejenigen an ein Forschungstool zum Teil widersprechen, besteht die Gefahr, dass bei der Entwicklung des Programms folgende unerwünschten Effekte auftreten:

- Oberfläche und Code sind überladen:
  - Unübersichtliche Handhabung
  - zu lange Rechenzeiten
  - zu grosser Ressourcenbedarf bei der Hardware
- Das Projektbudget reicht nicht, um ein Programm zu entwickeln, das allen Anforderungen gerecht wird
- Die Programmentwicklung dauert zu lange

Vor Beginn der Programmentwicklung müssen deshalb die oben genannten Risiken noch einmal abgeschätzt werden. Eventuell ist eine stufenweise Entwicklung des Programms sinnvoll (Praktikertool als Basisprogramm, Forschungstool als Weiterentwicklung)

Zudem werden im Rahmen des Projektes "Standardschaltungen für Klein-WP-Anlagen bis 25 kW"- zumindest als Hilfsmittel zur Erstellung der in Schema- und Tabellenform vorgesehenen Endresultate - bereits Simulationsprogramme für Wärmepumpenanlagen entwickelt. Diese haben aber keine hohen Anforderungen an Praxistauglichkeit zu erfüllen und können eher als Lieferanten für Komponentenmodelle dienen. Diese sollten, wo sie benötigt werden, ins Calc-Projekt einfließen.

### **Anmerkungen aufgrund der Begleitgruppensitzung**

Es muss aus der Weiterentwicklung der Calc Programme ein Ingenieurtool werden, das den Bedürfnissen eines Planers gerecht wird. Daraus ergibt sich, dass der Schwerpunkt auf jene Systeme und Systemvarianten gelegt werden muss, die vor allem bei mittleren und grossen Anlagen zum Einsatz kommen, weil nur hier der nötige Planungsaufwand betrieben werden kann.

Für Kleinanlagen wird im Rahmen des Projektes "Standardschaltungen" eine Dimensionierungshilfe erstellt. Diese wird vor allem aus Standardschemata mit tabellarisch dargestellten Kennwerten bestehen. Mit diesen kann der Installateur auf einfache Weise eine entsprechende Anlage dimensionieren. Untersuchungen über Systemvarianten, die von diesen Standardschaltungen abweichen, werden nicht im Rahmen einer normalen Planung, sondern von Forschungsprojekten durchgeführt.

Ob auch Systeme ins Programm eingebaut werden, die vor allem in Kleinanlagen Anwendung finden, hängt vom Projektbudget und vom notwendigen Aufwand zu deren Integration ab. Das Projekt "Standardschaltungen" wird dies aufzeigen. Eine endgültige Entscheidung, ob diese Systeme eingebaut werden müssen, wird erst getroffen, wenn entsprechende Resultate aus dem Projekt "Standardschaltungen" vorliegen.

Obwohl das Programm hauptsächlich für Planer von Grossanlagen entwickelt wird, muss der Simulationskern so gestaltet sein, dass mit ihm auch detailliertere Untersuchungen zu Forschungszwecken möglich sind.

Ein wichtiger Aspekt ist, wie stark die gegenseitige Kopplung von Wärmebedarfssimulation und Systemsimulation sein muss. Eine grössere gegenseitige Abhängigkeit zwischen Anlage und Gebäude besteht bei den Systemen, die bei Kleinanlagen Anwendung finden und mit dem Projekt "Standardschaltungen" abgedeckt werden. Hier wirken sich die Veränderungen

im Gebäude, insbesondere bei speicherlosen Anlagen, direkt auf den Betrieb der Wärmeerzeugung aus. Bei zunehmender Anlagengröße und –komplexität vermindert sich diese Abhängigkeit aus verschiedenen Gründen:

- Mittlere bis grössere Anlagen weisen immer einen oder mehrere technische Speicher auf.
- Wärmeerzeugung einerseits und Wärmeverteilung und –abgabe andererseits sind bei diesen Anlagen in der Regel hydraulisch und regeltechnisch entkoppelt. Die Regelung der Wärmeerzeugungsseite erfolgt in der Regel aufgrund des Speicherladezustands.
- Meist besteht die Wärmeabgabeseite aus mehreren separaten geregelten Kreisen.
- Durch die Überlagerung vieler ‚Lasteinheiten‘ (z.B. Wohnungen, Nutzungsbereiche, ganze Gebäude) ‚verschmiert‘ sich die zeitliche Verteilung der Lasten aufgrund verschiedener Orientierungen und Nutzungen, so dass deren detaillierte Modellierung weniger relevant ist (ein Einzonenmodell genügt auch hier).

Es stellt sich die Frage, ob es nötig ist, z.B. die Auswirkungen einer unterdimensionierten oder mangelhaft geregelten Wärmeerzeugung auf der Lastseite aufzuzeigen, oder ob es ausreichend ist, das Deckungsmanko der Last auszuweisen. Je nach verwendeter Simulationsumgebung ist deren Berücksichtigung – zumindest in Form eines einfachen Gebäudemodells – jedoch möglicherweise mit geringem Aufwand möglich. Ob dies tatsächlich der Fall ist, muss das vorliegende Projekt u.a. aufzeigen.

### **2.3 Empfehlungen der Autoren bezüglich der Umsetzung des Programmkonzepts**

Die Erfahrungen mit den bisherigen Calc-Programmen hat gezeigt, dass Support und Unterhalt der Programme oft schwierig ist, da

- Probleme nicht immer einfach vom Support nachvollzogen werden können, weil sie unter Umständen systembedingt auftreten.
- Erstellung und Installation von Updates aufwendig und heikel sind.

Zudem hat sich herausgestellt, dass Runtime-Versionen der ins Auge gefassten Simulationsplattformen (IDA, Simulink) recht teuer sind und auch gewissen technischen Einschränkungen unterliegen (bei Simulink z.B. kann in der Runtime-Version nur ein fester Simulationszeitschritt gewählt werden).

Aufgrund dieser Erkenntnisse empfehlen wir für die Entwicklung der neuen Calc-Programme einen neuen Weg zu beschreiten, bei dem die Simulation auf einem zentralen Rechner durchgeführt werden, der via Internet mit den notwendigen Inputdaten gespiesen wird.

Die Benutzeroberfläche wird dann in Form von HTML Formularen realisiert, die über einen normalen Browser bedient werden können oder es wird eine separate Benutzeroberfläche programmiert, die als standalone Interface auf dem Lokalen Computer installiert wird.

Ein solches Vorgehen bietet aus der Sicht der Autoren folgende Vorteile:

- Updates und Programmerweiterungen sind unmittelbar für den Benutzer verfügbar. Installation von Updates auf dem lokalen PC entfallen.
- Wenn Probleme in der Simulation auftauchen, können Tests auf dem selben System durchgeführt werden auf dem sie aufgetaucht sind.
- Distribution und Verkauf werden einfacher.
- Zusätzliche Lizenzgebühren und Einschränkungen für die Simulationsplattform entfallen.

- Neue Programmteile können auf einfache Weise dem Benutzer zum Testen zur Verfügung gestellt werden. Bei der Entwicklung des Programms könnten einzelne Programmteile schon relativ früh dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden.
- Benutzer im Ausland könnten einfacher erreicht werden.

Das Konzept hat aber auch Risiken:

- Der Benutzer ist abhängig von der Leistung und Verfügbarkeit des Zentralrechners.
- Werden die Dienste des Zentralrechners nicht mehr angeboten, ist das Programm für den Benutzer nicht mehr verfügbar.
- Von den Offerierenden muss ein Datenschutz garantiert werden.

Die oben erwähnten Risiken müssen möglichst klein gehalten werden. Deshalb sollte für den Unterhalt und Betrieb des Programms eine Institution beauftragt werden, die diese Dienstleistung auch längerfristig mit den entsprechend notwendigen Rechnerkapazitäten anbieten kann.

Hierfür sind aus unserer Sicht Fachhochschulen und Hochschulen am besten geeignet.

### **3. Zu simulierende Systeme**

Im Vordergrund der zu simulierenden Systeme stehen vor allem WP und WKK Anlagen. Für Holzfeuerungen wurde zwar in der bestehenden Calc-Reihe ein Modul entwickelt. Es ist jedoch wenig in Gebrauch und eine Weiterentwicklung fällt in die Kompetenz anderer Forschungsprogramme.

Das Programm muss aber so offen gestaltet sein, dass auch neue zukünftige Systeme integriert werden können. Gemäss der Umfrage von Herrn M. Erb und aufgrund der Erfahrungen der übrigen Projektteilnehmer müssen mit unterschiedlicher Priorität folgende Systeme und Subsysteme simuliert werden können:

#### **3.1 Wärmepumpen**

Im Projekt "Standardschaltungen" werden die in der Praxis brauchbaren Systeme für Kleinanlagen evaluiert. Aufgrund der Erkenntnisse aus diesem Projekt muss die untenstehende Aufzählung noch bereinigt werden.

Die Begleitgruppe hat festgelegt, welche Optionen mit welcher Priorität realisiert werden müssen. Hierfür gelten folgende Kriterien.

muss	=	muss unbedingt realisiert werden	muss
wunsch	=	wünschenswert (nice to have)	
standard	=	Proirität ist abhängig von Ergebnissen des Projektes "Standardschaltungen"	

#### **WP-Typen:**

- Einmodul muss
- Mehrmodul (bis zu 4 Kompressoren, Unterscheidung zwischen Modulen und Leistungsstufen) muss

- Drehzahlvariabel wunsch
- Komponentenbasierter Aufbau (Aufbau des Simulationsmodells aus einzelnen Komponenten (z.B. Verdichter, Wärmetauscher, Speicher Pumpen usw.) die im Detail ausgelegt werden können. muss

## Spitzenlast

- Monovalent muss
- Monoenergetisch (Spitzenlast elektrisch direkt) muss
- Bivalent (Öl, Gas, Holz) muss, Stückholzfeuerung = wunsch

## Wärmequellen

- Aussenluft muss
- Abluft muss
- Oberflächengewässer muss
- Grundwasser muss
- Erdwärmesonden (auch Felder) muss
- Erdkollektoren wunsch
- Kombination Erdregister und Luft wunsch

## Wärmespeicher, Regelung

- Technischer Speicher (parallel)
  - Schichtladung muss
  - Schichtladung, Ladetemp. Gleitend nach Aussentemp. muss
  - Stufenladung muss
  - Stufenladung, Ladetemp. Gleitend nach Aussentemp. muss
- Wärmespeicher (parallel) mit entsprechender Speicherbewirtschaftung wunsch
- Speicherlos oder mit Volumenerweiterung (Serieller Speicher im Vor- oder Rücklauf) standard
- 2-Punkt Rücklaufregelung standard
- Speicherlos mit Bodenheizung optional mit Pulsbreitenmodulation oder Drehzahlregulierter WP wunsch

## Warmwasser

- Stufenladung muss
- Schichtladung muss

### 3.2 WKK

#### Anlagentypen

- Einmodul muss
- Mehrmodul (mind. 2 Module, auch unterschiedliche Leistung) muss
- Leistungsvariabel (auch mehrmodul, davon 1 Leistungsvariabel) muss
- Mehrere Temperaturniveaus (Kühlwasser < Ladeluftkühler < Abgas- Wärmetauscher), Erzeugung von Prozessdampf muss

#### Speicher

- Technischer Speicher muss
- Wärmespeicher mit entsprechender Speicherbewirtschaftung (Tarifoptimierung, Stromproduktionsoptimierung) muss

#### Regelung, Betriebsstrategie

- Wärmegeführte muss
- Stromgeführt (mit Rückkühlung, Energiegesetzkompatibel) muss
- Absorptionskälte wunsch

## 4. Anforderungen an Berechnungsmodelle und Programm

Die für die Simulation verwendeten Modelle müssen so einfach wie möglich sein. Iterationen sollten möglichst vermieden werden. Kann auf sie nicht verzichtet werden, muss untersucht werden, ob sie zuverlässig konvergieren.

Berechnungsmodelle müssen dort die Realität möglichst genau abbilden, wo die modellierten Effekte einen deutlichen Einfluss auf Energieverbrauch und Kosten der simulierten Anlage haben. Dort wo der Einfluss nicht gross ist, müssen zu Gunsten der Übersichtlichkeit des Programms die Modelle vereinfacht werden.

Generell gilt, dass die Genauigkeit der verwendeten Modelle in einem vernünftigen Verhältnis zu der Genauigkeit der getroffenen Annahmen und Eingaben stehen. Wichtig ist, dass die Modelle in der Tendenz die Realität richtig abbilden.

So ist zum Beispiel die Berücksichtigung der Anfahrverluste bei WKK und WP durchaus sinnvoll. Auch wenn zur Zeit die genauen Einflüsse und Parameter noch nicht bekannt sind, kann doch zumindest aufgezeigt werden, dass häufiges Ein- und Ausschalten des Aggregats eine Verschlechterung der Effizienz zur Folge hat.

### 4.1 Gebäudemodul

#### 4.1.1 Wärmebedarf

Bis jetzt war der Jahreswärmeverbrauch eine Grösse, die im Programm nicht berechnet wurde. Er musste extern ermittelt und wurde im Programm als Eingabegrösse verlangt.

Insbesondere für Sanierungen ist dies ein sinnvolles Vorgehen. Oft kann hier der Wärmebedarf anhand von gemessenen Verbrauchsdaten relativ genau ermittelt werden.

Für Neubauten stehen verschiedene Programme für die Ermittlung des Wärmebedarfs zur Verfügung. In der Regel muss dieser für den Nachweis ohnehin ermittelt werden. Die Integration eines Berechnungstools für die Ermittlung des Wärmebedarfs ist deshalb auch hier eher fragwürdig.

Es ist ein Textfeld vorzusehen, in dem Zusatzangaben gemacht werden können, aus denen ersichtlich ist, wie der Wärmebedarf ermittelt wurde.

Es ist als Option eine monatliche Eingabe zu realisieren.

Für die automatische Berechnung der jahreszeitlichen Verteilung stehen Klimadaten von verschiedenen Standorten in der Schweiz zur Verfügung, die sogenannten Design Reference Years (DRY-Files). Die Daten werden gemäss Meteonorm-Verfahren auf den aktuellen Standort umgerechnet oder direkt mit dem Programm Meteonorm generiert.

Die in den bisherigen Calc-Programmen verwendeten Algorithmen sind hierfür ausreichend und können für eine Neuentwicklung direkt übernommen werden.

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher
- Zusätzliche Eingabemaske mit Angaben, wie der Wärmebedarf ermittelt wurde. In ihr können folgende Angaben gemacht werden:
  - Berechnungsmethode
  - Datenquellen
  - Person, die den Wärmebedarf ermittelt hat
  - Kommentar

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Berechnung der jahreszeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs über Klimadaten (DRY-Files mit Meteonorm-Korrektur bzw. Meteonorm-Files), Betriebszeiten, Heizperiode und Bandlast Heizung. Diese Parameter werden in der Simulation entsprechend abgebildet (auch Meteonorm-Korrektur).

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter, inklusive zusätzliche Angaben zur Wärmebedarfsberechnung
- Darstellung der jahreszeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs und der Klimadaten (Aussonnenstemperatur, Sonneneinstrahlung)
- Darstellung der Betriebszeiten und der Heizperiode

### **4.1.2 Wärmebedarfsprofil**

Bisher wurde der stündliche Verlauf des Wärmebedarfs mit der Methode der typischen Tagesgänge erzeugt. Eine Validierung dieser Methode hat gezeigt, das sie bezüglich der planungsrelevanten Größen genügend gute Resultate liefert. Sie hat jedoch folgende Nachteile, die Verbesserungswürdig sind:

- Der Anwender ist oft unsicher, wie bestimmte Regelstrategien und Wärmeabgabesysteme im Tagesgang dargestellt werden sollen.

- Es besteht keine Rückkopplung zwischen Wärmeerzeuger und Wärmeverbraucher
- Absenkphasen über längere Zeitperioden (Wochenende, Ferien), insbesondere die Aufheizphase, werden nicht realistisch wiedergegeben.

Eine Verbesserung einzelner der obengenannten Nachteile würde eine Gebäudesimulation bringen. Voraussetzung hierfür ist, dass auf der Basis eines (oder mehrerer) Standardgebäudes, der Anwender nur noch wenige wichtige Parameter (insbesondere Art der Wärmeabgabe und deren Regelung) eingeben muss.

Als Eingabehilfe wird dem Benutzer eine Reihe von typischen Gebäuden zur Auswahl gestellt (statt wie bisher typische Tagesgänge). Diese sind zum Beispiel mit einem Bild und einer kurzen Beschreibung dokumentiert. Wird ein solches Gebäude ausgewählt, so werden automatisch die entsprechenden Parameter in die Eingabemasken eingefüllt. Der Benutzer kann dann die Parameter noch individuell an seine Bedürfnisse anpassen.

Im weiteren Verlauf des Projekts muss geklärt werden, wie wichtig eine Rückkopplung des Gebäudes mit dem Wärmeerzeuger ist. Ergibt sich eine Rückkopplung, muss ein geeignetes Simulationsprogramm gefunden werden, das mit entsprechenden Möglichkeiten ausgerüstet ist. Je nach Wahl des zu verwendenden Programm Pakets sind Entwicklungsarbeiten entweder gebäude- oder systemmodellseitig notwendig. Der Aufwand dafür dürfte jedoch beachtlich sein.

Die Abhängigkeit einer Rückkopplung wird im Kap. 2.2 Seite 8 unter „Anmerkungen aufgrund der Begleitgruppensitzung“ beschrieben.

Das Verhalten folgender Wärmeabgabesysteme und Regelungen müssen simuliert werden können:

- Heizkörperheizung mit Raumregulierung:
  - Aussentemperatur geführte Vor-/Rücklauftemperatur
  - Nachabsenkung der Vor-/Rücklauftemperatur
  - Nachabsenkung der Raumtemperatur
  - Nachabschaltung der Heizung
- Bodenheizung:
  - Aussentemperatur geführte Vorlauf- oder Rücklauftemperatur (mit oder ohne Raumregulierung)
  - Nachabsenkung der Vorlauftemperatur

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Neue Eingabemaske für die Eingabe der wichtigsten Simulationsparameter wie:
  - Gebäudespeicherfähigkeit (klassiert z.B. gemäss SIA 380/1 Ausgabe 2001)
  - Wärmedämmstandard (Fassaden- und Fenster U-Wert)
  - Fensteranteil nach Orientierung
  - Wärmeabgabesystem
  - Regelung, Absenkzeiten
- Ansätze, wie eine solche Eingabemaske gestaltet werden könnte, zeigt die Diplomarbeit 98\_15\_dv „Optimierung Tagesgangmethode“ (Siehe im Dossier Register 4.1.2) die an der HTA Luzern durchgeführt wurde.
- Als Hilfe können typische Gebäude ausgewählt werden. Diese Gebäude sind im Auswahl dialog mit einem Bild des entsprechenden Gebäudetyps illustriert. Folgende Gebäudetypen können ausgewählt werden:

- Mehrfamilienhaus Altbau
- Mehrfamilienhaus Neubau
- Mehrfamilienhaus Minergie saniert
- Mehrfamilienhaus Minergie Neubau
- Einfamilienhaus Altbau
- Einfamilienhaus Neubau
- Einfamilienhaus Minergie
- Passivsolarhaus
- Bürogebäude

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Berechnung der jahreszeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs und des stündlichen Wärmebedarfsprofils aufgrund von Simulationen mit standardisierten Gebäuden (die allenfalls aufgrund der EBF skaliert werden können).
- Die für die Simulation verwendeten Klimadaten sind DRY-Files, die gemäss Meteonorm korrigiert sind, bzw. Meteonorm-Files.
- Die Simulation bildet die Eingabeparameter realistisch ab
- Das durch die Simulation ermittelte stündliche Wärmebedarfsprofil wird auf den eingegebenen Jahreswärmebedarf skaliert.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung der Jahreszeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs und der Klimadaten (Aussentemp., Sonneneinstrahlung)
- Darstellung des Wärmebedarfsprofils einer Woche (Stundenwerte)
- Darstellung der Tagesmittelwerte von Wärmebezug und Aussentemperatur als Streuplot

#### 4.1.3 Systemtemperaturen

Die Heizungsvorlauftemperatur muss anhand der Aussentemperatur geregelt werden. Bei einer Nachtabsenkung der Vorlauftemperatur wird diese während der vorgesehenen Zeit reduziert.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher
- Zusätzlich  $\Delta T$  für die Nachtabsenkung

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Simulation einer Heizgruppe (wie bisher): Höchste verlangte Vorlauftemperatur bestimmt die vom Wärmeerzeuger angeforderte Vorlauftemperatur.
- Die Rücklauftemperatur wird über ein linearisiertes Heizkörpermodell (WPcalc v1.1) ermittelt.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

- Jahresplot der Vor- und Rücklauftemperatur (Jahresplot mit Zoomfunktion )

#### **4.1.4 Betriebsperioden mit reduziertem Betrieb**

Analog zum bestehendem WPcalc müssen Betriebsperioden mit reduziertem Betrieb (Wochenende, Ferien) im Wärmebedarfsprofil simuliert werden können.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Simulation bildet die Betriebsperioden ab.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

### **4.2 WP-Anlage**

Idee ist es, dass von einer Eingabenmaske ausgegangen werden kann, auf der die sinnvollen Anlagentypen abgebildet sind. Ebenfalls kann auf der Eingabenmaske ein komponentenbasiertes Anlagentyp ausgewählt werden.

Ist der Anlagentyp gewählt, wird dem Benutzer das ausgewählte Schema dargestellt. Ausgehend von diesem Schema können durch anklicken der einzelnen Komponenten Masken aufgerufen werden, in denen die Komponentenparameter festgelegt werden können.

Das komponentenbasierte System kann individuell aus einzelnen Komponenten zusammengestellt werden (Kompressor, Wärmetauscher, Pumpen usw.). Für die Simulation dieser Anlage können mit weiteren Masken zusätzliche Parameter bestimmt werden (Siehe Kap. 4.2.1.4 Komponentenbasiertes System).

#### **4.2.1 Wärmepumpe**

##### **4.2.1.1 WP-Bibliothek / Katalog**

Kennlinien der Aggregate aus WPZ-Messungen stehen im Programm als Katalog zur Verfügung oder können individuell eingegeben werden (*Merke:* bei Kleinanlagen wird Streuung grösser - Fehler steigt).

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Button und Dialog zum Speichern und Laden der WP-Daten, analog bisheriges Programm.

*Anforderungen an die Funktionalität*

- Eigene WP-Daten können in eine Bibliothek abgespeichert und aus ihr für die Simulation geladen werden
- Kennlinien aus WPZ-Messungen, oder Daten von Herstellern können als Kataloge importiert werden. Die Daten aus den Katalogen können nur geladen, aber nicht verändert werden.  
„Im Dialog WP-Daten laden“ erscheint Liste mit den Verfügbaren Katalogen.
- Für potentielle Lieferanten von WP-Daten wird ein Tool erstellt mit dem diese selber Kataloge erzeugen können.

#### **4.2.1.2 WP-Kennlinien**

Elektrische und Wärmeleistung in Abhängigkeit der Kondensatorvorlauf, der Quellentemperatur und den quellen- und senkenseitigen Massenströmen (evtl. auch noch in Abhängigkeit der Drehzahl bei Drehzahlvariablen WP).

Die eingegebenen Kennlinien werden auf den effektiven Massenstrom umgerechnet.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher. Später auch noch zwei weitere Kennlinienfelder für Leistungsvariable WP. (Muss noch genauer abgeklärt werden, da Normen für die Messung und Prüfung leistungsvariabler WP erst im entstehen sind)
- Zusätzliche Eingabe des Referenz-Massenstromes des Verflüssigers, bei dem die Kennlinie gemessen wurden.
- Schaltflächen mit der eine Darstellung der Kennlinien (Eingabe und Korrigiert) angezeigt werden kann.

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Simulation bildet die Kennlinienfelder durch lineare Interpolation oder mit einer Spline Funktion (wie bisher in WPcalc) ab.
- Die Kennlinien werden vor der Simulation auf den effektiven Massenstrom der Anlage umgerechnet. Im Projekt FAWA wurde ansatzweise eine Methode entwickelt wie die Kennlinienparameter korrigiert werden können. Die Methode basiert auf der Veränderung der Mitteltemperaturen und Wärmeübergänge in Verdampfer und Kondensator. Nähere Beschreibung finden sie im Dossier Kap. 4.2.1.2 unter „Erwartungswert-Korrektur“.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Graphische Darstellung der Kennlinienfelder (evtl. mit der daraus gebildeten Spline-Funktion)

#### **4.2.1.3 Enthitzer / Unterkühler**

Neu müssen Anlagen mit Enthitzer und Unterkühler simuliert werden können.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Muss noch bestimmt werden. Abhängig vom Simulationsmodell

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Das Simulationsmodell muss noch entwickelt werden. Das Modell muss Leistungs- und Temperaturverhalten von Enthitzer und Unterkühler abbilden.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter (evtl. graphisch als Kennlinienfelder)

#### **4.2.1.4 Komponentenbasiertes System**

Grössere Anlagen werden oft individuell aus einzelnen Komponenten zusammengestellt (Kompressor, Wärmetauscher, Pumpen usw.)

Für die Simulation dieser Art Anlagen können mit weiteren Eingabemasken zusätzliche Parameter bestimmt werden.

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Anlageschema in dem für die einzelnen Anlagekomponenten Eingabemasken für Eingabe der Komponentenparameter hinterlegt sind. Um die zu simulierende Anlage individuell anzupassen, können einzelne Komponenten aktiviert oder deaktiviert werden.
- Folgende Komponenten müssen im Grundschema zur Auswahl zur Verfügung stehen:
  - Auswahl von bis zu 4 Kompressoren
  - Enthitzer / Kondensator Wärmetauscher für WW
  - Kondensator für Heizung
  - Unterkühler für WW
  - Wärmespeicher Heizung
  - WW Speicher für Enthitzer
  - WW Speicher für Unterkühler und Enthitzer
  - Diverse Wärmequellen mit den entsprechend notwendigen Pumpen oder Ventilatoren (Erdsonde, Erdsonde/Grundwasser mit Zwischenkreis, Luft, Oberflächenwasser/Grundwasser)
  - Pumpe Kondensator
  - Pumpe Enthitzer
  - Pumpe Unterkühler
  - Pumpe Heizkreis

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Erweiterte Simulationsmodelle für ein komponentenbasiertes System müssen noch entwickelt werden
- Insbesondere muss das Modell die gegenseitige Beeinflussung von Enthitzer, Kondensator und Unterkühler berücksichtigen
- Das Modell enthält auch entsprechende Regelstrategien, die das Zusammenspiel der drei Komponenten ermöglicht

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

#### **4.2.1.5 Massenströme in der WP / Leistungsdaten**

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher, zusätzliche Angaben für Enthitzer und Unterkühler

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Abbildung der Massenströme wie bisher.

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

#### **4.2.1.6 Anfahrverhalten**

- Anfahrverhalten: Anfahrverluste, evtl. in Abhängigkeit der Stillstandzeit. Die Arbeiten an den Simulationsmodellen müssen mit dem Projekt "dynamischer WP-Test" koordiniert werden.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Noch zu bestimmen, Abhängig vom Berechnungsmodell.

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Simulation bildet das Anfahrverhalten insbesondere die Anfahrverluste ab. Ein solches Modell wurde bereits entwickelt. Eine Methode zur Messung der Parameter muss noch entwickelt werden

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Explizite Darstellung der Anfahrverluste

#### **4.2.1.7 Hilfsbetriebe**

Energieverbrauch der Hilfsbetriebe in Abhängigkeit des Betriebsverhaltens der Anlage.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher
- Tipps in einer Onlinehilfe, wie die Leistungswerte für die Hilfsbetriebe zu ermitteln sind (insbesondere bei Anlagen mit Erdsonden)
- Beim komponentenbasierten System müssen einzelne Pumpen definiert werden können

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- In bisherigem WPcalc verwendetes Modell einsetzen
- Erarbeiten einer Strategie zur Optimierung der Hilfsenergie im Teillastfall

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Energieverbrauchs der Hilfsbetriebe, monatlich nach Tarifen.

#### **4.2.1.8 Tarifbildung des Stromverbrauchs**

Für die Aufteilung des Stromverbrauchs auf verschiedene Elektrizitätstarife, muss die Tarifstruktur definiert werden können.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher. Es muss jedoch noch abgeklärt werden, ob die Eingabe erweitert werden muss, damit neuere Tarifmodelle definiert werden können.

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- In bisherigem WPcalc verwendetes Modell einsetzen.  
Nach diesem Modell werden nach jeder Stunde die Stromverbräuche zum jeweils aktuellen Tarif aufaddiert. Diese Werte werden für jeden Monat separat gespeichert.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

- Darstellung der Stromverbräuche wie bisher monatlich aufgeteilt nach Tarifen.

#### **4.2.2. Wärmequellen für die WP**

##### **4.2.2.1 Luft:**

Die Quellentemperatur ist eine Funktion der stündlichen Aussenlufttemperatur.

$$T_{\text{Quelle}} = T_{\text{aussen}} * x + y$$

$T_{\text{Quelle}}$  = Quellentemperatur [K]

$T_{\text{aussen}}$  = Aussentemperatur [K]

$x$  = Steigung [-]

$y$  = Achsabschnitt [K]

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher
- Zusätzlich Onlinehilfe mit Tipps, wie für bestimmte Fälle die Eingaben zu machen sind (z.B. bei der Nutzung von Abwärme)

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- In bisherigem WPcalc verwendetes Modell einsetzen

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Temperatur-Jahresganges (Tageswerte Min-, Max- und Mittelwert)

##### **4.2.2.2 Oberflächengewässer:**

Die Quellentemperatur ist eine Funktion der Tagesmitteltemperatur (von mehreren Tagen bis Wochen) der Aussenluft.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher
- Zusätzliche Eingabe für die Bildung des Mittelwertes der Aussentemperatur über mehrere Tage oder Wochen.
- Zusätzlich Onlinehilfe mit Tipps, wie für bestimmte Fälle die Eingaben zu machen sind (z.B. typische Temperaturverläufe von Oberflächengewässern)

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- In bisherigem WPcalc verwendetes Modell einsetzen, jedoch ergänzen mit der Möglichkeit einen Mittelwert der Aussentemperatur über mehrere Tage oder Wochen zu bilden.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Temperatur-Jahresganges (Tageswerte Min-, Max- und Mittelwert)

##### **4.2.2.3 Grundwasser:**

Die Quellentemperatur ist einer Funktion der Monatsmitteltemperatur der Aussenluft oder eine Funktion der Tagesmitteltemperatur der Aussenluft (Je nachdem, wie die Grundwasserströme mit Oberflächengewässern gekoppelt sind).

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher:
  - Quellentemp. =  $f(T_a)$ , jedoch mit der Möglichkeit der Mittelwertbildung über mehrere Tage oder Wochen.
  - Eingabe eines Jahresganges der Quellentemperatur.
- Zusätzlich Onlinehilfe mit Tipps, wie für bestimmte Fälle die Eingaben zu machen sind (z.B. typische Temperaturverläufe Grundwasser)

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- In bisherigem WPcalc verwendetes Modell einsetzen

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Temperatur-Jahresganges (Tageswerte Min-, Max- und Mittelwert)

#### **4.2.2.4 Erdwärmesonden:**

Die Quellentemperatur ist eine Funktion der Sondentiefe, der Sondenanordnung, des die Sonde umgebenden Gesteins/Erdreichs und der Wärmeentnahme.

Zur Zeit wird in das bestehende WPcalc ein Programmmodul eingebaut. Dieses Programmmodul ist verifiziert und muss dank offener Schnittstellen auch in ein zukünftiges WPcalc eingebaut werden.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog, wie bisher

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- EWS-Modul oder analoger Algorithmus verwenden

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Temperatur-Jahresganges (Tageswerte Min-, Max- und Mittelwert)

#### **4.2.3 Spitzenlasterzeuger**

##### **4.2.3.1 Einschaltverhalten** (Freigabe der Spitzenlasterzeuger)

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Transparente Darstellung wann und unter welchen Bedingungen die Spitzenlasterzeuger zugeschaltet werden können.
- Eingabe folgender Optionen:
  - Betriebsart (Bivalent parallel, Bivalent alternativ, Monovalent etc.)
  - Einschaltverzögerung (Reduktion der Laufzeit des Spitzenlasterzeugers bei Stufenladung)
  - Sperrzeiten (Tagesverlauf, saisonal)

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Berechnungsmodelle müssen überarbeitet werden (Berücksichtigung der Einschaltverzögerung und der Sperrzeiten)

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

### **4.2.3.2 Endenergieverbrauch/Leistungsdaten**

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog bestehendes WPcalc
- Online Hilfe mit Tipps, wie die Parameter für die Berechnung des Nutzungsgrades eingegeben werden müssen.

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Einfaches Berechnungsmodell auf der Basis von Feuerungswirkungsgrad und Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Auslastung für:
  - Gas
  - Öl
  - Holz
  - Elektrisch (direkt)
- Berechnen des Stromverbrauchs der Hilfsbetriebe in Abhängigkeit der Vollastbetriebszeit

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Resultate analog bestehendes WPcalc

### **4.2.3.3 Energieverbrauch der Hilfsbetriebe**

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog bestehendes WPcalc

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Berechnung des Energieverbrauchs in Abhängigkeit des Betriebsverhaltens der Anlage, insbesondere auch des Anfahr- und Laufzeitverhaltens der WP

#### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Resultate analog bestehendes WPcalc

### **4.2.4 Hydraulische Einbindung / Regelung**

Die zur Verfügung stehenden Regelstrategien ergeben sich zum Teil durch die Auswahl des Anlagentyps der zu Beginn der Eingabe der Anlagendaten ausgewählt werden muss. Ist einmal ein Anlagentyp gewählt, werden dem Benutzer nur noch diejenigen Regelparameter und Strategien angezeigt, die für den jeweiligen Anlagentyp Sinn machen.

Über die jeweiligen Regelstrategien kann über die Online Hilfe ein Regelbeschrieb abgerufen werden. In diesem Regelbeschrieb sind auch Hinweise zu finden, wie die einzelnen Regelgrößen ausgelegt werden müssen und welchen Einfluss sie auf den Anlagenbetrieb haben.

#### 4.2.4.1 Technischer Speicher

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Verbesserung der Eingabemaske, insbesondere für den gleitenden Speicherbetrieb.
- Eingabe der Parameter für separate Warmwasserspeicher, wenn eine Anlage mit Enthitzung und Unterkühlung simuliert wird.

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Simulation der Massenströme und des Temperaturverhaltens (2-Schichtspeichermodell mit Wärmeverlusten)
- Laderegelung:
  - Schichtladung mit konstanter Ladetemperatur
  - Schichtladung mit gleitender Ladetemperatur (evtl. Temperaturanhebung für WW-Ladung)
  - Stufenladung mit konstanter Ladetemperatur
  - Stufenladung mit gleitender Ladetemperatur (evtl. Temperaturanhebung für WW-Ladung)
  - Vorwärmen und Nachheizen des Warmwassers mit Enthitzer und Unterkühler direkt in den dafür vorgesehenen Warmwasserspeicher

Je nach Wahl der Simulationsumgebung stehen vorhandene Speichermodelle zur Verfügung, deren Eignung, insbesondere hinsichtlich der Abbildung der Ladestrategien, überprüft werden muss. Die im bestehenden WPcalc vorhandenen Modelle bieten diesbezüglich ev. Vorteile.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Resultate analog bestehendes WPcalc, zusätzlich separate Darstellung der im Enthitzungs- und Unterkühlungsbetrieb produzierten Wärme

#### 4.2.4.2 Wärmespeicher

*Definition:*

Ein Wärmespeicher hat im Gegensatz zu einem technischen Speicher eine Speicherkapazität, die es erlaubt, die Wärmeproduktion von mehreren Stunden WP-Betrieb zu speichern. Der Einsatz eines Wärmespeichers erlaubt eine wirtschaftliche Optimierung des WP-Betriebes (Laufzeit, Tarife/Kosten). Hierfür ist jedoch ein entsprechendes Speicherbewirtschaftungskonzept notwendig, das eine solche Betriebsoptimierung erlaubt.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Separate Maske für die Eingabe der Parameter der Wärmespeichers
- Aufbau der Eingabemaske analog Eingabemaske aus HOLZcalc mit Festlegung eines Laderegimes in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur und der Tageszeit.
- Gute Online Dokumentation des Speichermodells mit Angaben, wie dieses in Realität umgesetzt werden kann.

### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

Das verwendete Modell muss eine echte Bewirtschaftung des Speichers ermöglichen. Das heißt die für die WP verfügbare Speicherkapazität und der Speicherladestatus muss in Abhängigkeit z.B. der Außentemperatur und der Tageszeit gezielt verändert werden können. Damit kann zum Beispiel erreicht werden, dass der Speicher am Morgen vor der Aufheizspitze möglichst geladen ist und somit ein Zuschalten des Spitzenkessels verhindert werden kann.

Hinweise für die Realisierung eines solchen Modells können aus folgenden Quellen entnommen werden:

- [7] Bericht "Dynamische Betriebsweise von WKK- und WP-Anlagen" (Seiten 54 ff)
- [8] Bericht "HOLZcalc, Algorithmen und Modellbildung einer Holzkesselanlage" (Kapitel: Monovalente Einkesselanlage mit Speicher)

Für die Abbildung der wesentlichen Funktionen reicht ein 2-Schicht Modell des Speichers. Der Speicher wird nur im Schichtladebetrieb betrieben. Es ist keine gleitende Ladetemperatur vorgesehen.

Je nach Wahl der Simulationsumgebung stehen zusätzlich zu den oben erwähnten Quellen vorhandene Speichermodelle zur Verfügung, deren Eignung, insbesondere hinsichtlich der Abbildung der Ladestrategien, überprüft werden muss.

### *Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung einer Wochengrafik analog HOLZcalc (Ladezustand, Laderegime)
- Ausweisen der Speicherverluste
- Evtl. Ausdruck der für die reale Umsetzung notwendigen Regelparameter.

### **4.2.5 Warmwassererzeugung**

#### *Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingabemasken für einen Unterkühlungs- und Enthitzungsspeicher
- Eingabemasken für die Definition des Laderegimes
- Eingabemaske für Definition der Lage und der Parameter des Wärmetauschers (Wärmetauscher direkt im Wassererwärmer oder ausserhalb)

#### *Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

Alle unten beschriebenen Modelle müssen neu entwickelt werden. Die in WPcalc verwendeten Modelle für die Erzeugung des Warmwassers sind unbefriedigend und sollten nicht verwendet werden.

- Laden des Wassererwärmers mit einem 2-Schicht Speichermodell
  - evtl. weitere Schichten für Unterkühler und Enthitzer
- Simulation der Laderegelung:
  - Ladung direkt im Wassererwärmer oder mit externem Wärmetauscher.
- Ladung mit konstantem Durchfluss
  - Ladung mit konstanter Rücklauftemperatur
  - Ladung mit Enthitzer und Unterkühler

- Ladung direkt ab WP oder ab Technischer-/Wärmespeicher (bisher in WPcalc realisierte Methode)
- Zeitweise Anhebung der WP-Vorlauftemperatur für WW-Erzeugung.

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung des Betriebsverhaltens des Wassererwärmers über eine Woche
- Darstellung der von den jeweiligen Wärmetauschern abgegebenen Wärme.
- Abgegebene Wärme im Enthitzungsbetrieb.

## 4.3 WKK

Die Modelle von WKKcalc können generell übernommen werden. Sie liefern Resultate, die schon an einigen realisierten Anlagen verifiziert wurden.

Die Modelle müssen jedoch durch Erweiterungen ergänzt werden, die der neueren Entwicklung in der WKK-Technologie gerecht werden.

Dies sind insbesondere:

- Leistungsvariable Module
- Erzeugung von Prozessdampf
- Speicherloser Betrieb
- Bewirtschaftung eines Wärmespeichers

Analog Kap. 4.2 ist auch hier die Idee, dass von einer Eingabenmaske ausgegangen werden kann, auf der die meist verbreiteten Anlagentypen abgebildet sind. Ebenfalls kann auf der Eingabenmaske ein komponentenbasierter Anlagentyp ausgewählt werden.

Ist der Anlagentyp gewählt, wird dem Benutzer das ausgewählte Schema dargestellt. Ausgehend von diesem Schema können durch anklicken der einzelnen Komponenten Masken aufgerufen werden, in denen die Komponentenparameter festgelegt werden können.

Das komponentenbasierte System kann individuell aus einzelnen Komponenten zusammengestellt werden (Kompressor, Wärmetauscher, Pumpen usw.). Für die Simulation dieser Anlage können mit weiteren Masken zusätzliche Parameter bestimmt werden.

### 4.3.1 WKK-Modul

#### 4.3.1.1 Konventionelles Modul mit konstanter Leistung

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingabemasken analog bestehendes WKKcalc

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Elektro-, Wärmeproduktion und Endenergieverbrauch auf der Basis von Wirkungs- und Nutzungsgraden, analog bestehendes WKKcalc.

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Analog bestehendes WKKcalc

#### **4.3.1.2 Wärmeerzeugung auf verschiedenen Temperaturniveaus**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Definition von zwei Temperaturniveaus (z.B. Prozessdampf) mit folgenden Parametern:
  - Vorlauftemperatur
  - Maximale Wärmeleistung
  - Wirkungsgrad (elektrisch und gesamt)
  - Zuweisung des Wärmebezugsprofils zum Temperaturniveau
- Definition der Regelstrategie
  - Produktion von Prozessdampf, solange Wärmespeicher (tieferes Temperaturniveau) nicht voll
  - Produktion von Prozessdampf solange Dampfbezugsleistung grösser gleich Dampfleistung WKK
  - Leistungsgeführter Betrieb (Leistungsvariables Modul mit und ohne Speicher)

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Entwicklung eines Modells für die Berechnung der Leistungsdaten in Abhängigkeit der Wärmebezugsleistungen auf den zwei verschiedenen Temperaturniveaus.  
Für die Erstellung der Modelle müssen vorgängig detailliertere Simulationen durchgeführt werden, um die einzelnen Abhängigkeiten genauer verstehen zu können.  
Ebenfalls sollte eine Analyse durchgeführt werden, welche Anlagenkonfigurationen sinnvoll sind (evtl. einschränken der Inputparameter auf diese Konfigurationen)

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Eingabegrössen
- Darstellung der Wärmeproduktion auf den verschiedenen Temperaturniveaus (Monatswerte und Wochengrafik)

#### **4.3.1.3 Leistungsvariable WKK-Module**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingabe von Leistungskurven (oder Wirkungsgradkurven) in Abhängigkeit der Wärmeproduktion des WKK-Moduls  
(Es muss noch überprüft werden, ob diese Angaben konform sind mit den vom Hersteller veröffentlichten Leistungsdaten)
- Angabe der Minimalleistung
- Restliche Angaben analog WKKcalc

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Berechnen von Elektro-, Wärmeproduktion und Endenergieverbrauch in Abhängigkeit der Wärmeproduktion (aufgrund der in der Eingabe definierten Kurven).

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Inputdaten
- Restliche Darstellung analog bisheriges WKKcalc
- Auslastungsdiagramm

#### **4.3.1.4 Hilfsbetriebe**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingaben analog bestehendes WKKcalc
- Es ist zu überprüfen, ob für Leistungsvariable Anlagen zusätzliche Angabe notwendig sind

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Berechnen des Energieverbrauchs in Abhängigkeit des Betriebsverhaltens der Anlage (analog bestehendes WKKcalc). Es muss noch ermittelt werden, wie der Verbrauch der Hilfsbetriebe sich bei leistungsvARIABLEN Modulen verhält.

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Inputdaten
- Restliche Darstellung analog bisheriges WKKcalc

#### **4.3.1.5 Tarifbildung des Strombezugs bzw. der Stromrücklieferung**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingaben analog bestehendes WKKcalc

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Aufteilung der Stromverbräuche bzw. Rücklieferung nach Tarifarten.

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Inputdaten
- Restliche Darstellung analog bisheriges WKKcalc

#### **4.3.2 Spitzenlasterzeuger**

##### **4.3.2.1 Einschaltverhalten (Freigabe der Spitzenlasterzeuge)**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Transparente Darstellung wann und unter welchen Bedingungen die Spitzenlasterzeuge zugeschaltet werden können.
- Eingabe folgender Optionen:
  - Einschaltverzögerung
  - Sperrzeiten (Tagesverlauf, saisonal)

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Berechnungsmodelle müssen überarbeitet werden (Berücksichtigung der Einschaltverzögerung und der Sperrzeiten)

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter

#### **4.3.2.2 Endenergieverbrauch / Leistungsdaten**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog bestehendes WKKcalc

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

- Einfaches Berechnungsmodell auf der Basis von Feuerungswirkungsgrad und Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Auslastung für:
  - Gas
  - Öl
  - Holz

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Resultate analog bestehendes WKKcalc

#### **4.3.3 Hydraulische Einbindung / Regelung**

Die zur Verfügung stehenden Regelstrategien ergeben sich zum Teil durch die Auswahl des Anlagentyps der zu Beginn der Eingabe der Anlagendaten ausgewählt werden muss. Ist einmal ein Anlagentyp gewählt, werden dem Benutzer nur noch diejenigen Regelparameter und Strategien angezeigt, die für den jeweiligen Anlagentyp Sinn machen.

Über die jeweiligen Regelstrategien kann über die Online Hilfe ein Regelbeschrieb abgerufen werden. In diesem Regelbeschrieb sind auch Hinweise zu finden, wie die einzelnen Regelgrößen ausgelegt werden müssen und welchen Einfluss sie auf den Anlagenbetrieb haben.

##### **4.3.3.1 Technischer Speicher**

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Analog bisheriges WKKcalc

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Analog bisheriges WKKcalc
- Simulation der Massenströme und des Temperaturverhaltens (2-Schichtspeichermodell mit Auskühlung)
- Laderegelung:
  - Schichtladung mit konstanter Ladetemperatur
  - Regelungskonzept für Betrieb mit Leistungsvariablem Modul
  - Regelungskonzept für Betrieb mit Prozessdampf

*Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Analog bisheriges WKKcalc

##### **4.3.3.2 Wärmespeicher**

*Definition:*

Ein Wärmespeicher hat im Gegensatz zu einem technischen Speicher eine Speicherkapazität, die es erlaubt, die Wärmeproduktion von mehreren Stunden WKK-Betrieb zu speichern. Der Einsatz eines Wärmespeichers erlaubt eine Optimierung des WKK-Betriebes (Laufzeit,

Tarife/Kosten). Hierfür ist jedoch ein entsprechendes Speicherbewirtschaftungskonzept notwendig, das eine solche Betriebsoptimierung erlaubt.

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Separate Maske für die Eingabe der Parameter der Wärmespeichers
- Aufbau der Eingabemaske analog Eingabemaske aus HOLZcalc mit Festlegung eines Laderegimes in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur und der Tageszeit.
- Gute online Dokumentation des Speichermodells mit Angaben, wie dieses in Realität umgesetzt werden kann.

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle*

Das verwendete Modell muss eine echte Bewirtschaftung des Speichers ermöglichen. Das heisst die für die WKK verfügbare Speicherkapazität und der Speicherladezustand muss in Abhängigkeit z.B. der Aussentemperatur und der Tageszeit gezielt verändert werden können. Damit kann zum Beispiel erreicht werden, dass der Speicher am Morgen vor der Aufheizspitze möglichst geladen ist und somit ein Zuschalten des Spitzenkessels verhindert werden kann.

Hinweise für die Realisierung eines solchen Modells können aus folgenden Quellen entnommen werden:

- [7] Bericht "Dynamische Betriebsweise von WKK- und WP-Anlagen" (Seiten 54 ff)
- [8] Bericht "HOLZcalc, Algorithmen und Modellbildung einer Holzkesselanlage" (Kapitel: Monovalente Einkesselanlage mit Speicher)

Für die Abbildung der wesentlichen Funktionen muss ein 2-Schicht Modell des Speichers ausreichen. Der Speicher wird nur im Schichtladebetrieb betrieben. Es ist keine gleitende Ladetemperatur vorgesehen.

*Anforderung an die Resultatausgabe*

- Darstellung aller Inputparameter
- Darstellung einer Wochengrafik analog HOLZcalc (Ladezustand, Laderegime)
- Ausweisen der Speicherverluste
- Evtl. Ausdruck der für die reale Umsetzung notwendigen Regelparameter.

#### **4.3.3.3 Speicherlos**

Anlage ohne Speicher für Leistungsvariable Module

*Anforderungen an die Programmoberfläche:*

- Eingabe der Regelparameter für den Betrieb unterhalb der minimalen Leistung des Moduls:
  - Betrieb mit Spitzenlasterzeuger
  - Intervallbetrieb unter Ausnützung der Speicherfähigkeit des Wärmeabgabesystems

*Anforderungen an die Berechnungsmodelle:*

- Für den Intervallbetrieb müssen Modelle entwickelt werden, die einen solchen Betrieb möglichst realistisch wiedergeben (insbesondere auch die Einschaltfrequenz des WKK-Moduls). Dazu muss das Modell die Speicherfähigkeit des Wärmeabgabesystems simulieren.

#### *Anforderung an die Resultatausgabe:*

- Darstellung aller Inputparameter
- Analog bisheriges WKKcalc (ohne Speicherverluste)
- Darstellung der Betriebsstunden in denen die minimale Leistung des WKK-Moduls unterschritten wurde

#### **4.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung**

Da je nach Kunde und Finanzierungsmethode sehr unterschiedliche Methoden für die Wirtschaftlichkeitsberechnung angewendet werden, ist für ein neues W-Calc keine Wirtschaftlichkeitberechnung mehr vorgesehen. Es soll jedoch eine Schnittstelle geschaffen werden, mit der die Daten, für die weitere Berechnung in externen Tools exportiert werden können.

Hierfür müssen folgende Daten aus W-Calc exportiert werden können:

- Monatswerte der benötigten Endenergie (Brennstoffe)
- Monatswerte Elektrizitätsverbrauch nach Tarifen für:
  - WP
  - Hilfsbetriebe
  - Spitzenlast
- Monatswerte Elektrizitätsproduktion und Rücklieferung nach Tarifen für:
  - WKK
- Monatswerte der Betriebsstunden für:
  - WP
  - WKK
  - Spitzenlast
  - Hilfsbetriebe

Daten müssen im CSV- und Excel-Format exportiert werden können.

#### **4.5 Simulationszeitschritt**

Der Simulationszeitschritt beträgt mindestens eine Stunde. Je nach Anlagentyp und Randbedingung können innerhalb der Stunde weitere Simulationsschritte notwendig sein. Hierfür sind zwei Methoden denkbar, wie innerhalb der Stunde die Simulationszwischenschritte organisiert sind:

##### **Fester Zeitschritt (z.B. 5 Min. oder 1 Min.)**

Es wird mit einem festen Zeitschritt simuliert, der unter Umständen vom Anlagentyp und den Randbedingungen abhängen kann.

Vorteile:

- Einfacher Programmablauf
- Einfache Kopplung mit anderen Berechnungs- und Simulationsroutinen (z.B. mit Erdsondenmodul)

Nachteile:

- Gefahr von Bilanzfehlern, wenn sich innerhalb des Zeitschrittes der Anlagezustand ändert. (z.B. Speicher ist voll, WP stellt ab)
- Lange Simulationszeit bei kleinem Zeitintervall

### **Adaptiver Zeitschritt**

Der Zeitschritt innerhalb einer Stunde dauert so lange bis ein anderer Betriebszustand der Anlage eintritt. (z.B. ein Zeitschritt dauert so lange, bis der Speicher voll ist, oder die volle Stunde erreicht wird)

Vorteile:

- Alle Betriebszustände (Ereignisse) der Anlage können mit Sicherheit erfasst werden.
- Kürzeste mögliche Simulationszeit.
- Bilanzen stimmen

Nachteile:

- Schwierige Kopplung mit anderen Berechnungs- und Simulationsroutinen (z.B. mit Erdsondenmodul), wenn sie Zeitfunktionen im Minutenbereich aufweisen, die einen Einfluss auf die Betriebsparameter der Anlage haben (z.B. kurzzeitiges Auskühlen der Erdsonde, wenn ihr mit der WP Wärme Entzogen wird)
- Komplizierter Programmablauf

### **Variable Schrittweitensteuerung**

Aufgrund der geforderten Berechnungsgenauigkeit passt das Programm die Schrittweite automatisch an.

### **Fazit**

Welche der obengenannten Methoden zu Zuge kommt muss noch im weiteren Verlauf des Projekts entschieden werden und hängt mit der Wahl der Simulationsumgebung zusammen.

Es ist auch eine Kombination aus den Methoden denkbar in der innerhalb eines festen Zeitschritts (z.B. 5 Min.), wenn notwendig Zwischenschritte eingefügt werden, um Änderungen des Anlagebetriebszustandes richtig erfassen zu können.

## **4.6 Anwenderhandbuch**

Auch wenn noch so genaue Modelle dem Programm zu Grunde liegen. Die Resultate der Simulation sind so gut wie die gemachten Annahmen.

Aus dieser Erkenntnis heraus soll der Erstellung des Anwenderhandbuchs besondere Beachtung geschenkt werden.

Das Handbuch soll neben der Beschreibung der Handhabung des Programms auch spezielle Hinweise geben, wo bei der Ermittlung der Simulationsgrundlagen besondere Sorgfalt angewendet werden muss. Insbesondere soll darin auf folgendes hingewiesen werden:

- Wo können in der Praxis grosse Abweichungen zu den angenommenen Werten entstehen.
  - Gestein und Hinterfüllung bei Erdsonden
  - Wärmebedarf

- Massenströme
- Systemtemperaturen
- Kostengrundlagen (Investitionen, Preisentwicklung)
- ...
- Wie können bestimmte Grundlagen ermittelt werden (z.B. Wärmebedarf).
- Welche Größen sollen wie für eine Sensitivitätsanalyse variiert werden.

Die verwendeten Simulationsmodelle und Algorithmen sollen im Handbuch kurz beschrieben werden.

Fehlermeldungen z.B. zu unzulässigen Eingaben sollen im Handbuch genauer erläutert werden. Allenfalls mit Hinweisen, wie das Problem behoben werden kann.

Mit Vorteil wird das Anwenderhandbuch von einem Anwender geschrieben und nicht von den Programmierern.

## **5. Literaturverzeichnis**

- [1] Stalder, Martin; Baumgartner Thomas (1994): WPcalc, Rechenprogramm zur Auslegung von WP-Anlagen. Programm-Manual. Bundesamt für Energie BFE.
- [2] Stalder, Martin; Baumgartner Thomas (1994): WKKcalc, Rechenprogramm zur Auslegung von WKK-Anlagen. Programm-Manual. Bundesamt für Energie BFE.
- [3] Stalder, Martin; Baumgartner Thomas (1995): HOLZcalc, Rechenprogramm zur Auslegung von Holzschnitzelfeuerungen. Programm-Manual. Bundesamt für Energie BFE.
- [4] Baumgartner Th.; Stalder M.; Albrecht S. (1998): Update WPcalc, Beschreibung der durchgeführten Anpassungen, PAP von WPcalc und aktueller Sourcecode (ohne Erdwärmesonden Modul). Bundesamt für Energie BFE.
- [5] Shafai E.; Zogg D.; Ehrbar M.; Wirth L.; (2000) Dynamischer Wärmepumpentest. Phase 1, Etappe 3: Modellansatz für die Prüftechnische Charakterisierung der Minderwärmeproduktion. Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE, ENET-Nr. 200145.
- [6] Stalder M.; Huber A.; Albrecht S. (2001): Erweiterung der Programms WPcalc mit dem Berechnungsmodul für Erdwärmesonden EWS, Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE, ENET-Nr. 210110.
- [7] Stalder M.; Schweizer A.; Eicher Hp. (1994): Dynamische Betriebsweise von WKK- und WP-Anlagen, Phase II: Untersuchungen an 5 Anlagen mittels Messungen der Wichtigsten Betriebsparameter, Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE, ENET-Nr. 9100203.
- [8] Stalder M. (1995): HOLZcalc: Algorithmen und Modellbildung der Holzkesselanlage. Holzenergie Schweiz. Dr. Eicher + Pauli AG, Tel. 01 / 363 85 58
- [9] Stalder M. (1995): WKKcalc: Berechnungsalgorithmen und Datenstruktur. Bundesamt für Energie BFE.
- [10] Pauli Hans. Eicher Hp.; Jocher E.; (1997) Diesel BHKW für Teillastbetrieb. Bundesamt für Energie BFE.