Bereich Prozessoptimierung
Bundesamt für Energie (BFE)

Einsatz der Pinch-Methode in der Haustechnik

Die Pinch-Methode hat sich für die energetisch und wirtschaftlich optimale Konzeption komplizierterer verfahrens- und energietechnischer Anlagen mit kontinuierlichem Betrieb durchgesetzt [1]. Wesentlich problematischer ist die energetisch optimale Gestaltung diskontinuierlicher Prozesse. Dazu gehören nicht nur die Batch-Prozesse der Feinchemie. Auch in der komplexeren Haustechnik laufen viele Vorgänge zeitlich verschoben ab. So ist etwa die Raumheizung als Folge des Wettergeschehens und des Benützerverhaltens kein stationärer, kontinuierlicher Vorgang. Auch der Bedarf an Kälte und Wärme von Apparaten und Maschinen in einem Gebäude kann zeitlich stark ändern.

Es wurde deshalb untersucht, ob und wie sich die Pinch-Methode trotzdem für die Konzeption komplexer haustechnischer Anlagen einsetzen lässt. Ein mögliches systematisches Vorgehen wurde am Fallbeispiel eines Forschungslabors erarbeitet und illustriert. Das aus der Pinch-Methode bekannte hierarchische Vorgehen (Zwiebelschalenmodell) legt nahe, zunächst die zu deckenden Wärme- und Kältestöme zu definieren. Dann ist ein optimales Wärmeübertragernetzwerk zu suchen. Anschliessend sind die nötigen Wärmespeicher und zuletzt die von aussen zu- und nach aussen abzuführenden Energien (wie Fernheizung, Kühlwasser und Kälte) auszulegen.

Bei der Integration von absatzweise arbeitenden verfahrenstechnischen Prozessen mit der Pinch-Methode behilft man sich durch die Behandlung einzelner Zeitabschnitte mit zeitlich näherungsweise konstanten Wärmeströmen und Temperaturen (time slices). In der Haustechnik erwies sich dieses Konzept nicht als zielführend, weil die Grössen, welche den Wärme- und Kältebedarf einzelner Komponenten beeinflussen (wie Aussentemperatur, Nutzung einzelner Apparate etc.), sich nicht in einer regelmässigen Art ändern. Ein Ausweg für komplexe haustechnische Anlagen wurde durch die Erfassung typischer Betriebszustände gefunden. Sie sind für alle Verbrauchergruppen festzulegen. Dies führt leider in der Haustechnik zu einem erheblichen Mehraufwand bei der Durchführung der Pinch-Analyse. Dieser Mehraufwand ist nur bei komplexeren Objektkategorien wie Verwaltungsbauten, Industriebauten und Spezialbauten (Kategorie 3 bis 5 nach SIA 381.1) gerechtfertigt. Im untersuchten Fallbeispiel wurde mit dem vorgeschlagenen Vorgehen ein optimales Konzept gefunden. Dabei wurde auch ein bei einer früheren konventionellen Auslegung nicht entdecktes zusätzliches Energiesparpotential aufgezeigt. Eine an die Pinch-Analyse anschliessende Simulation mit einem Gebäudesimulationsprogramm wie beispielsweise dem *DOE-2* ist allerdings für ein genaueres Optimieren kaum zu umgehen.

Das gemäss dem Bild 1 einzuschlagende Vorgehen ist in dem als Handbuch für den Anwender konzipierten Bericht ausführlich dargestellt und lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Entscheid, ob die Durchführung einer **Pinch-Analyse** überhaupt **sinnvoll** ist. Nebst der bereits erwähnten Kategorie des Objekts muss eine Mindestzahl wärme- oder kältetechnischer Komponenten und ein offensichtliches Wärmerückgewinnungspotential vorhanden sein. Das Handbuch enthält eine entsprechende

grafische Entscheidungshilfe.

2. Festlegen der **Prozessanforderungen** (Massenstrom, Anfangs- und Endtemperatur) für die einzelnen Verbrauchergruppen (z.B. Zuluft, Abluft, Umluft, Konvektoren, Warmwasser, Apparate und Maschinen). Dabei sind Wärme- und Kälteverbraucher möglichst in voneinander unabhängige Gruppen zusammenzufassen. Dies ist nicht immer unproblematisch, beeinflusst doch beispielsweise die Lüftung auch die Raumheizung. Falls die Isolation einzelner Verbrauchergruppen nicht gelingt, lässt sich keine Pinch-Analyse durchführen.

3. Unterscheiden von **typischen Betriebsfällen** für alle Verbrauchergruppen. In der Haustechnik sind die Prozessanforderungen an die Verbrauchergruppen im allgemeinen variabel (variierende Aussentemperatur, Benützungsgrad einzelner Apparate). Es treten aber tageszeitlich, wöchentlich und im Laufe des ganzen Jahres typische Betriebsfälle auf. Bei der Raumheizung ist beispielsweise zwischen den Jahreszeiten zu unterscheiden, bei Laboranlagen zwischen Arbeits- und Freitagen.

4. Durchführen der **Pinch-Analyse** gemäss [1, 2] für jeden typischen und für den Energiebedarf relevanten Betriebsfall. Diese führt für jeden analysierten Betriebsfall auf einen Schaltungsvorschlag. Die einzelnen Vorschläge können zumindest teilweise übereinstimmen.

5. Unter Berücksichtigung der energetischen Relevanz der einzelnen Betriebsfälle und betrieblicher Randbedingungen ist nun aus den verschiedenen Lösungsvorschlägen ein **geeignetes Wärmeübertragernetzwerk** zur internen Wärmerückgewinnung auszuwählen. Selbstverständlich ist bei der Festlegung des Wärmeübertragernetzwerks darauf zu achten, dass alle Beriebszustände problemlos gefahren werden können. Praktische Hinweise zur Netzwerkwahl findet man im Schlussbericht.

   Bei dieser vereinfachten Darstellung wurde nicht auf die Besonderheit der wählbaren Ablufttemperatur (keine Prozessanforderung) eingegangen. Die damit verbundenen Iterationen sind im Bild 1 angedeutet und werden im Schlussbericht anhand eines Fallbeispiels ausführlich behandelt.

6. Für die aus den Pinch-Analysen der typischen Betriebsfälle gefundenen Konfigurationen ist nun eine detaillierte Auslegung und wirtschaftliche Optimierung mit einem geeigneten **Simulationsprogramm** (z.B. DOE-2) sinnvoll.

7. Anschliessend werden allenfalls benötigte **Wärmezwischenspeicher** ausgelegt.

8. Schliesslich werden Betrag und optimales Temperaturniveau der **von aussen zu- oder nach aussen abzuführenden Energien** mit Hilfe der aus der Methodik der Pinch-Analyse bekannten Gesamtverbundkurven festgelegt (Näheres in [2]). Dabei sind insbesondere die extremen Betriebszustände (z.B. Sommer- und Winterbetrieb) abzudecken.

M.Zogg

Bild 1: Veranschaulichung des Vorgehens für die Analyse komplexer Haustechnikobjekte mit der Pinch-Methode (Bild aus Schlussbericht).

[1] Zogg,M.: Einführung in die Prozessintegration, Schweizer Ingenieur und Architekt, 115(97)38, 4/9, ENET-Nr.6100005/10.

[2] Morand,R., Bendel,R., Brunner,R.O., Pfenninger, Hp.: Einführung in die Prozessintegration mit der Pinch-Methode (Handbuch zum BFE-Kurs "Energieplanung in Industrie und Haustechnik"), Bundesamt für Energie 1998, ENET-Artikel 30914.

Weitere Informationen: Dr.M.Zogg, Programmleiter UAW, 034 422 69 11

Der ausführliche Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt

Hofstetter, Urs: Einsatz der Pinch-Methode in der Haustechnik, Vorgehen mit Fallbeispiel, Bundesamt für Energie, 1999.

kann unter der ENET-Nummer 9825230 bezogen werden bei

ENET, Administration und Versand, Postfach 130, 3000 Bern 16
031-350-00-05 n+1@email.ch Fax 031-352-77-56.

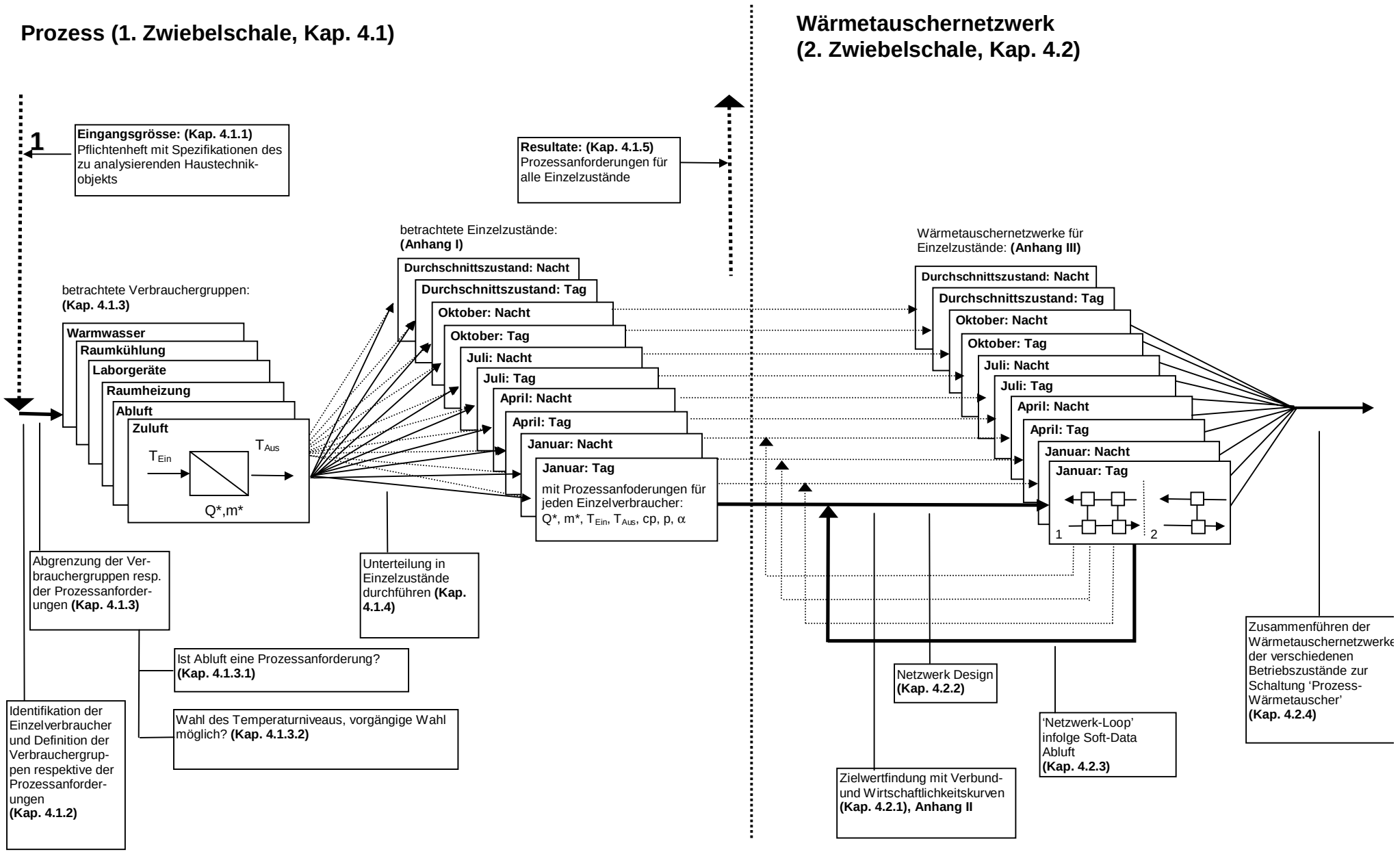
Kürzestfassung für Energiepolitik

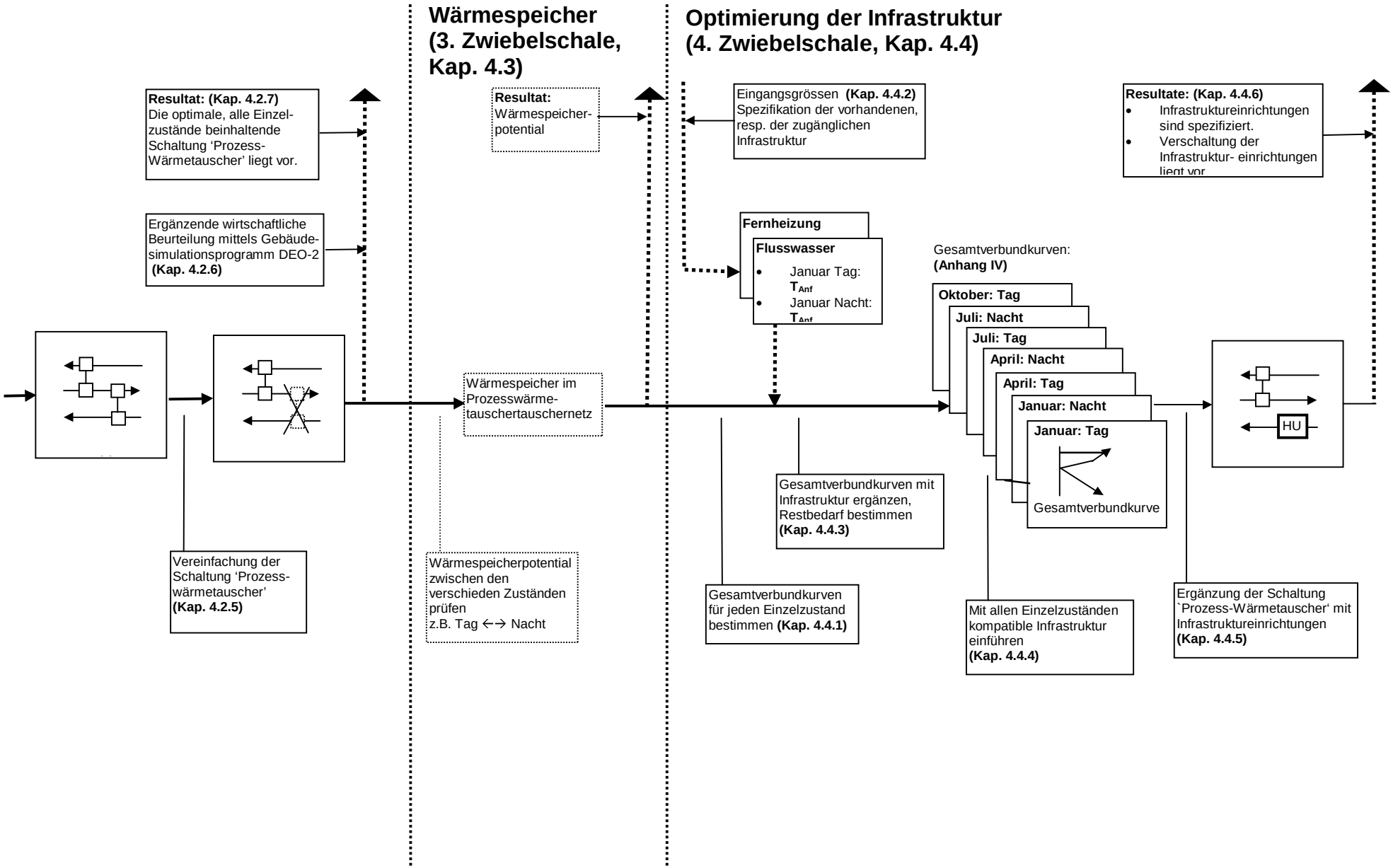
Im Rahmen des Forschungsprogramms "Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung" des Bundesamts für Energie wurde das Projekt

Einsatz der Pinch-Methode in der Haustechnik

abgeschlossen. Die systematische Konzipierung thermischer Anlagen der komplexeren Haustechnik mit der in der Prozesstechnik bewährten Pinch-Methode wurde am Fallbeispiels eines Laborbaus entwickelt und erprobt. Sie hat sich über die Erfassung typischer Betriebszustände als durchführbar – aber auch als recht aufwendig erwiesen. Die Schwierigkeit rührt vom zeitlich verschobenen Ablauf und der schlechten Vorhersagbarkeit (z.B. Wettergeschehen, Apparatebenützung) vieler Vorgänge her.

Der Schlussbericht zu diesem Projekt kann
unter der ENET-Nummer 9825230 bezogen werden bei
ENET, Administration und Versand, Thunstrasse 9, Postfach 142, 3000 Bern 6
031-352-19-00 n+1@email.ch Fax 031-352-77-56


Prozess (1. Zwiebelschale, Kap. 4.1)
Wärmetauschernetzwerk
(2. Zwiebelschale, Kap. 4.2)
1
Eingangsgrösse: (Kap. 4.1.1)
Pflichtenheft mit Spezifikationen des zu analysierenden Haustechnik-objekts
Resultate: (Kap. 4.1.5)
Prozessanforderungen für alle Einzelzustände
betrachtete Einzelzustände:
(Anhang I)
Wärmetauschernetzwerke für Einzelzustände: (Anhang III)
betrachtete Verbrauchergruppen:
(Kap. 4.1.3)
Warmwasser
Raumkühlung
Laborgeräte
Raumheizung
Abluft
Zuluft
T Ein
T Aus
Q*,m*
Durchschnittszustand: Nacht
Durchschnittszustand: Tag
Oktober: Nacht
Oktober: Tag
Juli: Nacht
Juli: Tag
April: Nacht
April: Tag
Januar: Nacht
Januar: Tag
mit Prozessanfoderungen für jeden Einzelverbraucher:
Q*, m*, T Ein, T Aus, cp, p, α
1
2
Abgrenzung der Ver-brauchergruppen resp. der Prozessanforder-ungen (Kap. 4.1.3)
Unterteilung in Einzelzustände durchführen (Kap. 4.1.4)
Ist Abluft eine Prozessanforderung? (Kap. 4.1.3.1)
Wahl des Temperaturniveaus, vorgängige Wahl möglich? (Kap. 4.1.3.2)
Identifikation der Einzelverbraucher und Definition der Verbrauchergrup-pen respektive der Prozessanforder-ungen (Kap. 4.1.2)
Netzwerk Design (Kap. 4.2.2)
'Netzwerk-Loop' infolge Soft-Data Abluft (Kap. 4.2.3)
Zielwertfindung mit Verbund- und Wirtschaftlichkeitskurven (Kap. 4.2.1), Anhang II
Zusammenführen der Wärmetauschernetzwerke der verschiedenen Betriebszustände zur Schaltung 'Prozess-Wärmetauscher' (Kap. 4.2.4)


Wärmespeicher (3. Zwiebelschale, Kap. 4.3)
Optimierung der Infrastruktur (4. Zwiebelschale, Kap. 4.4)
Resultat: (Kap. 4.2.7) Die optimale, alle Einzelzustände beinhaltende Schaltung 'Prozess-Wärmetauscher' liegt vor.
Resultat: Wärmespeicher-potential
Eingangsgrössen (Kap. 4.4.2) Spezifikation der vorhandenen, resp. der zugänglichen Infrastruktur
Resultate: (Kap. 4.4.6)
Infrastruktureinrichtungen sind spezifiziert.
Verschaltung der Infrastruktur- einrichtungen liegt vor
Ergänzende wirtschaftliche Beurteilung mittels Gebäude-simulationsprogramm DEO-2 (Kap. 4.2.6)
Fernheizung
Flusswasser
Januar Tag: T_{Anf}
Januar Nacht: T_{Anf}
Gesamtverbundkurven: (Anhang IV)
Oktober: Tag
Juli: Nacht
Juli: Tag
April: Nacht
April: Tag
Januar: Nacht
Januar: Tag
Gesamtverbundkurve
HU
Wärmespeicher im Prozesswärme-tauschertauschernetz
Vereinfachung der Schaltung 'Prozess-wärmetauscher' (Kap. 4.2.5)
Wärmespeicherpotential zwischen den verschieden Zuständen prüfen z.B. Tag ←→ Nacht
Gesamtverbundkurven mit Infrastruktur ergänzen, Restbedarf bestimmen (Kap. 4.4.3)
Gesamtverbundkurven für jeden Einzelzustand bestimmen (Kap. 4.4.1)
Mit allen Einzelzuständen kompatible Infrastruktur einführen (Kap. 4.4.4)
Ergänzung der Schaltung `Prozess-Wärmetauscher' mit Infrastruktureinrichtungen (Kap. 4.4.5)