VORABZUG
SWISSBAU 95

Best.-Nr. 724.359d
(im Druck)

Standardschaltungen

Praxiserprobte Schaltungen für Wärmepumpen, Wärmekraftkopplung, Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

RAVEL im Wärmesektor
Heft 5

RAVEL

Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

«RAVEL im Wärmesektor» in 6 Heften

Best.-Nr. 724.357.0 d

Gesamtleitung: Hans Rudolf Gabathuler

Energieeffiziente Techniken werden in nächster Zukunft stark an Bedeutung gewinnen. Über dieses Thema ist heute erst wenig in Lehrbüchern zu finden. In vier RAVEL-Kursen – «Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung», «Wärmepumpen», «Wärmekraftkopplung» sowie «Qualitätssicherung» – können sich deshalb Planerinnen und Planer auf diesem zukunftsträchtigen Gebiet weiterbilden. Die dazu erscheinende Publikationsreihe «RAVEL im Wärmesektor» besteht aus sechs Heften. Diese können bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern, bezogen werden.

Heft 1: Elektrizität und Wärme – Grundlagen und Zusammenhänge (Best.-Nr. 724.357d)

Heft 2: Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung (Best.-Nr. 724.355d)

Heft 3: Wärmepumpen (Best.-Nr. 724.356d)

Heft 4: Wärmekraftkopplung (Best.-Nr. 724.358d)

Heft 5: Standardschaltungen (Best.-Nr. 724.359d)

Heft 6: Qualitätssicherung (Best.-Nr. 724.353d, erscheint Ende 1995)

Bereits erschienene Hefte 1 bis 5 im Multipack:

Wichtige Merkpunkte

Hinweise innerhalb der Reihe «RAVEL im Wärmesektor» (siehe oben)

Weiterführende Literatur

Softwarehinweise

Beispiele

η

Benennungen, Formelzeichen, Abkürzungen und Symbole auf Seite 60/61

INDEX Index auf Seite 62

Autoren

Hans Rudolf Gabathuler, Gabathuler AG,
Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

Christoph Gmür, Amt für technische Anlagen und
Lufthygiene (ATAL), Stampfenbachstrasse 12,
8090 Zürich

Erich Häuselmann, Gruenberg & Partner AG,
Nordstrasse 31, 8035 Zürich

Hans Mayer, Gabathuler AG,
Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

Erich Schadegg, Gruenberg & Partner AG,
Nordstrasse 31, 8035 Zürich

Redaktion und Gestaltung

Hans Rudolf Gabathuler, Gabathuler AG,
Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

Grafik

Monika Ehrat, 8240 Thayngen

Druckkoordination

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Trägerorganisationen

INFEL Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung, Lagerstrasse 1, 8021 Zürich (Kurs «Wärmepumpen»)
SBHI Schweizerische Beratende Haustechnik- und Energie-Ingenieure, Schermenwaldstrasse 10, 3063 Ittigen (Kurs «Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung»)
SSIV Schweizerischer Spenglermeister- und Installateur-Verband, Auf der Mauer 11, 8023 Zürich (Kurs «Wärmepumpen»)
WKK Schweizerischer Fachverband für Wärmekraftkopplung, Bodenackerstrasse 19, 4410 Liestal (Kurs «Wärmekraftkopplung»)

Copyright © Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, Dezember 1994. Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern. (Best.-Nr. 724.359d)
Form. 724.359d 04.95 2000 U22600

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf 6 Jahre befristet (1990-1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:
– BAU – Erhaltung und Erneuerung
– RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
– PACER – Erneuerbare Energien
Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringeren Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.
Im Zentrum der Aktivität von RAVEL steht die Verbesserung der fachlichen Kompetenz, Strom rationell zu verwenden. Neben den bisher im Vordergrund stehenden Produktions- und Sicherheitsaspekten soll verstärkt die wirkungsgradorientierte Sicht treten. Aufgrund einer Verbrauchsmatrix hat RAVEL die zu behandelnden Themen breit abgesteckt. Neben den Stromanwendungen in Gebäuden kommen auch Prozesse in der Industrie, im Gewerbe und im Dienstleistungsbereich zum Zuge. Entsprechend vielfältig sind die angesprochenen Zielgruppen: Sie umfassen Fachleute auf allen Ausbildungsstufen wie auch Entscheidungsträger, die über stromrelevante Abläufe und Investitionen zu befinden haben.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos
Umgesetzt werden sollen die Ziele von RAVEL durch Untersuchungsprojekte zur Verbreiterung der Wissensbasis und – darauf aufbauend – Aus- und Weiterbildung sowie Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Es ist vorgesehen, jährlich eine RAVEL-Tagung durchzuführen, an der jeweils – zu einem Leitthema – umfassend über neue Ergebnisse, Entwicklungen und Tendenzen in der jungen faszinierenden Disziplin der rationellen Verwendung von Elektrizität informiert und diskutiert wird. Interessenten können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint drei- bis viermal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem Kurs- oder Veranstaltungsteilnehmer wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen bei der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten
Um das ambitiöse Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch Spezialisten auch die Beachtung der Schnittstellen im Bereich der Stromanwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten, die den rationellen Einsatz der Elektrizität anstreben, sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Roland Walthert, Werner Böhi, Dr. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans Rudolf Gabathuler, Ruedi Messmer, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dr. Daniel Spreng, Felix Walter, Dr. Charles Weinmann, Georg Züblin sowie Eric Mosimann, BfK) verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Ressorts durch Projektgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben (Untersuchungs- und Umsetzungsprojekte) zu lösen haben.

Dokumentation
Nach einer Vernehmlassung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei der praktischen Anwendung ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen und der Redaktor (siehe Seite 2) entgegen. Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Dezember 1994 Bundesamt für Konjunkturfragen
Dr. B. Hotz-Hart
Vizedirektor für Technologie

Inhaltsverzeichnis

Warum Standardschaltungen? ... 5

Stichworte ... 6
Grundschaltungen ... 6
Hydraulische Auslegung ... 8
Instrumentierung ... 9
Regelgeschwindigkeit ... 10
Schaltkriterien ... 11
Speicher ... 12
Statische Mischer ... 14
Wassererwärmung mit Wärmepumpe ... 16

Bemerkungen zu den Standardschaltungen ... 18

Übersicht Standardschaltungen ... 19

Gesamt-Standardschaltungen für kleine Wärmepumpenanlagen ... 20
WP-01 Monovalente Erdsonden-Wärmepumpe ohne Speicher ... 20
WP-02 Bivalente Aussenluft-Kleinwärmepumpe im Heizungsrücklauf ... 22
WP-03 Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher ... 24
WP-04 Monoenergetische Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher ... 26
WP-05 Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Stückholzfeuerung ... 28

Standardschaltungsmodule zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen ... 30
WP-06 Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung ... 30
WP-07 Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung ... 32
WP-08 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung ... 34
WP-09 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung ... 36
WP-10 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung, Kessel über Speicher ... 38

Standardschaltungsmodule zur Wärmeerzeugung mit Wärmekraftkopplung ... 40
WKK-01 BHKW und Kessel in Parallelschaltung ... 40
WKK-02 BHKW und Kessel in Teilparallelschaltung ... 42
WKK-03 BHKW und Kessel in Serieschaltung ... 44

Gesamt-Standardschaltungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung ... 46
WRG--01 Einfache Nutzung, 1 Quelle, 1 Senke ... 46
A Ungeregelter Kreislaufverbund ohne Speicher ... 46
B Geregelter Kreislaufverbund ohne Speicher ... 46
C Geregelter Kreislaufverbund mit Speicher ... 46

Standardschaltungsmodule zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung ... 48
WRG-02 Kältemaschine und Kessel in Serieschaltung ... 48
WRG-03 Kältemaschine und Kessel in Teilparallelschaltung ... 50

Standardschaltungsmodule zur Wassererwärmung für alle Anwendungen ... 52
WW-01 Wassererwärmer mit internem Wärmetauscher ... 52
WW-02 Wassererwärmer mit externem Wärmetauscher ... 54

Standardschaltungsmodule zur Wärmenutzung für alle Anwendungen ... 56
WN-01 Heizgruppe(n) in Beimischschaltung ... 56
WN-02 Heizgruppen in Einspritzschaltung mit Durchgangsventilen ... 58

Benennungen, Formelzeichen, Abkürzungen und Symbole ... 60

Index ... 62

Warum Standardschaltungen?

Ein wichtiges Werkzeug zur effizienten Qualitätssicherung

Praktisch jede Wärmepumpen-, Wärmekraftkopplungs-, Wärmerückgewinnungs- oder Abwärmenutzungsanlage ist ein Unikat (Bild 1). Zwangsläufig ist dadurch die Fehlerhäufigkeit hoch. Der Qualitätssicherung muss deshalb viel mehr Beachtung geschenkt werden als dies heute üblich ist. Typenprüfung und firmenbezogene Qualitätssicherung (ISO 9000) sind wichtige Schritte in die richtige Richtung. Was es aber vor allem braucht, ist eine projektbezogene Qualitätssicherung!

☞ Heft 1, Kapitel 6 «Qualitätssicherung im Planungsablauf»

☞ Heft 6 «Qualitätssicherung», welches allein diesem Thema gewidmet sein wird, erscheint Ende 1995

Wesentliche Forderungen der projektbezogenen Qualitätssicherung sind:
- Standardisierung auf möglichst wenige, einfache und bewährte Schaltungen
- Notwendige Instrumentierung für die Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle

Der vorliegende Katalog praxiserprobter Standardschaltungen versucht diesen Forderungen gerecht zu werden. Die Autoren hoffen damit, allen an der Realisierung einer Anlage Beteiligten ein wichtiges Werkzeug für eine effiziente projektbezogene Qualitätssicherung in die Hand geben zu können.

Aufbau des Kataloges

Für einfachere Anwendungsfälle enthält der Katalog Gesamt-Standardschaltungen. Komplexere Schaltungen werden aus Standardschaltungsmodulen – Wärmeerzeugung, Wassererwärmung und Wärmenutzung – zusammengesetzt.
Einige Probleme, die bei den verschiedenen Schaltungen immer wieder vorkommen, werden zu Beginn als Stichworte auf je 1...2 Seiten gemeinsam behandelt. In den einzelnen Schaltungen wird jeweils auf diese alphabetisch geordneten Stichworte verwiesen.

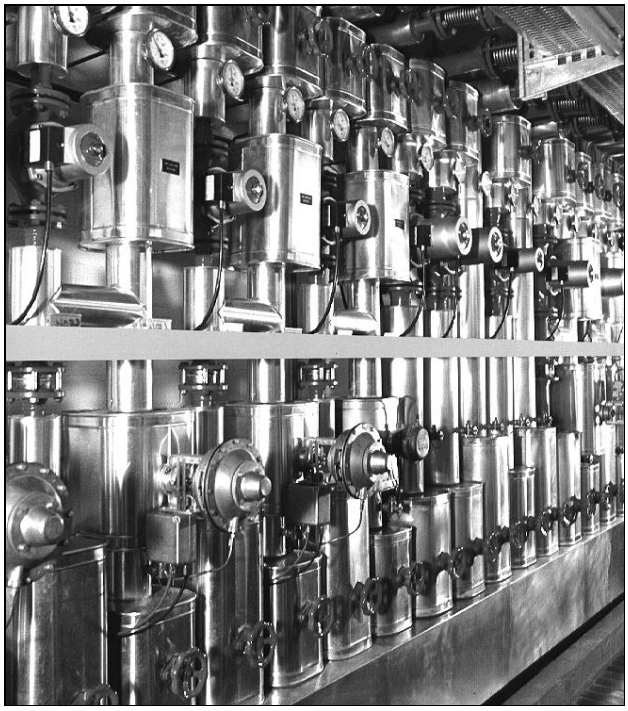


Bild 1: Jede Anlage ein Unikat – keine einfache Aufgabe für eine effiziente Qualitätssicherung!

Dank

Die Autoren danken den folgenden Herren und den durch sie vertretenen Verbänden für ihre wertvolle Mitarbeit.

■ Arbeitsgruppenmitglieder:

Ch. Erb, Dr. Eicher + Pauli AG, Zürich	WKK-Fachverband
H. Hocke, Kobra Klima AG, Urdorf	SWKI
W. Neeracher, J. Bosshard AG, Zürich	VSHL
P. Remensberger, Dübendorf	
G. Servat, Landis & Gyr AG, Zug	
G. Szokody, Hoval-Herzog AG, Feldmeilen	AWP

■ Schaltung WP-05 «Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Stückholzfeuerung»:

Th. Afjei, INFEL/KRE, Zürich	INFEL
Projektgruppe WP/Holz	KRE

■ Beiträge über statische Mischer und WRG/AWN:

R. Brunner, Dr. Brunner & Partner AG, Neuenhof

Abkürzungen: WKK Wärmekraftkopplung – SWKI Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren – VSHL Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen – AWP Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen – INFEL Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung – KRE Kommission für rationelle Elektrizitätsanwendung

Kasten 2

Stichwort GRUNDSCHALTUNGEN

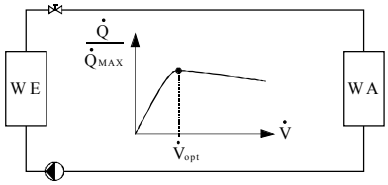
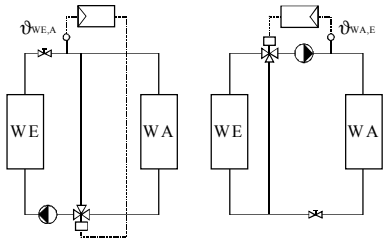
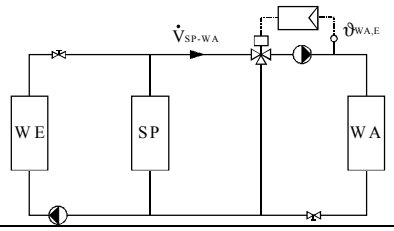
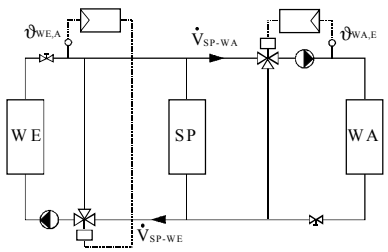
Grundschaltung	Übliche Auslegung	Teillastverhalten
A. Ungeregelter Verbund ohne Speicher 	Es gilt zwangsläufig: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = \dot{V}_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = \Delta\vartheta_{WA}$ WRG/AWN: Auslegung auf möglichst grosse Energieübertragung (optimale Nutzung der Wärmequelle). Dies muss nicht unbedingt bei maximaler Quellenleistung sein! Abgleich auf optimalen Zwischenkreis-Durchfluss $\dot{V}_{opt}$. Raumheizung: Auslegung auf Vollast (möglichst bedarfsgerechte Energieübertragung).	WRG/AWN: Raumheizung: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{Q}_{WE} > \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = \dot{V}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = \dot{V}_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = \Delta\vartheta_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = \Delta\vartheta_{WA}$ WRG/AWN: Übertragung nur in einem Punkt optimal (Leistungsübertragung nicht optimal bei zu kleinem Durchfluss, Temperaturübertragung nicht optimal bei zu grossem Durchfluss). Raumheizung: Ein-Aus-Regelung zur Anpassung der Wärmeerzeugerleistung an die Wärmeabgabe.
B. Geregelter Verbund ohne Speicher Umlenkschaltung Beimischschaltung 	Mit Regelventil auf «Durchgang» gilt: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = \dot{V}_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = \Delta\vartheta_{WA}$ WRG/AWN: Umlenkschaltung mit Auslegung auf möglichst grosse Energieübertragung (optimale Nutzung der Wärmequelle). Dies muss nicht unbedingt bei maximaler Quellenleistung sein! Raumheizung: Beimischschaltung mit Auslegung auf Vollast (möglichst bedarfsgerechte Energieübertragung).	WRG/AWN: Raumheizung: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{Q}_{WE} > \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} > \dot{V}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} < \dot{V}_{WA}$ $\vartheta_{WE,A}$ = konst. $\vartheta_{WA,E}$ = konst. WRG/AWN: Regelung mittels Umlenkschaltung auf eine genügend hohe Vorlauftemperatur. Raumheizung: Regelung mittels Beimischschaltung auf die notwendige Vorlauftemperatur. Ein-Aus-Betrieb zur Anpassung der Wärmeerzeugerleistung an die Wärmeabgabe.
C. Geregelter Verbund mit Speicher und Stufenladung 	Auslegung auf Vollast: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = 1{,}4...2{,}0 \cdot \dot{V}_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = 0{,}5...0{,}7 \cdot \Delta\vartheta_{WA}$ Stufenladung des Speichers im Auslegefall in 1...2 Durchgängen. Der Speicher kann nicht auf eine exakte Endtemperatur geladen werden – diese schwankt um $\Delta\vartheta_{WE}$. Preisgünstige Lösung für kleinere Anlagen (keine Laderegelung).	Bei Teillast gilt: $\dot{Q}_{WE} > \dot{Q}_{WA}$ (Überschuss in Speicher) $\dot{V}_{WE} > \dot{V}_{SP\text{-}WA}$ $\vartheta_{WA,E}$ = konst. Stufenladung des Speichers in mehreren Durchgängen. Die Bedingung $\dot{V}_{WE} \geq \dot{V}_{SP\text{-}WA}$ muss in jedem Betriebsfall eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den leeren Speicher eintreten kann.
D. Geregelter Verbund mit Speicher und Schichtladung 	Auslegung auf Vollast: $\dot{Q}_{WE} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{WE} = \dot{V}_{WA}$ $\Delta\vartheta_{WE} = \Delta\vartheta_{WA}$ Schichtladung des Speichers im Auslegefall in einem Durchgang. Der Speicher kann auf eine exakte Endtemperatur geladen werden. Übliche Lösung für mittlere und grössere Anlagen, insbesondere bei mehreren Heizgruppen.	Bei Teillast gilt: $\dot{Q}_{WE} > \dot{Q}_{WA}$ (Überschuss in Speicher) $\dot{V}_{SP\text{-}WE} > \dot{V}_{SP\text{-}WA}$ $\vartheta_{WE,A}$ = konst. $\vartheta_{WA,E}$ = konst. Schichtladung des Speichers mit konstanter Temperatur in einem Durchgang.

Tabelle 3: Übersicht der monovalenten Grundschaltungen , die bei den Standardschaltungen verwendet werden

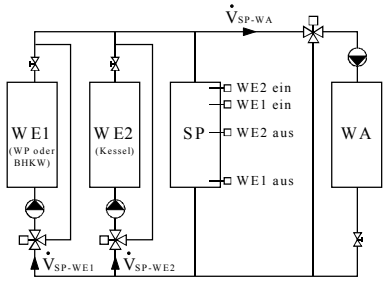
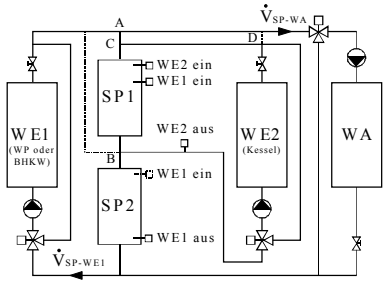
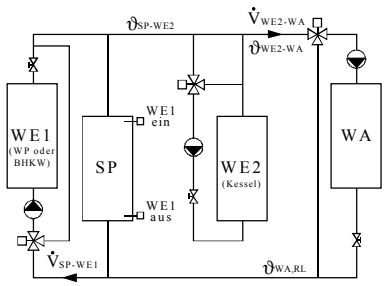
Grundschaltung	Übliche Auslegung	Teillastverhalten
E. Parallelschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher 	Bei Vollast gilt: $\dot{Q}_{WE1} + \dot{Q}_{WE2} \geq \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{SP-WE1} + \dot{V}_{SP-WE2} \geq \dot{V}_{SP-WA}$ Im Bivalenzpunkt gilt exakt: $\dot{Q}_{WE1} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{SP-WE1} = \dot{V}_{SP-WA}$ Bivalent-alternativer Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 auf Vollast. Bivalent-paralleler Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 mindestens auf den Rest; aus Sicherheitsgründen wird WE2 jedoch meist auf Vollast ausgelegt.	Über dem Bivalenzpunkt: Der obere Speicherbereich gewährleistet eine Minimallaufzeit von WE2. Nachteilig ist der dadurch resultierende Laufzeitverlust von WE1 nahe des Bivalenzpunktes. Unter dem Bivalenzpunkt: WE2 ist gesperrt und WE1 arbeitet allein auf den Speicher. Schichtladung des Speichers mit konstanter Temperatur in einem Durchgang. Temperaturen WE1 und WE2: $\vartheta_{VL,MAX} = \vartheta_{WE1,A} = \vartheta_{WE2,A}$ Falls $\vartheta_{WE1,A} < \vartheta_{WE2,A}$ (z.B. Wärmepumpe und Kessel): Grundschaltung F oder G verwenden.
F. Teilparallelschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher  Hinweis: Anstelle von zwei Speichern ist auch ein einziger Speicher mit seitlichem Achluss möglich.	Bei Vollast gilt: $\dot{Q}_{WE1} + \dot{Q}_{WE2} \geq \dot{Q}_{WA}$ Im Bivalenzpunkt gilt exakt: $\dot{Q}_{WE1} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{SP-WE1} = \dot{V}_{SP-WA}$ Bivalent-alternativer Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 auf Vollast. Bivalent-paralleler Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 mindestens auf den Rest; aus Sicherheitsgründen wird WE2 jedoch meist auf Vollast ausgelegt.	Über dem Bivalenzpunkt: SP1 gewährleistet eine Minimallaufzeit von WE2. Als Vorteil gegenüber der Parallelschaltung ist der Speicherbereich für WE2 hydraulisch klar definiert. Nachteilig ist der dadurch resultierende Laufzeitverlust von WE1 nahe des Bivalenzpunktes. Unter dem Bivalenzpunkt: WE2 ist gesperrt und WE1 arbeitet allein auf den Speicher. Schichtladung des Speichers mit konstanter Temperatur in einem Durchgang. Temperaturen WE1 und WE2: Anschluss A+C: $\vartheta_{VL,MAX} \leq \vartheta_{WE1,A} \leq \vartheta_{WE2,A}$ Anschluss A+D: $\vartheta_{VL,MAX} = \vartheta_{WE1,A} = \vartheta_{WE2,A}$ Anschluss B+D: $\vartheta_{VL,MAX} > \vartheta_{WE1,A} < \vartheta_{WE2,A}$
G. Serieschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher  Hinweis: Auch Stufenladung des Speichers möglich (vgl. Schaltung C).	Bei Vollast gilt: $\dot{Q}_{WE1} + \dot{Q}_{WE2} \geq \dot{Q}_{WA}$ Im Bivalenzpunkt gilt exakt: $\dot{Q}_{WE1} = \dot{Q}_{WA}$ $\dot{V}_{SP-WE1} = \dot{V}_{WE2-WA}$ Bivalent-alternativer Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 auf Vollast. Bivalent-paralleler Betrieb: Auslegung WE1 auf Teillast im Bivalenzpunkt und WE2 mindestens auf den Rest; aus Sicherheitsgründen wird WE2 jedoch meist auf Vollast ausgelegt.	Über dem Bivalenzpunkt: Mit WE2 kann die Hauptvorlauftemperatur ϑ_{WE2-WA} über ϑ_{SP-WE2} angehoben werden, solange $\vartheta_{WA,RL}$ genügent tief zurückkommt. Da WE2 nicht auf den Speicher arbeitet, resultieren keine Laufzeitverluste für WE1. Nahe des Bivalenzpunktes ergeben sich aber kurze Laufzeiten für WE2 (speziell bei Auslegung von WE2 auf Vollast beachten!). Unter dem Bivalenzpunkt: WE2 ist gesperrt und WE1 arbeitet allein auf den Speicher. Schichtladung des Speichers mit konstanter Temperatur in einem Durchgang. Temperaturen WE1 und WE2: $\vartheta_{VL,MAX} \geq \vartheta_{WE1,A} \leq \vartheta_{WE2,A}$

Tabelle 4: Übersicht der bivalenten Grundschaltungen , die bei den Standardschaltungen verwe ndet werden

Stichwort HYDRAULISCHE AUSLEGUNG

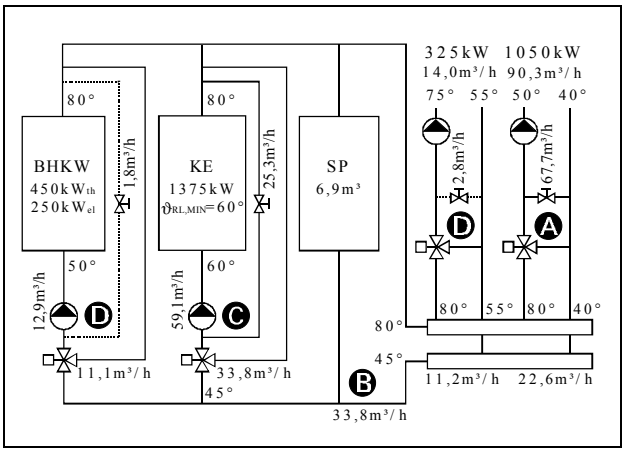


Bild 5: Auslegungsbeispiel aus Heft 4 «Wärme kraftkopplung» (Kasten 81). Bei den eingezeichneten Punkten A...D ergeben sich oft Unsicherheiten bei der hydraulischen Auslegung (siehe Textspalte).

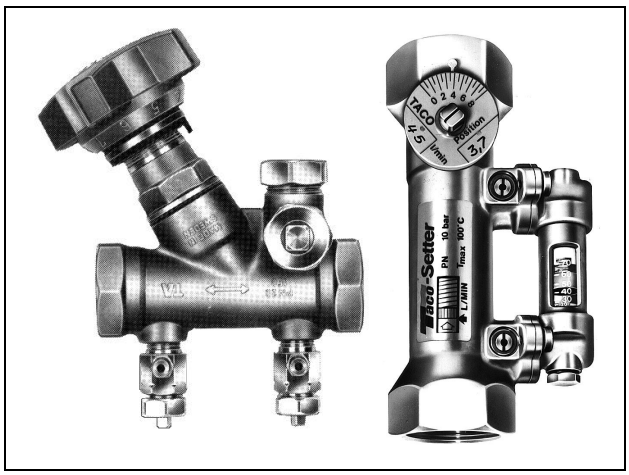


Bild 6: Strangregulierventil mit Druckdifferenz-Messstutzen zur messtechnischen Bestimmung des Durchflusses (Foto: Tour & Anderson, H. Huber & Co. AG, Basel); Schwebekörper-Durchflussmesser (Foto: Taco Armaturen AG, Zürich)

In Schaltungen, bei denen sehr unterschiedliche Temperatursysteme zusammengeschaltet werden, bestehen bei der hydraulischen Auslegung oft Unsicherheiten. Am Beispiel von Bild 5 können einige typische Problempunkte aufgezeigt werden:

A) Der Pumpen-Förderstrom der rechten Heizgruppe beträgt:

$$0{,}86\,\frac{1050\ \text{kW}}{(50-40)\ \text{K}} = 90{,}3\ \text{m}^3/\text{h}$$

Das Regelventil muss dagegen bloss auf ein Viertel dieses Durchflusses ausgelegt werden, weil hier die Temperaturdifferenz nicht 10 K sondern 40 K beträgt:

$$0{,}86\,\frac{1050\ \text{kW}}{(80-40)\ \text{K}} = 22{,}6\ \text{m}^3/\text{h}$$

Die Differenz der beiden Durchflüsse von 67,7 m³/h muss über eine Bypass-Drossel ausgeglichen werden.

B) Die Hauptrücklauftemperatur wird oft nur geschätzt, obwohl eine Berechnung über die Ventildurchflüsse trivial ist:

$$80°\text{C} - 0{,}86\,\frac{(325+1050)\ \text{kW}}{(11{,}2+22{,}6)\ \text{m}^3/\text{h}} = 45°\text{C}$$

C) Der Kesselhersteller verlangt hier eine minimale Rücklauftemperatur von 60°C. Dies ergibt einen Förderstrom der Kesselpumpe von

$$0{,}86\,\frac{1375\ \text{kW}}{(80-60)\ \text{K}} = 59{,}1\ \text{m}^3/\text{h}$$

Der Ventildurchfluss dagegen ist kleiner, nämlich:

$$0{,}86\,\frac{1375\ \text{kW}}{(80-45)\ \text{K}} = 33{,}8\ \text{m}^3/\text{h}$$

Die Differenz der beiden Durchflüsse von 25,3 m³/h muss wiederum über eine Bypassdrossel ausgeglichen werden.

D) Bei der linken Heizgruppe und beim BHKW ergeben sich nur kleine «Temperatursprünge» von 5K. Hier wird deshalb oft auf eine Bypassdrossel verzichtet (gestrichelt eingezeichnet).

↘ Zum hydraulischen Abgleich sollten nur Drosselorgane eingesetzt werden, die eine messtechnische Bestimmung des Durchflusses erlauben. Beispielsweise

Strangregulierventile mit Druckdifferenz-Messstutzen
oder Schwebekörper-Durchflussmesser (siehe Bild 6).

Stichwort INSTRUMENTIERUNG

Hinweise zur Instrumentierung

■ Wärmezähler-Hersteller geben für ihre Durchflussmesser einen sogenannten «Nenndurchfluss» an. Dieser Name ist irreführend: Der dazugehörige Druckabfall liegt üblicherweise bei 15...25 kPa! In der Regel kann deshalb höchstens auf 50% dieses «Nenndurchflusses» ausgelegt werden.

■ Elektrozähler sind entsprechend der Bilanzgrenze der zu überprüfenden Kennzahl(en) anzuschliessen. Weniger ins Gewicht fallende Verbraucher können auch rechnerisch berücksichtigt werden.

■ Alle Energiezähler sollten mit Impulsausgängen zur automatischen Aufzeichnung der Energieflüsse ausgerüstet sein (bedeutungsloser Mehrpreis). Bei Wärmezählern sollte zudem noch ein Ausgang für die Durchflussmenge vorhanden sein. Eine äusserst wichtige Forderung bei diesen Ausgängen ist eine der Messstelle angepasste Auflösung (genügend Impulse pro Energie- bzw. Volumeneinheit). Dies bedeutet, dass bei maximaler Leistung bzw. maximalem Durchfluss Impulsfrequenzen im Bereich von 0,1...1 Hz erreicht werden sollten.

■ Zusätzliche im Schaltschrank auf Klemmen herausgeführte potentialfreie Kontakte vereinfachen die Erfassung der Betriebszustände wichtiger Schaltschützen und Melderelais.

■ Die Aussentemperatur sollte mit möglichst geringem Aufwand erfasst werden können. Am einfachsten ist es, wenn diese im Schaltschrank ab Klemmen als Normsignal vorliegt (z. B. 0...10 V).

■ Tauchhülsen sind bei allen wichtigen Temperaturmessstellen einzubauen. Eine lichte Weite von 7 mm ist für praktisch alle Kabeltemperaturfühler geeignet. Bei jedem Speicher sollten mindestens drei Messstellen (oben, Mitte, unten) vorhanden sein. Hohe Schichtspeicher erfordern oft mehr als drei Messstellen. Teilweise können dafür geeignete Tauchhülsen auch doppelt genutzt werden: normalerweise mit Tauchthermometer und während einer automatischen Datenaufzeichnung mit Kabeltemperaturfühler.

↘ Eine angemessene Instrumentierung und sorgfältig vorbereitete Messstellen (für eine allfällige automatische Datenaufzeichnung) sind nur mit geringen Mehrkosten verbunden, wenn sie von allem Anfang an in der Planung berücksichtigt werden. Allenfalls ins Gewicht fallen Brennstoff-, Elektro- und Wärmezähler bei kleineren Anlagen. Hier sollte man sich unbedingt vor billigen Konkurrenzangeboten durch separat ausgewiesene Preise schützen.

Kasten 7

Es wurde bereits einleitend gesagt: Die Qualitätssicherung verlangt zwingend eine minimale Instrumentierung (Hinweise dazu in Kasten 7). Diese Instrumentierung wird in den folgenden fünf Phasen gebraucht:

– Einregulierung und Inbetriebsetzung
– Abnahme der Anlage (Übergabe an den Bauherrn)
– Betriebsoptimierung
– Erfolgskontrolle
– Betriebsüberwachung (laufende Kontrolle von Energieverbrauch und Energieproduktion)

Die Verhältnissmässigkeit von Messaufwand zur Anlagengrösse ist bei der Festlegung des Messkonzeptes zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage: Wann genügt eine manuelle Aufzeichnung und wann ist eine ergänzende automatische Aufzeichnung nötig?

– Eine manuelle Aufzeichnung genügt in der Regel bei einfacheren Anlagen in Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern (wenige Gruppen, kurze Verbindungsleitungen).
– Eine zusätzliche automatische Aufzeichnung ist bei komplexeren Anlagen sinnvoll, speziell bei bivalenten und multivalenten Anlagen mit mehreren Gruppen und langen Verbindungsleitungen. Ausserdem ist eine automatische Aufzeichnung immer dann von Nutzen, wenn Probleme auftreten und deren Ursachen nicht gefunden werden.

Einschaltimpulszähler und Betriebsstundenzähler sind heute so gut wie unumstritten.

Brennstoff-, Elektro- und Wärmezähler sind immer dann unumstritten, wenn sie zur Abrechnung bezogener Energiemengen gebraucht werden. Zur Überprüfung der Nutzungsgrade und Jahresarbeitszahlen im Rahmen der Qualitätssicherung werden sie oft mit der Begründung abgelehnt, dass die Messgenauigkeit zu wenig gut sei. Dem muss aber entgegengehalten werden, dass Zähler eichfähig sind – ganz im Gegensatz zu einer Wärmepumpe oder einem BHKW. Es muss allerdings beachtet werden, dass die Messwerte immer mit den Toleranzen der Messgeräte behaftet sind!

↘ Ohne die obgenannte Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

Stichwort REGELGESCHWINDIGKEIT

Im allgemeinen stellen Regelkreise der Haustechnik keine allzu grossen Anforderungen an die Regelgeschwindigkeit. Haustechnik-Regelsysteme sind deshalb von Haus aus eher träge konzipiert, was dafür Vorteile in Bezug auf die Regelstabilität und Betriebssicherheit bringt. Einige hydraulische Schaltungen enthalten aber Teile, die bezüglich Regelgeschwindigkeit kritisch sind. Insbesondere die Verflüssiger-Austrittstemperaturregelung bei Wärmepumpen führt immer wieder zu Problemen. Hier sollten einige Ratschläge beachtet werden:

- Regelventil immer möglichst nahe bei der Wärmepumpe montieren, damit der Weg des Heizwassers und damit die Totzeit möglichst klein wird.
- Regelventil-Antrieb mit möglichst kurzer Laufzeit wählen (ideal: Magnetantrieb).
- Regelventil beim Anfahren der Wärmepumpe auf Durchgang stellen («sichere Seite») und dann in Richtung Umlenkung regeln.
- Manche Motorantriebe laufen schneller zu als auf. Hier kann man sich mit der Schaltung nach Bild 8 behelfen. Allerdings wird dann der Bypasspfad anstelle des Durchgangspfades als Regelpfad verwendet.
- PID-Regler mit einstellbaren Reglerparametern einsetzen und deren Einstellungen optimieren.
- Kleine Fühlerzeitkonstante und möglichst guter Kontakt zum zu messenden Medium. Also Leitbleche oder Kontaktflüssigkeit im Tauchrohr verwenden. Aber auch Anlegefühler haben oft sehr kleine Zeitkonstanten (Hersteller fragen!).

Ausserdem wird oft nicht die Verflüssiger-Austrittstemperatur direkt geregelt, sondern diese wird indirekt über eine Verflüssigungsdruckregelung gesteuert, mit dem Vorteil, dass eine Störung damit schneller erkannt wird. Auch kombinierte Regelstrategien sind möglich: beispielsweise Schiebung des Sollwertes der Verflüssiger-Eintrittstemperatur über den Verflüssigungsdruck.

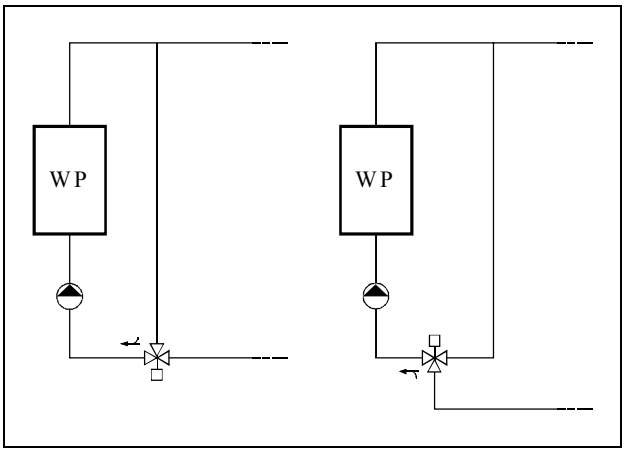


Bild 8: Normalerweise wird das Regelventil der Laderegelung entsprechend dem linken Schema eingebaut. Dabei wird der Durchgangspfad als Regelpfad benutzt. Bei Regelventilen, die schneller zulaufen als auflaufen, kann die rechte Schaltung eingesetzt werden. Allerdings wird dabei der Bypasspfad zum Regelpfad umfunktioniert.

Stichwort SCHALTKRITERIEN

Schaltung	Sommerbetrieb, Winterbetrieb	Sperrung, Freigabe	Einschaltung, Ausschaltung	Sicherheitsabschaltung
WP, monovalenter Betrieb, ohne Speicher Grundschaltung: A Standardschaltungen: WP-01	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW	Rücklauftemperatur = WP-EIN/AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS
WP, monovalenter Betrieb, mit Speicher Grundschaltung: C, D Standardschaltungen: WP-06, WP-07	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW	Speichertemperatur oben = WP-EIN Speichertemperatur unten = WP-AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS
WP, bivalent-alternativer Betrieb, mit Speicher Grundschaltung: F, G Standardschaltungen: WP-08, WP-09, WP-10	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW Freigabe Kessel und Sperrung WP wärmequellenabhängig oder bei zu hoher Rücklauftemperatur für die WP	Speichertemperatur oben = WP-EIN Speichertemperatur unten = WP-AUS Kesselthermostat oder Speicherfühler = KESSEL-EIN/AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS Sicherheitsthermostat = KESSEL-NOTAUS
WP oder BHKW und Kessel, bivalent-paralleler Betrieb, hydraulische Parallelschaltung Grundschaltung: E Standardschaltungen: WKK-01 (für WP nicht empfohlen!)	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW Freigabe Kessel lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur)	Speichertemp. oben = WP/BHKW-EIN Speichertemp. unten = WP/BHKW-AUS Speichertemp. oben = KESSEL-EIN Speichertemp. Mitte = KESSEL-AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS Sicherheitskette = BHKW-NOTAUS Sicherheitsthermostat = KESSEL-NOTAUS
WP oder BHKW und Kessel, bivalent-paralleler Betrieb, hydraulische Teilparallelschaltung Grundschaltung: F Standardschaltungen: WP-10, WKK-02	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW Freigabe Kessel lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur)	Speichertemp. oben = WP/BHKW-EIN Speichertemp. unten = WP/BHKW-AUS Speichertemp. oben = KESSEL-EIN Speichertemp. Mitte = KESSEL-AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS Sicherheitskette = BHKW-NOTAUS Sicherheitsthermostat = KESSEL-NOTAUS
WP oder BHKW und Kessel, bivalent-paralleler Betrieb, hydraulische Serieschaltung Grundschaltung: G Standardschaltungen: WP-08, WP-09, WKK-03	Handschalter SOMMER/WINTER oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung durch «intelligenten» Heizungsregler	Evtl. Sperrung der WP durch EW Freigabe Kessel lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur)	Speichertemp. oben = WP/BHKW-EIN Speichertemp. unten = WP/BHKW-AUS Kesselthermostat = KESSEL-EIN/AUS	Hoch- und Niederdruck-Pressostaten = WP-NOTAUS Sicherheitskette = BHKW-NOTAUS Sicherheitsthermostat = KESSEL-NOTAUS

Tabelle 9: Schaltkriterien für verschiedene Standardschaltungen im Vergleich (die angegebenen Grundschaltungen beziehen sich auf Tabelle 3 und Tabelle 4). Besonders wichtig ist, dass immer streng unterschieden wird zwischen dem Freigabekriterium und dem Einschaltkriterium.

Stichwort SPEICHER

Üblicherweise werden zwei Speicherbauarten unterschieden:
- Der technische Speicher als «notwendiges Übel». Er dient der hydraulischen Entkopplung und er garantiert eine bestimmte maximal zulässige Schalthäufigkeit (Definition WP) bzw. eine minimale Laufzeit (Definition BHKW).
- Der Wärmespeicher dient zusätzlich dem zeitlichen Ausgleich zwischen Wärmeangebot und Wärmenachfrage (Überbrückung von Sperrzeiten und Angebotslücken, Nutzung Niedertarif usw.).

Tabelle 11 geht grundsätzlich von einem technischen Speicher aus, und als Ergebnis erhält man ein minimal nutzbares Speichervolumen $V_{SP,MIN}$.
Der tatsächlich Speicherinhalt V_{SP} ergibt sich wie folgt:

$$V_{SP} = V_{SP,MIN} + V_{Zuschlag}$$

Zuerst wird der minimale Speicherinhalt $V_{SP,MIN}$ gemäss Tabelle 11 berechnet.
Dann muss das Zuschlagsvolumen $V_{Zuschlag}$ aufgrund folgender Überlegungen bestimmt werden:
- Aus konstruktiven Gründen entsteht immer ein gewisses «Totvolumen» (bombierter Deckel und Boden, Rohreinführungen und sonstige Einbauten).
- Zur Abführung der Restwärme wird bei grösseren Wärmepumpen und insbesondere bei BHKW's mit Umluftwärmepumpe ein Nachlaufen der Ladepumpe verlangt. Durch entsprechende Plazierung der Fühler muss für ein genügend grosses «Nachlaufvolumen» gesorgt werden. Damit wird oben im Speicher ein erneuter Einschaltbefehl verhindert und unten im Speicher verbleibt eine genügende Menge kalten Rücklaufwassers für den Nachlauf.
- Im Speicher entsteht ausserdem eine Mischzone, deren Grösse von der Güte der Schichtung abhängt. Bei Beachtung der Punkte in Kasten 10 und Einhaltung der Einstellregeln gemäss Tabelle 11 ist sie allerdings relativ klein.

Üblicherweise kann etwa mit folgenden Faustformeln gerechnet werden:

Speicher ohne Nachlauf $V_{SP} = 1{,}1 \cdot V_{SP,MIN}$

Speicher mit Nachlauf $V_{SP} = 1{,}2 \cdot V_{SP,MIN}$

Wichtige Punkte für einen funktionstüchtigen Speicher

- Zur Gewährleistung der Schichtung muss ein angemessenes Höhen-Durchmesser-Verhältniss gewählt werden. Als Faustregel gilt:
Höhe/Durchmesser ≥ 2,5
- Zur Vermeidung von Einrohrzirkulation sind Speicheranschlüsse nach unten wegzuführen (Thermosyphon).
- Die Eintrittsgeschwindigkeit ist durch den Einbau von Diffusoren, Einströmkammern, Lavaldüsen und Lochblechen so weit zu reduzieren, dass die Schichtung möglichst wenig gestört wird.
- Die Speicher-Wärmedämmung muss satt anliegend ausgeführt werden, weil sonst die Schichtung durch die Luftzirkulation zwischen Isolation und Blech gestört wird. Eine genaue Montagekontrolle ist unbedingt zu empfehlen.
- Für Fühler, Thermostaten und Thermometer sind genügend Tauchhülsen zu installieren. Beispielsweise sollte die nachträgliche Versetzung eines Fühlers, damit die Regelung den effektiven Verhältnissen angepasst werden kann, einfach möglich sein.
- Der Behälter ist gegen Über- und Unterdruck abzusichern.

Kasten 10

	Wärmepumpe	Blockheizkraftwerk
Temperaturdifferenz über der WP bzw. über dem BHKW $\Delta\vartheta_K$ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger der WP $\Delta\vartheta_{BHKW}$ Temperaturdifferenz über dem BHKW $\Delta\vartheta_{Auslegung}$ Temperaturdifferenz Haupt-VL/-RL im Auslegepunkt $\Delta\vartheta_{Bivalenz}$ Temperaturdifferenz Haupt-VL/-RL im Bivalenzpunkt	RAVEL-Empfehlung bei Stufenladung – monovalent $\Delta\vartheta_K = 0{,}5...0{,}7\Delta\vartheta_{Auslegung}$ – bivalent $\Delta\vartheta_K = 0{,}5...0{,}7\Delta\vartheta_{Bivalenz}$ Mit Begrenzung nach unten $\Delta\vartheta_K \geq 4$ K. RAVEL-Empfehlung bei Schichtladung – monovalent $\Delta\vartheta_K = \Delta\vartheta_{Auslegung}$ – bivalent $\Delta\vartheta_K = \Delta\vartheta_{Bivalenz}$ Bei stark variabler Wärmequelle ist evtl. ein kleineres $\Delta\vartheta_K$ erforderlich. Begründete Vorschriften des WP-Herstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.	RAVEL-Empfehlung: Möglichst grosse Temperaturdifferenz über dem BHKW unter Einhaltung begründeter Vorschriften des BHKW-Herstellers bezüglich: – Minimaldurchfluss BHKW – maximale Eintrittstemperatur BHKW – maximale Austrittstemperatur BHKW In der Regel kann auf eine Temperaturdifferenz von 20...30 K ausgelegt werden.
Kriterium zur Speicherauslegung n Schalthäufigkeit WP B Betriebsdauer BHKW	Das Elektrizitätswerk schreibt in der Regel vor, dass die WP in keinem Betriebsfall mehr als dreimal pro Stunde einschalten darf (n = 3). RAVEL-Empfehlung: Maximal 2 Einschaltungen pro Stunde (n = 2).	Ein einziger Start des BHKW's entspricht einem Verschleiss von 5 Dauerbetriebsstunden! RAVEL-Empfehlung: Mindestens 1 Betriebsstunde pro Start ist in jedem Betriebsfall einzuhalten (B = 1 h).
Faustformeln Speicherinhalt $V_{SP,MIN}$ minimaler Speicherinhalt $\dot{Q}_K$ Heizleistung Verflüssiger $\dot{Q}_{BHKW}$ Heizleistung BHKW n Schalthäufigkeit WP B Betriebsdauer BHKW $\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz $\vartheta_{K,MAX}$ maximal zulässige Verflüssiger-Austrittstemperatur ϑ_{AUS} Ausschalttemperatur ϑ_{RL} Rücklauftemperatur ϑ_{Ladung} Ladetemperatur ↘ Die angegebenen Faustformeln ergeben das nutzbare Volumen. Das effektive Speichervolumen muss 10...20% grösser gewählt werden!	$V_{SP,MIN}\,[m^3] = 0{,}22\,\frac{\dot{Q}_K\,[kW]}{n\,[-]\cdot\Delta\vartheta\,[K]}$ RAVEL-Empfehlung: – Schalthäufigkeit n = 2 – Temperaturdifferenz Stufenladung $\Delta\vartheta = \left(\frac{\vartheta_{K,MAX}+\vartheta_{AUS}}{2} - \vartheta_{RL}\right)\,[K]$ – Temperaturdifferenz Schichtladung $\Delta\vartheta = \vartheta_{Ladung} - \vartheta_{RL}\,[K]$ $\dot{Q}_K$ und $\Delta\vartheta$ sind auf 50% Last zu beziehen (grösste Schalthäufigkeit). Wenn diese auf den Auslegepunkt (monovalente Anlagen) bzw. auf den Bivalenzpunkt (bivalente Anlagen) bezogen werden, ist man meist auf der sicheren Seite.	$V_{SP,MIN}\,[m^3] = 0{,}86\,\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]\cdot B\,[h]}{\Delta\vartheta\,[K]}$ RAVEL-Empfehlung: – Minimale Betriebsdauer B = 1 h – Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = \vartheta_{Ladung} - \vartheta_{RL}\,[K]$ $\dot{Q}_{BHKW}$ und $\Delta\vartheta$ sind auf den kritischen Teillastfall mit der kürzesten Betriebsdauer des BHKW's zu beziehen. Die Speicheranlage wird kleiner, wenn das BHKW während dieser Zeit mit Teillast betrieben werden kann (üblicherweise auf etwa 70%).
Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen ϑ_{EIN} Einschalttemperatur ϑ_{AUS} Ausschalttemperatur $\vartheta_{K,MAX}$ maximal zulässige Verflüssiger-Austrittstemperatur $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ maximale Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\vartheta_{BHKW,E,MAX}$ maximal zulässige BHKW-Eintrittstemperatur $\vartheta_{RL,MAX}$ maximal auftretende Rücklauftemperatur	Als erste Regel gilt: $\vartheta_{EIN} \leq \vartheta_{AUS}$ Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt: $\vartheta_{AUS} \leq \vartheta_{K,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$ Bei Wärmequellen mit stark schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger zu berücksichtigen. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt: $\vartheta_{EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$ Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über ϑ_{EIN} auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.	Als erste Regel gilt: $\vartheta_{EIN} \leq \vartheta_{AUS}$ Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige BHKW-Eintrittstemperatur begrenzt (speziell mit Umluftwärmepumpe): $\vartheta_{AUS} \leq \vartheta_{BHKW,E,MAX}$ Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt: $\vartheta_{EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$ Im ungünstigsten Fall kann damit eine relativ tiefe Vorlauftemperatur knapp über ϑ_{EIN} auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Tabelle 11: Empfehlungen zur Auslegung von technischen Speichern

Stichwort STATISCHE MISCHER

Zur Messung der mittleren Mischtemperatur müssen die Medien beim Temperaturfühler möglichst gut durchmischt sein. Besonders heikel ist die Einspritzung einer kleinen heissen in eine grosse kältere Wassermenge, wenn sich die Temperaturmessstelle nahe bei der Einspritzstelle befindet. Kalter und warmer Strom fliessen unvermischt, und der Temperaturfühler misst, abhängig von Einbau und Bauart, die eine oder andere Temperatur (Bild 12). Die heute oft praktizierte Lösung einer zusätzlichen Pumpe, die als Mischer wirkt, bedeutet Stromverschwendung.
Aus der Verfahrenstechnik ist für dieses Problem die energieeffizientere Lösung des statischen Mischers bekannt. Statisches Mischen heisst Homogenisieren ohne bewegte Teile. Pumpen fördern die zu mischenden Stoffströme zum statischen Mischer und liefern die für das Mischen benötigte Energie.
Der statische Mischer ist keine übliche Haustechnik-Komponente. Kostengünstig und effizient kann aber der Stegmischer als fertig käufliche verfahrenstechnische Komponente eingesetzt werden (Bild 13).
Die Auslegung erfolgt in drei Schritten.
1. Schritt: Wahl des Mischers. Der Charakter der Strömung – turbulent oder laminar – bestimmt grundsätzlich den einzusetzenden Mischertyp. In der Haustechnik genügen Mischer für turbulente Strömung.
Die Beurteilung, ob turbulente oder laminare Strömung vorliegt, erfolgt über die Reynoldszahl Re_D:

$Re_D = D \cdot v / \nu$

D = Innendurchmesser des Rohres
v = mittlere Geschwindigkeit
ν = kinematische Viskosität

Turbulent ist die Strömung bei $Re_D > 2300$.

2. Schritt: Relative Mischerlänge L/D bestimmen: In der Praxis interessiert der Homogenitätsgrad einer Mischung. Dieser wird durch den Variationskoeffizienten $\sigma/\bar{\vartheta}$ definiert. Je kleiner $\sigma/\bar{\vartheta}$ ist, desto homogener ist die Mischung. Für viele Anwendungen genügt ein $\sigma/\bar{\vartheta}$ von 0,05. Die Streuung σ wird aus der maximal zulässigen Temperaturabweichung $\Delta\vartheta_{MAX}$ bestimmt. $\bar{\vartheta}$ ist die Mischtemperatur der beiden Teilströme $\dot{V}_1$ und $\dot{V}_2$ mit den Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2:

$\sigma = \Delta\vartheta_{MAX} / 2$

$$\bar{\vartheta} = \frac{\dot{V}_1 \cdot \vartheta_1 + \dot{V}_2 \cdot \vartheta_2}{V_1 + V_2}$$

Aus dem Datenblatt kann mit diesen Angaben die relative Mischerlänge L/D bestimmt werden.

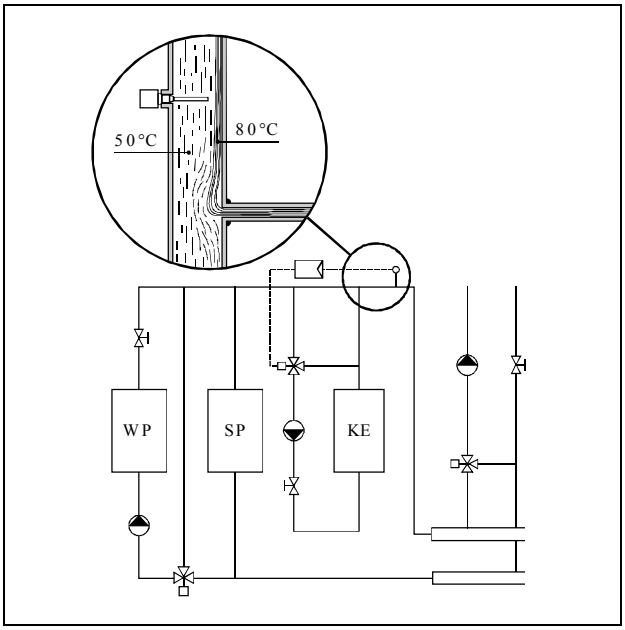


Bild 12: Beispielsweise bei der Serieschaltung einer Wärmepumpe und eines Kessels ergeben sich Probleme mit der Temperaturmessung. Insbesondere dann, wenn die kritische Strecke nicht waagrecht steht, wie im Prinzipschema, sondern senkrecht, wie im vergrösserten Ausschnitt.

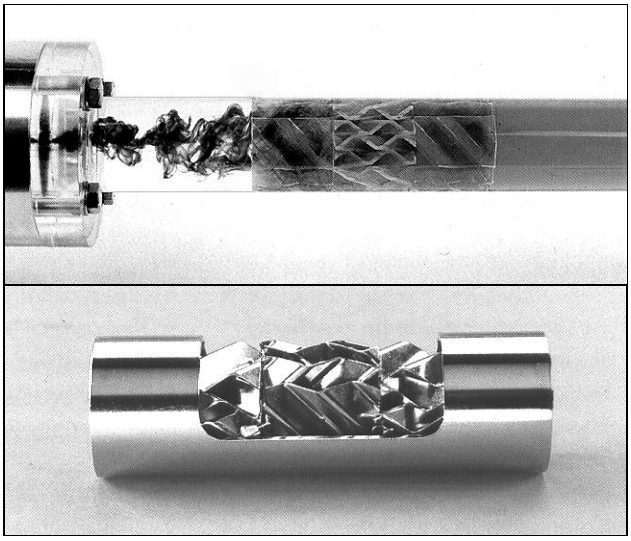
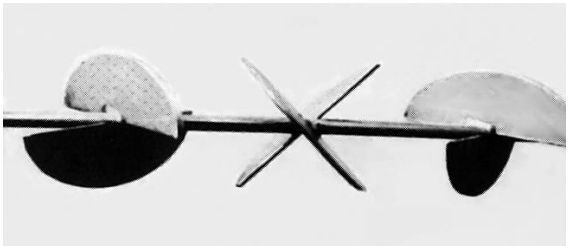


Bild 13: Oben: Unmittelbar vor einem Stegmischer wird in der Rohrmitte Farbstoff zugegeben. Mit drei Mischelementen wird auf kürzester Strecke eine homogene Mischung erzielt. Unten: Der Stegmischer Typ SMV von Sulzer wird ins Rohr eingeschoben. Er ist in den gängigen Rohrdurchmessern der Haustechnik erhältlich. (Bilder: Sulzer Chemtech AG, Winterthur)

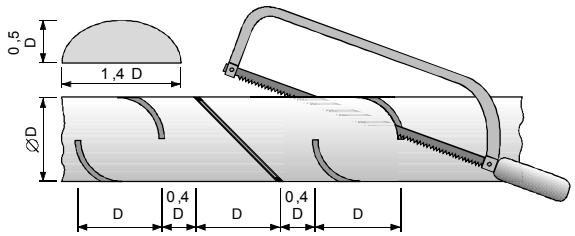
Selbstbau eines statischen Mischers

Relativ einfach ist der Nachbau eines modifizierten AMK-Ross-LPD-Mischers. Hier zwei Möglichkeiten:

1. Neuanlage: An einem Rundeisen werden paarweise halbmondförmige Bleche unter einem Winkel von 45° angeheftet. Ein Einzelelement besteht also aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden, in der Rohrmitte berührenden Blechen. Aufeinanderfolgende Elemente werden 90° um die Rohrachse gedreht. Die Länge eines Einzelelementes entspricht dem Rohrdurchmesser, und der Zwischenraum von Einzelelement zu Einzelelement beträgt 0,4 Rohrdurchmesser. Dieser Mischer wird ins Rohr eingeschoben und dort fixiert.



2. Bestehende Anlage: Der Mischer wird direkt an der Verrohrung von aussen angebracht. Dazu werden in einem Winkel von 45° zur Rohrachse paarweise Schlitze bis zur Rohrmitte gegengleich eingesägt, Bleche eingepasst und mit der Rohrwand verschweisst. Die Proportionen entsprechen dem oberen Vorschlag.



Die Anzahl Elemente hängt vom erforderlichen Homogenitätsgrad ab und beträgt mindestens zwei. In der Haustechnik dürften in nicht allzu kritischen Fällen 2 Elemente genügen.
Der Druckabfall pro Element kann mit folgender Faustformel berechnet werden:
Δp [Pa] = 56 · D [m] · R-Wert des Rohres [Pa/m]
Der Temperaturfühler sollte bei diesem Mischertyp nicht näher als 5...10 Durchmesser hinter dem letzten Mischelement angebracht werden (Kompromiss zwischen möglichst guter Durchmischung und unerwünschter Totzeit).

Kasten 14

3. Schritt: Druckabfall berechnen. Der Druckabfall Δp berechnet sich aus der Newtonzahl Ne gemäss Datenblatt, der Dichte ρ der Flüssigkeit und der mittleren Geschwindigkeit v:

$$\Delta p = Ne \cdot L/D \cdot \rho \cdot v^2$$

Auslegebeispiel für einen Stegmischer Typ SMV von Sulzer (Bild 13): In einen kalten Wasserstrom von 0,9 m³/h und 30°C wird eine geringere Menge heisses Wasser von 0,1 m³/h und 70°C eingespritzt. Als maximale Abweichung bei der Messung der Mischtemperatur werden ±4 K zugelassen. Die Rohrnennweite ist 5/4".

$\dot{V}$ = 0,9 + 0,1 = 1 m³/h = 1/3600 m³/s
D = 0,0372 m
ν = 0,76 · 10^{-6} m²/s (für Wasser von 34°C)
v = 4 · 1/3600 / π · (0,0372)² = 0,256 m/s
Re_D = 0,0372 · 0,256 / 0,76 · 10^{-6} = 12'500

Die Reynoldszahl liegt weit über 2300. Somit liegt sicher turbulente Strömung vor, und der vorgeschlagene Mischertyp ist geeignet. Für die Mischtemperatur, die Streuung und den Variationskoeffizienten ergibt sich:

$\bar{\vartheta}$ = (0,9 · 30 + 0,1 · 70) / (0,9 + 0,1) = 34°C
σ = 4 / 2 = 2 K
$\sigma/\bar{\vartheta}$ = 2 / 34 = 0,059

Werte $\sigma/\bar{\vartheta}$ (Auszug aus Datenblatt Sulzer-SMV-Mischer)				
$\dot{V}_1/(\dot{V}_1+\dot{V}_2)$	L/D=1	L/D=2	L/D=3	L/D=4
0,5	0,08...0,2	0,04...0,08	0,02...0,04	0,01...0,02
0,1	0,3...0,7	0,1...0,3	0,05...0,1	0,03...0,05

Gemäss Datenblatt ergibt sich mit

$\dot{V}_1/(\dot{V}_1+\dot{V}_2)$ = 0,1 / (0,1 + 0,9) = 0,1 (wobei $\dot{V}_1 \le \dot{V}_2$)

ein Verhältnis L/D von 3. Der erforderliche Homogenitätsgrad wird also mit 3 SMV-Elementen erreicht (Baulänge bei 5/4" Nennweite = 120 mm). Da der Temperaturfühler selbst noch eine räumliche Mittelung erzeugt, werden die Anforderungen mit Sicherheit erfüllt. Die Temperaturmessstelle sollte sich beim SMV-Mischer mindestens 2 D hinter dem Mischeraustritt befinden.

Die Newtonzahl Ne beträgt gemäss Datenblatt 2,9. Daraus berechnet sich mit ρ = 1000 kg/m³ der Druckabfall Δp über dem Mischer wie folgt:

Δp = 2,9 · 3 · 1000 · (0,256)² = 570 Pa

Stichwort WASSERERWÄRMUNG mit Wärmepumpe

Die Wassererwärmung mit der (Heizungs-)Wärmepumpe ist nicht einfach zu lösen. Es gilt unterschiedliche Bedürfnisse aufeinander abzustimmen:

■ Aus hygienischen Gründen (Legionellen) sollte die Warmwassertemperatur periodisch auf 55...60°C erhöht werden.
– Problem: Eine Wärmepumpe mit Kältemittel R22 liefert maximal 50°C
– Lösung: Nachwärmung mit anderem Heizsystem (Kessel oder elektrisch) oder Heissgasnutzung

■ Der Leistungsbedarf für die Wassererwärmung ist zu Beginn der Ladung gross und fällt dann gegen das Ende der Ladung stark ab.
– Problem: Leistungsbedarf Heizung plus Warmwasser zu Beginn grösser als Wärmepumpenleistung, stark ansteigende Rücklauftemperatur gegen Ende der Ladung
– Lösung: Wassererwärmer-Vorrang, Laderegelung mit Rücklauftemperaturbegrenzung

■ Die Wärmepumpe wird in erster Linie auf die Heizung ausgelegt und die wird nur im Winter benötigt.
– Problem: Die Wassererwärmung muss im Sommer und im Winter sichergestellt sein
– Lösung: Unterschiedliche Steuer- und Regelstrategien für Sommer- und Winterbetrieb

Alle aufgeführten Probleme können durch Standardschaltungsmodule gelöst werden (Bild 15):
– Monovalente oder bivalente Wärmenpumpenanlage mit Schichtladung (keine Stufenladung!), WP-07 oder WP-09
– Wassererwärmung mit internernem oder externem Wärmetauscher, WW-01 oder WW-02
– Wärmenutzung WN-01 oder WN-02

Für diese Lösungen muss ein relativ grosser Aufwand getrieben werden, der nur bei grösseren Anlagen möglich ist. Deshalb wird bei kleinen Anlagen (Ein- und Zweifamilienhäuser) eine Wassererwärmung mit der Wärmepumpe im Rahmen der vorliegenden Standardschaltungen nicht angegeben. Einige Möglichkeiten zur Wassererwärmung, die auch bei kleineren Anlagen verwendet werden können, werden jedoch im Folgenden besprochen.

■ Die beste Lösung – aus energetischer Sicht – ist zweifellos die Wassererwärmung mit Sonnenkollektoren. Diese Technik ist heute ausgereift.

■ Eine Variante, die immer geprüft werden sollte, ist der Wärmepumpenboiler (korrekte Bezeichnung: Wärmepumpen-Wassererwärmer). Diese Lösung hat aber nur einen Sinn, wenn damit tatsächlich nicht weiter nutzbare Abwärme sinnvoll genutzt werden kann (kein «Wärmeklau»!). Für grössere Anlagen sind auch Speziallösungen möglich: eigentliche Was-

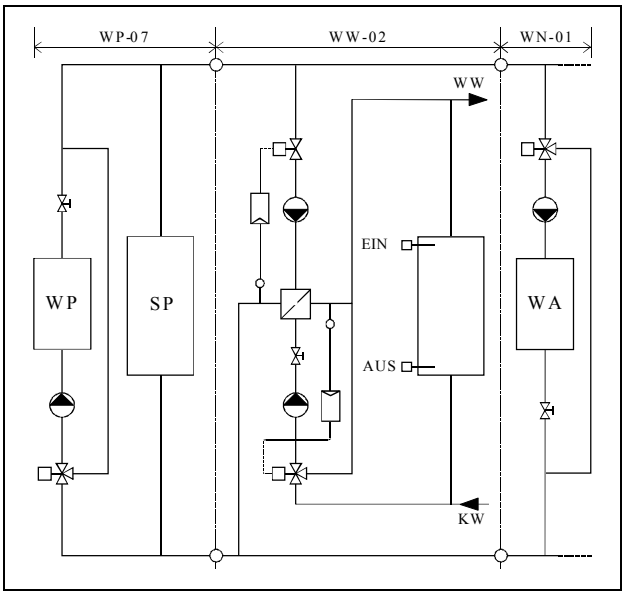


Bild 15: Grössere Wärmepumpen-Heizungsanlage mit Wassererwärmung über einen externen Plattenwärmetauscher, zusammengesetzt aus den Standardschaltungsmodulen WP-07, WW-02 und WN-01

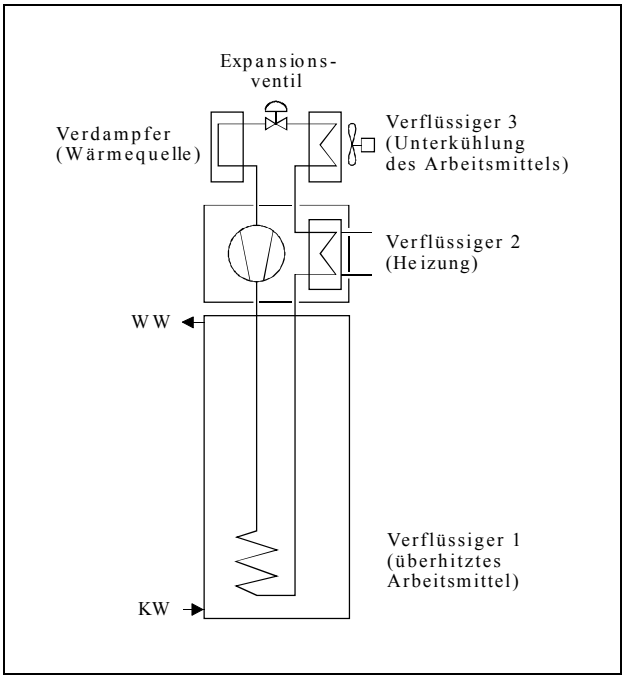


Bild 16: Heizungswärmepumpe auf Wassererwärmer aufgebaut (Verflüssiger 1 kann auch im Gehäuse der Wärmepumpe zur externen Wassererwärmung eingebaut sein)

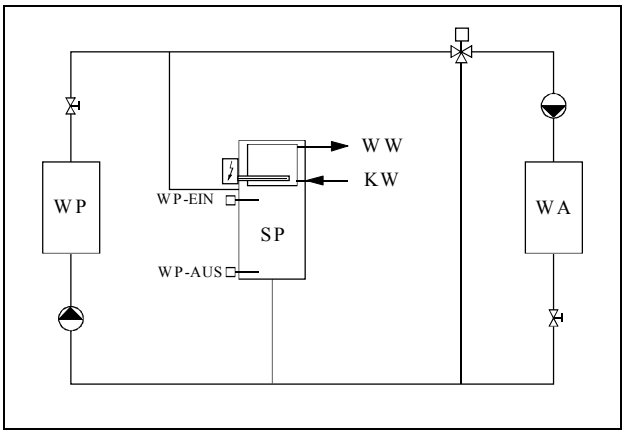


Bild 17: Wassererwärmer im Heizungsspeicher integriert. Messungen haben gezeigt, dass der Wassererwärmer recht gut vom unteren Teil des Heizungsspeichers entkop pelt ist [Th. Afjei, J. Good, D. Wittwer: Klein-Wärmepumpe/Holzfeuerung bivalent. Neff-Projekt 573. INFEL, Zürich, 1993].

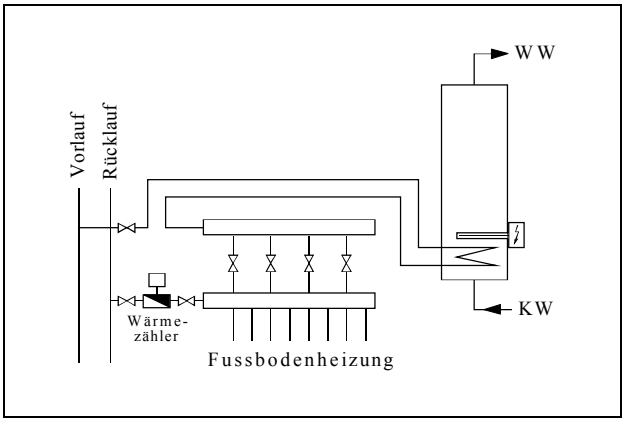


Bild 18: Elektro-Wassererwärmer mit Zusatz-Wärme tauscher zur Vorwärmung des War mwassers über die Wärmepumpenheizung. Messungen haben gezeigt, dass damit während der Heizperiode etwa 50% der Energie für die Wassererwärmung aus der Heizung entnommen werden kann [INFEL-Info 2/93]. Drei Anschlussarten sind denkbar, davon aber nur die ersten beiden zulässig:

- Die Einbindung im Heizungsvorlauf (wie gezeichnet) nutzt das maximale Temperaturniveau für die Wass erwärmung, sie bewirkt aber zeitweise eine Heizungs-Unterdeckung, welche jedoch oft nicht stört
- Die Einbindung im Heizungsrücklauf ist die exergetisch beste Lösung, sie schmälert aber das nutzbare Temp eraturniveau für die Wassererwärmung
- Nicht zulässig ist ein Anschluss zwischen Vor- und Rücklauf, weil dann bei vollem Wassererwärmer he isses Vorlaufwasser direkt in den Rücklauf umgelenkt würde!

sererwärmung im Hauptverflüssiger und letzter Hub auf 55...60°C im Heissgaswärmetauscher.

■ Wärmepumpe mit Verflüssiger im Wassererwärmer (Bild 16). Auch bei dieser Lösung wird das überhitzte Arbeitsmittel zur Erzielung einer höheren Warmwassertemperatur von 55...60°C genutzt. Allerdings muss dabei die anschliessende Unterkühlung des Arbeitsmittels jederzeit sichergestellt sein. Im regulären Heizbetrieb geschieht dies zwangsläufig durch den nachgeschalteten Verflüssiger der Heizungsanlage. Sobald aber die Unterkühlung des Arbeitsmittels nicht mehr gewährleistet ist – z. B. im Sommer, gegen das Ende der Wassererwärmung –, wird noch ein dritter Verflüsser benötigt. Die sinnvolle Nutzung der dabei entstehenden Abwärme kann möglicherweise ein Problem sein (Wäschetrocknung, Temperierung Kellergeschoss usw.). Eine einfache Standardlösung ist hier nicht möglich, da die kälteseitige Auslegung und Installation anspruchsvoll ist.

■ Wassererwärmer im Heizungsspeicher integriert zur Vorwärmung des Warmwassers mit der Wärmepumpe und elektrischen Nachheizung auf die geforderte Temperatur (Bild 17). Diese Lösung ist relativ preisgünstig und es ist keine Ladepumpe und keine aufwendige Steuerung/Regelung erforderlich. Nachteilig ist einzig die thermische Kopplung zwischen dem Wassererwärmer und dem oberen Teil des Speichers bei Elektrobetrieb.

■ Elektro-Wassererwärmer mit Zusatz-Wärmetauscher (Bild 18) zur Vorwärmung des Warmwassers über die Wärmepumpenheizung. Damit kann beispielsweise bei Fussbodenheizungen eine dezentrale Wassererwärmung erfolgen. Beachtet werden muss aber der zusätzliche Druckabfall im Heizkreis, der durch den Wärmetauscher verursacht wird.

■ Elektro-Wassererwärmer sind bei kleinen monovalenten Anlagen oft die einzige praktikable Lösung. Da zur Wassererwärmung etwa 5mal weniger Wärme gebraucht wird als zur Heizung ist diese Lösung sicher vertretbar, zumal ja der Niedertarifstrom-Anteil meist 100% ist und bei dezentralen Anlagen auch die Zirkulationsverluste entfallen.

■ Bei bivalenten Anlagen kann auch eine Wassererwärmung mit dem Heizkessel geprüft werden. Nachteilig ist allerdings, dass dazu der Heizkessel dauernd in Bereitschaft gehalten werden muss und damit der Sommernutzungsgrad relativ schlecht ist.

Bemerkungen zu den Standardschaltungen

Hauptproblem: Auslegung und Einbindung

Die Hauptursache für schlecht arbeitende Anlagen sind Fehler bei der Auslegung und der Einbindung ins System. Hier waren praktisch keine brauchbaren Unterlagen vorhanden. Deshalb wurden die RAVEL-Aktivitäten im Wärmesektor hauptsächlich auf diesen Bereich konzentriert.
Jede Anlage muss sorgfältig geplant werden – die immer wieder propagierte völlig problemlose Universalschaltung gibt es nicht (Kasten 19).

Standardschaltungen vereinfachen die Planung, aber sie machen sie nicht überflüssig

Die nachfolgenden Standardschaltungen decken die am häufigsten vorkommenden Anlagetypen ab – sowohl Kleinanlagen wie Grossanlagen. Wesentlich einfachere Schaltungen, die als «erprobt und bewährt» empfohlen werden könnten, sind uns nicht bekannt. Der Katalog ist also insofern vollständig. Die empfohlenen Schaltungen beruhen auf den folgenden grunsätzlichen Überlegungen (in Klammern die Nummern der zutreffenden Standardschaltungen; siehe auch Kasten 20):

1. Konsequente Anwendung der Grundschaltungen gemäss Tabelle 3 und Tabelle 4.
2. Wärmepumpenanlagen ohne Speicher nur in Verbindung mit annähernd konstanter Wärmequelle (z. B. Erdwärmesonden) und Fussbodenheizung ohne Thermostatventile (WP-01).
3. Zuschaltung der elektrischen Zusatzheizung bei monoenergetischer Aussenluft-Wärmepumpe von Hand mit automatischer Rücksetzung (WP-04).
4. Kleinere Wärmepumpenanlagen ohne Wassererwärmung über die Wärmepumpe (WP-01 bis WP-05, siehe aber auch Stichwort «Wassererwärmung»).
5. Stufenladung des Speichers nur bei kleinen Anlagen mit einer Heizgruppe (WP-01 bis WP-06 und WP-08), Anlagen mit mehreren Heizgruppen immer mit Schichtladung.
6. Alle Schaltungen mit Wärmezähler zur Erfassung der Wärmeproduktion. Dieser soll nur weggelassen werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht (mindestens Passstücke einbauen).
7. Druckdifferenzarme Zusammenschaltung der Standardschaltungsmodule
8. Füll- und Entleerhahnen, Entlüftungen usw. sind nicht eingezeichnet, da diese stark von der örtlichen Montagesituation abhängig sind.

Gibt es die «problemlose Kompakt-Wärmepumpe ohne Planungsaufwand»?

Die RAVEL-Antwort lautet: Es gibt sie nicht! Der Trend zur «problemlosen Kompakt-Wärmepumpe», die angeblich ohne Planungsaufwand in bestehende Systeme eingebaut werden kann, ist eine beunruhigende Entwicklung. Diesen Kompaktgeräten ist es nämlich völlig egal, was im Heizsystem passiert: sie werden einfach «EIN/AUS» betrieben – «AUS» über den Verflüssigungsdruck, damit es sicher nie zu einer Hochdruckstörung kommt. Ob die Wärmepumpe taktet, ob die Energiezufuhr richtig dosiert wird, ob eine akzeptable Jahresarbeitszahl erreicht wird, interessiert wenig – solange «es warm wird» erfolgen kaum Reklamationen.
Von Wärmepumpenanlagen, die mit relativ wenig Planungsaufwand realisiert werden können, kann nur in den folgenden Fällen gesprochen werden:
– Erdwärmesonden-Wärmepumpe in trägem Fussbodenheizungssystem mit Vorlauftemperatur ≤ 45°C (vorwiegend Neuanlagen)
– Klein-Wärmepumpe im Heizungsrücklauf in Systemen mit hoher Bandlast als Bandlastdeckung bei Rücklauftemperatur ≤ 40°C

Tatsache ist jedoch, dass das grosse Wärmepumpenpotential in der Sanierung bestehender Anlagen besteht, insbesondere auch beim Ersatz elektrischer Widerstandsheizungen. Dabei handelt es sich leider nur selten um Fussbodenheizungen, sondern meist um schlecht abgeglichene 60/50°C-Systeme, also um Systeme, die gerade knapp nicht für monovalenten Betrieb geeignet sind!

Kasten 19

Wichtiger Hinweis!

Der Beschrieb folgt grundsätzlich der ausgezogen gezeichneten Schaltung. Bei den gestrichelt gezeichneten Varianten ist es möglich, dass nicht alle Abweichungen im Beschrieb berücksichtigt wurden.

Kasten 20

Übersicht Standardschaltungen

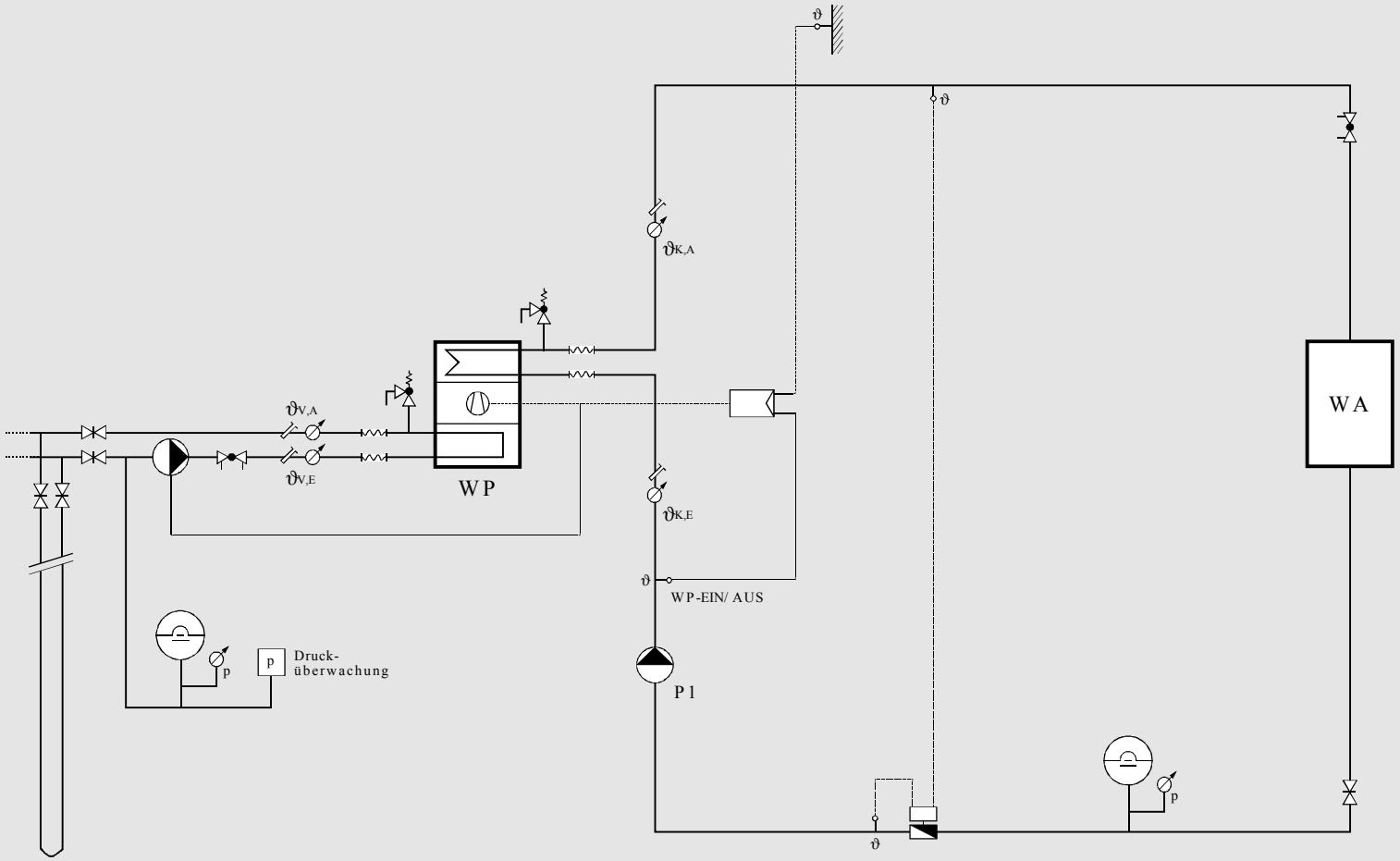
Wärmequelle	Wärmeerzeugung	Wärmenutzung	Wassererwärmung
Gesamt-Standardschaltungen für kleine Wärmepumpenanlagen WP-01 Monovalente Erdwärmesonden-Wärmepumpe ohne Speicher WP-02 Bivalente Aussenluft-Kleinwärmepumpe im Heizungsrücklauf WP-03 Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher WP-04 Monoenergetische Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher WP-05 Bivalente Aussenluftwärmepumpe mit Stückholzfeuerung			Schaltungen zur Wassererwärmung mit der Wärmepumpe in kleinen Anlagen wurden nicht in die vorliegenden Standardschaltungen aufgenommen, da sie zu aufwendig sind oder es sich um herstellerabhängige Lösungen handelt. ☞ Stichwort WASSERERWÄRMUNG
Wärmequellenanlagen sind in der SWKI-Richtlinie 92-1 umfassend beschrieben. Dort werden Lösungen für den Wärmeentzug aus Oberflächenwasser, gereinigtem Abwasser, Grundwasser, Erdreich und Luft aufgezeigt. 📖 SWKI Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. Bern: Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren (SWKI), 1992. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern) ↘ Für Erdwärmesonden, Grundwasser und Oberflächenwasser ist meist eine kantonale Bewilligung erforderlich!	Standardschaltungsmodule zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen WP-06 Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung WP-07 Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung WP-08 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung WP-09 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung WP-10 Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung, Kessel über Speicher Standardschaltungsmodule zur Wärmeerzeugung mit Wärmekraftkopplung WKK-01 BHKW und Kessel in Parallelschaltung WKK-02 BHKW und Kessel in Teilparallelschaltung WKK-03 BHKW und Kessel in Serieschaltung	Standardschaltungsmodule zur Wärmenutzung für alle Anwendungen WN-01 Heizgruppe(n) in Beimischschaltung WN-02 Heizgruppen in Einspritzschaltung mit Durchgangsventilen	Standardschaltungsmodule zur Wassererwärmung für alle Anwendungen WW-01 Wassererwärmer mit internem Wärmetauscher WW-02 Wassererwärmer mit externem Wärmetauscher
Gesamt-Standardschaltungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung WRG--01 Einfache Nutzung, 1 Quelle, 1 Senke (ungeregelter Verbund ohne Speicher, geregelter Verbund ohne und mit Speicher)			
	Standardschaltungsmodule zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung WRG-02 Kältemaschine und Kessel in Serieschaltung WRG-03 Kältemaschine und Kessel in Teilparallelschaltung		

RAVEL

Gesamt-Standardschaltung für kleine Wärmepumpenanlage

Monovalente Erdwärmesonden-Wärmepumpe ohne Speicher

WP-01



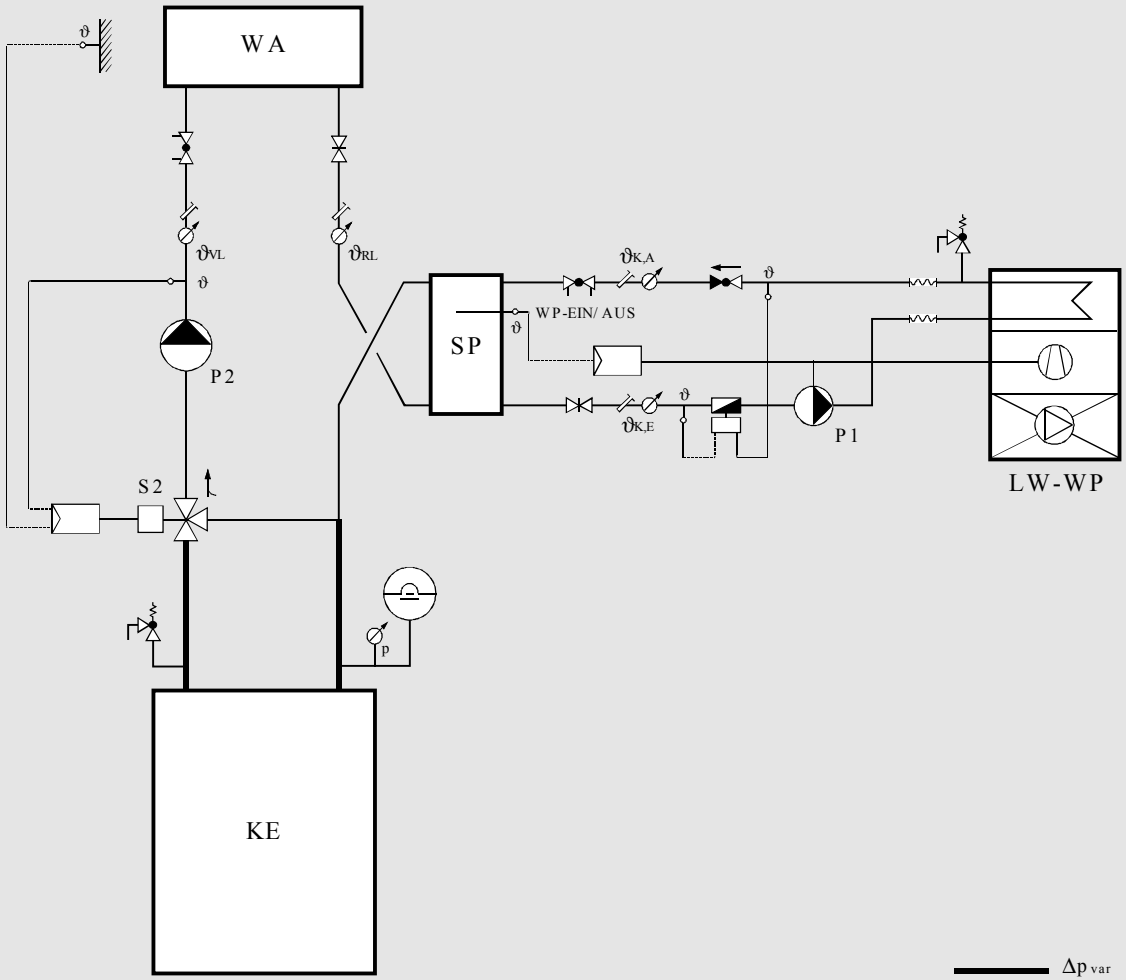
Anwendungsbereich, Merkmale	Funktionsbeschreibung	Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung	Regelungstechnische Empfehlungen	Besonderes
■ Für den monovalenten Betrieb einer kleineren Wärmepumpe mit Erdwärmesonden als Wärmequelle. ■ Diese Schaltung wird nur empfohlen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind: – Fussbodenheizung mit sehr guter Speicherfähigkeit (der Fussboden übernimmt die Funktion des Speichers) – Heizungsvorlauftemperatur im Auslegepunkt ≤ 45°C – Konstanter Durchfluss (das heisst: keine Thermostatventile!) WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)	■ Über einen Zweipunktregler wird die Rücklauftemperatur der Wärmepumpe witterungsgeführt geregelt. ■ Die Verflüssigerpumpe ist gleichzeitig auch Heizungspumpe. Sie läuft deshalb, unabhängig von der Wärmepumpe während der gesamten Heizbetriebszeit.	■ Temperaturdifferenz über dem Verdampfer 3...4 K. ■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow\vartheta_{Auslegung}$ in der Regel gegeben (ca. 10 K). ■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Uparrow\vartheta_K$ muss der Auslegetemperaturdifferenz $\Uparrow\vartheta_{Auslegung}$ entsprechen. ■ Auslegung Verflüssigerdurchfluss: $\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow\vartheta_K\,[K]}$ Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Auslegepunkt einzusetzen.	■ Nur im Auslegepunkt kann der Vorlauftemperatursollwert konstant eingehalten werden (Addition des Verflüssigertemperaturhubs $\Delta\vartheta_K$ zum Rücklauf). Hier läuft die Wärmepumpe im Dauerbetrieb. In allen anderen Betriebsfällen wird immer der gleiche (hier zu grosse!) Verflüssigertemperaturhub zur jeweiligen Rücklauftemperatur addiert. Dabei kann nur durch Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe versucht werden, eine der Aussentemperatur entsprechende mittlere Vorlauftemperatur einzuhalten. Um allzu häufiges Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe zu verhindern, wird üblicherweise wie folgt vorgegangen: – Es wird witterungsgeführt auf die Rücklauftemperatur geregelt – Die Schaltdifferenz (Hysterese) wird auf etwa $0{,}5 \cdot \Delta\vartheta_{Auslegung}$ eingestellt ■ Die maximal zulässige Schalthäufigkeit (in der Regel 3mal pro Stunde) kann durch eine entsprechende Einschaltverzögerung garantiert werden. ■ In keinem Betriebsfall darf die maximal zulässige Verflüssigeraustrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22) überschritten werden. Mit der maximal auftretenden Verflüssiger-Temperaturdifferenz $\Uparrow\vartheta_{K,MAX}$ ergibt sich damit die maximal zulässige Rücklauftemperatur $\vartheta_{RL,MAX}$: $\vartheta_{RL,MAX} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Uparrow\vartheta_{K,MAX}$ ■ Drucküberwachung der Erdwärmesonden nach Vorschrift. ■ Vor– und Nachlauf der Verdampferpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen). ■ Auf Wunsch des Herstellers evtl. Servicebypass zwischen Vor- und Rücklauf vorsehen. Dieser muss aber im normalen Betrieb unter allen Umständen geschlossen sein!	■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig: – Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage – Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme – Betriebsstundenzähler für Verdichter – Einschaltimpulszähler für Verdichter – Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen) Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen. ■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden. ■ Erdwärmesonden sind bewilligungspflichtig (kantonales Gewässerschutzamt anfragen). ■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften. ☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNG A, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, WASSERERWÄRMUNG ☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Gesamt-Standardschaltung für kleine Wärmepumpenanlage

Bivalente Aussenluft-Kleinwärmepumpe im Heizungsrücklauf

WP-02



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den bivalent-parallelen Betrieb einer Kleinwärmepumpe mit Aussenluft als Wärmequelle in einer bestehenden Heizungsanlage.

■ Die Heizleistung der Aussenluft-Kleinwärmepumpe variiert stark in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

■ Damit die Kleinwärmepumpe auf dem bestmöglichen Temperaturniveau arbeiten kann, wird sie über einen Kleinstspeicher («Einbindungsflasche») direkt in den Heizungsrücklauf der bestehenden Heizungsanlage eingebaut.

■ Besonders geeignet für Heizsysteme mit hoher Bandlast und tiefer Rücklauftemperatur. Die Kleinwärmepumpe sollte dabei in erster Linie zur Abdeckung der Bandlast ausgelegt werden (steckerfertige Lösung mit geringem Planungsaufwand möglich!).

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Einfacher Fall: Die Kleinwärmepumpe wird zur Deckung der Bandlast in Anlagen mit genügend tiefer Rücklauftemperatur eingesetzt. In dieser Betriebsart kann die Heizleistung der Kleinwärmepumpe praktisch kontinuierlich an den Heizungsrücklauf abgegeben werden. Die bestehende witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung erhöht die Vorlauftemperatur weiter durch Beimischung von heissem Kesselwasser auf den geforderten Sollwert. Ein Eingriff in die bestehende Steuerung/Regelung ist hier nicht nötig. Es genügt die zur Kleinwärmepumpe steckerfertig mitgelieferte Steuerung/Regelung.

■ Schwieriger Fall: Bedeutend komplizierter wird die Sache, wenn die Heizleistung der Kleinwärmepumpe über der Bandlast liegt. In diesem Falle muss die Heizkesselsteuerung, die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung und die Steuerung/Regelung der Kleinwärmepumpe koordiniert ablaufen. Hier sind keine steckerfertigen Lösungen möglich – es ist eine sorgfältige Planung notwendig!

■ Der Kleinstspeicher («Einbindungsflasche») hat zwei Funktionen:

1. Hydraulische Entkopplung von Heizgruppen- und Wärmepumpenkreis.
2. Im normalen Betrieb wird der Kleinstspeicher von unten nach oben durchflossen und der Fühler misst die Verflüssiger-Eintritts- bzw. Heizungsrücklauftemperatur. Sobald der Durchfluss in der Gruppe kleiner wird als der Verflüssigerdurchfluss (z.B. Schliessen der Thermostatventile), kehrt die Durchflussrichtung im Speicher um, und der Fühler misst die Verflüssiger-Austrittstemperatur und schaltet aus, sobald diese zu hoch wird. Der Wärmepumpe bleibt die Zeitspanne bis der Kleinstspeicher «geleert» ist, um rechtzeitig Auszuschalten.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Wärmeleistungsbedarf in Abhängigkeit der Aussentemperatur (Energiekennlinie) und Heizkurve bestimmen.

■ Heizleistung über dem Verflüssiger in Abhängigkeit der Aussentemperatur bestimmen (mit Hersteller abklären).

■ Wärmeleistungsbedarf und Heizleistung der Kleinwärmepumpe miteinander vergleichen und den Rechenwert für die Bandlast festlegen.

■ Fallunterscheidung:

– Bandlast ≥ Heizleistung Wärmepumpe: Einfacher Fall, die Kleinwärmepumpe läuft, solange die Rücklauftemperatur und die Aussentemperatur einen Betrieb erlauben. Allfällige Schwankungen der Bandlast nach unten müssen durch EIN/AUS-Betrieb der Wärmepumpe aufgefangen werden.
– Bandlast < Heizleistung Wärmepumpe: Schwieriger Fall, es ist eine sorgfältige Planung notwendig. Sinngemäss gelten die Auslegungsempfehlungen der Schaltung WP-03.

■ Der Durchfluss in der Gruppe ist in der Regel durch die bestehende Pumpe P2 gegeben, nötigenfalls kann noch gedrosselt werden. Die Verflüssigerpumpe P1 muss so ausgelegt werden, dass der Verflüssigerdurchfluss kleiner ist als der Durchfluss in der Gruppe, weil sonst der Wärmepumpen-Vorlauf direkt in den Rücklauf umgelenkt wird (schliessende Thermostatventile beachten!). Wenn der Verflüssigerdurchfluss jedoch allzu klein gewählt wird, wird die Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger entsprechend gross, und es entstehen Probleme mit dem Sicherheitsabstand zum Ausschaltpunkt.

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssigeraustrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).

■ Mit der maximal auftretenden Verflüssiger-Temperaturdifferenz

$$\Delta\vartheta_{K,MAX}[K] = 0{,}86\,\frac{\dot{Q}_{WP,MAX}[kW]}{\dot{V}_{P1}[m^3/h]}$$

ergibt sich die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur:

$$\vartheta_{K,E,MAX} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$$

■ Zur Bestimmung der Ausschalttemperatur und der Einschaltemperatur müssen drei völlig unterschiedliche Betriebszustände berücksichtigt werden:

1. Die Heizungsrücklauftemperatur überschreitet bei tiefer Aussentemperatur die maxiamal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur.
2. Der Durchfluss in der Gruppe ist kleiner als der Verflüssigerdurchfluss (z.B. wenn Thermostatventile schliessen): Der Kleinstspeicher wird von oben nach unten durchflossen, und die Wärmepumpe muss vor Überschreitung der maximal zulässigen Verflüssiger-Eintrittstemperatur ausgeschaltet werden.
3. Die Wärmepumpe läuft allein: Zweipunktregelung auf den gewünschten Rücklauftemperatursollwert.

Die Ausschalttemperatur der Kleinwärmepumpe kann bezüglich den Punkten 1 und 2 auf $\vartheta_{K,E,MAX}$ eingestellt werden. Bezüglich Punkt 3 muss die Ausschaltemperatur jedoch tiefer sein, um Energieverschwendung zu vermeiden (Sollwertanpassung von Hand im einfachen Fall, Witterungsführung im schwierigen Fall).

■ Die Einschalttemperatur muss im heikelsten Fall (Punkt 2) mindestens um die Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger tiefer sein als die Ausschalttemperatur.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:

– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Abtaubetrieb beachten.

■ Schallemissionen beachten (speziell bei im Freien aufgestellten Verdampfern).

☞ Stichwort INSTRUMENTIERUNG

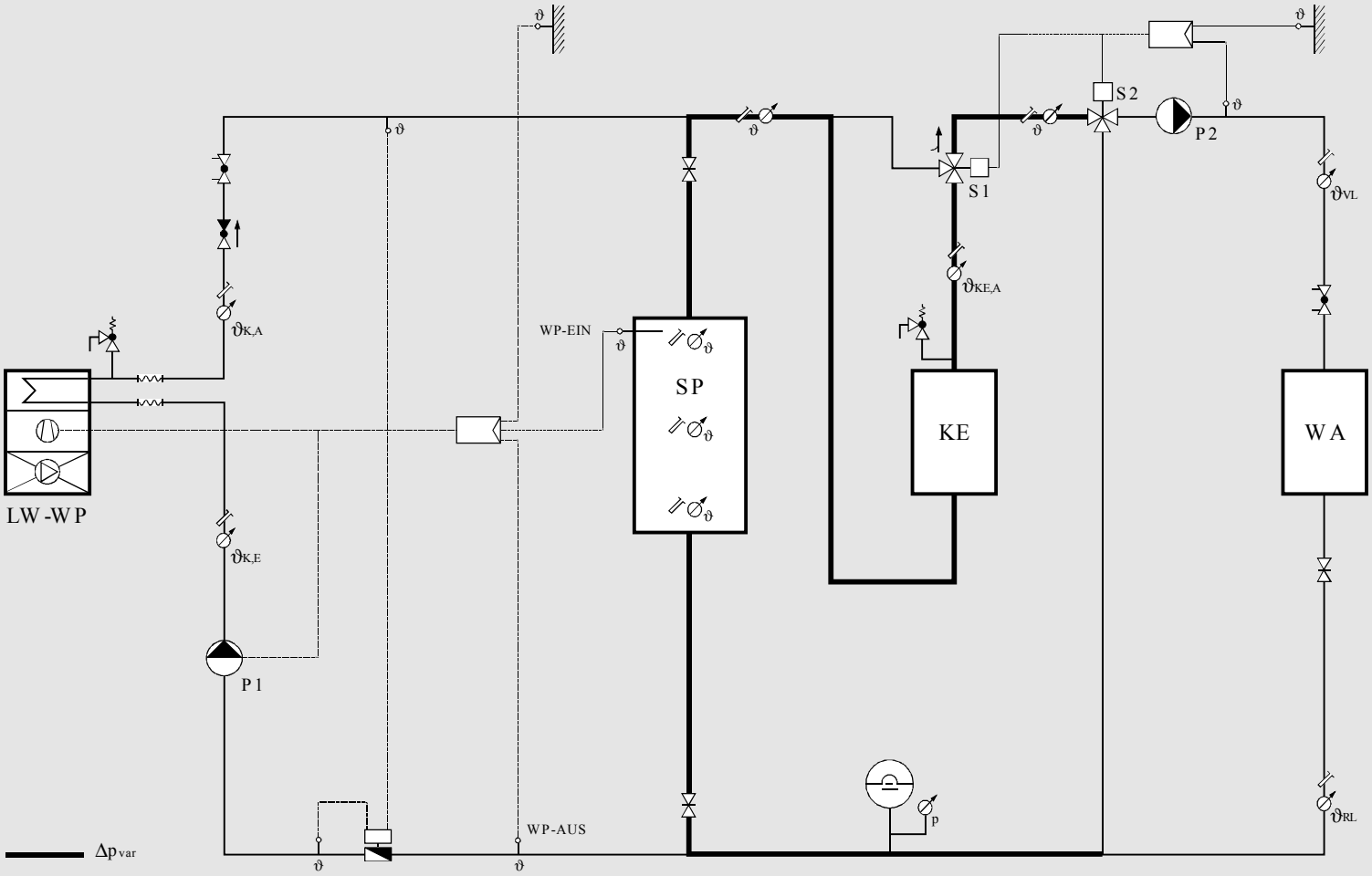
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Gesamt-Standardschaltung für kleine Wärmepumpenanlage

Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher

WP-03



Anwendungsbereich, Merkmale

- Für den bivalent-parallelen Betrieb einer kleineren Aussenluft-Wärmepumpe und eines Heizkessels.
- Die Heizleistung der Aussenluft-Wärmepumpe variiert stark in Abhängigkeit der Aussentemperatur.
- Technischer Speicher (kein Wärmespeicher!) zur Einhaltung der maximal erlaubten Einschalthäufigkeit.
- Damit in der Nähe des Bivalenzpunktes eine akzeptable Brennerlaufzeit erreicht wird, darf der Kessel nicht überdimensioniert sein, und er sollte genügend Wasserinhalt und eine grosse Schaltdifferenz haben. Ausserdem muss der Kessel ohne Rücklaufhochhaltung und mit variablem Durchfluss betrieben werden können. (Falls eine Rücklaufhochhaltung erforderlich ist, muss die Kesseleinbindung entsprechend WP-08 erfolgen!)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

- Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.
- Die Ladung des Speichers geschieht stufenweise mit der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_K$ über dem Verflüssiger in einem oder in mehreren Durchgängen.
- Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).
- Bei ausgeschalteter Wärmepumpe verhindert ein federbelastetes Rückschlagventil eine Fehlzirkulation über den Verflüssigerkreis.
- Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss lastabhängig.
- Die Freigabe des Kessels sowie des Kesselventils S1 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur)
- Die Regelung der Kesselwassertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.
- Die Beimischung des Kesselwassers erfolgt als Sequenz Gruppenventil S2 – Kesselventil S1.
- Während der Kessel gesperrt ist, steht das Kesselventil S1 in Position «Umlenkung».

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

- Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Delta\vartheta_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).
- Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Delta\vartheta_{Bivalenz}$ bestimmen.
- Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Delta\vartheta_K = 0{,}5...0{,}7 \cdot \Delta\vartheta_{Bivalenz}$$

mit Begrenzung nach unten $\Delta\vartheta_K \geq 4$ K

- Auslegung Verflüssigerdurchfluss:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Delta\vartheta_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen.

- Auslegung Kesselventil, Gruppenventil und Gruppenpumpe (näherungsweise):

$$\dot{V}_{S1} = \dot{V}_{S2} = \dot{V}_{P2} = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WA,Auslegung}\,[kW]}{\Delta\vartheta_{Auslegung}\,[K]}$$

($\dot{V}$ in $[m^3/h]$)

- Die Bedingung

$$\dot{V}_{P1} \geq \dot{V}_{S2}$$

muss während des Wärmepumpenbetriebs eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den kalten Speicher eintritt.

- Für Ventilautorität $\geq 0{,}5$ gilt:

$$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird. Achtung: Druckabfall S1 in der Ventilautorität von S2!

Regelungstechnische Empfehlungen

- Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).
- Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:
  1. Als erste Regel gilt:

     $\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$
  2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

     $\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$

     Es ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.
  3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

     $\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

     Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Die Ein- und Ausschalttemperaturen können witterungsgeführt werden.

- In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.
- Vor– und Nachlauf der Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).
- Als Einstellregel für die Ausschalttemperatur des Kesselthermostaten gilt:

$$\vartheta_{KE,AUS} > \vartheta_{VL,MAX}$$

Besonderes

- Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
  - Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
  - Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
  - Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
  - Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
  - Brennstoffzähler für Kessel
  - Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

- Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.
- Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.
- Abtaubetrieb beachten.
- Schallemissionen beachten (speziell bei im Freien aufgestellten Verdampfern).

Stichworte INSTRUMENTIERUNG, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

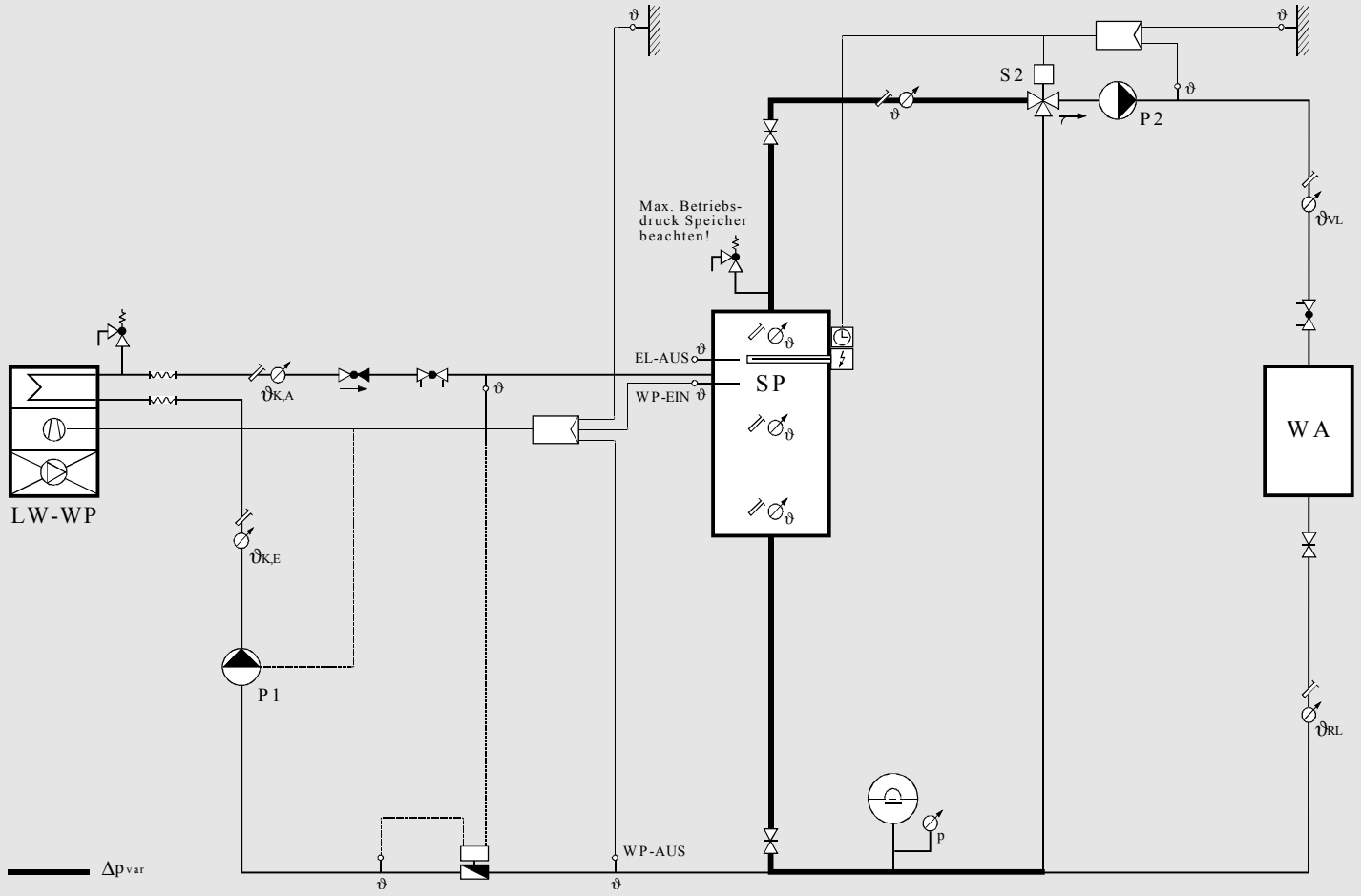
Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Gesamt-Standardschaltung für kleine Wärmepumpenanlage

Monoenergetische Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher

WP-04



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den monoenergetischen bivalent-parallelen Betrieb einer Aussenluft-Wärmepumpe mit elektrischer Zusatzheizung zur Spitzenlastdeckung.

■ Die Heizleistung der Aussenluft-Wärmepumpe variiert stark in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

■ Technischer Speicher (kein Wärmespeicher!) zur Einhaltung der maximal erlaubten Einschalthäufigkeit der Wärmepumpe. Der Speicherbereich über dem Elektroheizeinsatz muss separat ausgelegt werden und darf nicht zum Nutzvolumen der Wärmepumpe gezählt werden.

■ Diese Schaltung wird oft beim Ersatz einer Elektroheizung durch eine Wärmepumpe eingesetzt, wenn nur Aussenluft als Wärmequelle zur Verfügung steht und ein Kessel als zweiter Wärmeerzeuger unzumutbare Kosten verursachen würde.

■ Gemäss Energienutzungsverordnung (ENV) sind neue elektrische Widerstandsheizungen bis zu einer Gesamtanschlussleistung von 3 kW nicht Bewilligungspflichtig. Diese Grenze sollte auch für die elektrische Zusatzheizung zur Spitzenlastdeckung als oberstes Limit betrachtet werden. Deshalb sind solche monoenergetischen Heizsysteme nur bei sehr gut wärmegedämmten Einfamilienhäusern sinnvoll. In jedem Falle soll die Auslegung von Wärmepumpe plus Zusatzheizung auf die mittlere Aufnahmeleistung der Wärmepumpe (P_{NT}-Wert) entsprechend L2/W35 erfolgen.

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.

■ Die Ladung des Speichers geschieht stufenweise mit der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_K$ über dem Verflüssiger in einem oder in mehreren Durchgängen.

■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).

■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe verhindert ein federbelastetes Rückschlagventil eine Fehlzirkulation über den Verflüssigerkreis.

■ Die Freigabe der elektrischen Zusatzheizung für bivalent-parallelen Betrieb darf nur von Hand für jeweils 24 Stunden erfolgen (automatische Rücksetzung). An kalten Tagen ist zudem unbedingt auf die Nachtabsenkung zu verzichten.

■ Das Einschalten der elektrischen Zusatzheizung erfolgt durch einen Endkontakt im Gruppenventil, d.h., nur während das Gruppenventil voll auf «Durchgang» steht, kann der Heizstab eingeschaltet werden. Die Ausschaltung geschieht über EL-AUS.

■ Wegen des höheren Temperaturniveaus der elektrischen Zusatzheizung, muss diese hydraulisch vom Wärmepumpenkreis getrennt sein (in Serie zur Wärmepumpe). Dies wird durch einen seitlichen Speicheranschluss unterhalb des Heizstabes erreicht.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss lastabhängig.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow_K = 0{,}5...0{,}7 \cdot \Uparrow_{Bivalenz}$$

mit Begrenzung nach unten $\Uparrow_K \geq 4$ K

■ Auslegung Verflüssigerdurchfluss:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen.

■ Auslegung Gruppenventil und Gruppenpumpe:

$$\dot{V}_{P2} = \dot{V}_{S2} = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WA,Auslegung}[kW]}{\Delta_{Auslegung}\,[K]}$$

($\dot{V}$ in [m³/h])

■ Die Bedingung

$$\dot{V}_{P1} \geq \dot{V}_{S2}$$

muss während des Wärmepumpenbetriebs eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den kalten Speicher eintritt.

■ Für Ventilautorität $\geq 0{,}5$ gilt:

$$\Delta p_{S2} \geq \Delta p_{var}$$

■ Kubische Speicher bestehender Elektroheizungen haben oft einen maximalen Betriebsdruck von nur 1 bar. Das Sicherheitsventil ist unbedingt auf diesen Druck auszulegen (Unfallgefahr!).

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:

   $\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$

   Es ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Die Ein- und Ausschaltemperaturen können witterungsgeführt werden.

■ Einstellregel für die Ausschaltung der Zusatzheizung:

$\vartheta_{EL,AUS} = \vartheta_{VL,MAX}$

■ Fussbodenheizungen sind gegen Übertemperatur abzusichern.

■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.

■ Vor– und Nachlauf der Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:

– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und elektrische Zusatzheizung
– Einschaltimpulszähler für Verdichter
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung sowie Zusatzheizung gemäss örtlichen Vorschriften.

■ Abtaubetrieb beachten.

■ Schallemissionen beachten (speziell bei im Freien aufgestellten Verdampfern).

☞ Stichworte INSTRUMENTIERUNG, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

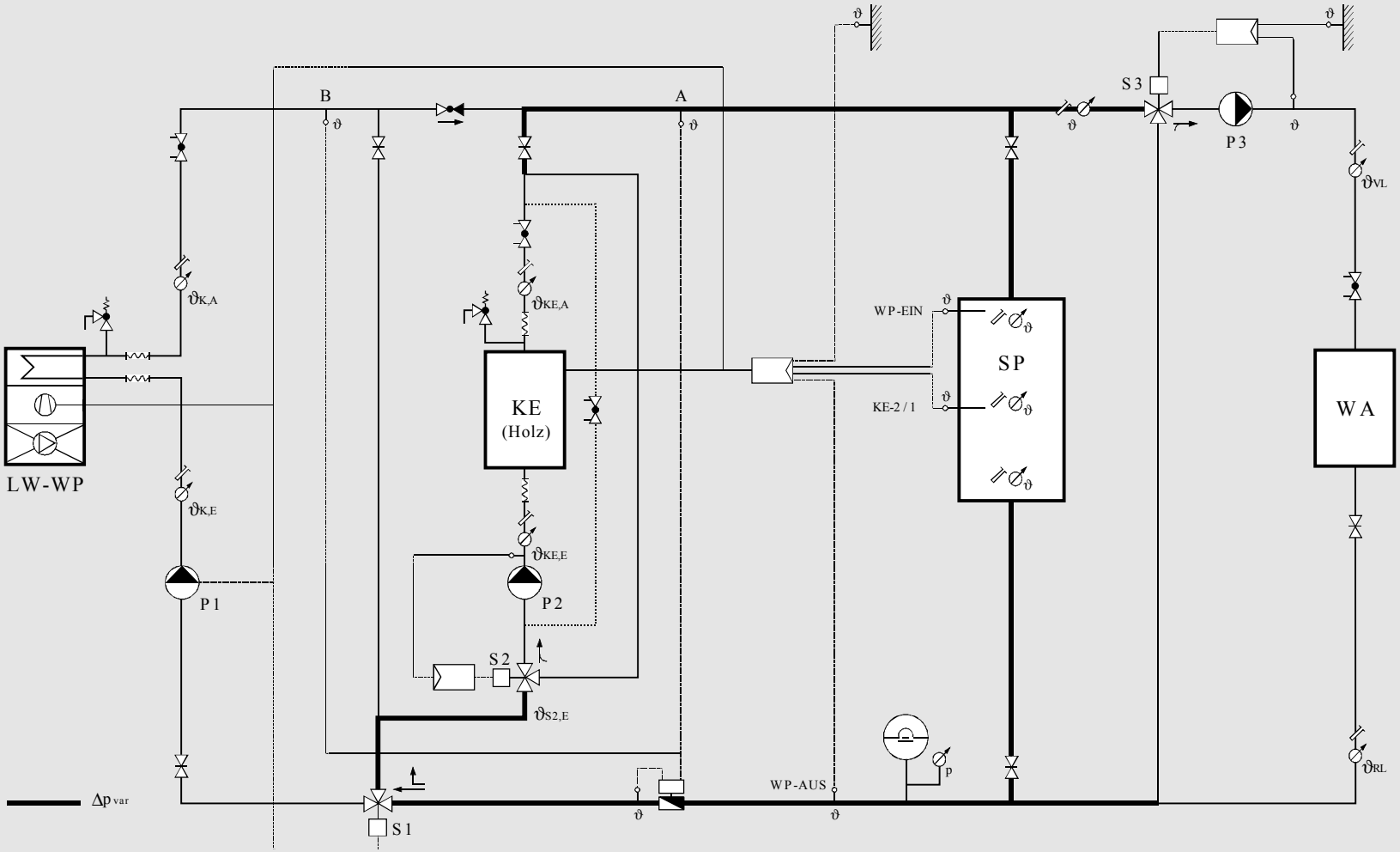
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Gesamt-Standardschaltung für kleine Wärmepumpenanlage

Bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Stückholzfeuerung

WP-05



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den bivalenten Betrieb einer Aussenluft-Wärmepumpe in Kombination mit einer Stückholzfeuerung. Die Schaltung ist für Alternativbetrieb und – mit Einschränkungen – auch für Parallelbetrieb geeignet. Für Parallelbetrieb gilt:
- Ein Dauerbetrieb der Wärmepumpe ist nicht möglich, weil bei gleichzeitigem Betrieb von Wärmepumpe und Holzkessel der Rücklauf nach dem ersten Durchgang der Stufenladung stark ansteigt
- Sobald jedoch der Holzkessel ausgebrannt ist, kommt automatisch wieder die Wärmepumpe (wichtig als Frostsicherung)

■ Die Heizleistung der Aussenluft-Wärmepumpe variiert stark in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

■ Speicher zur Einhaltung der maximal zulässigen Einschalthäufigkeit der Wärmepumpe und zur Zwischenspeicherung für die Holzfeuerung. Der Speicherinhalt muss in erster Linie auf die Bedürfnisse der Holzfeuerung ausgelegt werden.

■ Eine Holzfeuerung hat grosse Leistungsschwankungen und ist nur bedingt regelbar. Wenn sie angefeuert wird, muss sichergestellt sein, dass die Wärme an den Verbraucher abgeführt oder im Speicher abgelegt werden kann. Die Wärmepumpe muss ausgeschaltet und abgekoppelt werden, bevor der Rücklauf zu heiss wird (Umschaltventil S1).

INFEL, KRE: Planungsgrundlagen für bivalente WP/Holz-Heizungen. (Bezugsquelle: INFEL, Postfach, 8021 Zürich)

YUM WP/Holz. Simulationsprogramm auf PC zur Optimierung bivalenter WP/Holz-Heizungen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.

■ Die Ladung des Speichers geschieht – sowohl bezüglich der Wärmepumpe wie bezüglich des Holzkessels – stufenweise in einem oder in mehreren Durchgängen.

■ Bei zweistufigen Stückholzfeuerungen erfolgt nach dem Anfeuern eine Vollastphase. Wenn der in der Speichermitte angeordnete Fühler KE-2/1 «warm» meldet, wird auf Teillast (Stufe 1) umgestellt.

■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe und das Umschaltventil S1 wird auf «Umlenkung» gestellt. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).

■ Das Rückschlagventil im Hauptvorlauf verhindert eine Fehlzirkulation, wenn die Holzfeuerung allein läuft (S1 auf «Umlenkung»).

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss lastabhängig.

■ Die Freigabe des Holzkessel und des Kesselventils S2 erfolgt «von Hand», sobald angefeuert wird.

■ Die Sicherheitsabschaltung der Holzfeuerung bei Übertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.

■ Bei geschlossenen Heizsystemen ist für die Holzfeuerung eine thermische Ablaufsicherung vorgeschrieben (Kaltwasseranschluss).

■ Während der Kessel gesperrt ist, steht das Kesselventil S2 in Position «Umlenkung».

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow\vartheta_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow\vartheta_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow\vartheta_K\,[K] = 0{,}5...0{,}7\ \Uparrow\vartheta_{Bivalenz}$$

mit Begrenzung nach unten $\Uparrow\vartheta_K \geq 4$ K

■ Auslegung Verflüssigerdurchfluss:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow\vartheta_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen.

■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\Uparrow\vartheta_{KE}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\vartheta_{KE,A} - \vartheta_{S2,E}\,[K]}$$

■ Auslegung Gruppenventil und Gruppenpumpe (näherungsweise):

$$\dot{V}_{S3} = \dot{V}_{P3} = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WA,Auslegung}[kW]}{\Delta\vartheta_{Auslegung}\,[K]}$$

($\dot{V}$ in [m³/h])

■ Die Bedingung $\dot{V}_{P1} \geq \dot{V}_{S3}$ muss während des Wärmepumpenbetriebs eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den kalten Speicher eintritt.

■ Die Bedingung $\dot{V}_{P1} \geq \dot{V}_{S2}$ muss während des Parallelbetriebs von Wärmepumpe und Holzkessel eingehalten werden.

■ Das Umschaltventil S1 ist grosszügig auszulegen und es muss als Verteilventil geeignet sein.

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird. Achtung: Ventil S1 und der Wärmezähler gehören zu Δp_{var} von Ventil S2!

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $$\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$$

   Es ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Die Ein- und Ausschaltemperaturen können witterungsgeführt werden.

■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.

■ Vor– und Nachlauf der Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

■ Die Rücklaufhochhaltung des Stückholzkessels ist auf die minimal zulässige Rücklauftemperatur einzustellen (Herstellerangabe).

■ Einstellregel für die Umschaltung auf Teillast:

$$\vartheta_{KE\text{-}2/1} = \vartheta_{KE,E,MIN} + 5\ K$$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
- Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
- Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe bzw. Gesamtanlage produzierten Nutzwärme
- Betriebsstundenzähler für Verdichter und Holzfeuerung
- Einschaltimpulszähler für Verdichter
- Waage für Holzverbrauch
- Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Wärmepumpe wie die Gesamtanlage überprüft werden kann:
- Vorlauffühler bei A: Kontrolle des Jahresnutzungsgrades der Gesamtanlage (Speicherverluste rechnerisch)
- Vorlauffühler bei B: Kontrolle der Leistungszahl und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage (Bedingung: Wärmezählung «aus», wenn Umschaltventil S1 auf «Umlenkung» steht)

Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung sowie Zusatzheizung gemäss örtlichen Vorschriften.

■ Abtaubetrieb beachten.

■ Schallemissionen beachten (speziell bei im Freien aufgestellten Verdampfern).

Stichworte INSTRUMENTIERUNG, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

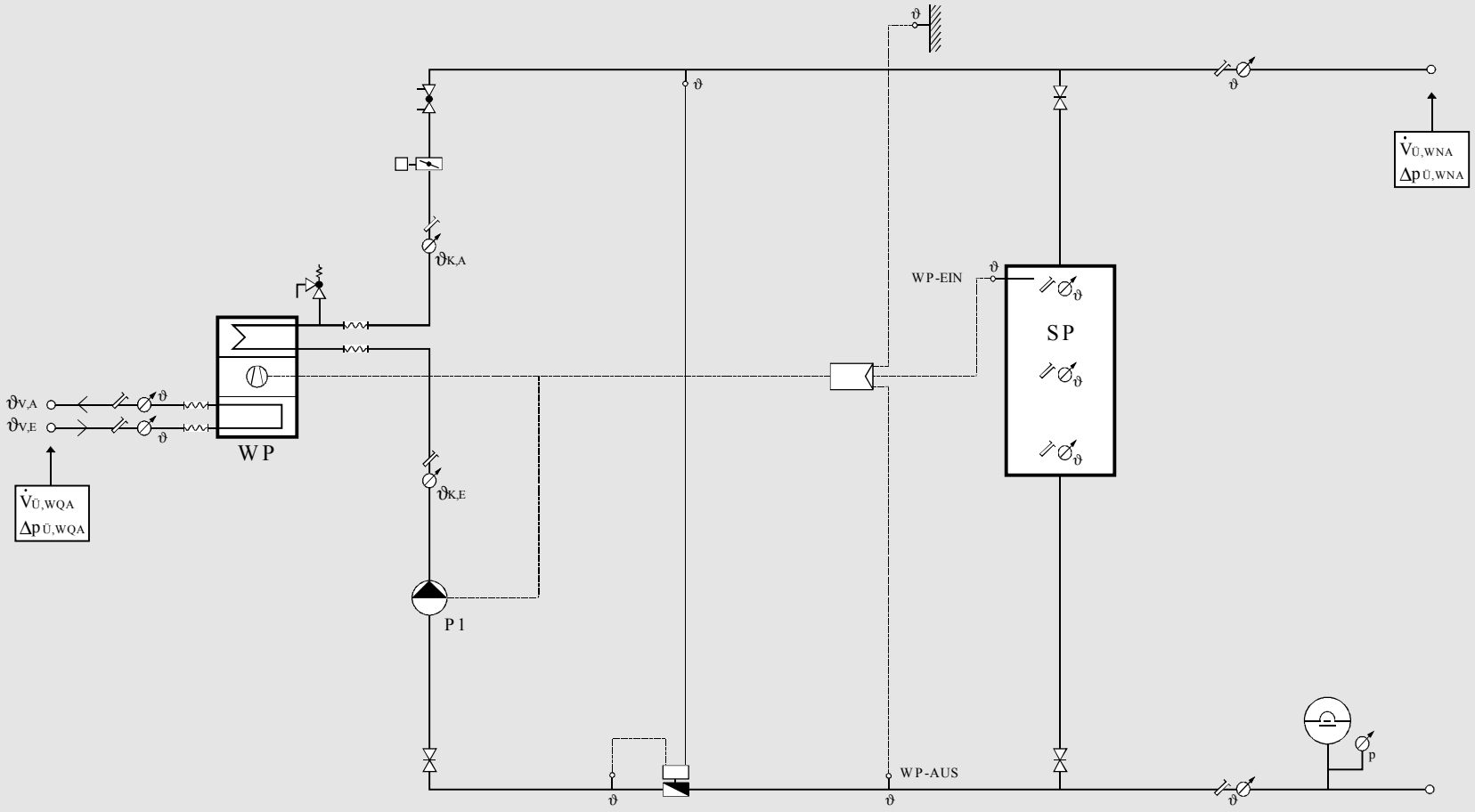
Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe

Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung

WP-06



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den monovalenten Betrieb einer einstufigen Wärmepumpe mit einer einzigen Heizgruppe.

■ Für Wärmequellen
– mit wenig schwankender Temperatur, wie Erdsonden und Grundwasser
– mit flüssigem Wärmeträger mit schwankender Temperatur (z.B. Oberflächengewässer) mit Verdampfer-Austrittstemperaturregelung

(Aussenluft als Wärmequelle nur bei bivalenten Anlagen)

■ Vorteile der Stufenladung:
– Geringere Kosten
– Grösserer Verflüssigerdurchfluss ergibt zeitweise bessere Leistungszahl infolge der tieferen Verflüssigungstemperatur

■ Nachteile der Stufenladung:
– Unklare Temperaturverhältnisse ergeben Vorlauftemperaturschwankungen, Unterdeckung, schlechtere Speichernutzung und Rückwirkungen auf den Verdampfer
– Grössere Verflüssigerpumpenleistung verschlechtert die Jahresarbeitszahl

■ Nur mit technischem Speicher (kein Wärmespeicher!) zur Einhaltung der maximal erlaubten Einschalthäufigkeit.

■ Wegen den Vorlauftemperaturschwankungen nur für kleinere Anlagen mit einer einzigen Heizgruppe geeignet.

SWKI-Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.

■ Die Ladung des Speichers geschieht stufenweise mit der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_K$ über dem Verflüssiger in einem oder in mehreren Durchgängen.

■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).

■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe verhindert die dichtschliessende Motorklappe eine Fehlzirkulation über den Verflüssigerkreis (bei Kleinanlagen genügt evtl. ein federbelastetes Rückschlagventil).

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$\Uparrow_K = 0{,}5...0{,}7 \Uparrow_{Auslegung}$

mit Begrenzung nach unten $\Uparrow_K \geq 4$ K

■ Auslegung Verflüssigerdurchfluss:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Auslegepunkt einzusetzen.

■ Die Bedingung

$\dot{V}_{P1} > \dot{V}_{ü,WNA}$

muss während des Wärmepumpenbetriebs eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den kalten Speicher eintritt.

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:

   $\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$

   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Die Ein- und Ausschaltemperaturen können witterungsgeführt werden.

■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.

■ Vor– und Nachlauf der Verdampfer– und Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

■ Die für die Wärmenutzung erreichbare Vorlauftemperatur liegt zwischen der Ausschalttemperatur $\vartheta_{WP,AUS}$ und der Ausschalttemperatur plus dem Verflüssigertemperaturhub, also $\vartheta_{WP,AUS} + \Delta\vartheta_K$. Um bei tieferen Aussentemperaturen grössere Vorlauftemperatureinbrüche zu vermeiden (Unterdeckung), sollte der Verflüssigertemperaturhub $\Delta\vartheta_K$ nicht allzu gross sein oder die am Auslegepunkt benötigte Vorlauftemperatur nahe bei der Auschalttemperatur $\vartheta_{WP,AUS}$ liegen.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter
– Einschaltimpulszähler für Verdichter
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.

☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNG C, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

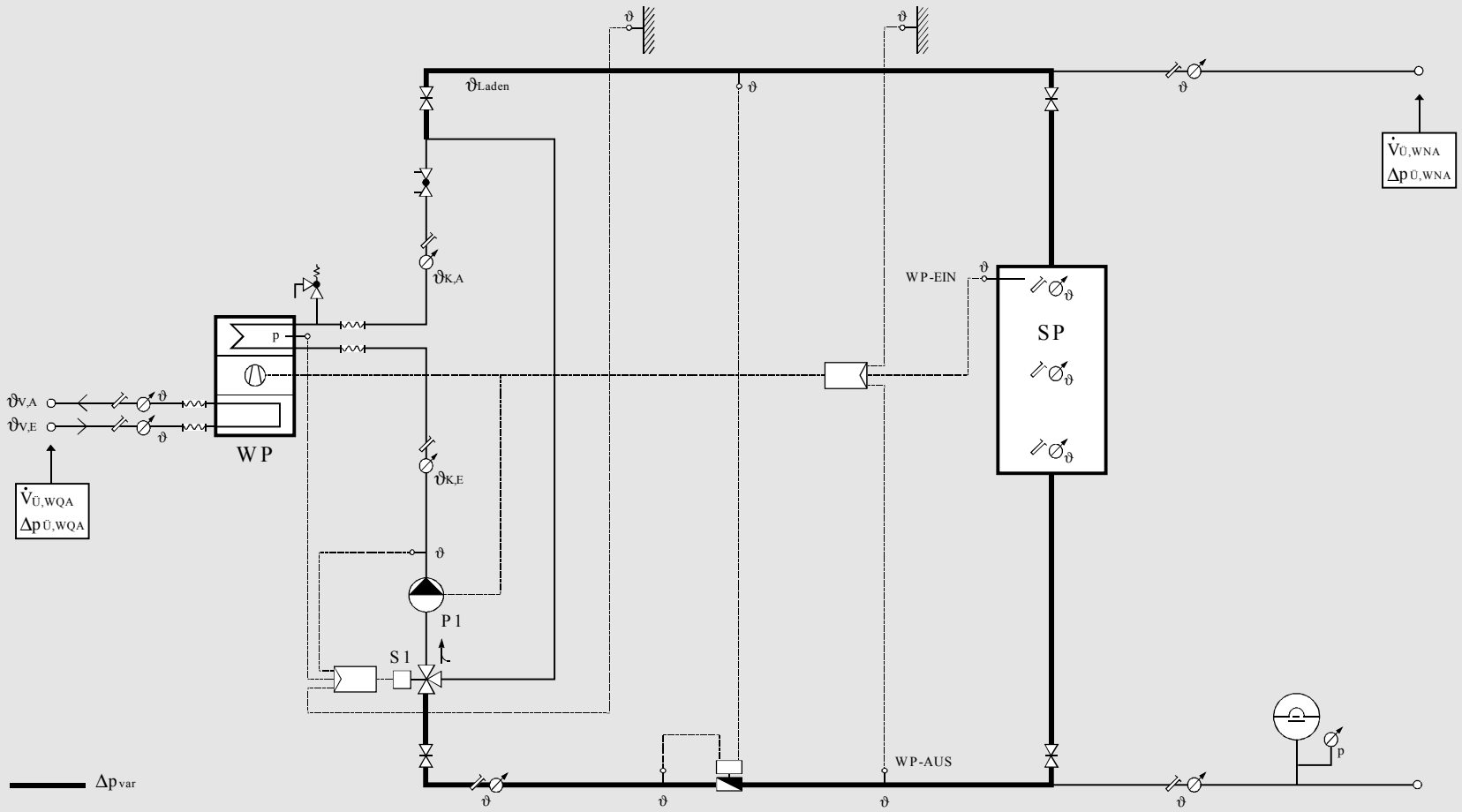
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe

Monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung

WP-07



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den monovalenten Betrieb einer einstufigen Wärmepumpe.
■ Für Wärmequellen
– mit wenig schwankender Temperatur, wie Erdsonden und Grundwasser
– mit flüssigem Wärmeträger mit schwankender Temperatur (z.B. Oberflächengewässer) mit Verdampfer-Austrittstemperaturregelung

(Aussenluft als Wärmequelle nur bei bivalenten Anlagen)
■ Vorteile der Schichtladung:
– Genau einstellbare und jederzeit auch voraussetzbare Temperaturverhältnisse
– Verflüssigerdurchfluss nur so gross wie unbedingt notwendig
■ Nachteile der Schichtladung:
– Höhere Kosten
– Bei voller Speichernutzung resultiert eine Verschlechterung der Arbeitszahl
■ Sowohl für technische Speicher (Einhaltung der maximal zulässigen Schalthäufigkeit) als auch für Wärmespeicher geeignet (Nutzung des Niedertarifs, Überbrückung von Sperrzeiten, zeitliche Verschiebung von Angebot und Nachfrage).
■ Wegen der stabilen Vorlauftemperatur speziell für Anlagen mit mehreren Heizgruppen geeignet.

SWKI-Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.
■ Durch Variieren der Verflüssigereintrittstemperatur wird auf einen durch die gewünschte Ladetemperatur ϑ_{Laden} bestimmten Verflüssigungsdruck geregelt.
■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.
■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).
■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den Ladekreis.
■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$, lastabhängig

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).
■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow_K = \Uparrow_{Auslegung}$$

Bei stark variabler Wärmequelle ist evtl. ein kleineres $\Delta\vartheta_K$ erforderlich.
■ Auslegung Pumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Auslegepunkt einzusetzen. Begründete Vorschriften des WP-Herstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.
■ Bei Auslegung auf $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{ü,WNA}$ sollte der hydraulische Abgleich auf

$$\dot{V}_{P1} = 1{,}1 \cdot \dot{V}_{ü,WNA}$$

erfolgen.
■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$$\Delta p_{S1} \geq \Delta p_{var}$$

Achtung: Der Wärmezähler gehört zu Δp_{var}!
■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$$\Delta p_{ü,WNA} < 2\ kPa$$

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).
■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $$\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$$

   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:

   $$\vartheta_{WP,AUS} < \vartheta_{Laden}$$

Die Ein- und Ausschalttemperaturen sowie die Ladetemperatur können witterungsgeführt werden. $\vartheta_{Laden} = \vartheta_{WNA,RL} + \Delta\vartheta_K$ kann dabei nicht unterschritten werden.
■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim Verflüssiger
■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.
■ Vor– und Nachlauf der Verdampfer– und Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter
– Einschaltimpulszähler für Verdichter
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.
■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.
■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.

Stichworte GRUNDSCHALTUNG D, INSTRUMENTIERUNG, REGELGESCHWINDIGKEIT, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

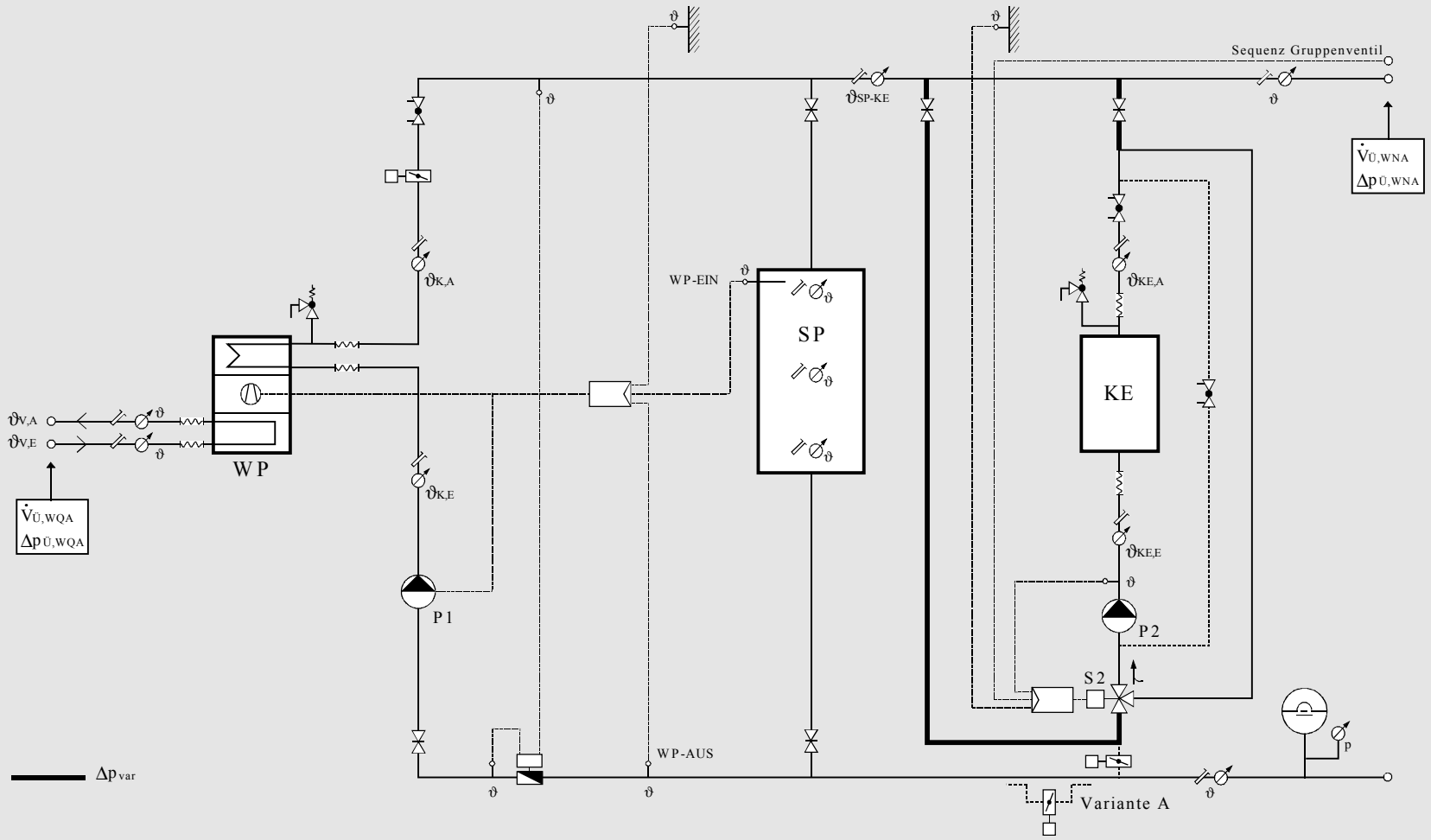
Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe

Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung

WP-08



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den bivalent-parallelen Betrieb einer einstufigen Wärmepumpe, eines Heizkessels und einer einzigen Heizgruppe.

■ Für alle Wärmequellen, insbesondere aussentemperaturabhängige Wärmequellen (Aussenluft) und Wärmequellen mit beschränktem Angebot

■ Vorteile der Stufenladung:
– Geringere Kosten
– Grösserer Verflüssigerdurchfluss ergibt zeitweise bessere Leistungszahl infolge der tieferen Verflüssigungstemperatur

■ Nachteile der Stufenladung:
– Unklare Temperaturverhältnisse ergeben Vorlauftemperaturschwankungen, Unterdeckung, schlechtere Speichernutzung und Rückwirkungen auf den Verdampfer
– Grössere Verflüssigerpumpenleistung verschlechtert die Jahresabeitszahl

■ Nur mit technischem Speicher (kein Wärmespeicher!) zur Einhaltung der maximal erlaubten Einschalthäufigkeit.

■ Wegen den Vorlauftemperaturschwankungen nur für kleinere Anlagen mit einer einzigen Heizgruppe geeignet.

■ Die Serieschaltung erlaubt bei Parallelbetrieb eine Vorlauftemperaturerhöhung durch den Heizkessel.

■ Damit in der Nähe des Bivalenzpunktes eine akzeptable Brennerlaufzeit erreicht wird, darf der Kessel nicht überdimensioniert sein, er sollte genügend Wasserinhalt und eine grosse Schaltdifferenz haben.

SWKI-Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.

■ Die Ladung des Speichers geschieht stufenweise mit der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_K$ über dem Verflüssiger in einem oder in mehreren Durchgängen.

■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).

■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe verhindert die dichtschliessende Motorklappe eine Fehlzirkulation über den Verflüssigerkreis (bei Kleinanlagen genügt evtl. ein federbelastetes Rückschlagventil).

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Die Freigabe des Kessels sowie des Kesselventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt üblicherweise lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur).

■ Die Regelung der Kesselwassertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.

■ Die Einspritzung von Kesselwasser erfolgt bei einer einzigen Heizgruppe in Sequenz Gruppenventil – Kesselventil S2. (Für mehrere Heizgruppen wird Schaltung WP-09 empfohlen!)

■ Die Rücklaufhochhaltung beim Kessel erfolgt über Kesselventil S2 und hat Priorität.

■ Während der Kessel gesperrt ist, steht das Kesselventil S2 in Position «Umleitung».

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow_K = 0{,}5...0{,}7 \Uparrow_{Bivalenz}$$

mit Begrenzung nach unten $\Uparrow_K \geq 4$ K

■ Auslegung Verflüssigerdurchfluss:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\,[kW]}{\Uparrow_K\,[K]}$$

Für $\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen.

■ Die Bedingung

$$\dot{V}_{P1} \geq \dot{V}_{ü,WNA}$$

muss während des Wärmepumpenbetriebs eingehalten werden, weil sonst eine Fehlzirkulation über den kalten Speicher eintritt.

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$$\Delta p_{ü,WNA} < 2\ kPa$$

■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\Uparrow_{KE}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{_{KE,A} - {}_{SP\text{-}KE}\,[K]}$$

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$$\Delta p_{S2} \geq \Delta p_{var}$$

■ Variante A: Evtl. Umgehung des Speichers bei Alternativbetrieb mit 2 Motordrosselklappen oder einem Dreiwegventil (teurere Lösung bei grösseren Nennweiten).

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$ (z. B. 52°C für R22).

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $$\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$$

   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $$\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

Die Ein- und Ausschaltemperaturen können witterungsgeführt werden.

■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.

■ Vor– und Nachlauf der Verdampfer– und Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

■ Als Einstellregel für die Ausschalttemperatur des Kesselthermostaten gilt:

$$\vartheta_{KE,AUS} > \vartheta_{VL,MAX}$$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.

■ Luft/Wasser-Wärmepumpen: Abtaubetrieb und Schallemissionen beachten.

Stichworte GRUNDSCHALTUNG G, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

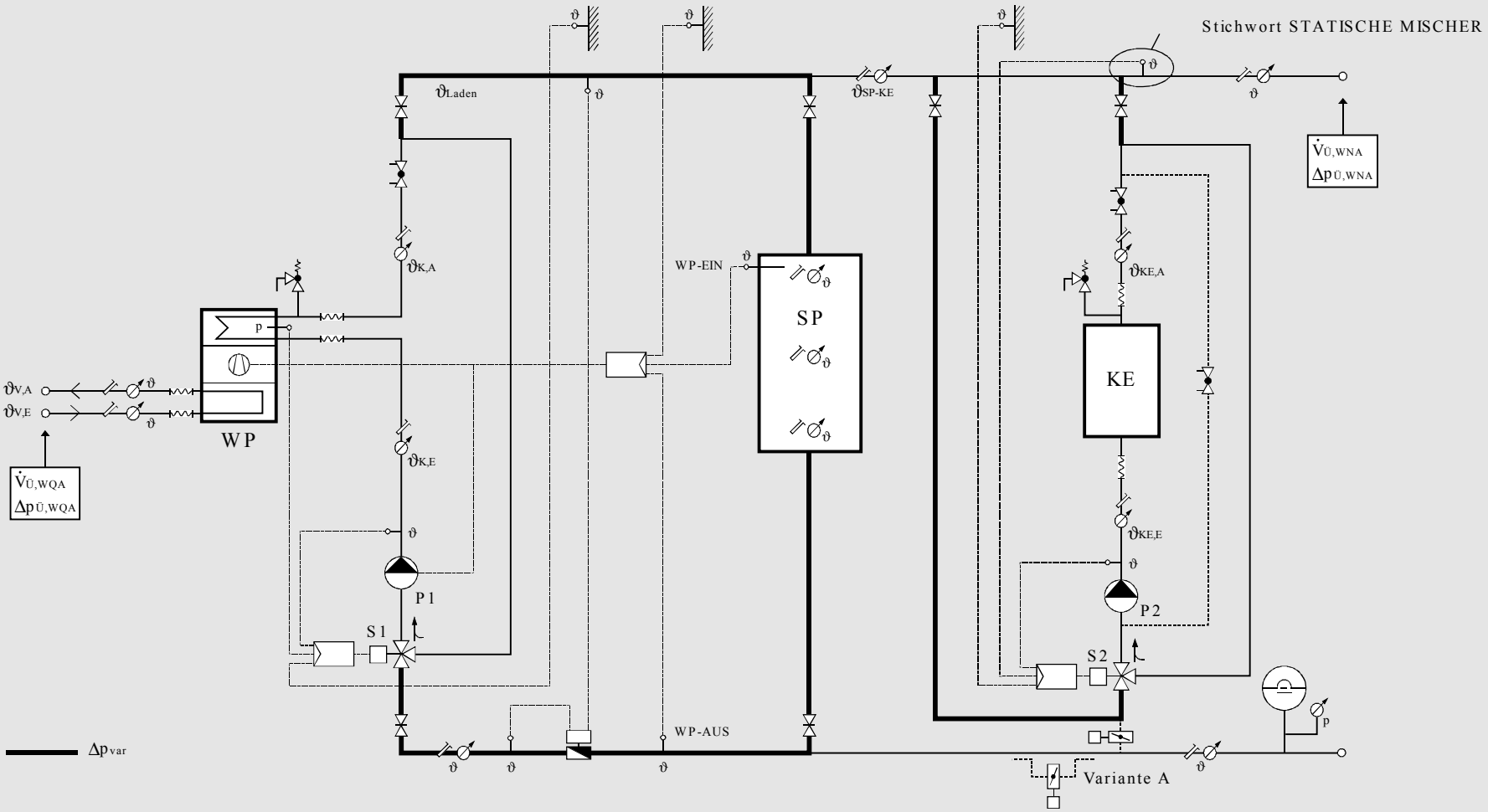
Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe

Bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung

WP-09



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den bivalent-parallelen Betrieb einer einstufigen Wärmepumpe und eines Heizkessels.
■ Für alle Wärmequellen, insbesondere aussentemperaturabhängige Wärmequellen (Aussenluft) und Wärmequellen mit beschränktem Angebot
■ Vorteile der Schichtladung:
– Genau einstellbare und jederzeit auch voraussetzbare Temperaturverhältnisse
– Verflüssigerdurchfluss nur so gross wie unbedingt notwendig
■ Nachteile der Schichtladung:
– Höhere Kosten
– Bei voller Speichernutzung resultiert eine Verschlechterung der Arbeitszahl
■ Sowohl für technische Speicher (Einhaltung der maximal zulässigen Schalthäufigkeit) als auch für Wärmespeicher geeignet (Nutzung des Niedertarifs, Überbrückung von Sperrzeiten, zeitliche Verschiebung von Angebot und Nachfrage).
■ Wegen der stabilen Vorlauftemperatur speziell für Anlagen mit mehreren Heizgruppen geeignet.
■ Die Serieschaltung erlaubt bei Parallelbetrieb eine Vorlauftemperaturerhöhung durch den Heizkessel.
■ Damit in der Nähe des Bivalenzpunktes eine akzeptable Brennerlaufzeit erreicht wird, darf der Kessel nicht überdimensioniert sein, er sollte genügend Wasserinhalt und eine grosse Schaltdifferenz haben.

SWKI-Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler «kalt» meldet.
■ Durch Variieren der Verflüssigereintrittstemperatur wird auf einen durch die gewünschte Ladetemperatur ϑ_{Laden} bestimmten Verflüssigungsdruck geregelt.
■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang.
■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (wichtig bei Nachlauf der Verflüssigerpumpe).
■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den Ladekreis.
■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.
■ Die Freigabe des Kessels sowie des Kesselventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt üblicherweise lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur).
■ Die Regelung der Kesselwassertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.
■ Die Einspritzung von Kesselwasser wird wie folgt geregelt:
– Bei einer Verbrauchergruppe Sequenz Gruppenventil – Kesselventil S2
– Bei mehreren Verbrauchergruppen mit «intelligentem» Regelsystem Sequenz Gruppenventil mit höchstem Bedarf – Kesselventil S2
– Bei mehreren Verbrauchergruppen witterungsgeführte Regelung der Hauptvorlauftemperatur
■ Die Rücklaufhochhaltung beim Kessel erfolgt über Kesselventil S2 und hat Priorität.
■ Während der Kessel gesperrt ist, steht das Kesselventil S2 in Position «Umlenkung»

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).
■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow_{Bivalenz}$ bestimmen.
■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow_K = \Uparrow_{Bivalenz}$$

Bei stark variabler Wärmequelle ist evtl. ein kleineres $\Delta\vartheta_K$ erforderlich.
■ Auslegung Verflüssigerpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{WP}\ [kW]}{\Uparrow_K\ [K]}$$

$\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen. Begründete Vorschriften des WP-Herstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.
■ Bei Auslegung auf $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{ü,WNA}$ sollte der hydraulische Abgleich auf

$$\dot{V}_{P1} = 1{,}1 \cdot \dot{V}_{ü,WNA}$$

erfolgen.
■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow_{KE}\ [K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow_{KE,A} - \Uparrow_{SP\text{-}KE}\ [K]}$$

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$$

Achtung: Der Wärmezähler gehört beim Ladeventil zu Δp_{var}!
■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$$\Delta p_{ü,WNA} < 2\ kPa$$

■ Variante A: Evtl. Umgehung des Speichers bei Alternativbetrieb mit 2 Motordrosselklappen oder einem Dreiwegventil (teurere Lösung bei grösseren Nennweiten).

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$.
■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:
1. Als erste Regel gilt:
   $\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$
2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:
   $\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$
   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$
   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:
   $\vartheta_{WP,AUS} < \vartheta_{Laden}$

Die Ein- und Ausschalttemperaturen sowie die Ladetemperatur können witterungsgeführt werden. $\vartheta_{Laden} = \vartheta_{WNA,RL} + \Delta\vartheta_K$ kann nicht unterschritten werden.
■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim Verflüssiger
■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.
■ Vor– und Nachlauf der Verdampfer– und Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).
■ Mit einer witterungsgeführten Hauptvorlauftemperaturregelung muss das in den Hauptvorlauf eingespritzte Kesselwasser bis zum Temperaturmesspunkt gut durchmischt sein.
■ Als Einstellregel für die Ausschalttemperatur des Kesselthermostaten gilt:
$\vartheta_{KE,AUS} > \vartheta_{VL,MAX}$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.
■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.
■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.
■ Luft/Wasser-Wärmepumpen: Abtaubetrieb und Schallemissionen beachten.

Stichworte GRUNDSCHALTUNG G, INSTRUMENTIERUNG, REGELGESCHWINDIGKEIT, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, STATISCHER MISCHER, WASSERERWÄRMUNG

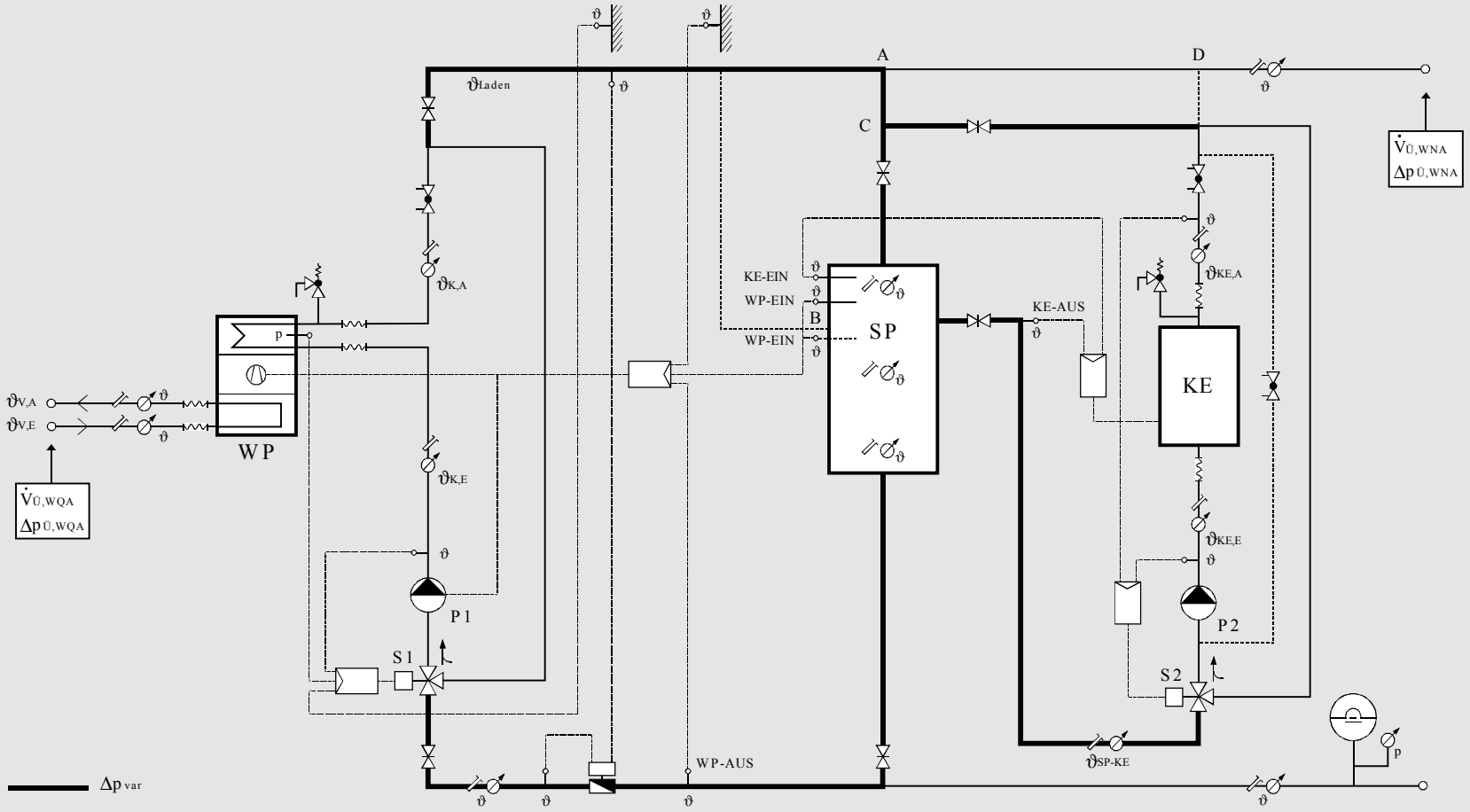
Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe

Bivalente Wärmepumpe, Kesselzuschaltung über Speicher

WP-10



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für bivalent-parallelen Betrieb einer einstufigen Wärmepumpe und eines Heizkessels.

■ Für alle Wärmequellen, insbesondere aussentemperaturabhängige Wärmequellen (Aussenluft) und Wärmequellen mit beschränktem Angebot.

■ Sowohl für technische Speicher (Einhaltung der maximal zulässigen Schalthäufigkeit) als auch für Wärmespeicher geeignet (Nutzung des Niedertarifs, Überbrückung von Sperrzeiten, zeitliche Verschiebung von Angebot und Nachfrage).

■ Der Kesselbetrieb über einen Teil des Speichers ergibt gegenüber WP-08 bzw. WP-09 längere Brennerlaufzeiten.

■ Anschluss Wärmepumpe bei A und Kessel bei C (wie gezeichnet): Die Heizungsvorlauftemperatur darf nicht höher sein als die Ladetemperatur der Wärmepumpe; die Kesselladetemperatur darf höher sein:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} \leq \vartheta_{Laden} \leq \vartheta_{KE,A}$

■ Anschluss Wärmepumpe bei A und Kessel bei D: Alle Temperaturniveaus müssen gleich sein:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} = \vartheta_{Laden} = \vartheta_{KE,A}$

■ Anschluss Wärmepumpe bei B und Kessel bei D: Die Heizungsvorlauftemperatur darf höher sein als die Ladetemperatur der Wärmepumpe; die Kesselladetemperatur muss der Heizungsvorlauftemperatur entsprechen:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} > \vartheta_{Laden} < \vartheta_{KE,A}$

und $\vartheta_{KE,A} \geq \vartheta_{WNA,VL,MAX}$

■ Einzig bei der Variante mit Anschluss der Wärmepumpe bei B und des Kessels bei D kann bei Parallelbetrieb eine Temperaturerhöhung realisiert werden. Es besteht allerdings die Gefahr, dass die Wärmepumpe durch den Kessel «abgeklemmt» wird, wenn die Wärmepumpenleistung in Bezug auf die Temperaturerhöhung ungünstig ausgelegt wird!

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für die Wärmepumpe erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler WP-EIN «kalt» meldet.

■ Durch Variieren der Verflüssigereintrittstemperatur wird auf einen durch die gewünschte Ladetemperatur ϑ_{Laden} bestimmten Verflüssigungsdruck geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang.

■ Sobald der Fühler WP-AUS im Rücklauf zur Wärmepumpe «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Wärmepumpe. Der Ausschalttemperaturfühler wird oft unten im Speicher plaziert und nicht im Rücklauf der Wärmepumpe (Nachlauf der Verflüssigerpumpe).

■ Bei ausgeschalteter Wärmepumpe steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den Ladekreis.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Die Freigabe des Kessels sowie des Kesselventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt üblicherweise lastabhängig (z. B. über Aussentemperatur).

■ Der Kessel wird über die Fühler KE-EIN und KE-AUS ein- und ausgeschaltet.

■ Die Regelung der Kessel-Austrittstemperatur erfolgt über das Kesselventil S2. Evtl. zusätzlich Rücklaufhochhaltung mit Priorität.

■ Während der Kessel gesperrt ist, steht das Kesselventil S2 auf «Umlenkung».

SWKI-Richtlinie 92-1: Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. (Bezugsquelle: SWKI, Postfach, 3001 Bern)

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$\Uparrow_K = \Uparrow_{Bivalenz}$

Bei stark variabler Wärmequelle ist evtl. ein kleineres $\Delta\vartheta_K$ erforderlich.

■ Auslegung Verflüssigerpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{WP}\ [kW]}{\Uparrow_K\ [K]}$$

$\dot{Q}_{WP}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen. Begründete Vorschriften des WP-Herstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.

■ Bei Auslegung auf $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{ü,WNA}$ sollte der hydraulische Abgleich auf

$\dot{V}_{P1} = 1{,}1 \cdot \dot{V}_{ü,WNA}$

erfolgen.

■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow_{KE}\ [K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\vartheta_{KE,A} - \vartheta_{SP\text{-}KE}\ [K]}$$

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke einzusetzen, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird. Achtung: Der Wärmezähler gehört beim Ladeventil zu Δp_{var}!

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen der Wärmepumpe:

1. Als erste Regel gilt:
   $\vartheta_{WP,EIN} \leq \vartheta_{WP,AUS}$
2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:
   $\vartheta_{WP,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$
   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{WP,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$
   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{WP,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:
   $\vartheta_{WP,AUS} < \vartheta_{Laden}$

Die Ein- und Ausschalttemperaturen sowie die Ladetemperatur können witterungsgeführt werden. $\vartheta_{Laden} = \vartheta_{WNA,RL} + \Delta\vartheta_K$ kann nicht unterschritten werden.

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim Verflüssiger

■ In der Regel ist beim Verflüssiger keine Durchflussüberwachung notwendig.

■ Vor- und Nachlauf der Verdampfer- und Verflüssigerpumpe ist normalerweise unnötig (Hersteller fragen).

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des Kessels:

1. Erste Regel:
   $\vartheta_{KE,EIN} \leq \vartheta_{KE,AUS}$
2. Ausschalttemperatur:
   $\vartheta_{KE,AUS} = \vartheta_{VL,MAX}$
3. Einschalttemperatur (WP bei A):
   $\vartheta_{KE,EIN} < \vartheta_{Laden}$ und $\vartheta_{KE,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:

– Elektrozähler zur Erfassung des Stromverbrauchs der Wärmepumpenanlage
– Wärmezähler zur Erfassung der von der Wärmepumpe produzierten Nutzwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro- und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Wiederanlaufsperre und Anlaufstrombegrenzung gemäss örtlichen Vorschriften.

■ Luft/Wasser-Wärmepumpen: Abtaubetrieb und Schallemissionen beachten.

☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNG F, INSTRUMENTIERUNG, REGELGESCHWINDIGKEIT, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, WASSERERWÄRMUNG

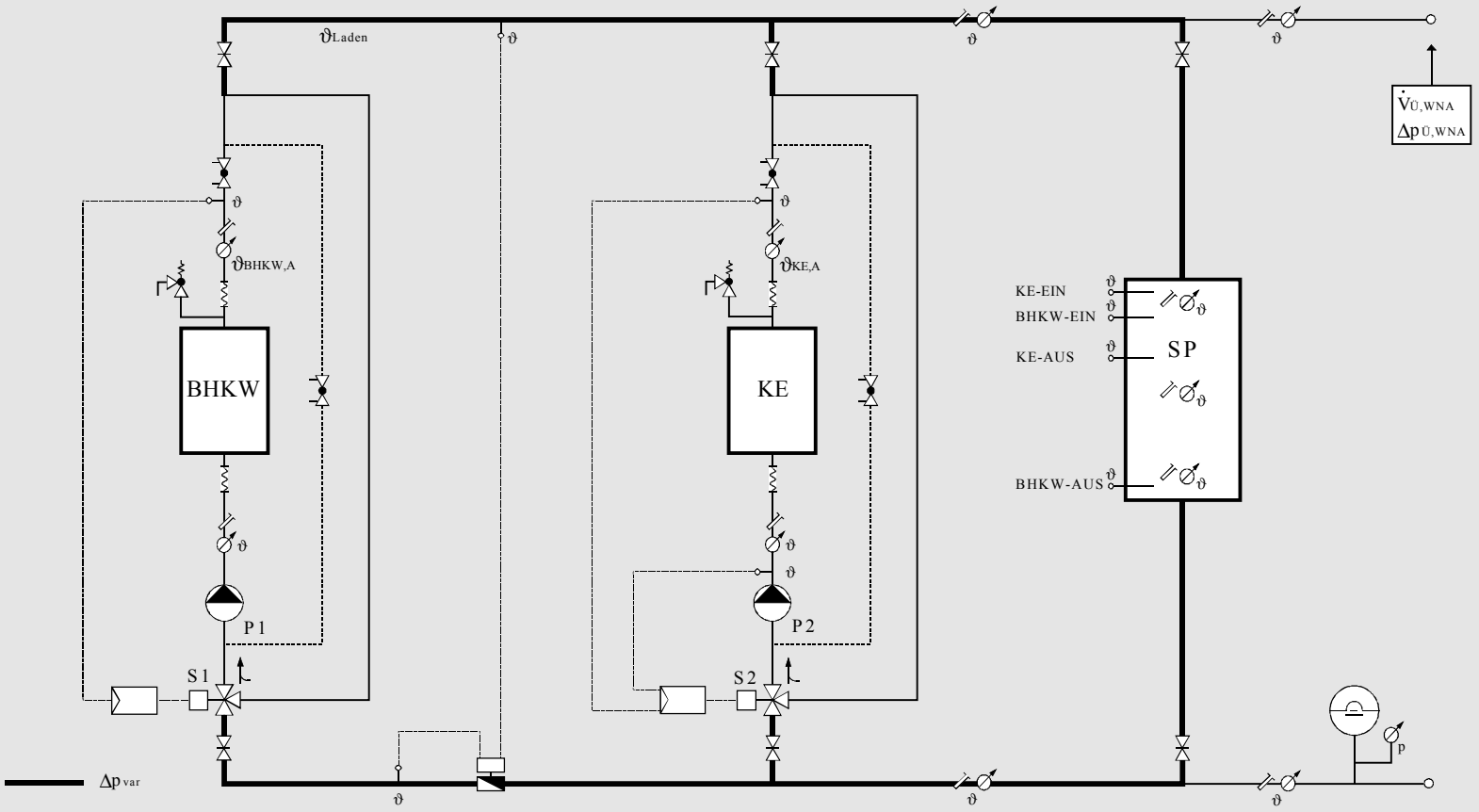
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmekraftkopplung

BHKW und Kessel in Prallelschaltung

WKK-01



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den wärmegeführten bivalent-parallelen Betrieb eines BHKW's und eines Spitzenkessels.

■ Oft wird zur Nutzung der Strahlungswärme des Motors und des Generators eine Umluft-Wärmepumpe eingesetzt. Beim Anfahren ist die Wärmepumpe verzögert einzuschalten und nach dem Abschalten des Motors muss sie zur Abführung der Strahlungswärme nachlaufen. Der Wärmepumpen-Nachlauf muss bei der Speicherdimensionierung berücksichtigt werden.

■ Technischer Speicher zur Einhaltung der minimalen Laufzeit des BHKW's von 1 Stunde oder Wärmespeicher.

■ Der Kesselbetrieb über einen Teil des Speichers ergibt längere Brennerlaufzeiten.

■ Die Ladetemperatur des BHKW's, die Ladetemperatur des Kessels und die maximale Vorlauftemperatur müssen auf dem gleichen Temperaturnivau sein. Eine Temperaturerhöhung mit dem Heizkessel ist nicht möglich.

WKK-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmekraftkopplungsanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für das BHKW erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler BHKW-EIN «kalt» meldet.

■ Die BHKW-Austrittstemperatur wird über das Ventil S1 auf die gewählte konstante Ladetemperatur ϑ_{Laden} geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.

■ Sobald der Fühler BHKW-AUS unten im Speicher «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für das BHKW.

■ Bei ausgeschaltetem BHKW steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den BHKW-Kreis.

■ Die Freigabe des Kessels sowie Ventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt lastabhängig (z.B. über Aussentemperatur).

■ Der Kessel wird über die Fühler KE-EIN und KE-AUS im Speicher ein- und ausgeschaltet.

■ Die Austrittstemperatur des Kesels wird über das Ventil S2 auf ϑ_{Laden} geregelt. Evtl. zusätzlich Rücklaufhochhaltung mit Priorität.

■ Während der Kessel gesperrt ist, verhindert das Dreiwegventil S2 in Position «Umlenkung» eine Fehlzirkulation über den Kesselkreis.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Ein mehrstufiger Brenner kann ggf. über zusätzliche Speicherfühler oder über die Aussentemperatur gesteuert werden.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Festlegung des BHKW-Minimaldurchflusses und der maximal zulässigen BHKW-Ein-/Austrittstemperaturen (mit dem Hersteller abklären!)

■ Maximale Rücklauftemperatur der Wärmenutzungsanlage $\vartheta_{RL,MAX}$ bestimmen. Diese sollte möglichst tief sein. Bei bestehenden Anlagen allenfalls Massnahmen zu derern Senkung abklären (z.B. Bypässe eliminieren, Einspritzverteiler mit Dreiwegventilen auf Durchgangsventile umbauen).

■ Temperaturdifferenz über BHKW $\Delta\vartheta_{BHKW}$ möglichst gross auslegen.

■ Auslegung BHKW-Pumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\vartheta_{BHKW}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\vartheta_{BHKW,A} - \vartheta_{RL,MAX}\,[K]}$$

■ Auslegung Kesselpumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\vartheta_{KE}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\vartheta_{KE,A} - \vartheta_{RL,MAX}\,[K]}$$

■ Für alle Ventile gilt Ventilautorität $\geq 0{,}5$, das heisst:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird.

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

■ Die Ventile S1 und S2 müssen dicht schliessen, wenn das BHKW bzw. der Kessel nicht in Betrieb ist.

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des BHKW's:

1. Als erste Regel gilt:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \leq \vartheta_{BHKW,AUS}$
2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige BHKW-Eintrittstemperatur begrenzt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} \leq \vartheta_{BHKW,E,MAX}$
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$
   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{BHKW,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} < \vartheta_{Laden}$

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim BHKW.

■ Die Nachlauftemperatur soll so hoch wie möglich und die Nachlaufzeit so kurz als möglich eingestellt werden. Der Fühler für BHKW-AUS muss unten im Speicher so plaziert werden, dass der Nachlauf garantiert werden kann. Das Ventil S1 muss dabei auf die Nachlauftemperatur regeln.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des Kessels:

1. Erste Regel:
   $\vartheta_{KE,EIN} \leq \vartheta_{KE,AUS}$
2. Ausschalttemperatur:
   $\vartheta_{KE,AUS} \leq \vartheta_{VL,MAX}$
3. Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{KE,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

■ Für die Steuerung/Regelung der gesamten Wärmeerzeugung ist möglichst eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) einzusetzen. Dabei ist auf einwandfreie Softwaredokumentation und Bedienungsanleitung zu achten.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:

- Elektrozähler zur Erfassung der Stromproduktion des BHKW's
- Wärmezähler zur Erfassung der vom BHKW produzierten Nutzwärme
- Brennstoffzähler für BHKW und Kessel
- Betriebsstundenzähler für BHKW und Kessel
- Einschaltimpulszähler für BHKW und Kessel
- Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Brennstoff–, Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass die Nutzungsgrade überprüft werden können (Messgeräte-Toleranzen beachten). Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgängen (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Frühzeitig mit dem Elektrizitätswerk Kontakt aufnehmen. Es muss insbesondere die zulässige Dauerbelastung (nicht die sogenannte Industrielast!) der Anschlussleitungen abgeklärt werden.

■ Spezialtarife für BHKW's beim zuständigen Gaswerk abklären

Stichworte GRUNDSCHALTUNG E, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER

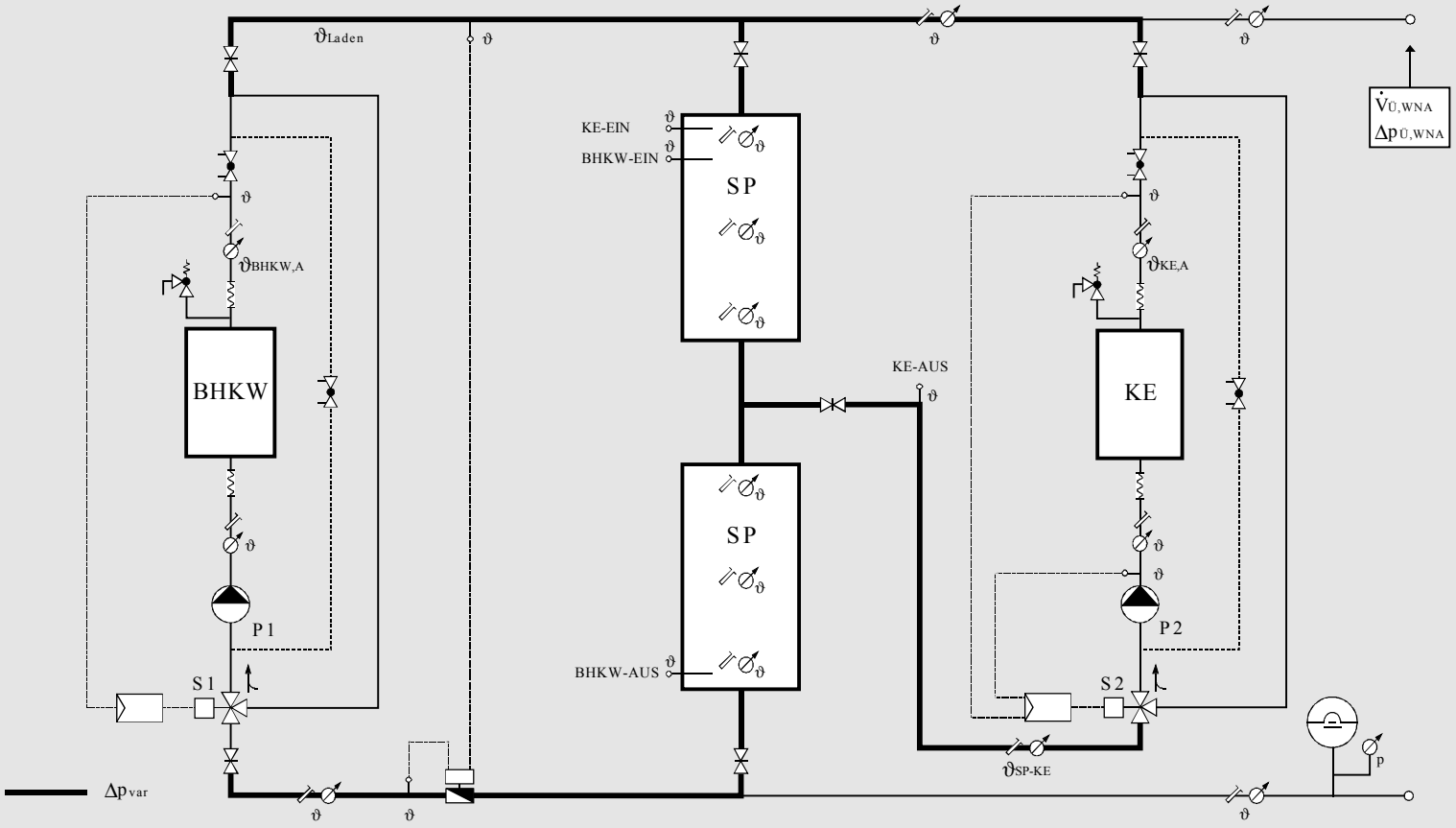
Heft 4 «Wärmekraftkopplung»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmekraftkopplung

BHKW und Kessel in Teilparallelschaltung

WKK-02



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den wärmegeführten bivalent-parallelen Betrieb eines BHKW's und eines Spitzenkessels.

■ Oft wird zur Nutzung der Strahlungswärme des Motors und des Generators eine Umluft-Wärmepumpe eingesetzt. Beim Anfahren ist die Wärmepumpe verzögert einzuschalten und nach dem Abschalten des Motors muss sie zur Abführung der Strahlungswärme nachlaufen. Der Wärmepumpen-Nachlauf muss bei der Speicherdimensionierung berücksichtigt werden.

■ Technischer Speicher zur Einhaltung der minimalen Laufzeit des BHKW's von 1 Stunde oder Wärmespeicher.

■ Der Kesselbetrieb über einen Teil des Speichers ergibt längere Brennerlaufzeiten (durch einen seitlichen Anschluss bei einem einzelnen Speicher kann das Gleiche erreicht werden). Als Vorteil gegenüber Schaltung WKK-01 ist der Speicherbereich des Kessels hydraulisch klar definiert.

■ Die Ladetemperatur des BHKW's, die Ladetemperatur des Kessels und die maximale Vorlauftemperatur müssen auf dem gleichen Temperaturnivau sein. Eine Temperaturerhöhung mit dem Heizkessel ist nicht möglich.

WKK-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmekraftkopplungsanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für das BHKW erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler BHKW-EIN «kalt» meldet.

■ Die BHKW-Austrittstemperatur wird über das Ventil S1 auf die gewählte konstante Ladetemperatur ϑ_{Laden} geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.

■ Sobald der Fühler BHKW-AUS unten im Speicher «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für das BHKW.

■ Bei ausgeschaltetem BHKW steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den BHKW-Kreis.

■ Die Freigabe des Kessels sowie Ventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt lastabhängig (z.B. über Aussentemperatur).

■ Der Kessel wird über die Fühler KE-EIN und KE-AUS im Speicher ein- und ausgeschaltet.

■ Die Austrittstemperatur des Kesels wird über das Ventil S2 auf ϑ_{Laden} geregelt. Evtl. zusätzlich Rücklaufhochhaltung mit Priorität.

■ Während der Kessel gesperrt ist, verhindert das Dreiwegventil S2 in Position «Umlenkung» eine Fehlzirkulation über den Kesselkreis.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Ein mehrstufiger Brenner kann ggf. über zusätzliche Speicherfühler oder über die Aussentemperatur gesteuert werden.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Festlegung des BHKW-Minimaldurchflusses und der maximal zulässigen BHKW-Ein-/Austrittstemperaturen (mit dem Hersteller abklären!)

■ Maximale Rücklauftemperatur der Wärmenutzungsanlage $\vartheta_{RL,MAX}$ bestimmen. Diese sollte möglichst tief sein. Bei bestehenden Anlagen allenfalls Massnahmen zu derern Senkung abklären (z.B. Bypässe eliminieren, Einspritzverteiler mit Dreiwegventilen auf Durchgangsventile umbauen).

■ Temperaturdifferenz über BHKW $\Delta\vartheta_{BHKW}$ möglichst gross auslegen.

■ Auslegung BHKW-Pumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\vartheta_{BHKW}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\vartheta_{BHKW,A} - \vartheta_{RL,MAX}\,[K]}$$

■ Auslegung Kesselpumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\vartheta_{KE}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\vartheta_{KE,A} - \vartheta_{SP\text{-}KE}\,[K]}$$

■ Für alle Ventile gilt Ventilautorität $\geq 0{,}5$, das heisst:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird.

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

■ Die Ventile S1 und S2 müssen dicht schliessen, wenn das BHKW bzw. der Kessel nicht in Betrieb ist.

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des BHKW's:

1. Als erste Regel gilt:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \leq \vartheta_{BHKW,AUS}$
2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige BHKW-Eintrittstemperatur begrenzt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} \leq \vartheta_{BHKW,E,MAX}$
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$
   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{BHKW,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} < \vartheta_{Laden}$

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim BHKW.

■ Die Nachlauftemperatur soll so hoch wie möglich und die Nachlaufzeit so kurz als möglich eingestellt werden. Der Fühler für BHKW-AUS muss unten im Speicher so plaziert werden, dass der Nachlauf garantiert werden kann. Das Ventil S1 muss dabei auf die Nachlauftemperatur regeln.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des Kessels:

1. Erste Regel:
   $\vartheta_{KE,EIN} \leq \vartheta_{KE,AUS}$
2. Ausschalttemperatur:
   $\vartheta_{KE,AUS} \leq \vartheta_{VL,MAX}$
3. Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{KE,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

■ Für die Steuerung/Regelung der gesamten Wärmeerzeugung ist möglichst eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) einzusetzen. Dabei ist auf einwandfreie Softwaredokumentation und Bedienungsanleitung zu achten.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:

- Elektrozähler zur Erfassung der Stromproduktion des BHKW's
- Wärmezähler zur Erfassung der vom BHKW produzierten Nutzwärme
- Brennstoffzähler für BHKW und Kessel
- Betriebsstundenzähler für BHKW und Kessel
- Einschaltimpulszähler für BHKW und Kessel
- Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Brennstoff–, Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass die Nutzungsgrade überprüft werden können (Messgeräte-Toleranzen beachten). Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgängen (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Frühzeitig mit dem Elektrizitätswerk Kontakt aufnehmen. Es muss insbesondere die zulässige Dauerbelastung (nicht die sogenannte Industrielast!) der Anschlussleitungen abgeklärt werden.

■ Spezialtarife für BHKW's beim zuständigen Gaswerk abklären

Stichworte GRUNDSCHALTUNG F, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER

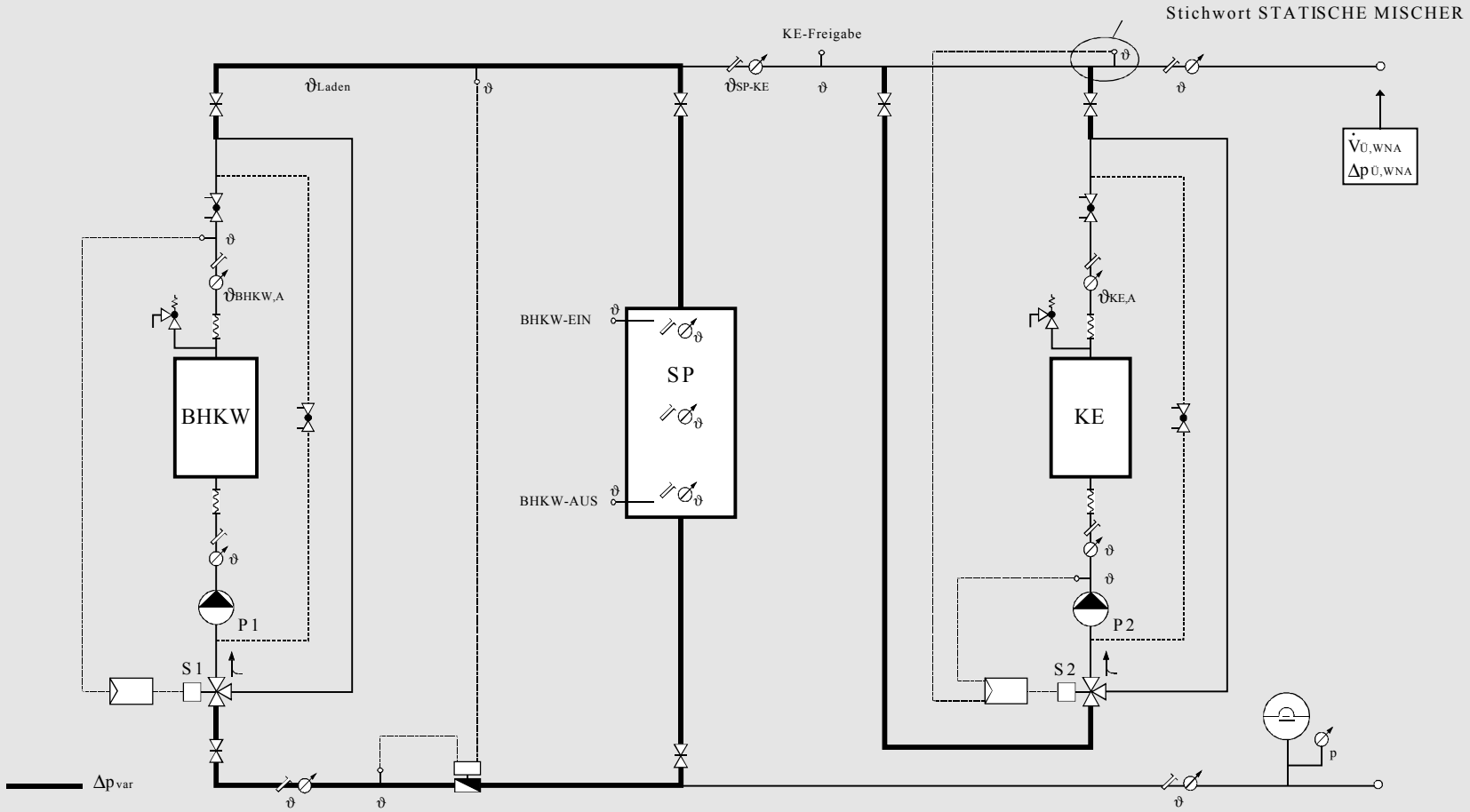
Heft 4 «Wärmekraftkopplung»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmeerzeugung mit Wärmekraftkopplung

BHKW und Kessel in Serieschaltung

WKK-03



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Für den wärmegeführten bivalent-parallelen Betrieb eines BHKW's und eines Spitzenkessels.

■ Oft wird zur Nutzung der Strahlungswärme des Motors und des Generators eine Umluft-Wärmepumpe eingesetzt. Beim Anfahren ist die Wärmepumpe verzögert einzuschalten und nach dem Abschalten des Motors muss sie zur Abführung der Strahlungswärme nachlaufen. Der Wärmepumpen-Nachlauf muss bei der Speicherdimensionierung berücksichtigt werden.

■ Technischer Speicher zur Einhaltung der minimalen Laufzeit des BHKW's von 1 Stunde oder Wärmespeicher.

■ Die Serieschaltung erlaubt bei Parallelbetrieb eine Vorlauftemperaturerhöhung durch den Heizkessel.

■ Damit in der Nähe des Bivalenzpunktes eine akzeptable Brennerlaufzeit erreicht wird, darf der Kessel nicht überdimensioniert sein, er sollte genügend Wasserinhalt und eine grosse Schaltdifferenz haben.

WKK-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmekraftkopplungsanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Der Einschaltbefehl für das BHKW erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler BHKW-EIN «kalt» meldet.

■ Die BHKW-Austrittstemperatur wird über das Ventil S1 auf die gewählte konstante Ladetemperatur ϑ_{Laden} geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.

■ Sobald der Fühler BHKW-AUS unten im Speicher «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für das BHKW.

■ Bei ausgeschaltetem BHKW steht das Dreiwegventil S1 in Position «Umlenkung» und verhindert so eine Fehlzirkulation über den BHKW-Kreis.

■ Die Freigabe des Kessels sowie Ventils S2 für bivalent-parallelen Betrieb erfolgt lastabhängig (z.B. über die Aussentemperatur und evtl. über KE-Freigabe mit entsprechender Hysterese).

■ Die Regelung der Kesselwassertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.

■ Die Einspritzung von Kesselwasser wird wie folgt geregelt:
- Bei einer Verbrauchergruppe Sequenz Gruppenventil – Ventil S2
- Bei mehreren Verbrauchergruppen mit «intelligentem» Regelsystem Sequenz Gruppenventil mit höchstem Bedarf – Ventil S2
- Bei mehreren Verbrauchergruppen witterungsgeführte Regelung der Hauptvorlauftemperatur

■ Die Rücklaufhochhaltung beim Kessel erfolgt über Kesselventil S2 und hat Priorität.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Ein mehrstufiger Brenner kann ggf. über zusätzliche Speicherfühler oder über die Aussentemperatur gesteuert werden.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Festlegung des BHKW-Minimaldurchflusses und der maximal zulässigen BHKW-Ein-/Austrittstemperaturen (mit dem Hersteller abklären!)

■ Maximale Rücklauftemperatur der Wärmenutzungsanlage $\vartheta_{RL,MAX}$ bestimmen. Diese sollte möglichst tief sein. Bei bestehenden Anlagen allenfalls Massnahmen zu deren Senkung abklären (z.B. Bypässe eliminieren, Einspritzverteiler mit Dreiwegventilen auf Durchgangsventile umbauen).

■ Temperaturdifferenz über BHKW $\Delta\vartheta_{BHKW}$ möglichst gross auslegen.

■ Auslegung BHKW-Pumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\Uparrow_{BHKW}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S1}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{BHKW}\,[kW]}{\Uparrow_{BHKW,A} - \Uparrow_{RL,MAX}\,[K]}$$

■ Auslegung Kesselpumpe und -Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\Uparrow_{KE}\,[K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\,[kW]}{\Uparrow_{KE,A} - \Uparrow_{SP\text{-}KE}\,[K]}$$

■ Für alle Ventile gilt Ventilautorität $\geq 0{,}5$, das heisst:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

■ Die Ventile S1 und S2 müssen dicht schliessen, wenn das BHKW bzw. der Kessel nicht in Betrieb ist.

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des BHKW's:

1. Als erste Regel gilt:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \leq \vartheta_{BHKW,AUS}$
2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige BHKW-Eintrittstemperatur begrenzt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} \leq \vartheta_{BHKW,E,MAX}$
3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:
   $\vartheta_{BHKW,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$
   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{BHKW,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.
4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:
   $\vartheta_{BHKW,AUS} < \vartheta_{Laden}$

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim BHKW.

■ Die Nachlauftemperatur soll so hoch wie möglich und die Nachlaufzeit so kurz als möglich eingestellt werden. Der Fühler für BHKW-AUS muss unten im Speicher so plaziert werden, dass der Nachlauf garantiert werden kann. Das Ventil S1 muss dabei auf die Nachlauftemperatur regeln.

■ Mit einer witterungsgeführten Hauptvorlauftemperaturregelung muss das in den Hauptvorlauf eingespritzte Kesselwasser bis zum Temperaturmesspunkt gut durchmischt sein.

■ Als Einstellregel für die Ausschalttemperatur des Kesselthermostaten gilt:
$\vartheta_{KE,AUS} > \vartheta_{VL,MAX}$

■ Für die Steuerung/Regelung der gesamten Wärmeerzeugung ist möglichst eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) einzusetzen. Dabei ist auf einwandfreie Softwaredokumentation und Bedienungsanleitung zu achten.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
- Elektrozähler zur Erfassung der Stromproduktion des BHKW's
- Wärmezähler zur Erfassung der vom BHKW produzierten Nutzwärme
- Brennstoffzähler für BHKW und Kessel
- Betriebsstundenzähler für BHKW und Kessel
- Einschaltimpulszähler für BHKW und Kessel
- Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Brennstoff–, Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass die Nutzungsgrade überprüft werden können (Messgeräte-Toleranzen beachten). Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgängen (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Frühzeitig mit dem Elektrizitätswerk Kontakt aufnehmen. Es muss insbesondere die zulässige Dauerbelastung (nicht die sogenannte Industrielast!) der Anschlussleitungen abgeklärt werden.

■ Spezialtarife für BHKW's beim zuständigen Gaswerk abklären

Stichworte GRUNDSCHALTUNG G, INSTRUMENTIERUNG, SCHALTKRITERIEN, SPEICHER, STATISCHER MISCHER

Heft 4 «Wärmekraftkopplung»

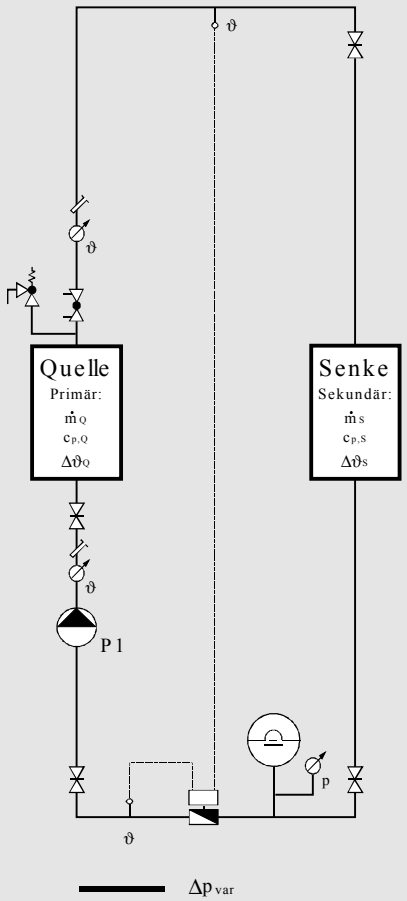
RAVEL

Gesamt-Standardschaltungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

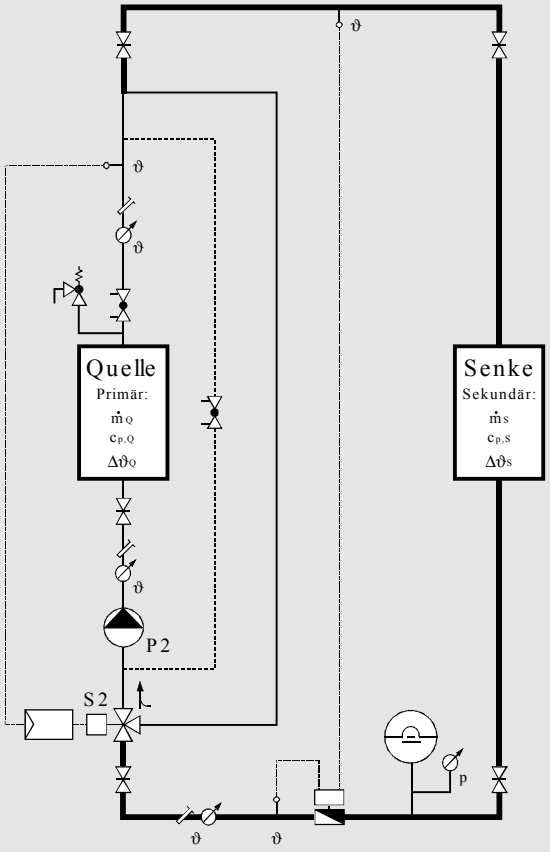
Einfache Nutzung, 1 Quelle, 1 Senke

WRG-01

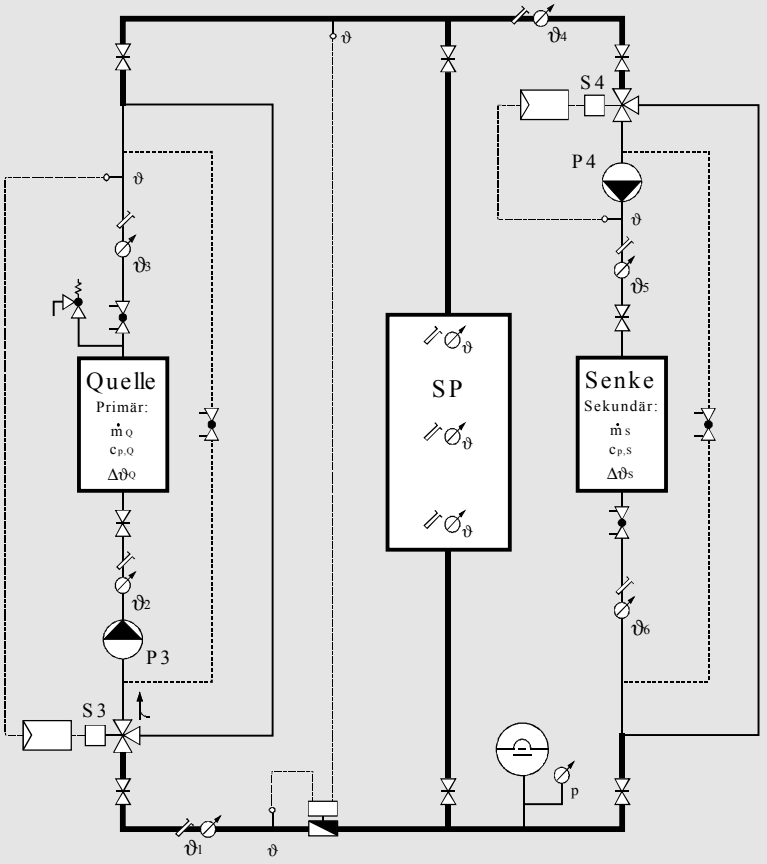
Schaltung A



Schaltung B



Schaltung C



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Typische Beispiele zur Wärmerückgewinnung (gleichzeitiger Wärmeanfall und Wärmebedarf):
– Lüftungs- und Klimaanlagen mit örtlich getrennter Zu- und Fortluft
– Nutzung der Abwasserwärme zur Wasservorwärmung in Hallenbädern, Metzgereien, Wäschereien usw.

■ Typische Beispiele zur Abwärmenutzung (Wärmeanfall und Wärmenutzung nicht zwangsläufig gleichzeitig):
– Quellen: EDV-Räume, Telefonzentralen, Trafostationen, Druckluftkompressoren, Form-, Werkzeug- und Ölkühlung in der Kunststoffindustrie, Kühlung der Druckzylinder und des Feuchtwassers in der grafischen Industrie, gewerbliche Kälteanlagen usw.
– Senken: Vorwiegend Heizung und Wassererwärmung

■ Schaltung A: Ungeregelter Kreislaufverbund ohne Speicher für monovalente Anwendungen mit gleichzeitigem Wärmeanfall und Wärmebedarf, d.h. vorwiegend zur Wärmerückgewinnung. Möglichst konstante Leistung und grössere Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Senke.

■ Schaltung B: Geregelter Kreislaufverbund ohne Speicher für monovalente Anwendungen mit gleichzeitigem Wärmeanfall und Wärmebedarf, d.h. vorwiegend zur Wärmerückgewinnung. Vorteil gegenüber der linken Schaltung: es kann auch bei schwankender Leistung auf eine genügend hohe Quellenaustrittstemperatur geregelt werden.

■ Schaltung C: Geregelter Kreislaufverbund mit Speicher für monovalente Anwendungen mit zeitlicher Differenz zwischen Wärmeanfall und Wärmebedarf, d. h. vorwiegend zur Abwärmenutzung.

Funktionsbeschreibung

■ Die Wärme wird über einen Kreislaufverbund von der Quelle zur Senke befördert.

■ Schaltung A: Die Übertragung ist nur in einem Punkt optimal: die Leistungsübertragung ist nicht optimal bei zu kleinem Durchfluss, und die Temperaturübertragung ist nicht optimal bei zu grossen Durchfluss. Eine Anpassung des Verhaltens kann durch variablen Durchfluss erreicht werden (drehzahlgesteuerte Pumpe).

■ Schaltung B: Bei zu kleiner Quellenleistung bzw. zu grosser Senkenleistung kann die Rücklauftemperatur soweit angehoben werden, dass eine genügend hohe Vorlauftemperatur erreicht wird. Dies allerdings nur in vorgegeben Grenzen.

■ Schaltung C: Bei fehlendem oder ungenügendem Wärmebedarf wird die Wärme im Speicher «zwischengelagert». Die gewünschte Speichertemperatur wird mittels S3 geregelt – je höher die Temperatur desto grösser die Speicherkapazität! Zur Nutzung in der Senke wird die Temperatur wieder mittels S4 auf den gewünschten Wert hinuntergemischt.

■ Die Bypassdrosseln (gestrichelt gezeichnet) werden normalerweise nicht gebraucht. Sie sind nur bei grossem Temperaturunterschied zwischen Quelle und Senke sinnvoll, wenn gewisse Randbedingungen eingehalten werden müsen (minimale Quellen-Eintrittstemperatur oder maximale Senken-Eintrittstemperatur).
Beispiel zu Schaltung C: Quelle 90/70°C, Senke 50/40°C.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Der Kreislaufverbund wird optimal betrieben, wenn gleiche Wärmekapazitätsströme $\dot{c}$ vorliegen (Q = Quelle, S = Senke, Z = Zwischenkreis):

$\dot{c}_Q = \dot{c}_S = \dot{c}_Z$ (mit $\dot{c}_Q = \dot{m}_Q \cdot c_{p,Q}$ u.s.w.)

Für $\dot{c}_Q \neq \dot{c}_S$ wird bei symmetrischem Aufbau ein Optimum erreicht, wenn für $\dot{c}_Z$ der höhere Wert verwendet wird. $\dot{c}_Z$ sollte zudem etwa 10...20% grösser gewählt werden, weil mit steigendem Durchfluss der bessere k-Wert das Optimum etwas nach oben verschiebt. In der Praxis kann vereinfachend mit folgenden Annahmen gerechnet werden:

$\dot{Q}_Z = \dot{Q}_Q = \dot{Q}_S$

$\Delta\vartheta_Z = 0{,}8...0{,}9\,\Delta\vartheta_Q$

$\Delta\vartheta_Z = 0{,}8...0{,}9\,\Delta\vartheta_S$

Bei $\Delta\vartheta_Q \neq \Delta\vartheta_S$ ist der kleinere Wert in die Rechnung einzusetzen.

■ Schaltung A, B und C ohne Bypassdrosseln:

$$\dot{V}_{Pumpen} = \dot{V}_{Ventile}\,[m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_Z\,[kW]}{\Delta\vartheta_Z\,[K]}$$

■ Wenn Bypassdrosseln (gestrichelt gezeichnet) eingesetzt werden, liegen selbstverständlich keine optimalen Verhältnisse mehr vor. Dann sind die tatsächlich auftretenden Temperaturdifferenzen einzusetzen. Beispielsweise für Schaltung C:
– Pumpe P3 $\vartheta_3 - \vartheta_2$
– Ventil S3 $\vartheta_3 - \vartheta_1$
– Pumpe P4 $\vartheta_5 - \vartheta_6$
– Ventil S4 $\vartheta_4 - \vartheta_6$

■ Für alle Ventile gilt, dass der Druckabfall Δp_{var} über den Strecken mit variablem Durchfluss (im Schema fett hervorgehoben) massgebend für die Ventilautorität ist. Grundsätzlich gilt für eine Ventilautorität ≥ 0,5:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird.

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Die Einstellung der Reglerparameter soll so erfolgen, dass ein Maximum an Abwärme sinnvoll zurückgewonnen bzw. genutzt werden kann.

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig. Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf diese Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Elektro– und Wärmezähler sind so anzuordnen, dass die Elektro-Thermo-Verstärkung überprüft werden kann. Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

■ Für die Berechnung der Elektro-Thermo-Verstärkung und für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist der Hilfsenergieverbrauch der zusätzlichen Pumpen sowie der Hilfsenergie-Mehrverbrauch infolge der zusätzlichen Druckverluste in den Wärmetauschern zu beachten.

■ Bei Aussenluft ist die Frostschutzsicherheit zu beachten.

☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNGEN A, B und D, INSTRUMENTIERUNG

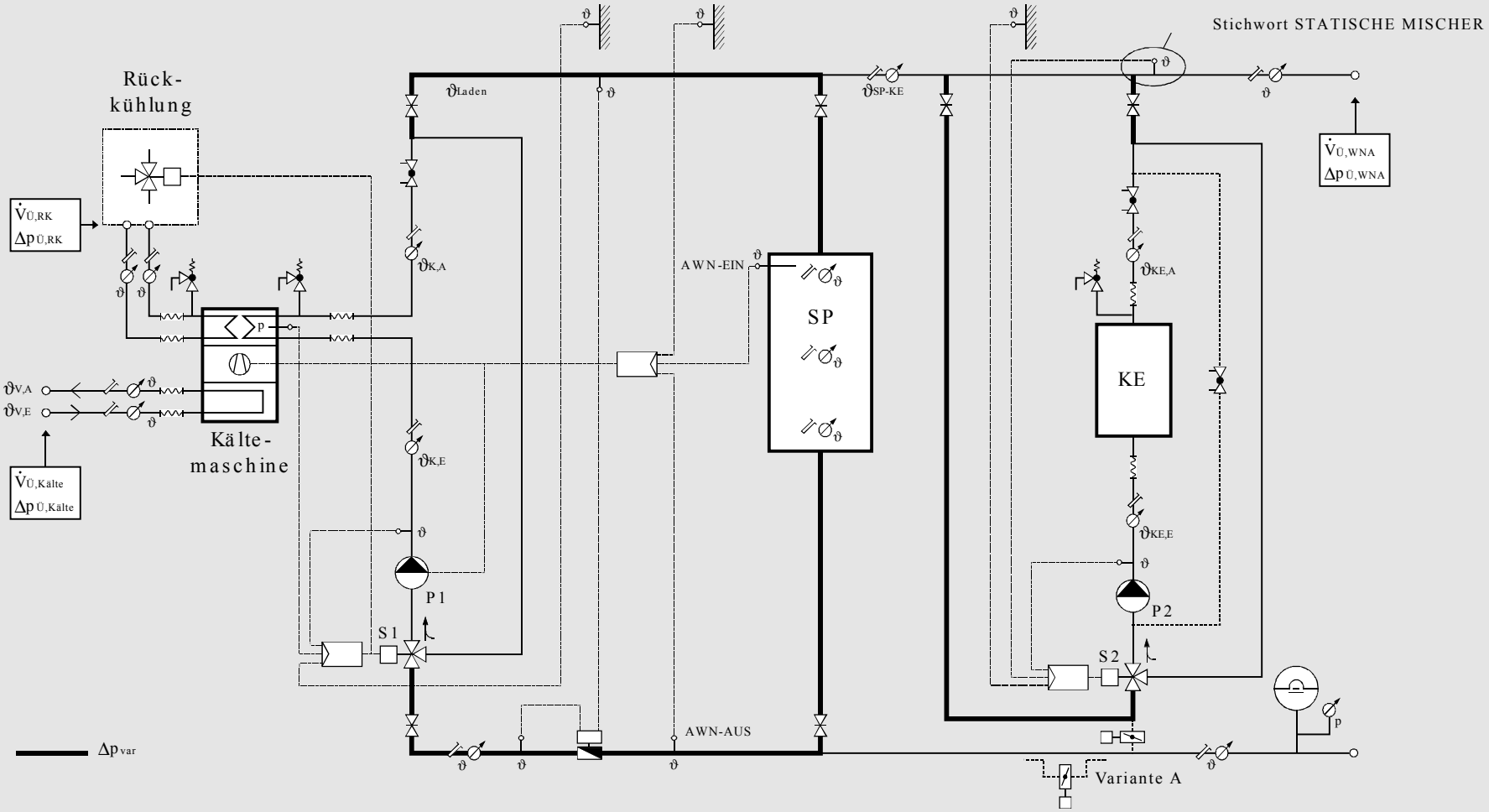
☞ Heft 2 «Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

Kältemaschine und Kessel in Serieschaltung

WRG-02



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Die Abwärme von Kälteanlagen mit Winterbetrieb sollte aus ökologischen Gründen immer für Heizzwecke genutzt werden. Typische Beispiele:
– Kühlung von zentralen EDV-Anlagen
– Industrielle Kühlanlagen
– Gewerbliche Kälteanlagen

■ Für den bivalent-parallelen Betrieb einer Kältemaschine und eines Heizkessels.

■ Wärmespeicher zum Ausgleich der zeitlichen Verschiebungen von Angebot und Nachfrage.

■ Die Serieschaltung erlaubt bei Parallelbetrieb eine Vorlauftemperaturerhöhung durch den Heizkessel.

■ Damit in der Nähe des Bivalenzpunktes eine akzeptable Brennerlaufzeit erreicht wird, darf der Kessel nicht überdimensioniert sein, er sollte genügend Wasserinhalt und eine grosse Schaltdifferenz haben.

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Funktionsbeschreibung

■ Die Kältemaschine wird ausschliesslich nach dem Kältebedarf geregelt.

■ Der Einschaltbefehl für die Abwärmenutzung erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler AWN-EIN «kalt» meldet und die Kältemaschine läuft.

■ Durch variieren der Verflüssigereintrittstemperatur wird über Ventil S1 auf einen durch die gewünschte Ladetemperatur ϑ_{Laden} bestimmten Verflüssigungsdruck geregelt. Sobald nicht mehr genügend Wärme abgeführt werden kann (S1 auf «Durchgang»), wird auf das Rückkühlventil geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.

■ Sobald der Fühler AWN-AUS im Rücklauf zur Kältemaschine «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Abwärmenutzung (der Ausschalttemperaturfühler kann auch unten im Speicher plaziert sein): S1 läuft auf «Umlenkung» und das Rückkühlventil öffnet.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Die Freigabe des Kessels sowie des Kesselventils S2 erfolgt lastabhängig oder wenn die Abwärmenutzung nicht freigegeben ist.

■ Die Regelung der Kesselwassertemperatur geschieht über den eingebauten Kesselthermostaten.

■ Die Einspritzung von Kesselwasser wird wie folgt geregelt:
– Bei einer Verbrauchergruppe Sequenz Gruppenventil – Ventil S2
– Bei mehreren Verbrauchergruppen mit «intelligentem» Regelsystem Sequenz Gruppenventil mit höchstem Bedarf – Ventil S2
– Bei mehreren Verbrauchergruppen witterungsgeführte Regelung der Hauptvorlauftemperatur

■ Die Rücklaufhochhaltung beim Kessel erfolgt über Ventil S2 und hat Priorität.

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow\vartheta_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow\vartheta_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$$\Uparrow\vartheta_K = \Uparrow\vartheta_{Bivalenz}$$

■ Auslegung Verflüssigerpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KM}\ [kW]}{\Uparrow\vartheta_K\ [K]}$$

Für $\dot{Q}_{KM}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen. Begründete Vorschriften des Kältemaschinenherstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.

■ Bei Auslegung auf $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{ü,WNA}$ sollte der hydraulische Abgleich auf

$$\dot{V}_{P1} = 1{,}1 \cdot \dot{V}_{ü,WNA}$$

erfolgen.

■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow\vartheta_{KE}\ [K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\ [m^3/h] = 0{,}86\frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\vartheta_{KE,A} - \vartheta_{SP\text{-}KE}\ [K]}$$

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$$

Achtung: Der Wärmezähler gehört beim Ladeventil zu Δp_{var}!

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$$\Delta p_{ü,WNA} < 2\ kPa$$

■ Variante A: Evtl. Umgehung des Speichers bei Alternativbetrieb mit 2 Motordrosselklappen oder einem Dreiwegventil (teurere Lösung bei grösseren Newnnweiten).

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen:

1. Als erste Regel gilt:

   $$\vartheta_{AWN,EIN} \leq \vartheta_{AWN,AUS}$$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $$\vartheta_{AWN,AUS} \leq \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$$

   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $$\vartheta_{AWN,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{AWN,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:

   $$\vartheta_{AWN,AUS} < \vartheta_{Laden}$$

Die Ein- und Ausschaltemperaturen sowie die Ladetemperatur können witterungsgeführt werden. $\vartheta_{Laden} = \vartheta_{WNA,RL} + \Delta\vartheta_K$ kann dabei nicht unterschritten werden.

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim Verflüssiger.

■ Mit einer witterungsgeführten Hauptvorlauftemperaturregelung muss das in den Hauptvorlauf eingespritzte Kesselwasser bis zum Temperaturmesspunkt gut durchmischt sein.

■ Als Einstellregel für die Ausschalttemperatur des Kesselthermostaten gilt:

$$\vartheta_{KE,AUS} > \vartheta_{VL,MAX}$$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Wärmezähler zur Erfassung der genutzten Abwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNG G, INSTRUMENTIERUNG, REGELGESCHWINDIGKEIT, SPEICHER, STATISCHER MISCHER

☞ Heft 2 «Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung»

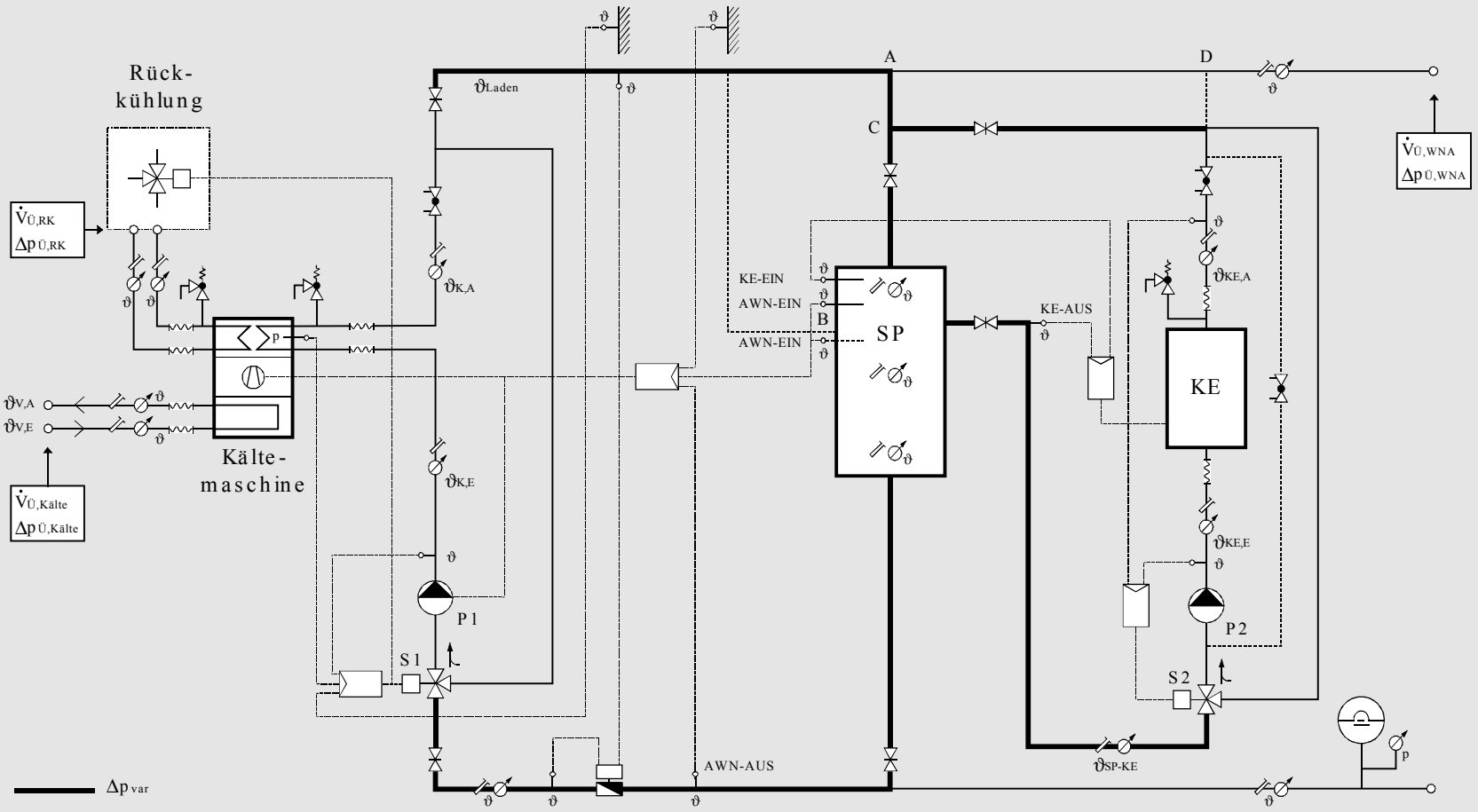
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

Kältemaschine und Kessel in Teilparallelschaltung

WRG-03



Anwendungsbereich, Merkmale

■ Die Abwärme von Kälteanlagen mit Winterbetrieb sollte aus ökologischen Gründen immer für Heizzwecke genutzt werden. Beispiele:
– Kühlung von zentralen EDV-Anlagen
– Industrielle Kühlanlagen
– Gewerbliche Kälteanlagen

■ Für den bivalent-parallelen Betrieb einer Kältemaschine und eines Heizkessels.

■ Wärmespeicher zum Ausgleich der zeitlichen Verschiebungen von Angebot und Nachfrage.

■ Der Kesselbetrieb über einen Teil des Speichers ergibt gegenüber WRG-02 den Vorteil einer längeren Brennerlaufzeit.

■ Anschluss Kältemaschine bei A und Kessel bei C (wie gezeichnet): Die Heizungsvorlauftemperatur darf nicht höher sein als die Ladetemperatur der Kältemaschine; die Kesselladetemperatur darf höher sein:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} \leq \vartheta_{Laden} \leq \vartheta_{KE,A}$

■ Anschluss Kältemaschine bei A und Kessel bei D: Alle Temperaturniveaus müssen gleich sein:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} = \vartheta_{Laden} = \vartheta_{KE,A}$

■ Anschluss Kältemaschine bei B und Kessel bei D: Die Heizungsvorlauftemperatur darf höher sein als die Ladetemperatur der Kältemaschine; die Kesselladetemperatur muss der Heizungsvorlauftemperatur entsprechen:

$\vartheta_{WNA,VL,MAX} > \vartheta_{Laden} < \vartheta_{KE,A}$

und $\vartheta_{KE,A} \geq \vartheta_{WNA,VL,MAX}$

■ Einzig bei der Variante mit Anschluss der Kältemaschine bei B und des Kessels bei D kann bei Parallelbetrieb eine Temperaturerhöhung realisiert werden. Es besteht allerdings die Gefahr, dass die Kältemaschine durch den Kessel «abgeklemmt» wird, wenn die Kältemaschinenleistung in Bezug auf die Temperaturerhöhung ungünstig ausgelegt wird!

Funktionsbeschreibung

■ Die Kältemaschine wird ausschliesslich nach dem Kältebedarf geregelt.

■ Der Einschaltbefehl für die Abwärmenutzung erfolgt, wenn der oben im Speicher angeordnete Fühler AWN-EIN «kalt» meldet und die Kältemaschine läuft.

■ Durch variieren der Verflüssigereintrittstemperatur wird über Ventil S1 auf einen durch die gewünschte Ladetemperatur ϑ_{Laden} bestimmten Verflüssigungsdruck geregelt. Sobald nicht mehr genügend Wärme abgeführt werden kann (S1 auf «Durchgang»), wird auf das Rückkühlventil geregelt.

■ Die Ladung des Speichers geschieht schichtend in einem Durchgang mit ϑ_{Laden}.

■ Sobald der Fühler AWN-AUS im Rücklauf zur Kältemaschine «warm» meldet, kommt der Ausschaltbefehl für die Abwärmenutzung (der Ausschalttemperaturfühler kann auch unten im Speicher plaziert sein): S1 läuft auf «Umlenkung» und das Rückkühlventil öffnet.

■ Die Entladung des Speichers erfolgt mit variablem Durchfluss $\dot{V}_{ü,WNA}$ lastabhängig.

■ Die Freigabe des Kessels sowie Ventils S2 erfolgt lastabhängig oder wenn die Abwärmenutzung nicht freigegeben ist.

■ Der Kessel wird über die Fühler KE-EIN und KE-AUS im Speicher ein- und ausgeschaltet.

■ Die Regelung der Kessel-Austrittstemperatur erfolgt über das Kesselventil S2. Evtl. zusätzlich Rücklaufhochhaltung mit Priorität.

WP-CALC. Software zur Systemwahl, Auslegung, Kostenberechnung und Optimierung von Wärmepumpenanlagen. (Bezugsquelle: Infoenergie, Postfach 310, 5200 Brugg)

Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung

■ Auslegetemperaturdifferenz über den Verbrauchern $\Uparrow_{Auslegung}$ bestimmen (bei bestehenden Anlagen vorgegeben).

■ Temperaturdifferenz über den Verbrauchern im Bivalenzpunkt $\Uparrow_{Bivalenz}$ bestimmen.

■ Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger:

$\Uparrow_K = \Uparrow_{Bivalenz}$

■ Auslegung Verflüssigerpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{KM}\ [kW]}{\Uparrow_K\ [K]}$$

Für $\dot{Q}_{KM}$ ist der Wert im Bivalenzpunkt einzusetzen. Begründete Vorschriften des Kältemaschinenherstellers bezüglich Verflüssiger-Minimaldurchfluss sind einzuhalten.

■ Bei Auslegung auf $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{ü,WNA}$ sollte der hydraulische Abgleich auf

$\dot{V}_{P1} = 1{,}1 \cdot \dot{V}_{ü,WNA}$

erfolgen.

■ Auslegung Kesselpumpe und Ventil:

$$\dot{V}_{P2}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow_{KE}\ [K]}$$

$$\dot{V}_{S2}\ [m^3/h] = 0{,}86 \frac{\dot{Q}_{KE}\ [kW]}{\Uparrow_{KE,A} - \Uparrow_{SP\text{-}KE}\ [K]}$$

■ Für Ventilautorität ≥ 0,5 gilt:

$\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var}$

Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird. Achtung: Der Wärmezähler gehört beim Ladeventil zu Δp_{var}!

■ Verbraucherseitige Anschlussleitungen des Speichers druckdifferenzarm auslegen:

$\Delta p_{ü,WNA} < 2$ kPa

Regelungstechnische Empfehlungen

■ Festlegung der maximal zulässigen Verflüssiger-Austrittstemperatur $\vartheta_{K,A,MAX}$.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen:

1. Als erste Regel gilt:

   $\vartheta_{AWN,EIN} \leq \vartheta_{AWN,AUS}$

2. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige Verflüssiger-Eintrittstemperatur begrenzt:

   $\vartheta_{AWN,AUS} = \vartheta_{K,A,MAX} - \Delta\vartheta_{K,MAX}$

   Für Wärmequellen mit schwankender Temperatur ist die grösste vorkommende Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger $\Delta\vartheta_{K,MAX}$ einzusetzen.

3. Damit auf der Wärmenutzungsseite ein «Leerdurchgang» auf Rücklauftemperaturniveau sicher verhindert wird, gilt für die Einschalttemperatur:

   $\vartheta_{AWN,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

   Im ungünstigsten Fall kann damit kurzzeitig eine zu tiefe Vorlauftemperatur knapp über $\vartheta_{AWN,EIN}$ auftreten, was sich aber normalerweise nicht störend auswirkt.

4. Damit die Ausschaltung auch funktioniert, gilt:

   $\vartheta_{AWN,AUS} < \vartheta_{Laden}$

Die Ein- und Ausschaltemperaturen sowie die Ladetemperatur können witterungsgeführt werden. $\vartheta_{Laden} = \vartheta_{WNA,RL} + \Delta\vartheta_K$ kann dabei nicht unterschritten werden.

■ Laderegler mit einstellbarer PID-Charakteristik. Dreiwegventil mit kurzer Laufzeit, möglichst nahe beim Verflüssiger.

■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen des Kessels:

1. Erste Regel:

   $\vartheta_{KE,EIN} \leq \vartheta_{KE,AUS}$

2. Ausschalttemperatur:

   $\vartheta_{KE,AUS} = \vartheta_{VL,MAX}$

3. Einschalttemperatur:

   $\vartheta_{KE,EIN} \geq \vartheta_{RL,MAX}$

Besonderes

■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind Messgeräte und Temperaturmessstellen notwendig:
– Wärmezähler zur Erfassung der genutzten Abwärme
– Betriebsstundenzähler für Verdichter und Kessel
– Einschaltimpulszähler für Verdichter und Kessel
– Brennstoffzähler für Kessel
– Messpunkte zur Erfassung wichtiger Systemtemperaturen (Tauchhülsen)

Ohne diese Instrumentierung ist eine einwandfreie Qualitätssicherung nicht möglich. Deshalb kann auf die Messgeräte nur verzichtet werden, wenn dies der Bauherr ausdrücklich wünscht. Als Minimallösung sind Passstücke vorzusehen.

■ Es müssen qualitativ gute Messgeräte mit Messwertanzeige (Handablesung) und Impulsausgang (automatische Datenaufzeichnung) eingebaut werden.

☞ Stichworte GRUNDSCHALTUNG F, INSTRUMENTIERUNG, REGELGESCHWINDIGKEIT, SPEICHER

☞ Heft 2 «Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung»

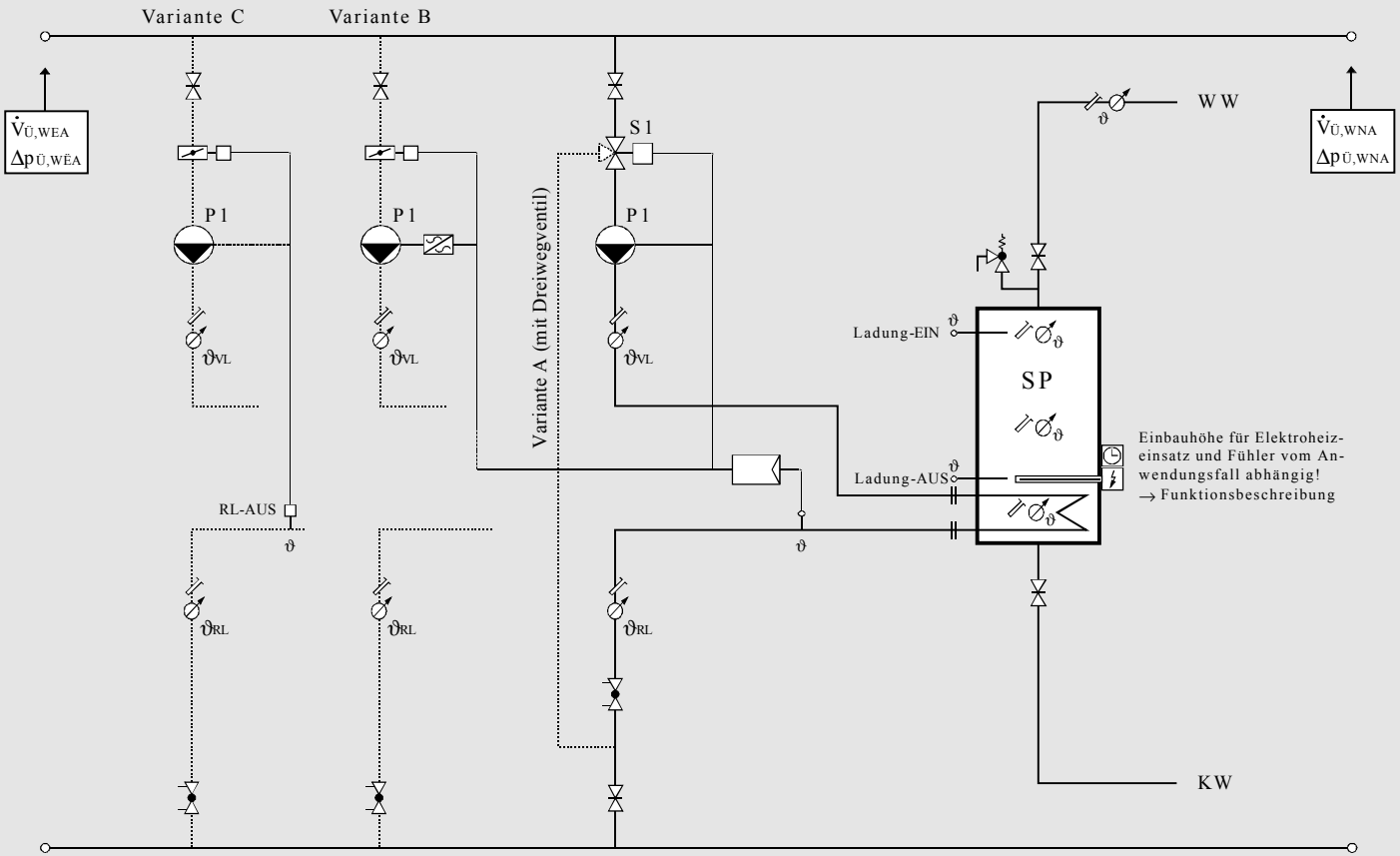
☞ Heft 3 «Wärmepumpen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wassererwärmung für alle Anwendungen

Wassererwärmer mit internem Wärmetauscher

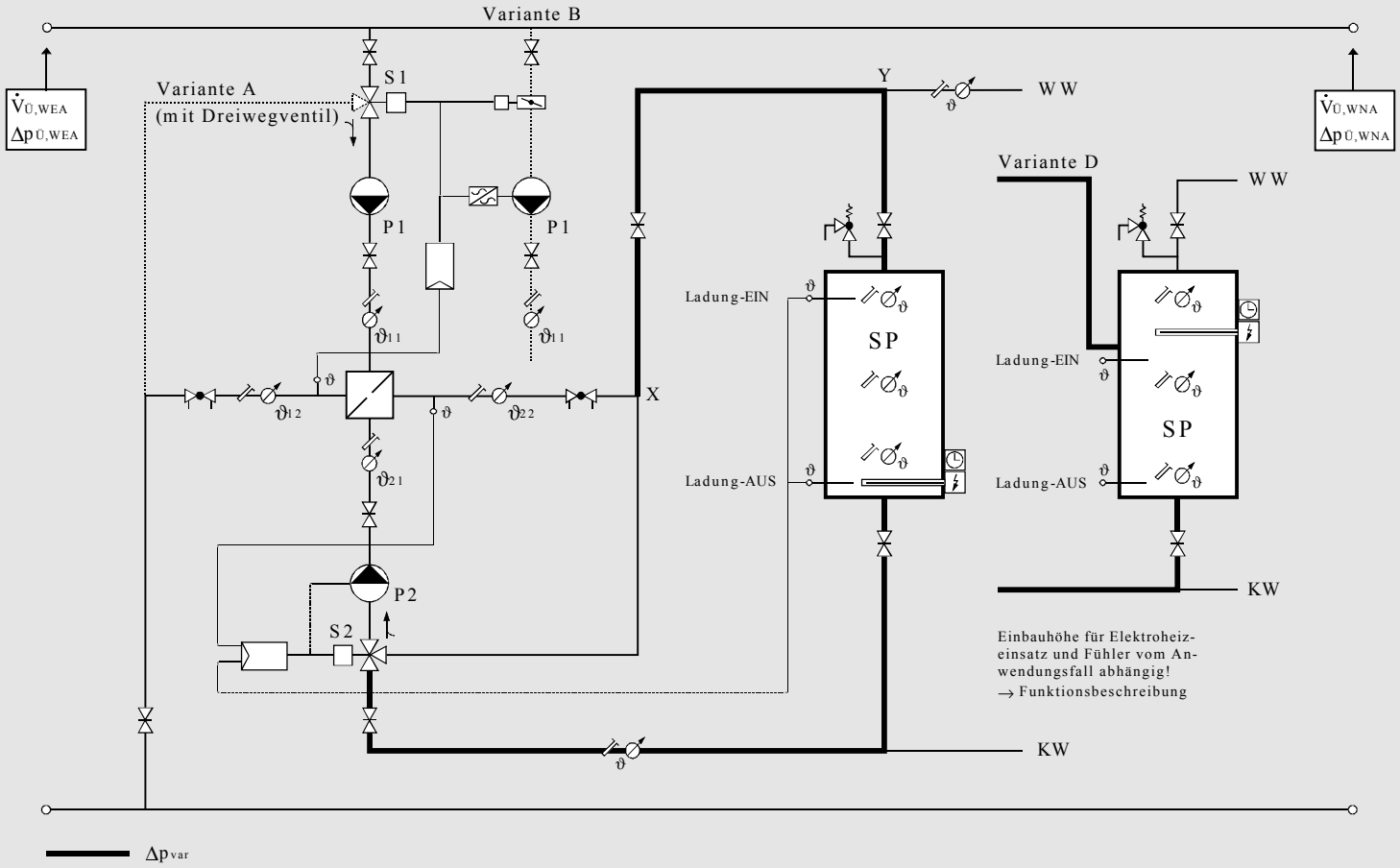
WW-01



Anwendungsbereich, Merkmale	Funktionsbeschreibung	Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung	Regelungstechnische Empfehlungen	Besonderes
■ Verhältnismässig preisgünstige Lösung für Objekte mit kleinerem Warmwasserbedarf. Oft bei Wärmepumpen zur Warmwasser-Vorwärmung eingesetzt; die Nachwärmung auf die geforderte Warmwassertemperatur geschieht dann über einen elektrischen Heizeinsatz. ■ Solange die Auslegung auf den ungünstigsten Fall erfolgt, der Durchfluss sorgfältig abgeglichen und die Ladung rechtzeitig abgebrochen wird, kann die maximal zulässige Rücklauftemperatur immer eingehalten werden. Da aber oft die Berechnungsgrundlagen unzureichend sind oder der Wärmetauscher viel zu gross würde, wird meist eine regelungstechnische Begrenzung der Rücklauftemperatur vorgezogen. ■ Variante A: Regelung der Vorlauftemperatur mittels Beimischschaltung mit Dreiwegventil auf zum Beispiel 65°C, um Kalkabscheidungen am Heizregister zu vermindern. Eine Begrenzung der Rücklauftemperatur ist damit praktisch nicht möglich. ■ Variante B: Direkte stetige Drehzahlsteuerung der Pumpe zur Rücklaufbegrenzung. Diese interessante Lösung ist leider (noch) teuer, hier sollten aber demnächst preisgünstigere Lösungen möglich sein (drehzahlgesteuerte Kleinpumpen mit Regler-Schnittstelle). ■ Variante C: Keine stetige Rücklaufbegrenzung, aber Auslegung auf den ungünstigsten Fall und sorgfältiger messtechnischer Abgleich des Durchflusses. Evtl. Abbruch der Ladung über RL-AUS. Elektrische Wassererwärmung. Impulsprogramm RAVEL, 1993. (Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Best.-Nr. 724.349d)	■ Einschaltung über den Fühler Ladung-EIN oder zeitabhängig über eine Schaltuhr (Zwangsladung). ■ Regelungstechnische Begrenzung auf eine genügend tiefe Rücklauftemperatur mittels Drosselschaltung mit Durchgangsventil. Nachteilig ist, dass zur Einhaltung einer Ventilautorität von 0,5 die Hälfte des Pumpendrucks über dem Ventil «vernichtet» werden muss. ■ Die Ausschaltung erfolgt entweder über den Fühler Ladung-AUS, wenn die geforderte Speichertemperatur erreicht ist, oder über einen Rücklaufthermostaten (z.B. RL-AUS bei Variante C), wenn die maximal zulässige Rücklauftemperatur nicht mehr eingehalten werden kann. ■ Der Elektroheizeinsatz wird nach Bedarf zeit- und temperaturabhängig zu- und weggeschaltet (vorausgesetzt Freigabe durch EW). ■ Die Einbauhöhe des Elektroheizeinsatzes und der Fühler ist vom Anwendungsfall abhängig: – Alternativer Betrieb Wärmepumpe – Elektroheizeinsatz: Fühler Ladung-EIN oben im Speicher, Heizeinsatz auf Höhe des gewünschten Volumens für die elektrische Aufheizung (in der Regel unten) – Vorwärmung mit Wärmepumpe, Nachwärmung mit Elektroheizeinsatz: Heizeinsatz und Fühler Ladung-EIN auf gleicher Höhe oben im Speicher (grosses Vorwärmvolumen, kleines Nachwärmvolumen) – Achtung: Das Volumen über dem Fühler Ladung-EIN muss so gross sein, dass der Warmwasser-Spitzenbedarf jederzeit gedeckt werden kann! – Fühler Ladung-AUS knapp über dem Heizregister (verhindert rechtzeitig einen Anstieg der Rücklauftemperatur infolge Leistungsabfalls) – Einschaltung, Ausschaltung und Sicherheitsabschaltung des Elektroheizeinsatzes über eingebaute Thermostaten	■ Auslegung auf eine möglichst grosse Temperaturdifferenz über dem Wärmetauscher. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Warmwassertemperatur im Bereich des Wärmetauschers im Laufe der Ladung ansteigt und somit die Wärmetauscherleistung sinkt und die Rücklauftemperatur ansteigt! Empfehlung: Auslegung des Wärmetauschers auf eine höhere «Kalt»-Wassertemperatur (z.B. 35°C anstatt 10°C). ■ Auslegung Pumpe und Ventil: $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\ [kW]}{(\vartheta_{VL} - \vartheta_{RL})\ [K]}$ ■ Damit eine Ventilautorität von 0,5 eingehalten wird, muss die Hälfte des Pumpendrucks (streng genommen sogar bei Nulldurchfluss) über dem Durchgangsventil «vernichtet» werden: $\Delta p_{S1} = 0{,}5 \cdot \Delta p_{P1}$ ■ Wenn möglich ist für die Ventilautorität der Zielwert von 0,5 einzuhalten. Wenn die Auslegung zwischen Grenzwert 0,3 und Zielwert 0,5 erfolgt, muss besonders auf die Ventilkennlinie und das Öffnungsverhalten geachtet werden. ■ Eine drehzahlgesteuerte Pumpe ist empfehlenswert aber nicht zwingend. In jedem Betriebsfall muss mindestens die Abfuhr der elektrischen Pumpenleistung sichergestellt sein (z.B. Minimaldurchflussbegrenzung über einen Endschalter im Durchgangsventil).	■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen: 1. Als erste Regel gilt: $\vartheta_{EIN} \leq \vartheta_{AUS}$ 2. Die Einschalttemperatur ist durch die minimal zulässige Warmwassertemperatur bestimmt: $\vartheta_{EIN} \geq \vartheta_{WW,MIN}$ 3. Die Ausschalttemperatur muss tiefer sein als die maximal zulässige Heizungsrücklauftemperatur: $\vartheta_{AUS} < \vartheta_{RL,MAX}$ Regel 1 und 2 müssen zwingend eingehalten werden. Nichteinhaltung von Regel 3 hat zur Folge, dass in bestimmten Betriebszuständen eine höhere Heizungsrücklauftemperatur zugelassen werden muss. ■ Rücklauffühler möglichst nahe beim Wärmetauscheraustritt anordnen (kurze Reaktionszeit). ■ Maximal zulässige Druckdifferenz über dem Durchgangsventil beachten. ■ Falls die Wassererwärmerleistung im Bereich der Wärmeerzeugungsleistung liegt, ist eine Vorrangschaltung zu prüfen («Boilervorrang»).	■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind die eingezeichneten Temperaturmessstellen und Drosselorgane notwendig. Ausserdem sind für die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung oft noch weitere Messinstrumente erforderlich, die hier nicht angegeben werden können. ■ Ein federbelastetes Rückschlagventil als «Billiglösung» anstelle der Motorklappe (Varianten B und C) ist problematisch bezüglich Dichtigkeit. ■ Seitlich in den Speicher eingeführte Zirkulationsleitungen können die Speicherschichtung massiv stören. Andere Lösungen sind: – Einzelleitungssystem in kleineren Anlagen mit geringer Ausdehnung (beste Lösung, sofern realisierbar) – Elektrische Begleitheizung mit selbstregelnden Heizbändern – Externe elektrische Zirkulationsnacheizung Die beiden letzgenannten Systeme müssen aber unbedingt hinsichtlich Elektrizitäts-Mehrverbrauch untersucht werden. ■ Aus hygienischen Gründen (Legionellen) kann der Wassererwärmer mit dem Elektroheizeinsatz periodisch auf über 60°C erwärmt werden. Heft 1, Abschnitt 4.1 «Hydraulische Grundlagen»

Standardschaltungsmodul zur Wassererwärmung für alle Anwendungen

Wassererwärmer mit externem Wärmetauscher



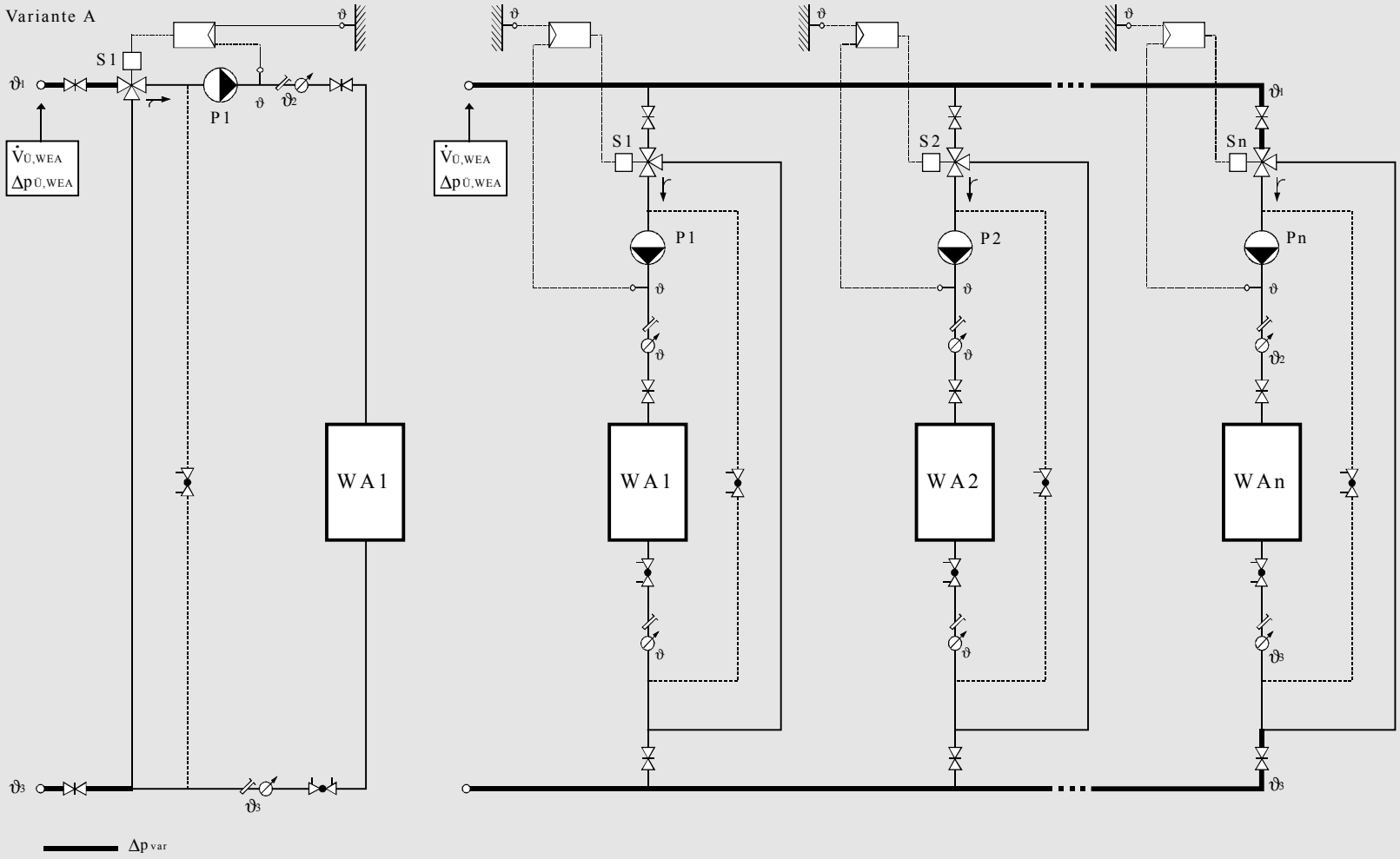
Anwendungsbereich, Merkmale	Funktionsbeschreibung	Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung	Regelungstechnische Empfehlungen	Besonderes
■ Gute Lösung zur Wassererwärmung. Wegen des grösseren Aufwandes allerdings auf Objekte mit grossem Warmwasserverbrauch beschränkt (Mehrfamilienhäuser, Wohnüberbauungen, Restaurants usw.). ■ Gegenüber dem internen Wärmetauscher ergeben sich folgende Vorteile: – Einwandfrei kontrollierte Schichtladung des Warmwasserspeichers in einem Durchgang – Optimales Verhältnis von Speichervolumen zu Nutzvolumen ■ Solange die Auslegung auf den ungünstigsten Fall erfolgt, der Durchfluss sorgfältig abgeglichen und die Ladung rechtzeitig abgebrochen wird, kann die maximal zulässige Rücklauftemperatur immer eingehalten werden. Da aber oft die Berechnungsgrundlagen unzureichend sind oder der Wärmetauscher viel zu gross würde, wird meist eine regelungstechnische Begrenzung der Rücklauftemperatur vorgezogen. ■ Variante A: Regelung der Vorlauftemperatur mittels Beimischschaltung mit Dreiwegventil auf zum Beispiel 65°C, um Kalkabscheidungen im Plattenwärmetauscher zu vermindern. Eine Begrenzung der Rücklauftemperatur ist damit praktisch nicht möglich. ■ Variante B: Direkte stetige Drehzahlsteuerung der Pumpe zur Rücklaufbegrenzung. Diese interessante Lösung ist leider (noch) teuer, hier sollten aber demnächst preisgünstigere Lösungen möglich sein (drehzahlgesteuerte Kleinpumpen mit Regler-Schnittstelle). ■ Variante C (nicht gezeichnet): Keine stetige Rücklaufbegrenzung, aber Auslegung auf den ungünstigsten Fall und sorgfältiger messtechnischer Abgleich des Durchflusses. Elektrische Wassererwärmung. Impulsprogramm RAVEL, 1993. (Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern, Best.-Nr. 724.349d)	■ Einschaltung über den Fühler Ladung-EIN oder zeitabhängig über eine Schaltuhr (Zwangsladung). ■ Regelungstechnische Begrenzung auf eine genügend tiefe Rücklauftemperatur mittels Drosselschaltung mit Durchgangsventil. Nachteilig ist, dass zur Einhaltung einer Ventilautorität von 0,5 die Hälfte des Pumpendrucks über dem Ventil «vernichtet» werden muss. ■ Sekundärseitige Schichtladung mit Regelung auf konstante Warmwasser-Ladetemperatur. ■ Die Ausschaltung erfolgt entweder über den Fühler Ladung-AUS, wenn die geforderte Speichertemperatur erreicht ist, oder über die Rücklauftemperatur, wenn der maximal zulässige Wert nicht mehr eingehalten werden kann. ■ Der Elektroheizeinsatz wird nach Bedarf zeit- und temperaturabhängig zu- und weggeschaltet (vorausgesetzt Freigabe durch EW). ■ Die Einbauhöhe des Elektroheizeinsatzes und der Fühler ist vom Anwendungsfall abhängig: – Alternativer Betrieb Wärmepumpe – Elektroheizeinsatz: Fühler Ladung-EIN oben im Speicher, Heizeinsatz auf Höhe des gewünschten Volumens für die elektrische Aufheizung (in der Regel unten) – Vorwärmung mit Wärmepumpe, Nachwärmung mit Elektroheizeinsatz: Heizeinsatz oben im Speicher (grosses Vorwärmvolumen, kleines Nachwärmvolumen), Vorlauf Ladung auf gleicher Höhe und Fühler Ladung-EIN knapp darunter (Variante D) – Achtung: Das Volumen über dem Fühler Ladung-EIN muss so gross sein, dass der Warmwasser-Spitzenbedarf jederzeit gedeckt werden kann! – Fühler Ladung-AUS immer möglichst weit unten im Speicher – Einschaltung, Ausschaltung und Sicherheitsabschaltung des Elektroheizeinsatzes über eingebaute Thermostaten	■ Es ist zu berücksichtigen, dass die zurückkommende Warmwassertemperatur im Laufe der Ladung wesentlich höher sein kann als die Kaltwassertemperatur und somit die Wärmetauscherleistung stark variiert. Empfehlungen zur Auslegung des Plattenwärmetauschers: – Sekundärseitige Eintrittstemperatur ca. 35°C (keinesfalls entsprechend 10°C Kaltwassertemperatur!) – Primär- und sekundärseitige Temperaturdifferenzen etwa gleich wählen; beispielsweise primär 50/38°C und sekundär 48/35°C (keinesfalls 48/10°C entsprechend der Kaltwassertemperatur!) – Je tiefer die maximal zulässige Rücklauftemperatur, desto tiefer muss die sekundärseitige Auslegung erfolgen ■ Primärseitige Auslegung Pumpe und Ventil: $\dot{V}_{P1} = \dot{V}_{S1} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\,[kW]}{(\vartheta_{11} - \vartheta_{12})\,[K]}$ ■ Sekundärseitige Auslegung Pumpe und Ventil: $\dot{V}_{P2} = \dot{V}_{S2} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\,[kW]}{(\vartheta_{22} - \vartheta_{21})\,[K]}$ ■ Damit eine Ventilautorität von 0,5 eingehalten wird, muss die Hälfte des Pumpendrucks (streng genommen sogar bei Nulldurchfluss) über dem Ventil «vernichtet» werden: $\Delta p_{S1} = 0{,}5 \cdot \Delta p_{P1}$ ■ Wenn möglich ist für die Ventilautorität der Zielwert von 0,5 einzuhalten. Wenn die Auslegung zwischen Grenzwert 0,3 und Zielwert 0,5 erfolgt, muss besonders auf die Ventilkennlinie und das Öffnungsverhalten geachtet werden. ■ Ventilautorität sekundärseitig ebenfalls ≥ 0,5, das heisst: $\Delta p_{S2} \geq \Delta p_{var}$	■ Einstellregeln für die Ein- und Ausschalttemperaturen: 1. Als erste Regel gilt: $\vartheta_{EIN} \leq \vartheta_{AUS}$ 2. Die Einschalttemperatur ist durch die minimal zulässige Warmwassertemperatur bestimmt: $\vartheta_{EIN} \geq \vartheta_{WW,MIN}$ 3. Die Ausschalttemperatur ist durch die maximal zulässige sekundäre Wärmetauscher-Eintrittstemperatur begrenzt: $\vartheta_{AUS} \leq \vartheta_{21,MAX}$ Regel 1 und 2 müssen zwingend eingehalten werden. Nichteinhaltung von Regel 3 hat zur Folge, dass in bestimmten Betriebszuständen eine höhere Heizungsrücklauftemperatur zugelassen werden muss. ■ Auf der Primärseite Rücklauffühler und auf der Sekundärseite Dreiwegventil S2 und Fühler möglichst nahe beim Wärmetauscher (ergibt kurze Reaktionszeit). ■ Maximal zulässige Druckdifferenz über dem Durchgangsventil S1 beachten. ■ Falls die Wassererwärmerleistung im Bereich der Wärmeerzeugungsleistung liegt, ist eine Vorrangschaltung zu prüfen («Boilervorrang»). ■ Eine drehzahlgesteuerte Pumpe P1 ist empfehlenswert aber nicht zwingend. In jedem Betriebsfall muss mindestens die Abfuhr der elektrischen Pumpenleistung sichergestellt sein (z.B. Minimaldurchflussbegrenzung über einen Endschalter im Durchgangsventil).	■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind die eingezeichneten Temperaturmessstellen und Drosselorgane notwendig. Ausserdem sind für die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung oft noch weitere Messinstrumente erforderlich, die hier nicht angegeben werden können. ■ Rohrstück X–Y möglichst kurz (kalter «Zapfen» bei Beginn der Ladung). ■ Seitlich in den Speicher eingeführte Zirkulationsleitungen können die Speicherschichtung massiv stören. Andere Lösungen sind: – Einzelleitungssystem in kleineren Anlagen mit geringer Ausdehnung (beste Lösung, sofern realisierbar) – Elektrische Begleitheizung mit selbstregelnden Heizbändern – Externe elektrische Zirkulationsnachheizung Die beiden letzgenannten Systeme müssen aber unbedingt hinsichtlich Elektrizitäts-Mehrverbrauch untersucht werden. ■ Aus hygienischen Gründen (Legionellen) kann der Warmwasserspeicher mit dem Elektroheizeinsatz periodisch auf über 60°C erwärmt werden. ☞ Stichwort SPEICHER ☞ Heft 1, Abschnitt 4.1 «Hydraulische Grundlagen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmenutzung für alle Anwendungen

Heizgruppe(n) in Beimischschaltung

WN-01



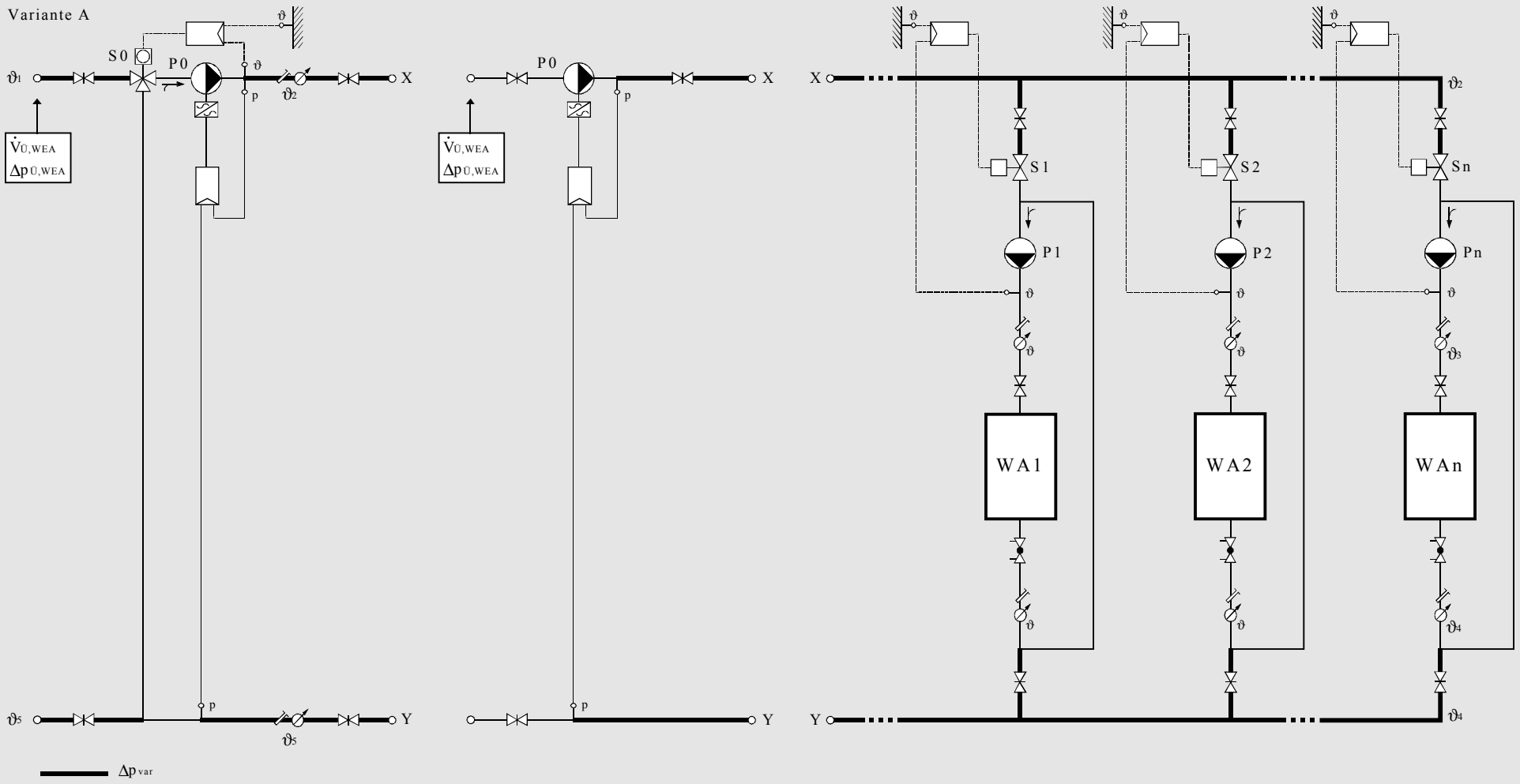
Anwendungsbereich, Merkmale	Funktionsbeschreibung	Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung	Regelungstechnische Empfehlungen	Besonderes
■ Grundsätzlich für alle Heizsysteme geeignet, bei welchen eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur gefordert ist (Wärmepumpen, BHKW's, Kondensationheizkessel, Anlagen mit Speicher usw.). ■ Wichtigste Bedingung: Wärmeerzeugung und Verbrauchergruppen müssen nahe beieinander liegen, damit der Druckabfall über den Strecken mit variablem Durchfluss (im Schema fett hervorgehoben) möglichst klein ist. ■ Variante A: Für Wärmeerzeugungsanlagen mit einer Heizgruppe.	■ Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung der Wärmeabgabe in den Gruppen mittels Beimischschaltung. ■ Konstante Rücklaufbeimischung über Bypassdrossel (im Schema gestrichelt gezeichnet), sofern ein Wechsel der Systemtemperaturen erfolgt. ■ Der Durchfluss im Hauptkreis variiert zwischen 0% und 100%. ■ Der Durchfluss in den Gruppen kann ebenfalls variabel sein, wenn z.B. Thermostatventile eingesetzt werden (dann ist oft der Einsatz drehzahlgesteuerter Gruppenpumpen sinnvoll).	■ Auslegung Pumpendurchflüsse: $\dot{V}_{Pumpe} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\,[kW]}{(\vartheta_2 - \vartheta_3)\,[K]}$ ■ Auslegung Ventildurchflüsse: $\dot{V}_{Ventil} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\,[kW]}{(\vartheta_1 - \vartheta_3)\,[K]}$ ■ Bei einem Wechsel der Systemtemperaturen entsteht eine Durchflussdifferenz zwischen Pumpe und Ventil, die über eine Bypassdrossel abgeglichen werden muss (im Schema gestrichelt gezeichnet). ■ Auslege-Temperaturdifferenz über den Verbrauchergruppen ≥ 10 K. ■ Hauptvorlauf und Hauptrücklauf grosszügig auslegen: Druckabfall inkl. Einzelwiderstände < 70 Pa/m. ■ Bezüglich des Druckabfalls Δp_{var} über den Strecken mit variablem Durchfluss (im Schema fett hervorgehoben) müssen zwei Regeln eingehalten werden: 1. Ventilautorität ≥ 0,5, das heisst: $\Delta p_{Ventil} \geq \Delta p_{var} + \Delta p_{ü,WEA}$ 2. Verhinderung von Fehlzirkulationen in Beimischverteilern ohne Hauptpumpe, das heisst: $\Delta p_{var} + \Delta p_{ü,WEA}$ kleiner als 20% der Förderhöhe der kleinsten Gruppenpumpe Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird.	■ Die Ventilkennlinie ist entsprechend dem Verbraucher auszuwählen. Als Faustregel gilt: – Für Gruppen ohne Wärmetauscher im Regelkreis Ventile mit linearer Grundkennlinie einsetzen (z.B. witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung für Heizkörper- oder Fussbodenheizung) – Für Gruppen mit Wärmetauscher im Regelkreis Ventile mit gleichprozentiger Grundkennlinie einsetzen (z. B. Luftaustrittstemperaturregelung für Lufterhitzer)	■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind die eingezeichneten Temperaturmessstellen und Drosselorgane notwendig. Ausserdem sind für die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung oft noch weitere Messinstrumente erforderlich, die hier nicht angegeben werden können. ■ Übersteigt die Anschlussleistung einer drehzahlgesteueren Pumpen einen bestimmten Wert, so ist oft eine Bewilligung des Elektrizitätswerks erforderlich (Beispiel EKZ: einphasig ab 0,7 kW, dreiphasig ab 1,2 kW bewilligungspflichtig). ☞ Stichwort HYDRAULISCHE AUSLEGUNG ☞ Heft 1, Abschnitt 4.1 «Hydraulische Grundlagen»

RAVEL

Standardschaltungsmodul zur Wärmenutzung für alle Anwendungen

Heizgruppen in Einspritzschaltung mit Durchgangsventilen

WN-02



Anwendungsbereich, Merkmale	Funktionsbeschreibung	Empfehlungen zur hydraulischen Auslegung	Regelungstechnische Empfehlungen	Besonderes
■ Grundsätzlich für alle Heizsysteme geeignet, bei welchen eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur gefordert ist (Wärmepumpen, BHKW's, Kondensationsheizkessel, Anlagen mit Speicher usw.). ■ Geeignete Schaltung, wenn Wärmeerzeugung und Verbrauchergruppen weiter auseinander liegen. Also bei grösserem Druckverlust in den Zubringerleitungen, wenn Standardschaltung WN-01 nicht eingesetzt werden kann. ■ Variante A: Vorregulierung der Hauptvorlauftemperatur.	■ Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung der Wärmeabgabe in den Gruppen mittels Einspritzschaltung mit Durchgangsventilen. ■ Der Förderstrom der Hauptpumpe variiert zwischen 0% und 100%. Deshalb ist in der Regel eine drehzahlgesteuerte Hauptpumpe erforderlich, welche die Druckdifferenz zwischen Hauptvorlauf und Hauptrücklauf konstant hält (preisgünstigere Lösung: Druckdifferenz über der Pumpe konstant). ■ Der Durchfluss in den Gruppen kann ebenfalls variabel sein, wenn z.B. Thermostatventile eingesetzt werden (dann ist oft auch hier der Einsatz drehzahlgesteuerter Gruppenpumpen sinnvoll). ■ Vorregulierung zur Verminderung der Wärmeverluste in den Zubringerleitungen (Variante A), wenn die Hauptvorlauftemperatur während eines grossen Teil des Jahres wesentlich über der höchsten geforderten Gruppen-Vorlauftemperatur liegt.	■ Auslegung Vorregulierung Variante A (normalerweise Auslegung $_{ll} = _{2}$) : $\dot{V}_{P0} = \dot{V}_{S0} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\ [kW]}{(\vartheta_2 - \vartheta_5)\ [K]}$ ■ Auslegung Gruppenpumpen: $\dot{V}_{Pn} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\ [kW]}{(\vartheta_3 - \vartheta_4)\ [K]}$ ■ Auslegung Gruppenventile: $\dot{V}_{Sn} = 0{,}86 \frac{\dot{Q}\ [kW]}{(\vartheta_2 - \vartheta_4)\ [K]}$ ■ Auslege-Temperaturdifferenz über den Verbrauchergruppen ≥ 10 K. ■ Der Druckabfall Δp_{var} über den Strecken mit variablem Durchfluss (im Schema fett hervorgehoben) bestimmt massgebend die Ventilautorität. Grundsätzlich gilt: Ventilautorität = 0,5 – Das heisst für das Regelventil der Vorregulierung (Variante A) in Beimischschaltung: $\Delta p_{S0} = \Delta p_{var} + \Delta p_{ü,WEA}$ – Und für die Gruppenventile bei Druckdifferenzregelung zwischen Hauptvorlauf und Hauptrücklauf (wie im Schema gezeichnet): $\Delta p_{Sn} = \Delta p_{var} = 0{,}5 \cdot \Delta p_{Sollwert\ Regelung}$ – Bei einer Hauptumpe mit eingebauter Druckdifferenzregelung müssen die Gruppenventile kleiner und die Hauptpumpe entsprechend grösser ausgelegt werden: $\Delta p_{Sn} = \Delta p_{var} + \Delta p_{ü,WEA}$ $\Delta p_{Sn} = 0{,}5 \cdot \Delta p_{Sollwert\ Hauptpumpe}$ Die Druckdifferenzmessung sollte also möglichst nahe bei den Verbrauchern erfolgen, damit die Hauptpumpe und deren Stromverbrauch möglichst klein wird. Für Δp_{var} ist diejenige Strecke in die Rechnung einzusetzten, deren Durchfluss durch das Ventil beeinflusst wird.	■ Die Ventilkennlinie ist entsprechend dem Verbraucher auszuwählen. Als Faustregel gilt: – Für Gruppen ohne Wärmetauscher im Regelkreis Ventile mit linearer Grundkennlinie einsetzen (z.B. witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung für Heizkörper- oder Fussbodenheizung) – Für Gruppen mit Wärmetauscher im Regelkreis Ventile mit gleichprozentiger Grundkennlinie einsetzen (Stellglied vor, Regelgrösse nach dem Wärmetauscher; z. B. Luftaustrittstemperaturregelung für Lufterhitzer) ■ Maximal zulässige Druckdifferenz über den Ventilen beachten. ■ Falls eine Vorregulierung (Variante A) vorhanden ist, ist die Hauptvorlauftemperatur entsprechend der Verbrauchergruppe mit dem höchsten Sollwert zu regeln. ■ Wenn alle Gruppenventile mit Endschaltern ausgerüstet sind, kann die Hauptpumpe bedarfsabhängig ein- und ausgeschaltet werden. ■ Wenn möglich ist für die Ventilautorität der Zielwert von 0,5 einzuhalten. Wenn die Auslegung zwischen Grenzwert 0,3 und Zielwert 0,5 erfolgt, muss besonders auf die Ventilkennlinie und das Öffnungsverhalten geachtet werden.	■ Zur Einregulierung, Inbetriebsetzung, Abnahme, Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle sowie für die laufende Betriebsüberwachung sind die eingezeichneten Temperaturmessstellen und Drosselorgane notwendig. Ausserdem sind für die verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung oft noch weitere Messinstrumente erforderlich, die hier nicht angegeben werden können. ■ Optimierung der Druckdifferenzregelung und der Vorregulierung bezüglich Pumpenstromverbrauch, Wärmeverlust und Wirtschaftlichkeit. ■ Wenn eine Vorregulierung vohanden ist und alle Verbrauchergruppen eine ähnliche Bedarfscharakteristik haben, kann eventuell auf die Druckdifferenzregelung verzichtet werden. Dabei muss aber mit dem Pumpenliefereanten abgeklärt werden, welche Bedingungen bei Nulldurchfluss einzuhalten sind. ■ Übersteigt die Anschlussleistung einer drehzahlgesteueren Pumpen einen bestimmten Wert, so ist oft eine Bewilligung des Elektrizitätswerks erforderlich (Beispiel EKZ: einphasig ab 0,7 kW, dreiphasig ab 1,2 kW bewilligungspflichtig). ☞ Stichwort HYDRAULISCHE AUSLEGUNG ☞ Heft 1, Abschnitt 4.1 «Hydraulische Grundlagen»

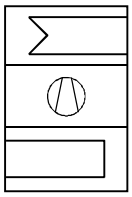
Benennungen, Formelzeichen, Abkürzungen und Symbole

Benennungen und Formelzeichen

Ausschalttemperatur [°C]	ϑ_{AUS}
Betriebsdauer BHKW [h]	B
Dichte [kg/m³]	ρ
Druck [Pa, kPa]	p
Druckdiff. durchflussvariable Strecke [Pa, kPa]	Δp_{var}
Druckdiff. über offenem Ventil [Pa, kPa]	Δp_{Ventil}
Druckdifferenz [Pa, kPa]	Δp
Durchfluss durch Wärmeabgabesystem [m³/h]	$\dot{V}_{WA}$
Durchfluss durch Wärmeerzeuger [m³/h]	$\dot{V}_{WE}$
Durchfluss, Massenstrom [kg/s, kg/h]	$\dot{m}$
Durchfluss, Volumenstrom [l/s, l/h, m³/h]	$\dot{V}$
Durchmesser [m]	D
Einschalttemperatur [°C]	ϑ_{EIN}
Geschwindigkeit [m/s]	v
Jahresarbeitszahl [-]	JAZ
kinematische Viskosität [m²/s]	ν
Ladetemperatur [°C]	ϑ_{Ladung}, ϑ_{Laden}
Länge [m]	L
Leistung, allg. [W, kW]	$\dot{P}$
Leistung, Wärme [W, kW]	$\dot{Q}$
Leistungszahl [-]	ε
Mischtemperatur [°C]	$\bar{\vartheta}$
Newtonzahl [-]	Ne
Nutzungsgrad [-]	η
Reynoldszahl [-]	Re_D
Rücklauftemperatur [°C]	ϑ_{RL}
Schalthäufigkeit [1/h]	n
Speicherinhalt [m³]	V_{SP}
Speicherinhalt, minimal [m³]	$V_{SP,MIN}$
Streuung [K]	σ
Temperatur [°C]	ϑ
Temperaturdiff. VL-RL im Auslegepunkt [K]	$\Delta\vartheta_{Auslegung}$
Temperaturdiff. VL-RL im Bivalenzpunkt [K]	$\Delta\vartheta_{Bivalenz}$
Temperaturdifferenz [K]	$\Delta\vartheta$
Temperaturdifferenz über BHKW [K]	$\Delta\vartheta_{BHKW}$
Temperaturdifferenz über Wärmeabgabe [K]	$\Delta\vartheta_{WA}$
Temperaturdifferenz über Verflüssiger [K]	$\Delta\vartheta_{K}$
Temperaturdifferenz über Wärmererzeuger [K]	$\Delta\vartheta_{WE}$
Übergabe-Druckdifferenz WEA [Pa, kPa]	$\Delta p_{Ü,WEA}$
Übergabe-Druckdifferenz WNA [Pa, kPa]	$\Delta p_{Ü,WNA}$
Übergabe-Druckdifferenz WQA [Pa, kPa]	$\Delta p_{Ü,WQA}$
Übergabe-Durchfluss WEA [m³/h]	$\dot{V}_{Ü,WEA}$
Übergabe-Durchfluss WNA [m³/h]	$\dot{V}_{Ü,WNA}$
Übergabe-Durchfluss WQA [m³/h]	$\dot{V}_{Ü,WQA}$
Verflüssigeraustrittstemperatur [°C]	$\vartheta_{K,A}$
Verflüssigeraustrittstemperatur, maximal [°C]	$\vartheta_{K,MAX}$
Verflüssigerdurchfluss [m³/h]	$\dot{V}_{K}$
Verflüssigereintrittstemperatur [°C]	$\vartheta_{K,E}$
Volumen [l, m³]	V
Vorlauftemperatur [°C]	ϑ_{VL}
Wärmekapazität, spezifische [J/kgK]	c_p
Wärmeleistung BHKW [kW]	$\dot{Q}_{BHKW}$
Wärmeleistung Wärmeabgabe [kW]	$\dot{Q}_{WA}$
Wärmeleistung Wärmeerzeuger [kW]	$\dot{Q}_{WE}$
Wärmeleistung Wärmepumpe [kW]	$\dot{Q}_{WP}$
Wärmeleistung, allg. [W, kW]	$\dot{Q}$
Wärmemenge, allg. [J, MJ, Ws, kWh]	Q
Wirkungsgrad [-]	η
Zeit [s, h]	t
Zuschlagsvolumen [m³]	$V_{zuschlag}$

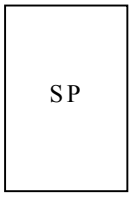
Abkürzungen (auch als Indizes verwendet)

Abwärmenutzung	AWN
Ausschaltwert	AUS
Austritt	A
Blockheizkraftwerk	BHKW
Einschaltwert	EIN
Eintritt	E
elektrisch	el
Istwert	IST
Kessel	KE
Maximalwert	MAX
Minimalwert	MIN
Notauschaltung (Sicherheit)	NOTAUS
Quelle	Q
Rückkühlung	RK
Rücklauf	RL
Senke	S
Sollwert	SOLL
Speicher	SP
thermisch	th
Übergabe	Ü
variabel	var
Ventil, Stellglied	V, S
Verdampfer	V
Verflüssiger («Kondensator»)	K
Vorlauf	VL
Wärmeabgabe	WA
Wärmeerzeuger	WE
Wärmeerzeugungsanlage	WEA
Wärmekraftkopplung	WKK
Wärmenutzungsanlage	WNA
Wärmepumpe	WP
Wärmequellenanlage	WQA
Wärmerückgewinnung	WRG
Warmwasser	WW
Zwischenkreis	Z



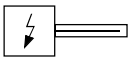
Wärmepumpe oder Kältemaschine (oben Verflüssiger, unten Verdampfer)

Wärmeerzeuger:
KE = Heizkessel
BHKW = Block-heizkraftwerk



Speicher

Wärmeabgabe



Elektro-Heizeinsatz

Plattenwärme-tauscher

Expansionsgefäss

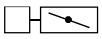
Umwälzpumpe

Ventilator

Verdichter

Durchgangsventil mit Antrieb

Dreiwegventil mit Antrieb



Drosselklappe mit Antrieb

Absperrarmatur

Drosselorgan (allg.)

Strang-Drosselventil mit Messtellen

Sicherheitsventil

Rückschlagventil

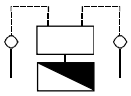
Schwingungsdämpfer

Thermometer

Manometer

Fühler

Messnippel (z.B. Tauchrohr)



Wärmezähler

Schaltuhr

Regler

Bild 21: Symbole

Index

Abkürzungen 60
Aufzeichnung, automatische 9
Aufzeichnung, manuelle 9
Auslegung 6
Ausschaltung 11
Aussenluft-Wärmepumpe 22; 24; 26; 28
Aussentemperatur 9
Benennungen 60
Betriebsstundenzähler 9
BHKW und Kessel in Prallelschaltung 40
BHKW und Kessel in Serieschaltung 44
BHKW und Kessel in Teilparallelschaltung 42
bivalente Aussenluft-Kleinwärmepumpe im Heizungsrücklauf 22
bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher 24
bivalente Aussenluft-Wärmepumpe mit Stückholzfeuerung 28
bivalente Grundschaltungen 7
bivalente Wärmepumpe, Kesselzuschaltung über Speicher 38
bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung 36
bivalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung 34
Brennstoffzähler 9
Einheiten 60
Einschaltung 11
Elektro-Wassererwärmer 17
Elektro-Wassererwärmer mit Zusatz-Wärmetauscher 17
Elektrozähler 9
Erdwärmesonden 20
firmenbezogene Qualitätssicherung 5
Formelzeichen 60
Freigabe 11
geregelter Verbund mit Speicher und Schichtladung 6
geregelter Verbund mit Speicher und Stufenladung 6
geregelter Verbund ohne Speicher 6
Grundschaltungen 6
Heizgruppe(n) in Beimischschaltung 56
Heizgruppen in Einspritzschaltung mit Durchgangsventilen 58
hydraulische Auslegung 8
Impulsausgänge 9
Impulszähler 9
Indizes 60
Instrumentierung 9
Kältemaschine und Kessel in Serieschaltung 48
Kältemaschine und Kessel in Teilparallelschaltung 50
Kleinwärmepumpe 22
Legionellen 16
monoenergetische Aussenluft-Wärmepumpe mit Speicher 26
monovalente Erdwärmesonden-Wärmepumpe ohne Speicher 20
monovalente Grundschaltungen 6
monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Schichtladung 32
monovalente Wärmepumpe, Speicher mit Stufenladung 30
objektbezogene Qualitätssicherung 5
Parallelschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher 7
potentialfreie Kontakte 9
Qualitätssicherung 5
Regelgeschwindigkeit 10
Schaltkriterien 11
Schichtladung 13
Schwebekörper-Durchflussmesser 8
Selbstbau eines statischen Mischers 15
Serieschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher 7
Sicherheitsabschaltung 11
Sommerbetrieb 11
Sonnenkollektoren 16
Speicher 12
Sperrung 11
Statische Mischer 14
Stegmischer 14
Strangregulierventil mit Druckdifferenz-Messstutzen 8
Stufenladung 13
Tauchhülsen 9
technischer Speicher 12
Teillastverhalten 6
Teilparallelschaltung zweier Wärmeerzeuger mit Speicher 7
Temperaturdifferenz über dem BHKW 13
Temperaturdifferenz über dem Verflüssiger 13
Typenprüfung 5
Übersicht Standardschaltungen 19
ungeregelter Verbund ohne Speicher 6
Verflüssiger im Wassererwärmer 17
Verflüssiger-Austrittstemperaturregelung 10
Verflüssigungsdruckregelung 10
Wärmekraftkopplung, Standardschaltungsmodule 40
Wärmenutzung, Standardschaltungsmodule 56
Wärmepumpen, Gesamt-Standardschaltungen für kleine Anlagen 20
Wärmepumpenboiler 16
Wärmequelle 19
Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, Gesamt-Standardschaltungen 46
Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, Standardschaltungsmodule 48
Wärmespeicher 12
Wärmezähler 9
Wassererwärmer im Heizungsspeicher 17
Wassererwärmer mit externem Wärmetauscher 54
Wassererwärmer mit internem Wärmetauscher 52
Wassererwärmung mit dem Heizkessel 17
Wassererwärmung mit Wärmepumpe 16
Wassererwärmung, Standardschaltungsmodule 52
Winterbetrieb 11
Zähler 9
Zuschlagsvolumen 12