

Entwicklung eines nachhaltig organisierten, internetbasierten Serversystems zur Bereitstellung und halbautomatischen Aktualisierung validierter energietechnischer Kostenfunktionen

Kurztitel: **KF-Server**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Systemkomponenten des KF-Servers	2
2.1	Fremdsoftwaremodule, die als Gesamtpakete übernommen wurden . . .	3
2.2	Eigenentwickelte Systembestandteile	3
2.2.1	Nutzerdatenbank	3
2.3	Interaktionsschnittstellen mit dem Serversystem	4
2.3.1	Online-Schnittstelle des KF-Servers	4
2.3.2	Export von Kostenfunktionen	6
3	Definition und Struktur der Kostenfunktionen	6
3.1	Investitionssumme	8
3.2	Betriebskosten	11
3.3	Festlegung von Gültigkeitsbereichen der Kostenfunktionen	13
3.3.1	Grundsätzliche Definitionsbereichsfestlegung	13
3.3.2	Diskretisierung des Definitionsbereichs	15
3.3.3	Diagrammdarstellung der Kostenfunktionen im Web-Interface	16
4	Szenarienanalyse verschiedener Versorgungskonzepte	16
5	Standardleistungsverzeichnisse	16
A	Ermittlung skaleninvarianter relativ gleichverteilter Definitionsbereichsstützstellen	19
B	Laufängenkodierte Definitionsbereichsverwaltung	20

1 Einleitung

Für die wirtschaftliche *a-priori*-Auslegung oder Erneuerung energietechnischer Verschaltungen ist eine möglichst genaue Kenntnis der Kosten beteiligter Einzelkomponenten erforderlich, um verschiedene Versorgungskonzepte relativ zueinander bewerten zu können. Belastbare Investitions- und Betriebskostendaten zu erhalten, stellt in der Praxis einen nicht zu unterschätzenden Kosten- und Zeitaufwand dar. Eine bislang noch nicht verfügbare, aber für die Organisation einer Kostenschätzung sehr vielversprechende Alternative stellt die Nutzung mathematisch definierter, an Praxisbeispielen validierter Kostenfunktionen dar, die Betriebs- und annuisierte Investitionskosten in Abhängigkeit systemdeterminierender Parameter über einen hinreichend großen Skalenbereich beschreiben.

Kostenfunktionen unterliegen, bedingt durch Innovation und kontinuierlich sich ändernde wirtschaftliche Randbedingungen, einer dauernden Veränderung. Daher kann jede Zusammenstellung einer Preisübersicht und ein daraus abgeleiteter Satz von Kostenfunktionen nur eine Momentaufnahme darstellen. Bei den wenigen bislang vorhandenen Ansätzen der Kostenfunktionsbereitstellung wurde diese zeitliche Perspektive weitestgehend ausgeklammert. Der vorliegende Projektvorschlag adressiert dieses Manko explizit indem existierende funktionale Ansätze in auf physikalische Modellbildung und betriebswirtschaftliche Randbedingungen beruhende Teile separiert werden. Hierdurch wird eine einfachere Aktualisierung der Kostenfunktionen erreicht. Die gezielte Einbindung potenzieller Kostendatenanbieter durch Verfügbarmachen kostengünstiger und sehr zielgerichteter Werbemöglichkeiten und der Einsatz moderner Kommunikationstechniken lassen einen hohen Gebrauchswert und eine rege Nutzung eines solchen Dienstes erwarten.

2 Systemkomponenten des KF-Servers

Der KF-Server soll dem Entwickler eines Energieversorgungssystems die Möglichkeit bieten, in schnellen überschlägigen Rechnungen die pekuniären Potenziale verschiedener Anlagenvarianten abzuschätzen. Da es sich bei dieser Aufgabe typischerweise nicht um eine regelmäßig wiederkehrende Aufgabenstellung handelt, wäre ein Software-System, das der ständigen aktualisierenden Pflege bedarf, nicht sachgerecht. Stattdessen wird in diesem Projekt eine zentralisierte Infrastruktur aufgebaut, deren Nutzung ausschließlich eines Internetzugangs und tagtäglich eingesetzter Software (Internet-Browser) bedarf. So wird die Notwendigkeit der Aktualisierung ebenfalls zentralisiert und der von jedem Benutzer beizutragende Teil des hierfür erforderlichen Aufwands minimiert. Der Server ist im Internet unter

<http://www.kaiserstadt.de/kfserver/>

zu erreichen und zu nutzen.

2.1 Fremdsoftwaremodule, die als Gesamtpakete übernommen wurden

Im Sinne größtmöglicher Transparenz wird dieses internetgestützte Serversystem weitestgehend aus Open-Source-Komponenten bzw. aus sogar kostenlos erhältlichen Teilsystemen zusammen gestellt. Das System besteht aus folgenden Kernkomponenten¹:

Betriebssystem:	Linux Debian Woody, Version 3.0
Webserver:	Apache, Version 1.3.19
Datenbank:	MySQL, Version 3.23.39
reversible Verschlüsselungen:	mcrypt, Version 2.4.x
unidirektionale Verschlüsselungen:	md5
Skriptsprache:	PHP Version 4.2.2
Grafikbibliotheken:	GD, Version 1.8.4
	Ploticus, Version 2.0

2.2 Eigenentwickelte Systembestandteile

2.2.1 Nutzerdatenbank

Die Nutzerdatenbank ist Bestandteil der für den KF-Server neu implementierten Gesamtdatenbank. Ihr Hauptbestandteil ist die Tabelle `user`, deren Einträge jedoch mit Inhalten anderer Tabellen (z.B. mit `pages` zur Kontrolle der Zugangsberechtigung) abgeglichen werden.

Aufbau der Tabelle `user`

Die Tabelle `user` kann beliebig viele Spalten enthalten, es **müssen** jedoch zwingend die folgenden Spalten (mit entsprechenden Typen) enthalten sein:

<code>id</code>	<code>INT(10) UNSIGNED auto_increment</code>	=> Nutzer-ID
<code>name</code>	<code>VARCHAR(25)</code>	=> Nutzername / Synonym
<code>password</code>	<code>VARCHAR(32)</code>	=> MD5(name.pw_hash)
<code>email</code>	<code>VARCHAR(50)</code>	=> E-Mail Adresse des Nutzers
<code>level</code>	<code>SET(LEVEL_SET)</code>	default: <code>guest</code> => Nutzerlevel
<code>email_pending</code>	<code>VARCHAR(100) NULL</code>	default: <code>NULL</code> => Neue E-Mail Adresse
<code>pending_time</code>	<code>INT(10) UNSIGNED NULL</code>	default: <code>NULL</code> => Zeit der neuen E-Mail

Bedeutung der Felder: `pending_time` & `email_pending`

Die Felder `email_pending` und `pending_time` werden intern für die Zuweisung eines neues Passwortes benötigt. Da die Passwörter nicht gespeichert werden, kann ein Nutzer lediglich ein neues Passwort anfordern. Dazu wird ihm per E-Mail ein Link mitgeteilt, unter dem die Software ein neues Passwort generiert, und dem Nutzer zuschickt. Dabei wird der MD5-Wert aus neuer E-Mail Adresse und der `pending_time` genutzt, um den Link zu generieren und zu schützen.

¹Entsprechend der schnellen Entwicklung von Softwareprodukten steht zu erwarten, dass sich die Versionsnummern der eingesetzten Softwarekomponenten relativ häufig ändern. Die in der Liste angegebenen Versionen spiegeln den jeweils aktuellen Stand der Serverinstallation.

Bedeutung des Feldes: level

Das Feld level enthält das Zugriffslevel des jeweiligen Benutzers. Hier muss auf eine Besonderheit der MySQL Datenbank geachtet werden: Intern wird ein SET als ein Bitfeld abgelegt, d.h. der Zeichenkette wird ein Integer-Wert zugewiesen. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, dass bei jeder vergleichenden Abfrage exakt der selbe SET-Typ genutzt wird. Konkret bedeutet das, dass im Menü-System der Zugriffslevel exakt über den selben SET definiert wird.

Bedeutung des Feldes: num_level

Das Feld level wird in der Datenbank gespeichert und generiert. Auf der PHP-Ebene wird der Wert als Zeichenkette zurückgegeben. Um effiziente SQL-Abfragen kreieren zu können, wird daher temporär ein zusätzliches Feld erzeugt, welches den numerischen Bit-Feld-Code enthält.

Erzeugen eines neuen Nutzers

Für die Erzeugung eines Nutzers steht die Funktion

```
$user = create_user($db, $username, $pwhash, $email)
```

zur Verfügung. Dabei bezeichnet `$db` ein Datenbankobjekt, `$username` den Namen des Nutzers und `$email` die E-Mail Adresse. Der `$pwhash` enthält einen beliebigen Hashwert des Passwortes - oder das Passwort selber im Klartext. Aus Sicherheitsgründen wird jedoch empfohlen, immer mit einem Hash-Wert (z.B: MD5) zu arbeiten. Die Funktion liefert im Erfolgsfall ein objekt `$user` zurück, welches bereits alle Felder enthält, die auch in der Datenbank vorhanden sind. Als nächstes sollten diese Felder gesetzt, und die Änderungen via `update_user` in die Datenbank übertragen werden.

2.3 Interaktionsschnittstellen mit dem Serversystem

2.3.1 Online-Schnittstelle des KF-Servers

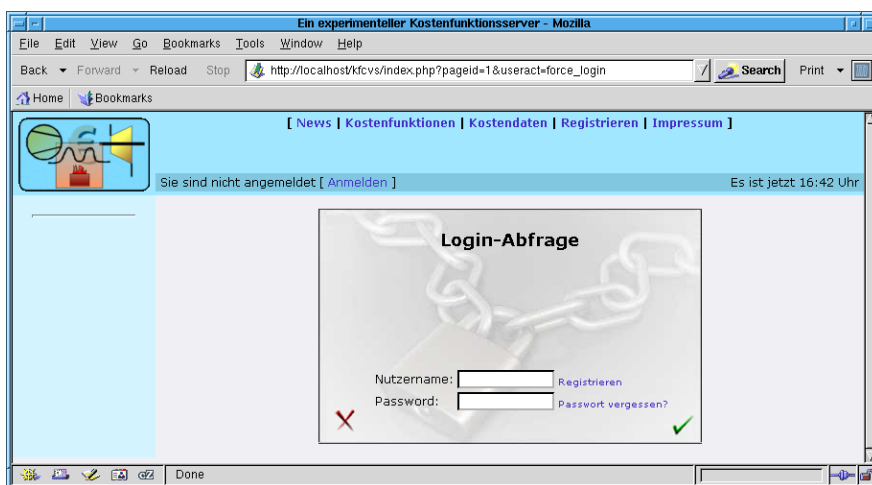


Abbildung 1: Loginbildschirm mit noch zugriffverweigerten Hauptmenüpunkten (vor der Anmeldung)

Nach Anwählen des KF-Servers mit einem der gängigen Web-Browser stehen vor einer Anmeldung als registrierter Benutzer (Abb. 1) nur wenige, die Arbeitsweise des Servers beschreibende Funktionen direkt zur Verfügung. Dies ist an der eingeschränkten Hauptmenüleiste im oberen blauen Fensterbereich erkennbar. Funktionen, die in den Menüs kursiv geschrieben angezeigt werden, dienen nur der Information über ihre Existenz. Bei Anwahl solcher Funktionen erscheint ein Standardbildschirm, der über die fehlende Zugangsberechtigung zu den gewünschten Informationen informiert.

Menüeinträge, die in schwarzer Schrift dargestellt werden und nicht per Mausclick anwählbar sind, deuten auf noch zu entwickelnde Serverfunktionen hin und dienen ausschließlich dem Vorabtest der Bildschirm-Repräsentation der weiter ausgebauten Menüstruktur.

Wurde die Anmeldeprozedur erfolgreich durchgeführt, ändern sich die Hauptmenüs entsprechend des Status des Anmelders (Kostenfunktionsnachfrager oder Kostendatenlieferant). Wählt ein Kostenfunktionsabfrager etwa ein Rückkühlwerk als interessierendes Bauteil aus, wird neben dem Hauptmenüeintrag „Kostenfunktionen“ auch das gewählte Bauteil durch eine rote Schrift ausgezeichnet (s. z.B. Abb. 2).

Ein experimenteller Kostenfunktionsserver - Mozilla

File Edit View Go Bookmarks Tools Window Help

Back Forward Reload Stop <http://localhost/kfcvs/index.php?unit=1&pageid=51> Search Print

Home Bookmarks

[News | **Kostenfunktionen** | Kostendaten | persönl. Daten | Impressum]

Herzlich Willkommen, Manfred Müller [Abmelden] Es ist jetzt 16:38 Uhr

Berechnung einer Kostenfunktion für Rückkühlwerke

Eingabebformular

Bitte spezifizieren Sie Ihre Anlage und den gewünschten Diagrammtyp.

Ausgabeparameter

Diagrammtyp:

Datenbestand:

Datenszenario #1

Gerätespezifikation

Bauart:

Betriebspunkte

	Auslegungspunkt	Arbeitspunkte		
		#1	#2	#3
Wirkleistung [kW]	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soletemperatur [°C]	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Umgebungstemperatur [°C]	<input type="text" value="32"/>	<input type="text" value="32"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aufstellhöhe über NN [m]	<input type="text" value="250"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Betriebsstunden / Jahr [h / a]	<input type="text" value="---"/>	<input type="text" value="4500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Einen weiteren Arbeitspunkt angeben

Betriebswirtschaftliche Angaben

Zinssatz: % Abschreibungsdauer: Jahre Energiekosten: EUR / kWh

Abbildung 2: Gestaltungsvariablen-Spezifikationsdialog einer Kostenfunktion (Beispiel: Rückkühlwerk). Hintergrundinformationen zum jeweiligen Bauteil sind über Anklicken des „i“-Symbols neben der Überschrift erreichbar.

2.3.2 Export von Kostenfunktionen

Die visuelle Präsentation der einzelnen Kostenfunktionen über das Web-Interface stellt nur eine Abfragemodalität dar. Sie kann über die interaktive Festlegung von Randbedingungs-Eckdaten in einigen auslegungsrelevanten Variablen einen schnellen Überblick über Spannweiten der zu erwartenden Kosten zurückliefern, ist aber zur Durchführung eigener systematischer Rechnungen nicht geeignet.

Für diesen zweiten Verwendungszweck ist geplant, die verschiedenen Kostenfunktionen als zur Programmlaufzeit einbindbare Module für verschiedene Plattformen anzubieten, die vom Webserver in den eigenen Rechner geladen und dort weiter verwendet werden können. Unterstützt werden sollen folgende Programmsysteme:

- Microsoft Excel (für MS Windows), Version x.y: Einbindung durch Laden einer CSV-Tabelle in ein gesondertes Kalkulationsblatt. (!! In Planung !!)
- Microsoft Visual C++ (für MS Windows): Verlinken der eigenen Programmmodule mit einer vom Kostenfunktionsserver bereitgestellten Dynamic Link Library (DLL) (!! In Planung !!)
- StarCalc (für Linux iX86-Systeme), Version 5.2: Einbindung durch Laden einer CSV-Tabelle in ein gesondertes Kalkulationsblatt. (!! In Planung !!)
- C++ auf Linux iX86-Systemen: Verlinken der eigenen Programmmodule mit einem vom Kostenfunktionsserver bereitgestellten Shared Object (SO) mittels des Gnu Linkers. (!! In Planung !!)

Entsprechend der Diskussion der 1. Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses am 9.12.2002 wird jedoch die Exportfunktionalität zugunsten einer schnelleren Entwicklung der direkt visuellen Modalität und der anderen Systemkomponenten zurückgestellt.

3 Definition und Struktur der Kostenfunktionen

Unter einer Kostenfunktion wird im Folgenden ein von einzelnen ausgeführten Geräten und ihren Eigenschaften abstrahierter Zusammenhang von Gestaltungsvariablen und den für Anschaffung und Betrieb zu erwartenden Kosten verstanden. Es werden hierbei die beiden Kostenarten *Investitionskosten* bzw. *Investitionssumme* und *Betriebskosten* unterschieden:

Die Investitionssumme K_I beschreibt den für die Beschaffung und Installation eines Gerätes erforderlichen finanziellen Aufwand, der unabhängig vom späteren Betrieb und den hierbei eingestellten Lastzuständen bedient werden muss. Diese Kostenfunktion ist als stetig differenzierbare Funktion nur in solchen Bereichen der Gestaltungsvariablen definiert, wo auch entsprechende Apparate von Herstellern angeboten werden. Diese Bereiche werden aus den dem System verfügbaren Kostendaten anhand der Herstellerangaben extrahiert und als „Gültigkeitsbereiche“ (s. Abschnitt 3.1) hinterlegt. Da die Grenzen der Gültigkeitsbereiche nur approximativ über ausgewertete Stützpunkte ermittelt werden können, sind die Definitionsbereichsgrenzen der Kostenfunktionen nicht im mathematischen Sinne als genau anzusehen.

Die Betriebskosten K_B subsumieren die beim tatsächlichen Betrieb anfallenden Kosten, die teilweise lastunabhängig sein können (z.B. regelmäßige Inspektions- und Wartungskosten), teilweise direkt mit der Auslastung des jeweiligen Geräts verbunden sind (z.B. Energiekosten). Zur überschlägigen Berechnung dieses Kostenanteils ist die Angabe typischer, in der Praxis beobachteter Betriebspunkte des jeweiligen Gerätes erforderlich, die durchaus weitab vom Auslegungsbetriebspunkt liegen können.

Während die Investitionskostenfunktionen K_I für alle Geräte in einer geschlossenen Form als höherdimensionale Funktionen der jeweils wählbaren Gestaltungsvariablen formuliert werden, muss für die Betriebskosten K_B von dieser Darstellungsmöglichkeit aus mathematisch-kombinatorischen Gründen Abstand genommen werden. Letztere werden vielmehr direkt aus den als Datensätze verfügbaren Realkostendaten der Hersteller zum Zeitpunkt des Abrufs generiert und sind in letzter Konsequenz im funktionalen Sinne nicht mehr eindeutig (siehe Abschnitt 3.2). Dies stellt aber aufgrund der relativ großen Spannen realer Kostendaten und des Abstraktionsgrades des KF-Servers keine Einschränkung für die praktische Nutzung dieses Dienstes dar.

Die vom Server bereit gestellten Investitionskostenfunktionen werden aus einem standardisierten Satz von Funktionalen zusammengestellt, die eine hinreichende Approximation der über die Herstellergrenzen hinweg relativ verrauschten Kosten-Gestaltungsvariablen-Zusammenhänge gewährleisten. In Einzelfällen wäre es sicherlich möglich, durch Hinzunahme weiterer Funktionale geringfügig bessere Ergebnisse hinsichtlich des relativen Approximationsfehlers zu erreichen, doch wäre dies voraussichtlich mit grundsätzlichen Strukturänderungen der jeweiligen Funktion bei Hinzunahme neuer Kostendaten verbunden. Entsprechend haben sich die Entwickler zunächst gegen diese Erweiterung entschieden. Auch die Ermittlung der „richtigen“ Kostenfunktion würde sich mit Abstand schwierig gestalten, da der Funktionalraum, aus dem diese ausgewählt werden müsste, um ein Vielfaches größer zu veranschlagen wäre.

Die Investitionskostenfunktionen werden in ihrer Struktur und Parametrisierung aus einem Vorläuferprojekt [GKS02] entnommen. Hierdurch wird eine schnellstmögliche Adaption und Bestückung des Serversystems ermöglicht. Die rechentechnische Infrastruktur zur Einbindung neuer Kostendatensätze und der Bestimmung neuer Kostenfunktionen kann so ohne Einschränkung der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit des Servers in eine spätere Phase verlegt werden.

Auch im weiteren Verlauf wird im Standardbetrieb des KF-Servers grundsätzlich von einer konstanten „Struktur“ der Kostenfunktionen (im Sinne der Funktionalzusammenstellung) ausgegangen, in der bei Eintreffen neuer Kostendaten lediglich die Anpassungsparameter automatisch verändert werden².

Grundsätzlich werden für alle behandelten Apparate entsprechend der üblichen Vorgehensweise Betriebskosten K_B und Investitionssumme K_I unterschieden und separat ausgewiesen. Nach Bereitstellung seiner persönlichen, für eine zusammenfassende Annualisierung erforderlichen Zusatzinformationen (Abschreibungszeiträume,

²Es ist vorgesehen, dass neben dieser automatischen Anpassung der Funktionalparameter auch eine Strukturanpassung verfolgt wird. Allerdings wird dies unabhängig von einer konkreten Dateneinbringung im Hintergrund durch eine komplexe, lange dauernde Anpassungsrechnung erfolgen

Zinssätze, Energiekosten) durch den Nutzer wird auch eine annualisierende Gesamtkostenabschätzung für das jeweils betrachtete Modul ermittelt.

3.1 Investitionssumme

Die Investitionssumme K_I eines Apparates wird aus den Herstellerangaben unter Berücksichtigung der für Nebenvariablen erlaubten Spannen ermittelt. Dies bedeutet, dass

- sich ein konkreter Kostenwert für einen Apparat bedingt durch die Möglichkeit, diesen in Teillast zu fahren, hinsichtlich des wesentlichen Kostenparameters „nachgefragte Leistung“ auf einen ganzen Bereich der Kostenfunktion auswirkt,
- aufgrund eines geringeren Wirkungsgrads bei einer ungünstigen Randbedingungskonstellation (z.B. bei geringen Temperaturhuben in Wärmeübertragungsmodulen) die (pragmatischen) Investitionssumme pro zu übertragender Leistungseinheit höher ausfallen als es die Preisstellung für ein nutzbares Modul bei Normalbedingungen vermuten ließe. Diese Verschlechterung des Wirkungsgrades bzw. die damit einhergehende Erhöhung der Investitionskosten, die den Ausleger bei Verfügbarkeit zu einem grundsätzlich leistungsfähigeren Modul greifen lässt, ist jedoch durch die Systemauslegung bedingt.

Alternative Auftragsungen der Investitionskosten, die der KF-Server ebenfalls auf Nachfrage liefert, können helfen, solche Auslegungsprobleme zu identifizieren bzw. das Maß der negativen Kosteneffekte zu quantifizieren.

***Beispiel.** Bei der Auslegung eines Rückkühlwerks mögen aufgrund der Auslegung des Prozesses, für den der Apparat benötigt wird, relativ geringe Temperaturen des Kühlmittels auftreten, dessen Wärme im Rückkühler an die Luft übertragen werden muss. Der typischerweise vom Hersteller spezifizierte Temperaturhub für die Nennleistung seiner Apparate wird entsprechend unterschritten. Hier muss ein nominell größerer Kühler ausgewählt werden, damit die maximal zu übertragende Wärmeleistung in jedem Fall abgeführt werden kann. Am Preis der Geräte selber ändert dies jedoch nichts, so dass letztlich eine größere Investitionssumme pro kW Nutzkälte veranschlagt werden muss. Diese Gegenrechnung erfolgt im KF-Server automatisch, da für das Modul „Rückkühler“ zur Definition des Auslegungspunktes die Gestaltungsvariablen Nutzwärme, Soletemperatur, Lufttemperatur und Aufstellhöhe anzugeben sind.*

Bei der Bestimmung der Investiv-Kostenfunktion müssen verschiedene Konstellationen hinsichtlich der zugrunde liegenden Kostendaten berücksichtigt werden, die im Folgenden näher erläutert werden:

- Sämtliche bekannten Apparate aller Hersteller stehen in direkter Konkurrenz zueinander. Somit werden deren Kostendaten grundsätzlich unabhängig von einer möglichen Überdeckung der Arbeitsbereiche berücksichtigt.
- Bedingt durch eine begrenzte Auswahl an verfügbaren Apparaten auch über verschiedene Hersteller hinweg kann es vorkommen, dass dem KF-Server nicht für alle Variablenbereiche (z.B. Leistungsbereiche) Apparate zur Bereitstellung der

nachgefragten Funktionalität und damit zur mathematischen Bildung der Funktion bekannt sind. Da nicht a priori bekannt ist, ob dort nun tatsächlich keine Apparate existieren oder ob es sich um eine zu schlechte Datenlage handelt, werden die Kostenfunktionen grundsätzlich als kontinuierlich und ohne interne Definitionsbereichslöcher interpretiert. Es werden aber die Bereiche gekennzeichnet, in denen nach dem jeweiligen Stand der Ermittlungen Daten fehlen.

Hieraus ergeben sich folgende Schritte zur Ermittlung und Darstellung der Investitions-Kostenfunktion, die am Beispiel einer einfachen, eindimensionalen Abhängigkeit der Kosten von der Modulleistung als Auslegungsvariabler erläutert werden soll:

Ermittlung einer ersten Regressionsfunktion. Zunächst werden sämtliche Kostendaten zusammengetragen, die Einfluss auf die jeweilige Kostenfunktion nehmen. Hierzu werden die Herstellerdaten aufgrund einer rückgelieferten Standardleistungsbeschreibung ausgewertet und nur der vom Hersteller jeweils benannte Standardarbeitspunkt berücksichtigt. Werden in Sonderfällen Arbeitspunkte bezeichnet, die nicht dem Standardleistungsverzeichnis entsprechen, werden diese anhand der Herstellerangaben auf den Arbeitspunkt der Standardleistungsbeschreibung zurückgerechnet. Auf der Basis dieser intern normierten Daten wird eine Ausgleichsfunktion ermittelt (siehe Abbildung 3).

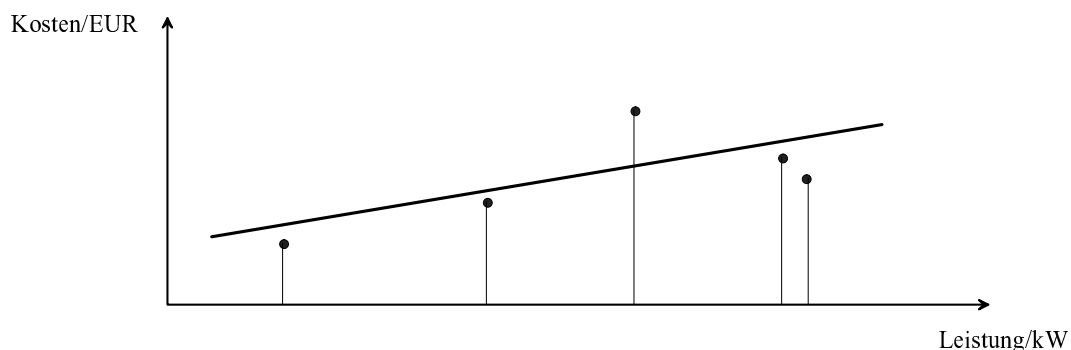


Abbildung 3: Bilden einer primären Regressionskurve aus den Angaben zu den Auslegungs-/Volllastpunkten der jeweiligen Apparate

Ermittlung gemittelter Preise für einzelne Anlagen. Aus der Regressionsfunktion werden gemittelte Preise für die einzelnen Anlagen ihrem Arbeitspunkt bestimmt. In Abbildung 4 sind diese neuen Pseudo-Kostenwerte anhand von Quadraten gekennzeichnet. Sie sind hinsichtlich der durch die Funktion eingeführten Abstraktion äquivalent zu den tatsächlich von den Herstellern spezifizierten Kosten, da sie zur gleichen Ausgleichsfunktion führen würden. Im Folgenden kann daher ihr Ordinatenwert als der zu erwartende Preis für eine Anlage der jeweiligen Größe angesehen werden.

Wären nun beliebig viele Geräte mit sehr fein gestuften Leistungsstufen am Markt, wäre mit diesem Schritt die gesuchte Kostenfunktion K_I bereits bestimmt. Dies ist aber in der Realität nicht der Fall, so dass für einen konkreten Auslegungsfall das jeweils leistungsfähigere Gerät gewählt und in Teillast

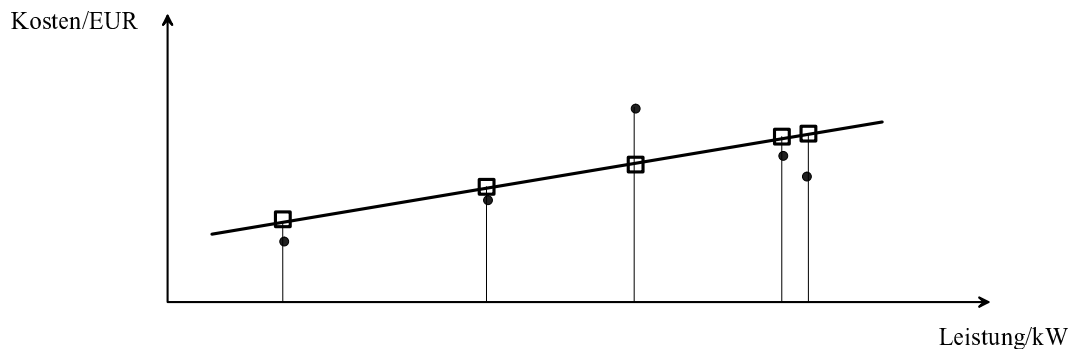


Abbildung 4: Bilden von Investitions-Pseudokosten zu den beitragenden Apparaten anhand der zuvor bestimmten Regressionskurve

gefahren werden muss, um alle Randbedingungen bis zur Auslegungsspezifikation garantiert zu erfüllen. Diese Erhöhung der effektiven Investitionssumme wird durch die nachfolgenden Schritte berücksichtigt.

Berücksichtigung der Definitionsbereiche. Die vom jeweiligen Apparat zu bedienenden Teillastbereiche werden nun hinsichtlich der Auslegungsvariablen relativ zu den neu ermittelten Pseudo-Kostenpunkten aufgetragen. Dies lässt sich als Erfüllung der nachgefragten Auslegungsspezifikation durch den Teillastbetrieb eines funktionsäquivalenten Moduls mit durchschnittlichem Preis interpretieren. Gleichzeitig werden hierdurch die verfügbaren Module in einer streng monoton steigenden Kostenreihenfolge angeordnet (Abb. 5).

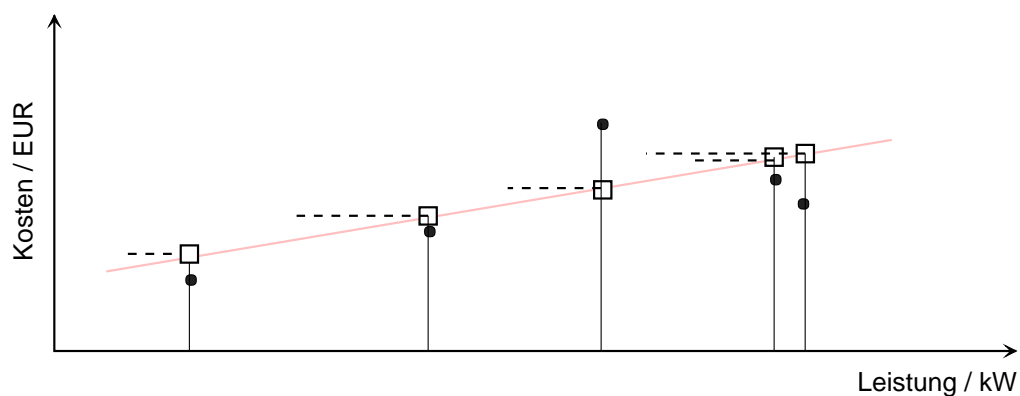


Abbildung 5: Berücksichtigung der endlichen Zahl verfügbarer Apparate durch Auswertung der Definitionsbereiche

Elimination kostenerhöhender Teillastbetriebsmöglichkeit. Abstrahiert man wiederum von den einzelnen verfügbaren Apparaten, würde man für eine konkrete Auslegungsleistung jeweils das kleinste Gerät einsetzen, das die Spezifikation erfüllt. Entsprechend werden zur Ermittlung der zu erwartenden Kosten in Variablenbereichen, in denen mehrere Apparate (gleicher oder unterschiedlicher Hersteller) aufgrund eines möglichen Teillastbetriebs verfügbar sind, nur

der jeweils kostengünstigste berücksichtigt (Abb. 6). Wird der dargestellte Varia-

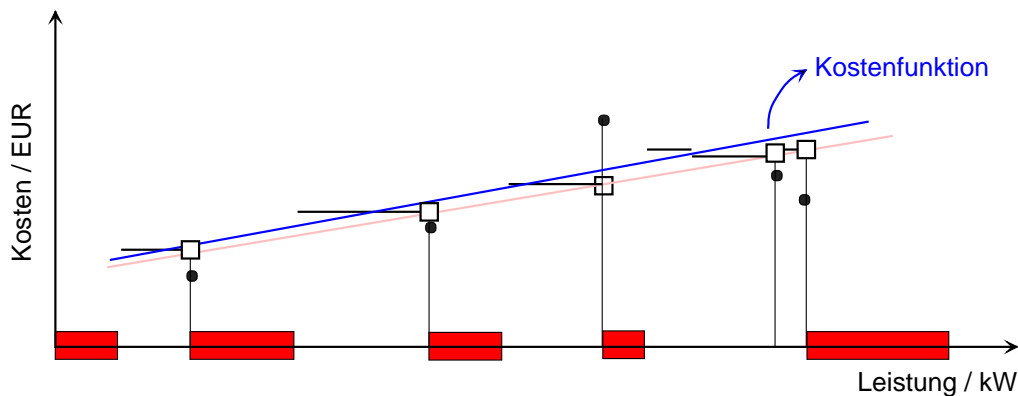


Abbildung 6: Verschiebung der primären Kostenfunktion zu höheren Werten durch (abstrahierte) Notwendigkeit eines Teillastbetriebs

blenbereich nach Auswertung aller Teillast-Betriebsmöglichkeiten nur unvollständig durch die verfügbaren Apparatedaten abgedeckt, wird darauf durch entsprechende Kennzeichnungen an der Abszisse des Kostenfunktionsdiagramms hingewiesen.

Aufgrund der Notwendigkeit, für eine konkrete gewünschte Auslegung ein am Markt erhältliches Modul nutzen zu müssen, das gerade nicht exakt den eigenen Wünschen entspricht, ergibt sich durchschnittlich eine leichte Erhöhung der Investitionskosten. Dies wird bei der Bestimmung der letztlich präsentierten Kostenfunktion für ein Modul berücksichtigt, indem alle Minimalkostenabschnitte als zu Kostenfunktion beitragend interpretiert werden. In einzelnen Fällen kann es bei unterschiedlich ausgedehnten Teillastbereichen dazu kommen, dass ein tiefer Teillastbereich eines großen Moduls in eine Datenlücke hineinragt (Abb. 6, äußerste beide Datenpunkte rechts). In einem solchen Fall wird die Kostenfunktion durch die dort durchschlagenden Kostendaten nach oben gezogen. Diese Eigenschaft wird jedoch bewusst in Kauf genommen, da es sich erstens um einen eher selten und geringen Einfluss ausübenden Fall handelt und zweitens dieser Fall nur sehr selten auftreten wird.

Letztlich ergibt sich als die Kostenfunktion des betrachteten Moduls die in Abb. 6 blau gekennzeichnete Funktion. Sie ist (den Freiheitsgraden des Moduls entsprechend) mehrdimensional und für eine beliebige Variablenwertzusammenstellung eindeutig.

Die für eine Auslegungsvariable dargestellte Methodik wird bei Vorliegen einer Mehrdimensionalität der jeweiligen Kostenfunktion sinngemäß übertragen.

3.2 Betriebskosten

Die meisten der vom KF-Server verwalteten Apparate lassen sich in unterschiedlichen Betriebsmodi nutzen, die in der Regel ein Anpassen an unterschiedliche pragmatische Leistungsanforderungen und Betriebsrandbedingungen (wie nachgefragte elektrische Leistung, treibende Temperaturgefälle etc.) darstellen. Die hierbei pro Zeiteinheit

anfallenden Betriebskosten hängen im Einzelfall in einer sehr differenzierten, teilweise nichtlinearen Weise von den jeweiligen Betriebsrandbedingungen ab.

Es wäre zwar wünschenswert, auch diese Betriebskosten als echte *Kostenfunktionen* darstellen zu können, doch würde sich faktisch die Dimensionalität dieser Funktion gegenüber der Investitionssumme verdoppeln und hierdurch die Nachvollziehbarkeit der Funktionsermittlung zu sehr beschränkt werden.

Im KF-Server wird daher ein anderer Weg zur Ermittlung dieses Kostenanteils beschritten, der zwar die unbedingte Eindeutigkeit eines streng funktionalen Zusammenhangs aufhebt, aber dem inhaltlichen Ziel des Servers — einer überschlägigen Kostenschätzung — nach wie vor vollauf genügt.

Die Erklärung der Vorgehensweise wird im Folgenden an einer Betriebskostenanalyse für ein Rückkühlmodul demonstriert.

Triebfeder für die Betrachtung unterschiedlicher Modulszenarien ist häufig die Überlegung, bei einer Umgestaltung einer Anlage einen späteren Mehrbedarf an Kühlleistung durch Installation größerer Geräte vorzubereiten, die jedoch in absehbarer Zeit mit einer gegenüber dem Volllastpunkt geringen Auslastung betrieben werden. Diese erwartete Auslastung ist in Form absoluter nachgefragter Leistungen spezifizierbar und muss für jeden in Betracht zu ziehenden Apparat einzeln in einen relativen Lastgrad umgerechnet werden, bevor die möglicherweise nichtlineare Teillastanalyse entsprechende Betriebskostenwerte zurückliefern kann. Werden also die Betriebskostenanteile an der Gesamt-Kostenfunktion für einen interessierenden Auslegungsleistungsbereich ermittelt, muss von Punkt zu Punkt der möglichen Auslegungsleistung mit einem anderen Lastgrad gerechnet werden.

Der Satz der den Betrieb charakterisierenden Variablen $\{\vec{x}_B\}$ kann, wie etwa bei einer Gasturbine, sehr einfach strukturiert sein: Hier kommt nur die abgefragte Leistung P_{el} als einflussnehmende Variable in Frage, die vom KF-Nutzer in Form einer grob gerasterten Jahresdauerlinie (z.B. Häufigkeit von fünf Leistungsklassen) zur Verfügung gestellt werden kann.

Auslegungs- und Arbeitspunkte	Auslegungspunkt	Arbeitspunkte		
		#1	#2	#3
Wirkleistung [kW]	800	650		
Soletemperatur [°C]	45	45		
Umgebungstemperatur [°C]	32	32		
Aufstellhöhe über NN [m]	250	---	---	---
Betriebsstunden / Jahr [h / a]	---	7500		

Einen weiteren Arbeitspunkt angeben

Abbildung 7: Eingabemöglichkeit der Stützpunkte einer mehrdimensionalen Jahresdauerlinie zur Betriebskostenabschätzung eines Rückkühlwerks

Bei stark entropieabhängigen Apparaten, wie etwa einem Rückkühlwerk, reicht hingegen ein solch einfacher Bezug auf die nachgefragte Kühlleistung nicht aus: hier müssen auch die Temperaturniveaus der Kühlsole und der Umgebungsluft explizit mit berücksichtigt werden. Entsprechend wäre vom Ausleger eine mehrdimensionale Jah-

resdauerlinie für den Betriebsvariablensatz $\{P_{Kuehl}, T_{Sole}, T_{Umgeb}\}$ nachzufragen. Dieser Aufwand auf Seiten des Auslegers ist in der Regel zu groß. Allerdings kann er für eine erste Abschätzung sicherlich interaktiv einige wenige typische Betriebspunkte benennen, die als repräsentativ für den späteren Betrieb gelten können.

In der Eingabemaske ist zunächst Platz für drei Arbeitspunkte vorgehen, was in der Regel ausreichen wird. Sollte dennoch der Wunsch nach weiteren bestehen, können durch Anklicken der Box „Einen weiteren Arbeitspunkt angeben“ die Eingabefelder für den nächsten in die Maske geholt werden. Grundsätzlich sind beliebig viele Arbeitspunkte definierbar.

Die Bestimmung der Betriebskosten folgen hiernach dem folgenden Schema:

1. Nach Angabe der charakteristischen Betriebspunkte werden zur Abschätzung der Betriebskosten im dargestellten *Auslegungsleistungsintervall* an 25 äquidistanten Punkten die dem System bekannten Geräte auf ihre Möglichkeit durchgesehen, die nachgefragte Leistung liefern zu können.
2. Werden solche Geräte gefunden, werden aufgrund der vom Hersteller mitgeteilten Betriebsdaten symmetrisch um den untersuchten Punkt herum die Betriebskosten von 6, 4 oder 2 Geräten bestimmt und linear auf den gesuchten Punkt interpoliert.
3. Diesen so ermittelten Roh-Betriebskosten, die nur den Energieverbrauch des eingesetzten Gerätes widerspiegeln, werden noch die leistungsunabhängigen Betriebskosten (jährliche Prüf- und Wartungskosten etc.) zugeschlagen.
4. Im daraufhin vom Server generierten Diagramm finden sich pro Szenario zwei Kurven:
 - Ein Verlauf der annualisierten Investitionssumme, und
 - darüberliegend der Zuschlag der Betriebskosten,

die sich somit insgesamt zum geschätzten Gesamtkostenbetrag aufaddiert — siehe Abbildung 8.

Die summarische Kurve wird nur in den Bereichen der Auslegungsleistung angezeigt, in denen alle angegebenen Betriebspunkte bedienbar sind!

3.3 Festlegung von Gültigkeitsbereichen der Kostenfunktionen

3.3.1 Grundsätzliche Definitionsbereichsfestlegung

Während für die einzelnen, die jeweilige Kostenfunktion bestimmenden Variablen relativ große Bereiche der Sinnhaftigkeit existieren, gilt dies für eine *Kombination* von Variablen nicht unbedingt. Es kämen bei beliebig freier Wahl aller Parameter sogar physikalisch unmögliche Konstellationen vor: So mag zwar ein Rückkühlwerk für Soletemperaturen zwischen 20 °C und 50 °C nutzbar sein und dies bei einem zulässigen kalkulatorischen Umgebungstemperaturbereich von 0 °C bis 40 °C, doch ist eine Verwendung bei $t_{Sole} = 30\text{ °C}$ und $t_{Luft} = 35\text{ °C}$ offensichtlich nicht sinnvoll.

Berechnung einer Kostenfunktion für Rückkühlwerke

Stand: 12. Mai 2003 12:24

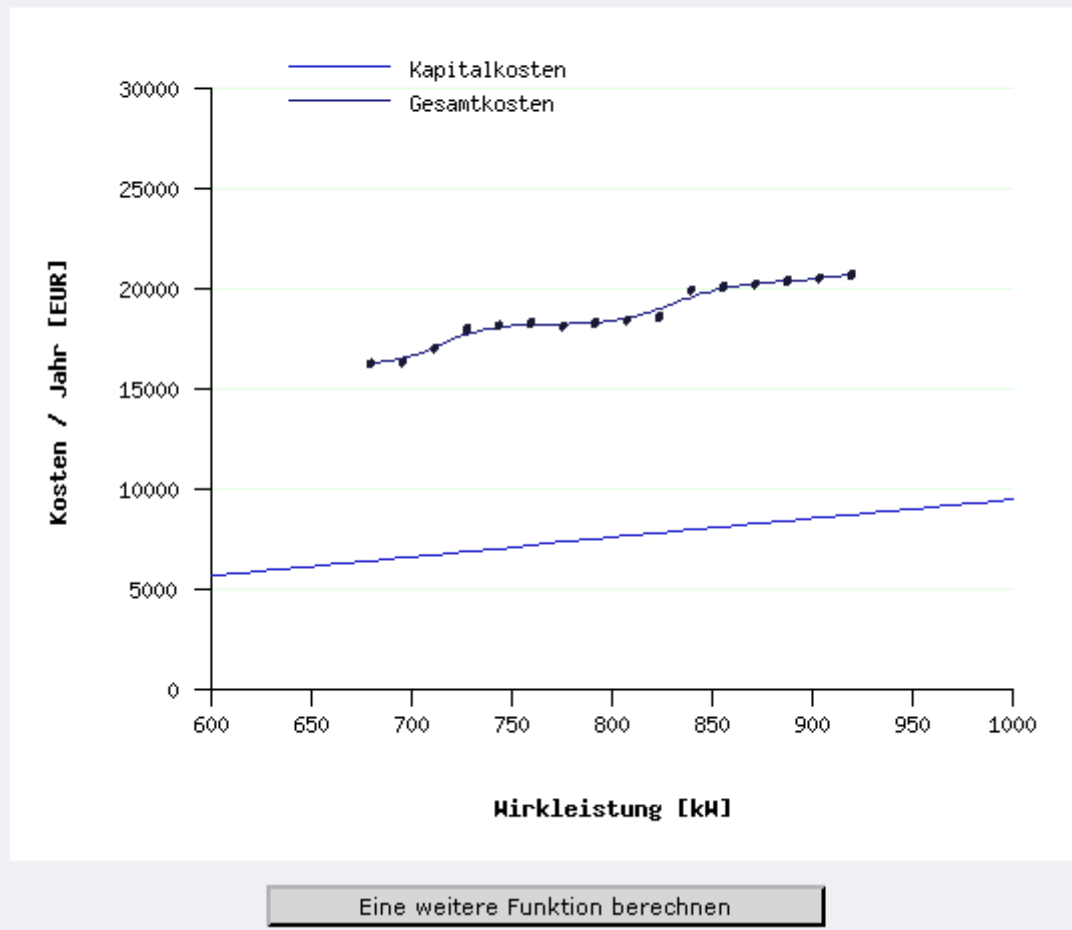


Abbildung 8: Gemeinsame Darstellung der annualisierten Investitionssummenfunktion und der sich zu den Gesamtkosten aufaddierenden Betriebskosten für ein Rückkühlwerk. Während die Investitionssumme als abstrahierte Funktion überall auf dem nachgefragten Bereich berechnet werden kann, müssen zur Gesamtkostenermittlung konkrete Geräte bekannt sein, die die nachgefragten Arbeitspunkte bereitstellen können.

Andererseits ist es häufig für einen konkreten Auslegungsfall erforderlich, ein Gerät außerhalb seiner Standardspezifikation in einem tolerierbaren Rahmen der Abweichung zu betreiben. Da hiervon zwar die Performance des jeweiligen Geräts, nicht aber dessen (Investitions-)Kosten beeinträchtigt werden, muss die Kostenfunktion dies durch entsprechende Aufschläge oder Abschläge mit berücksichtigen. Bei Verwendung des im Vorgängerprojekt erstellten Handbuchs [GKS02] ist hierfür eine konkrete manuelle Rechnung erforderlich, ausgehend von den Kostenfunktionsdefinitionen für die jeweils von den Herstellern in Form von Katalogdaten definierten Standardbetriebspunkte. Die Kontrolle der Sinnhaftigkeit entsprechender Auslegun-

gen obliegt hierbei vollständig dem Nutzer der Kostenfunktionen.

In der nun vorliegenden, servergestützten Kostenfunktionsbereitstellung wird hingegen für jede Funktion ein Definitionsbereich angegeben, innerhalb dessen sie (lt. Auswertung der Herstellerangaben) mit hinreichender Genauigkeit gilt. Diese Definitionsbereichsverwaltung ist integraler Bestandteil der übermittelten programmtechnisch auswertbaren Funktionsangabe.

Auch bei Verfügbarkeit eines Bauteils in verschiedenen Bauformen, von denen mehrere für eine konkrete praktische Anwendung in Frage kommen, werden sich unterschiedliche Kosten für die gleiche pragmatische Zweckerfüllung ergeben. Entsprechend sind diese Bauformen sinnvollerweise in *eine gemeinsame* Kostenfunktion zu aggregieren, aber bei optionaler Auswahl durch den Kostenfunktionsabruf in ihrem Einfluss auf die Bandbreite der Kostenfunktionswerte zu repräsentieren.

3.3.2 Diskretisierung des Definitionsbereichs

Zum Zwecke der Auswertbarkeit der Kostenfunktionen mit vertretbaren mathematischen Mitteln beim energiesystemauslegenden Anwender und zur grafischen Darstellung wird der teilweise über Gleichungs-/Ungleichungsbedingungen auf reellwertig einstellbaren Gestaltungsparametern spezifizierte, hochdimensionale Definitionsbereich diskretisiert. Hierzu werden je nach Variablentyp lineare oder exponentielle Stützpunktverteilungen eingesetzt. Bei geringen Skalenspreizungen (z.B. Umgebungstemperaturen, Wärmeträgertemperaturen) wird eine lineare Stützstellenverteilung in einer dem beschriebenen Apparat angepassten Schrittweite bevorzugt, während bei großen Skalenspreizungen (z.B. Wärmeleistung) die Diskretisierungspunkte so gewählt werden, dass relativ zur absoluten Größe des Werts eine gleichmäßige Stützpunktdichte gewahrt bleibt. Dies wird durch die exponentielle Transformation eines Satzes i äquidistanter Stützstellen x_i im Bereich $[0, 1]$ auf den abzudeckenden Definitionsbereich der Gestaltungsgröße $X \in [S, E]$ mittels

$$X_i = S \cdot e^{\ln(\frac{E}{S})x_i}$$

erreicht, wie im Anhang A nachgewiesen wird.

Die Diskretisierung eines grundsätzlich reellwertigen Definitionsbereichs verursacht insbesondere an dessen Grenzen Ungenauigkeiten, da hier nicht scharf entschieden werden kann, ob eine gegebene Parameterkonstellation gerade noch innerhalb dieses Bereiches oder doch schon außerhalb liegt. Andererseits muss bei der Anwendung der Kostenfunktionstechnik als überschlägiges Rechenverfahren berücksichtigt werden, dass deren Gültigkeitsaussagen grundsätzlich mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet sind. Entsprechend erscheint der Rückgriff auf hinreichend dicht gesetzte Stützpunkte legitim. Das derzeit verfolgte und auf die Leistungsfähigkeit verfügbarer Webserversysteme abgestimmte Diskretisierungsmaß erlaubt bei einem 6-dimensionalen Gestaltungsparameterraum eine Zahl von ca. 100 Stützstellen pro Dimension.

Die Definitionsbereiche der einzelnen Apparate werden als mehrdimensionaler, bitmaskierter, lauflängenenkodierter Datensatz in der Datenbank verwaltet. Eine detaillierte Beschreibung dieser Technik ist in Anhang B zu finden.

Die Diskretisierung im Sinne einer Stützstellendefinition erfolgt grundsätzlich auf der Basis existierender Apparatedaten, da eine Extrapolation auf noch nicht existieren-

de Apparate nicht sinnvoll erscheint. Werden neue Apparate bekannt, die die Arbeitsbereiche des betrachteten Moduls hinsichtlich der abgedeckten Haupt- und Nebenvariablen erweitern, geht dies mit einer Veränderung von deren Minimal- und Maximalwerten und damit mit veränderten Stützstellen zur Funktionsableitung und Definitionsbereichsdefinition einher. Hierdurch können sich insbesondere auch die Gültigkeitsbereiche der Kostenfunktionen in geringem Maße zwischen den Aktualisierungen verändern.

3.3.3 Diagrammdarstellung der Kostenfunktionen im Web-Interface

Werden in der Eingabemaske für die Auslegungs- und Prozessparameter eines Moduls Bereiche angegeben, die über seine Definitionsbereichsgrenzen hinausgehen, wird bei der Bildausgabe der nachgefragte Bereich eingehalten, auch wenn in entsprechenden Teilen des Diagramms gar keine Daten vorliegen. Auf diese Weise wird dem Abfrager signalisiert, dass der nachgefragte Bereich nur zum Teil vom Server abgedeckt werden kann.

4 Szenarienanalyse verschiedener Versorgungskonzepte

In den Spezifikationsformularen für die Abfrage der Kostenfunktionen besteht die Möglichkeit, mehr als ein Szenario für eine gewünschte Modul zu beschreiben. Der Sinn dieser Möglichkeit ist der direkte Vergleich mehrerer Modulauswahlkonzepte, die sich in allen spezifizierbaren Größen unterscheiden dürfen, auch wenn man typischerweise nur eine oder zwei Randbedingung(en) zwischen zwei Szenarien ändert. So wird etwa in Abb. 9 ein zweites Szenario nachgefragt, das zwar über die gleichen Auslegungs- und Betriebsdatenangaben verfügt, jedoch einen anderen Typ eines Rückkühlers zum Vergleich bestimmt, der eine gegenüber dem Grundtyp eine veränderte elektrische Verschaltung und somit ein anderes Betriebskostenverhalten aufweist.

Entsprechend der Vorgabe zweier zu berechnender Modultypen wird hierauf folgend ein Diagramm mit zwei Kostenverläufen ausgegeben (z.B. Abb. 10). Hierdurch ist ein direkter Vergleich der gewählten Alternativen möglich. Auch hier gilt wieder, dass die Betriebskostenzuschläge nur in den Bereichen der einzelnen Kostenfunktionen eingezeichnet werden, in denen tatsächlich dem System bekannte Geräte verfügbar sind. Gegenüber dem in Abb. 8, Seite 14 sind hier beide Typen über den gesamten betrachteten Bereich erhältlich.

Grundsätzlich können beliebig viele verschiedene Varianten miteinander verglichen werden, doch gestaltet sich bei dreien oder mehreren hiervon die Ausgabe schnell unübersichtlich.

5 Standardleistungsverzeichnisse

Bauart: Horizontal, Stern

Auslegungs- und Arbeitspunkte

	Auslegungspunkt	Arbeitspunkte		
		#1	#2	#3
Wirkleistung [kW]	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soletemperatur [°C]	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Umgebungstemperatur [°C]	<input type="text" value="32"/>	<input type="text" value="32"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aufstellhöhe über NN [m]	<input type="text" value="250"/>	---	---	---
Betriebsstunden / Jahr [h / a]	---	<input type="text" value="7500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Einen weiteren Arbeitspunkt angeben

Betriebswirtschaftliche Angaben

Zinssatz: % Abschreibungsdauer: Jahre Energiekosten: EUR / kWh

Datenszenario #2

Dieses Datenszenario entfernen

Gerätespezifikation

Bauart: Horizontal, Dreieck

Auslegungs- und Arbeitspunkte

	Auslegungspunkt	Arbeitspunkte		
		#1	#2	#3
Wirkleistung [kW]	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soletemperatur [°C]	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Umgebungstemperatur [°C]	<input type="text" value="32"/>	<input type="text" value="32"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aufstellhöhe über NN [m]	<input type="text" value="250"/>	---	---	---
Betriebsstunden / Jahr [h / a]	---	<input type="text" value="7500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Einen weiteren Arbeitspunkt angeben

Betriebswirtschaftliche Angaben

Zinssatz: % Abschreibungsdauer: Jahre Energiekosten: EUR / kWh

Ein weiteres Datenszenario hinzufügen

Kostenfunktion berechnen

Abbildung 9: Eingabe von Daten zur Szenarienanalyse (Ausschnitt des Eingabeformulars, Beispiel: Rückkühlwerk). Die beiden Datensätze unterscheiden sich in der Grundstruktur des gewählten Moduls (rote Unterlegung).

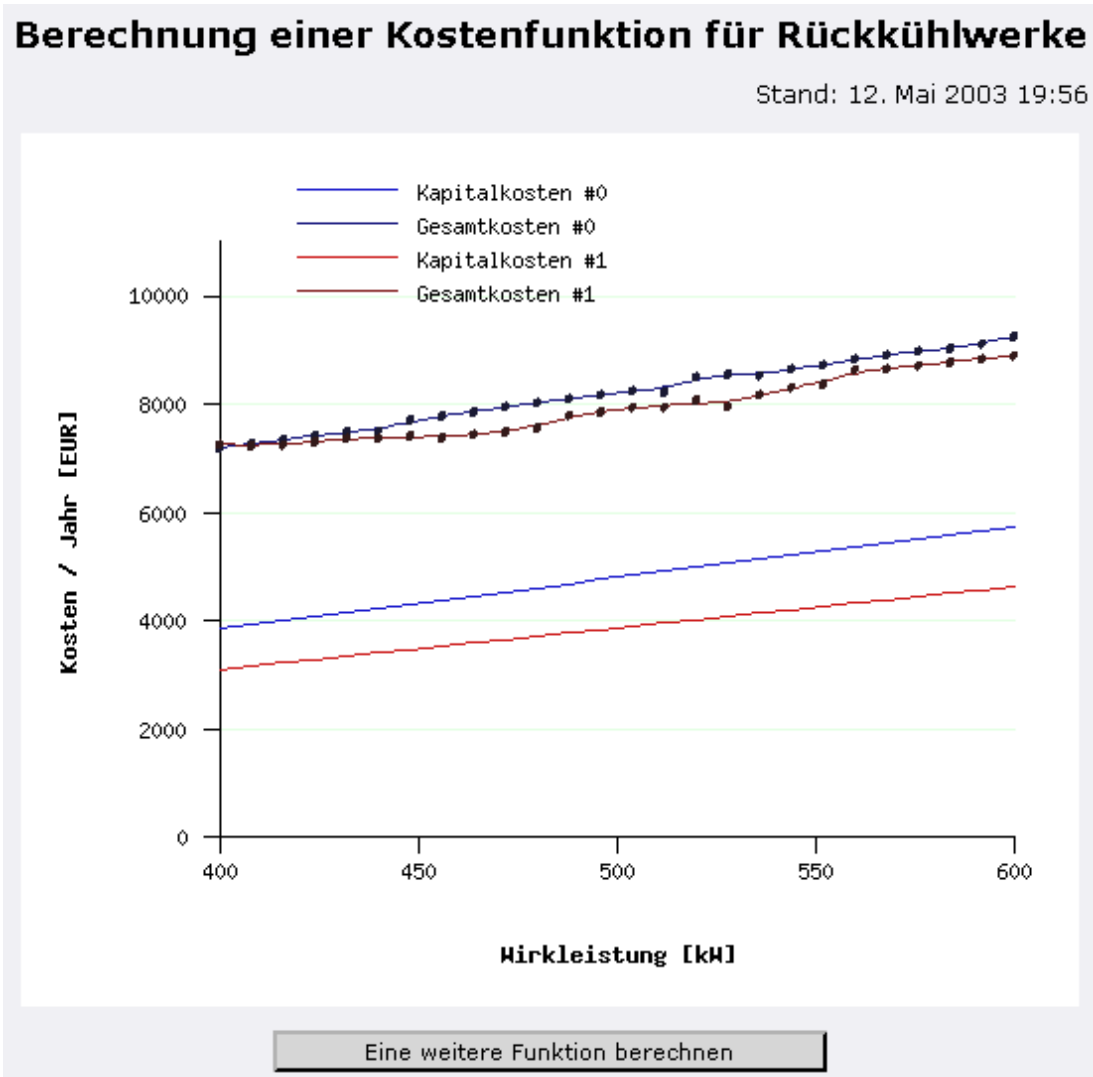


Abbildung 10: Ausgabe der Kostenfunktionsverläufe für unterschiedliche Gerätevarianten bzw. -spezifikationen in einem gemeinsamen Diagramm.

A Ermittlung skaleninvarianter relativ gleichverteilter Definitionsbereichsstützstellen

Zielsetzung. Gesucht ist eine gleichmäßige Verteilung von Stützstellen f_i über einen größeren Skalenbereich $[S, E]$ einer Größe $f \in [S, E]$ so, dass der relative Abstand der Stützstellen zueinander gleich bleibt. Es soll also gelten:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f_{i+1} - f_i}{f} = \text{const}$$

Herleitung. Der als diskret angenommene Stützpunktiterator i kann als konstante Schrittweite auf einer linearen Skala einer reellwertigen Größe x im festen Intervall $[0, 1]$ angesehen werden, sodass also

$$\frac{\Delta f}{f} = \text{const}' \cdot \Delta x$$

gilt. Da die Stützpunktdichte bzw. die Anzahl der Stützpunkte nicht festgelegt ist und deren relative Verteilung von der Dichte unabhängig sein soll, kann diese Forderung durch Grenzwertbildung $\lim \Delta x \rightarrow 0$ in

$$\text{const}' = \frac{\Delta f}{f \cdot \Delta x} = \frac{f'}{f}$$

überführt werden.

Annahme: Eine geeignet skalierte Exponentialfunktion der Form $f(x) = a + b \cdot e^{cx}$ erfüllt diese Aufgabe. Dann kann die Ableitung mittels $f'(x) = bc \cdot e^{cx}$ bestimmt werden.

Für unsere Forderung lässt sich hieraus ableiten:

$$\text{const}' = \frac{f'}{f} = \frac{bc \cdot e^{cx}}{a + b \cdot e^{cx}}$$

Da diese Bedingung für beliebige x gelten muss, kann sie für alle nichttrivialen Fälle ($c \neq 0$) nur mit $a = 0$ erfüllt werden. Somit gilt

$$\text{const}' = \frac{bc \cdot e^{cx}}{b \cdot e^{cx}} \quad \text{bzw.} \quad c = \text{const}'$$

Somit besitzt unsere gesuchte Funktion die Form

$$f(x) = b \cdot e^{cx} \quad .$$

Auswertung bei den Stützstellen $x = 0$ und $x = 1$ ergibt:

$$\begin{aligned} x = 0 : f(0) &= S = b \\ x = 1 : f(1) &= E = b \cdot e^c \\ &\Leftrightarrow E = S \cdot e^c \\ &\Leftrightarrow c = \ln \frac{E}{S} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{f(x) = S \cdot e^{\ln(\frac{E}{S})x}}$$

Mit dieser Endformel lässt sich eine beliebige Zahl relativ gleichverteilter Stützstellen f_i durch eine äquidistante Teilung x_i im Intervall $[0, 1]$ ermitteln (Abb. 11).

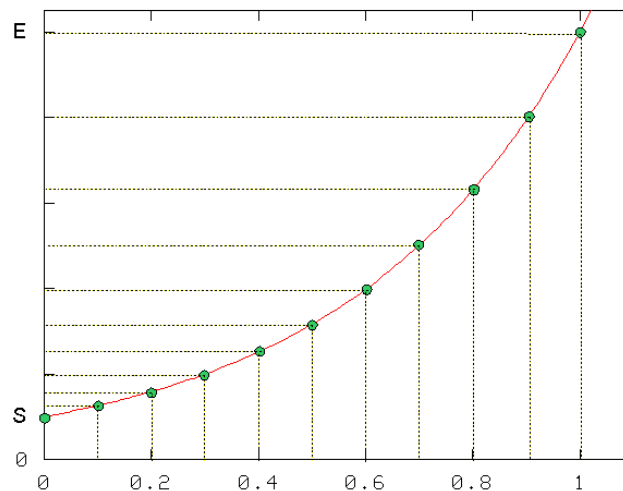


Abbildung 11: Linearisierung einer exponentiellen Skalenteilung

B Lauflängenkodierte Definitionsbereichsverwaltung

Da höherdimensionale Definitionsbereiche bei unkomprimierter Verwaltung als unstrukturiertes Feld sehr viel Platz im Hauptspeicher des Servers verbrauchen würden, werden die diskretisierten Definitionsbereiche der verschiedenen Kostenfunktionen über eine bitweise, laulängenkodierte Zuordnungsfunktion verwaltet. Das Vorgehen zur Bestimmung und zur Speicherung dieser Zuordnungsfunktion ist folgende:

- Grundsätzlich wird der gesamte, von den einzelnen Gestaltungsvariablen unabhängig voneinander aufgespannte, hyperkubische Raum in der geschilderten Weise diskretisiert. Diese Diskretierungspunkte stellen die später abzutastende, mit 0 vorbesetzte Grundmatrix dar.
- Es werden aus dieser Grundgesamtheit die Punkte ermittelt, die laut Herstellerangaben tatsächlich zum Definitionsbereich gehören. Diese werden in der aufgespannten Grundmatrix zu 1 gesetzt.
- Die Grundmatrix wird durch Aneinanderfügen der einzelnen Matrixzeilen zu einer einzelnen langen umgestaltet, die auch der Verwaltung dieser Information im Hauptspeicher eines Rechners entspricht.
- Zur eigentlichen Lauflängenkodierung (run-length encoding, RLE) wird diese linearisierte Matrixdarstellung durchlaufen und die Indizes der Punkte, an denen ein Wechsel der Zugehörigkeit zum Definitionsbereich festgestellt wird, und deren Abstand zum jeweils nächsten so ausgezeichneten als zu speichernde Information gesammelt.
- Erste Tests mit verschiedenen Maximallauflängen (8 Bit [$\hat{=}$ Faktor 255 maximale Kompression] und 16 bit [$\hat{=}$ Faktor 65535 maximale Kompression]) bei der Kostenfunktion für Rückkühlwerke zeigten, dass beste Realkompressionsfaktoren von ca. 12 mit einer 8-Bit-Kodierung zu erreichen waren.

Die Auswertung eines RLE-kodierten Definitionsbereichs hinsichtlich einer der aufspannenden Variablen ist stark von deren Position in der Hierarchiefolge aller Variablen abhängig. Während die Daten der letztpositionierten Variablen unmittelbar aufeinander folgen und so sehr schnell ausgelesen werden können, muss zur Rückgewinnung der Bereichsinformationen der erstpositionierten Variablen ein wesentlicher Teil des gesamten RLE-Datensatzes iterativ durchlaufen werden. Andererseits existiert bei den meisten Kostenfunktionen eine relativ starke Preferenzhierarchie in der Nachfrage. Bei günstiger Zuordnung von Nutzungspferenzen zu RLE-Hierarchie führt dies bei den üblichen Abfragen (z.B. Kosten in Abhängigkeit der Modulleistung) zu einer recht schnellen Ergebnisdarstellung, während unübliche Auswertungen/Auftragungen (z.B. Kosten über Lufttemperatur beim Rückkühlwerk) deutlich mehr Bearbeitungszeit erfordern.

Diese Eigenschaft ist mit dem heutigen Stand der üblichen Webserverausstattung hinzunehmen. Bei Verfügbarkeit entsprechend größer ausgestatteter Server, mit denen in Zukunft zu rechnen ist, kann dieses Defizit durch einfachen Wechsel auf unkomprimiert verwaltete Definitionsbereichsdaten behoben werden.

Literatur

- [GKS02] GEBHARDT, M., H. KOHL und T. STEINRÖTTER: *Abschlussbericht zum Entwicklungsvorhaben „Ableitung von Kostenfunktionen für Komponenten der rationellen Energienutzung“*. Technischer Bericht, Iuta e.V., Duisburg, 2002.