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

Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen

ausgearbeitet durch

Dr.Th.Afjei	FHBB (Projektleitung) t.afjei@fhbb.ch
U.Schonhardt	FHBB
Dr.H.P.Eicher	Dr. Eicher+Pauli AG
M.Erb	Dr. Eicher+Pauli AG
H.R.Gabathuler	Gabathuler AG
H.Mayer	Gabathuler AG
Prof.G.Zweifel	HTA Luzern
M.Achermann	HTA Luzern
P.Renaud	PLANAIR SA

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) Prof. Dr. M. Zogg Leiter Forschungsprogramm UAW Kirchstutz 3 3414 Oberburg	Projektbegleiter Email: martin.zogg@bluewin.ch
Beauftragter:	Fachhochschule beider Basel FHBB Dr. Th. Afjei Prof. A. Binz U. Schonhardt Institut für Energie FHBB Fichtenhagstrasse 4 4132 Muttenz	Projektleiter stv. Projektleiter Simulationen Email: t.afjei@fhbb.ch
Projektgruppe:	Dr. Eicher + Pauli AG Dr. H.P. Eicher M. Erb Kasernenstrasse 21 4410 Liestal	FAWA Email: markus.erb@eicher-pauli.ch
	Gabathuler AG H.R. Gabathuler H. Mayer Kirchgasse 23 8253 Diessenhofen	PRAXIS Email: gabathuler.ag@bluewin.ch
	Planair SA P. Renaud Crêt 108 a 2314 La Sagne	CH-OUEST Email: info@planair.ch
	Hochschule für Technik und Architektur Fachhochschule Zentralschweiz Prof. G. Zweifel M. Achermann, R. von Euw Abteilung HLK 6048 Horw	SIMULATION Email: gzweifel@hta.fhz.ch

Zusammenfassung

In einer ersten Etappe wurden Hydraulikschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen anhand ihrer Praxistauglichkeit und Fehlertoleranz evaluiert. Hierin fliessen Erfahrungen aus Feldmessungen (FAWA), aus den Dokumentationen bisheriger Standardschaltungen (RAVEL, SWKI, FWS) und aus QS-Projekten. Es werden Varianten mit verschiedenen Wärmequellen und verschiedenen Wassererwärmungsmethoden für den Neubau (Vorlauf 35-45°C) und die Sanierung (Vorlauf 60°C) untersucht. Schaltungen, die sich im Feld bewährt haben und ein grosses Anwendungspotenzial besitzen, werden in der 2. Etappe anhand von Simulationsrechnungen miteinander verglichen, evaluiert und auf die kleinste, notwendige Anzahl reduziert. Beurteilungskriterien sind: Komfort, Jahresnutzungsgrad, Investitionskosten, Jahreskosten und Robustheit gegenüber Störungen.

Es werden 7 Standardlösungen vorgestellt.

- Standardlösung 1: Ohne Speicher, nur Heizen
- Standardlösung 2: Ohne Speicher, Heizen und Warmwasser
- Standardlösung 3: Mit Seriespeicher, nur Heizen
- Standardlösung 4: Mit Seriespeicher, Heizen und Warmwasser
- Standardlösung 5: Mit Parallelspeicher, nur Heizen
- Standardlösung 6: Mit Parallelspeicher, Heizen und Warmwasser
- Standardlösung 7: Mit Kombispeicher und Sonnenkollektor, Heizen und Warmwasser
(Schaltung noch provisorisch)

Da alle Standardlösungen auf dem Markt etabliert und von mehreren Herstellern angeboten werden, sollen die Randbedingungen für die erste Simulation jeder Standardlösung von den betroffenen Anbietern definiert werden. Mit Kenntnis des Gebäudes (Angaben nach SIA380/1 und SIA384/2) und dem Wärmeverteilssystem (Radiatoren oder FBH) wird von den Herstellern die Anlage so ausgelegt, dass sie nach ihren Erfahrungswerten „gut funktioniert“. Dies umfasst u.a. die Grösse von Wärmepumpe, Speicher, Rohren und Umwälzpumpen, die Positionierung der Temperaturfühler, die Heizkurve und die Hysterese zum Ein-/Ausschalten.

Von der Projektgruppe werden Vorschläge für die Dimensionierung und Simulation vorgestellt.

Im Weiteren werden die folgenden Simulationsprogramme beschrieben, welche für das Projekt Standardschaltungen evaluiert worden sind.

- TRNSYS, Ver. 15
- IDA, Ver. 3.0 beta
- MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset, Ver. 1.0

Die HTA Luzern und die FHBB, welche die Simulationsrechnungen durchführen, entschieden sich nach Abschluss der Evaluation für MATLAB/SIMULINK mit dem CARNOT-Blockset, das am Solarinstitut Jülich der FH-Aachen (D) entwickelt wurde.

Inhaltsverzeichnis

1 ZIELSETZUNG	1
2 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN	2
2.1 INVENTARE.....	2
2.1.1 <i>FAWA</i>	2
2.1.2 <i>DACH</i>	3
2.1.3 <i>Informations de EDF</i>	4
2.2 WORKSHOP IN OL滕EN.....	5
2.3 COMBINAISON D'UNE POMPE À CHALEUR AVEC L'ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE	7
2.4 ZWEI SCHRITTE ZUR RICHTIGEN STANDARDLÖSUNG	8
2.4.1 <i>Schritt 1: Auswahl der Standardlösung mit Hilfe der Auswahlmatrix</i>	8
2.4.1.1 Standardanwendungen.....	8
2.4.1.2 Standardlösungen.....	8
2.4.1.3 Auswahlmatrix	12
2.4.2 <i>Schritt 2: Auslegung der ausgewählten Standardlösung</i>	13
2.4.2.1 Für jede Standardlösung ein eigenes Merkblatt.....	13
2.4.2.2 Grundlagendaten	13
2.4.2.3 Auswahl Varianten.....	14
2.4.2.4 Auswahl Regelkonzept	14
2.4.2.5 Auslegung	15
2.5 ZUSÄTZLICHE ENTHITZER, VERFLÜSSIGER UND UNTERKÜHLER?.....	16
2.6 EVALUATION DER SIMULATIONS SOFTWAREPAKETE	16
2.6.1 Kurzbeschreibung der untersuchten Softwarepakete.....	17
2.6.1.1 IDA.....	17
2.6.1.2 TRNSYS	17
2.6.1.3 Matlab Simulink Carnot-Blockset	17
2.6.2 Vorgehensweise	18
2.6.3 Anforderungen des Projektes Standardschaltungen an das Software-Werkzeug	18
2.6.4 Verfügbarkeit der Komponenten und Validierung	19
2.6.5 Erfahrungen von Softwareanwendern	19
2.6.6 IDA-ICE	20
2.6.6.1 Implementierte Modelle in IDA	20
2.6.6.2 IDA-SE: Simulationsumgebung für losgelöste Simulationsbetrachtungen	21
2.6.6.3 NMF: Physikalische Modelle von neuen Komponenten in IDA integrieren	22
2.6.7 Simulation heizungstechnischer Anlagen mit MATLAB-Simulink [®]	22
2.6.7.1 Einleitung	22
2.6.7.2 MATLAB-Simulink	22
2.6.7.3 Die Bibliothek CARNOT	23
2.7 ERGEBNIS DER SOFTWAREEVALUATION	27
2.7.1 Fazit der HTA-Luzern für IDA	27
2.7.2 Fazit der FHBB für MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset und TRNSYS	27
2.7.3 Entscheid für MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset	27
3 EMPFEHLUNG FÜR DIE SIMULATIONEN	28
3.1 SCHALTUNGEN, VARIANTEN, REGELKONZEPTE	28
3.2 RANDBEDINGUNGEN	28
3.2.1 Wärmepumpe	28
3.2.2 Wassererwärmung	28
3.2.3 Regelung:	28
3.2.4 Weitere Komponenten	28
3.2.5 Wärmeabgabesystem, Gebäude	28
3.2.6 Nutzer	29
3.3 AUSLEGUNG	29
3.4 FRAGEN, DIE DIE SIMULATIONEN BEANTWORTEN SOLLEN	30
3.4.1 Allgemeine Fragen	30
3.4.2 Spezielle Fragen	30
3.5 KOMFORTKRITERIEN	31

4	SYMBOLVERZEICHNIS.....	34
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	35
6	ANHANG.....	36
6.1	EINBINDUNG VON WÄRMEPUMPE UND SOLARANLAGE IN FAWA.....	36
6.2	SCHEMA WP-SONNE/ WARMWASSER UND HEIZUNG MIT KOMBISPEICHER STRATIVARI/EFH....	36
6.3	RESULTATE AUS FAWA.....	37
6.4	WÄRMEPUMPENMODELL TRNSYS TYPE 201	47
6.4.1	<i>Allgemeine Beschreibung</i>	48
6.4.2	<i>Formelzeichen</i>	49
6.4.3	<i>Mathematische Beschreibung</i>	50
6.4.3.1	Stationäre Kondensator und Verdampferleistung.....	50
6.4.3.2	Iteration Kondensatoraustrittstemperatur.....	50
6.4.3.3	Taktverluste	50
6.4.3.4	Ver- und Enteisung Verdampfer	52
6.4.3.5	Kondensator und Verdampferleistung	53
6.4.3.6	Wärmepumpenmodus	53
6.4.4	<i>Komponenten Konfiguration</i>	54
6.4.5	<i>Literaturverzeichnis.....</i>	55
6.5	STANDARDSCHALTUNG TYP GRUNDFOS (EQUA SCHWEDEN)	56
6.6	DACH-SCHALTUNGEN	59

1 ZIELSETZUNG

Die Zielsetzungen richten sich nach der Ausschreibung des BFE und umfassen:

- Definition je einer möglichst einfachen und doch effizienten Standardschaltung für die aufgelisteten Anwendungsfälle:
 - Wärmequellen Luft, Erdreich und solar
 - Heizen und Warmwasser mit Wärmepumpe, WW separat (direkt-elektrisch) oder solar
 - Neubau ($T_{VL} < 45^{\circ}\text{C}$) und Sanierung ($T_{VL} < 60^{\circ}\text{C}$)
- Reduktion der Standardschaltungen auf die maximal notwendige Anzahl
- Erarbeiten von Dimensionierungsanleitungen für den Leistungsbereich von 5 bis 25 kW.

Das erwartete Ergebnis ist eine Dokumentation von Standardschaltungen mit Dimensionierungsanleitungen.

In einer ersten Etappe werden Hydraulischschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen auf ihre Praxistauglichkeit und Fehlertoleranz evaluiert. Hierin fliessen Erfahrungen aus Feldmessungen (FAWA), aus den Dokumentationen bisheriger Standardschaltungen (RAVEL, SWKI, FWS) und aus QS-Projekten ein. Es werden Varianten mit verschiedenen Wärmequellen (Luft, Erdreich) und verschiedenen Wassererwärmungsmethoden (integriert/separat, solar) für den Neubau (Vorlauf 45°C) und die Sanierung (Vorlauf 60°C) untersucht. Schaltungen, die sich im Feld (FAWA und andere Messungen) bewährt haben und ein grosses Anwendungspotenzial besitzen, werden in der zweiten Etappe anhand von Simulationsrechnungen (standardisierter Benutzer) miteinander verglichen, evaluiert und auf die kleinste, notwendige Anzahl reduziert. Beurteilungskriterien sind: Komfort (PPD nach Fanger [13]), Jahresnutzungsgrad (inkl. Hilfsaggregate), Investitionskosten (anhand Offerten), Jahreskosten und Robustheit gegenüber Störungen.

2 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

2.1 Inventare

2.1.1 FAWA

Die in FAWA produzierten Daten bezüglich Jahresarbeitszahlen wurden gemäss den grundsätzlich möglichen Schaltungstypen (vgl. Abbildung 1, Seite 10) sortiert. Die so erhaltenen Resultate sind in den vier folgenden Tabellen dargestellt. Die Bezeichnungen in den Tabellen sind im Kap. 4, Seite 34, beschrieben. Neben dem Quellentyp (Luft resp. Erdsonde) wurde jeweils auch zwischen den Abgabesystemen unterschieden, weshalb pro Gruppe teilweise nur noch sehr wenige Anlagen verblieben. Zur Beurteilung der Streuung in den so gebildeten Gruppen sollte primär die Standardabweichung (SD) und nicht die Min./Max.-Werte verwendet werden.

Deutlich wird, dass die Anlagen mit Parallelspeicher am häufigsten sind, gefolgt von speicherlosen Anlagen. Als eher marginal zu bezeichnen sind Seriespeicheranlagen und Anlagen, die mit Sonnenkollektoren kombiniert sind.

Bezüglich des Abgabesystems dominieren Bodenheizungen, teilweise kombiniert mit Radiatoren. Bei den Retrofit-Anlagen, die etwa die Hälfte des FAWA-Samples ausmachen, sind ca. 50% mit reinen Radiatorsystemen ausgerüstet.

Weitergehende Auswertungen aus dem Projekt FAWA sind in Kap. 6.3 im Anhang enthalten.

Schaltung 1/2 (ohne Speicher, ohne Thermostatventile, ohne Überströmventile)

	Alle BHZ_gem.	JAZ 2 L/W Rad.	JAZ 2 L/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 L/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)	JAZ 2 S/W BHZ_gem.	JAZ 2 S/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 S/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)	JAZ 2 S/W BHZ_gem.	JAZ 2 S/W BHZ_gem. ohne BWW
Mittel	3.42	2.62	2.41	3.01	2.23	4.08	-	4.05	4.14
Anzahl	27	6	1	3	3	13	0	2	10
SD	0.88	0.64	-	0.47	0.60	0.70	-	0.33	0.78
Min.	1.55	1.55	2.41	2.56	1.55	2.61	0.00	3.82	2.61
Max.	5.48	3.50	2.41	3.50	2.65	5.48	0.00	4.28	5.48

G:\FAWA\Resultat\Re_Sta02.xls\Sta

Tabelle 1. Jahresarbeitszahlen der in FAWA untersuchten Anlagen, die der Stasch-Schaltung Nr. 1/2 entsprechen.

Schaltung 3/4 (Seriespeicher)

	Alle (m/Th.v., m/Überst.)	Alle (o/Th.v., o/Überst.)	JAZ 2 L/W BHZ_gem.	JAZ 2 L/W Rad.	JAZ 2 L/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 L/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)	JAZ 2 S/W BHZ_gem.	JAZ 2 S/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 S/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)
Mittel	1.63	2.65	2.49	2.44	2.16	3.16	-	3.38	-
Anzahl	2	6	3	1	2	1	0	1	0
SD	0.84	0.58	0.73	-	0.62	-	-	-	-
Min.	1.03	1.72	1.72	2.44	1.72	3.16	0.00	3.38	0.00
Max.	2.22	3.38	3.16	2.44	2.60	3.16	0.00	3.38	0.00

G:\FAWA\Resultat\Re_Sta02.xls\Sta

Tabelle 2. Jahresarbeitszahlen der in FAWA untersuchten Anlagen, die der Stasch-Schaltung Nr. 3/4 entsprechen.

Schaltung 5/6 (Parallelspeicher, z.T. mit Thermostatventilen oder Entladeregelung)

Alle	JAZ 2 L/W BHZ_gem.	JAZ 2 L/W Rad.	JAZ 2 L/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 L/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)	JAZ 2 S/W BHZ_gem.	JAZ 2 S/W Rad.	JAZ 2 S/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 S/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)
Mittel	2.80	2.66	2.26	2.71	2.67	2.98	3.05	2.83
Anzahl	52	21	7	13	5	8	9	3
SD	0.60	0.43	0.57	0.44	0.52	0.40	0.71	0.33
Min.	1.18	1.88	1.18	1.88	2.09	2.54	1.80	2.54
Max.	4.17	3.71	2.99	3.71	3.51	3.56	4.17	3.18

G:\FAWA\Resultat\Re_Sta02.xls\Sta

Tabelle 3. Jahresarbeitszahlen der in FAWA untersuchten Anlagen, die der Stasch-Schaltung Nr. 5/6 entsprechen.

Schaltung "7" (WP und Sonnenkollektoren)

Alle	JAZ 2 L/W BHZ_gem.	JAZ 2 L/W Rad.	JAZ 2 L/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 L/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)	JAZ 2 S/W BHZ_gem.	JAZ 2 S/W Rad.	JAZ 2 S/W BHZ_gem. ohne BWW	JAZ 2 S/W BHZ_gem. mit BWW (>0%)
Mittel	3.71	-	2.73	-	-	4.17	-	-
Anzahl	5	0	1	0	0	2	0	0
SD	1.02	-	-	-	-	0.09	-	-
Min.	2.56	0.00	2.73	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00
Max.	4.90	0.00	2.73	0.00	0.00	4.24	0.00	0.00

G:\FAWA\Resultat\Re_Sta02.xls\Sta

Tabelle 4. Jahresarbeitszahlen der in FAWA untersuchten Anlagen, die mit Sonnenkollektoren kombiniert sind. In der vorliegenden Auswertung entspricht jedoch nur eine L/W-Anlage mit Radiatoren (JAZ 2.73) ungefähr der Schaltung 7 (genaues Schema im Anhang). Inzwischen sind jedoch noch zwei weitere Anlagen dieses Typs in FAWA aufgenommen worden.

2.1.2 DACH

Im Rahmen der DACH-Gruppe, bestehend aus dem Initiativkreis Wärmepumpe IWP, Deutschland, der Leistungsgemeinschaft Wärmepumpen LGW, Österreich, und der Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz, wurde das Thema Standardschaltungen bisher nicht konkret behandelt. Es gibt in D und A auch kein Inventar über die durchschnittlichen Jahresarbeitszahlen des installierten Anlagenparkes. Bekannt sind einzelne Vergleichsmessungen unterschiedlicher Heizsysteme in identisch gebauten Versuchshäusern ohne Bewohner. Die vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik durchgeführten Messungen mit einem Brennwertkessel und einer Luft/Wasser-Wärmepumpe zeigten vom 1. Februar – 30. April 1995 folgende normierte Verbräuche an Endenergie:

Haus 1 mit Gas-Brennwertkessel: 3735 kWh (berechnet über den unteren Heizwert)

Haus 2 mit L/W-Wärmepumpe: 1112 kWh Strom

Die Wärmepumpe erreicht eine Arbeitszahl für diese Periode von 3.6, der Brennwertkessel einen Nutzungsgrad von 107%. Die Wärmeverteilung erfolgte über eine Bodenheizung für das Erdgeschoss sowie über Niedertemperatur-Heizkörper im Obergeschoss. Die hydraulische Schaltung enthielt in beiden Fällen ein Überströmventil, bei der Wärmepumpe kam zusätzlich ein Pufferspeicher (in Serie

geschaltet) im Rücklauf dazu. Die Schaltung entspricht der Variante 3 von Abbildung 1 (Workshop STASCH von Olten).

Die Leistungsgemeinschaft Wärmepumpen LGW mit Sitz in Wien hat 1997 einen Vorschlag für ein Wärmepumpen-Anlagen-Gütesiegel gemäss Anhang 6.5 vorgestellt. Es beabsichtigt eine dauerhafte Qualitätssicherung im Bereich Wärmepumpenheizungen. Das Erreichen des Anlagen-Gütesiegels verlangt zwingend eine Messung der Wärme- und Strommenge und das Erreichen von minimalen, vorgegebenen Jahresarbeitszahlen. Die empfohlenen Hydraulik-Schemata entsprechen der Variante 1 resp. 2 ohne Speicher sowie der Variante 5 resp. 6 mit Parallelspeicher. Bei der Wassererwärmung wird ein aussenliegender Plattentauscher empfohlen.

Im Rahmen der DACH-Gruppe wurden die Vorschläge der LGW nicht weiter behandelt, da dem Gütesiegel für Wärmepumpen Priorität eingeräumt wurde. Zudem ist es aus Sicht einer Mehrheit von Fachleuten problematisch, ein Anlagen-Gütesiegel zu vergeben. Im Rahmen des Projektes STASCH sollten die Schaltungen gemäss Anhang 6.5 jedoch einbezogen, diskutiert und bewertet werden.

2.1.3 Informations de EDF

Les informations ont été obtenues auprès d'EDF, en collaboration avec les personnes suivantes :

- M. Fabrice Beck,
- M. Pierre Berhondo
- M. Bernard Horber.

Ces personnes sont intégrées à la direction du développement, service de stratégie et d'application de l'électricité dans les bâtiments.

Questions adressées à EDF

Les questions soumises à EDF sont de plusieurs ordres :

- application des schémas standards suisses (schémas types de 1 – 7)
- systèmes et niveaux de température utilisés pour la distribution de chaleur
- application de la PAC pour la production d'eau chaude sanitaire
- pratique au niveau de la mise en place d'accumulateurs
- sources de chaleur utilisées
- liaison entre la PAC et la distribution de chaleur ainsi que de la production d'eau chaude sanitaire
- liaison PAC – distribution de chaleur – accumulateur (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire)
- liaison de la pompe à chaleur avec des installations solaires thermiques.

Informations transmises par EDF

- Le 85% des installations garantit la distribution de chaleur à l'aide de chauffages par le sol (température de départ maximum = 38°C). Seul 5% des installations utilise des radiateurs pour diffuser la chaleur. Le 10% du marché est garanti par des ventilo-convecteurs partiellement combinés avec du chauffage par le sol.
- La production d'eau chaude sanitaire à l'aide des pompes à chaleur est relativement rare : seul environ 5% des cas contribue à cette application. A noter qu'actuellement un seul constructeur (Entreprise Sofath) commercialise une installation pour la production d'eau chaude sanitaire couplée au chauffage par désurchauffe des gaz refoulés au compresseur.

- Les pompes à chaleur diffusant la chaleur par des planchers chauffants ne disposent pas d'accumulateur. Seules les installations diffusant la chaleur par ventilo-convection disposent de petits stockages (30 à 60 litres d'eau pour des PAC de 6 à 20 kW).
- La grande majorité des pompes à chaleur puise leur chaleur dans l'air extérieur; ces dernières sont dimensionnées pour supporter des températures minimales de – 10°C.
- Les régulations sont partiellement très sommaires : certains constructeurs utilisent uniquement des thermostats d'ambiance qui enclenchent le circulateur et le compresseur.
- L'appoint électrique est très économique en France. Pour cette raison, l'appoint pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire se fait très fréquemment à l'aide d'une résistance électrique directe.
- L'accumulateur sur le départ du groupe chauffage est fréquemment utilisé principalement pour permettre d'ajouter des résistances électriques à l'intérieur.
- Les installations les plus sophistiquées utilisent des accumulateurs qui sont branchés en parallèle; par conséquent, le circuit pompe à chaleur et le circuit chauffage sont déconnectés. Toutefois, jusqu'à ce jour, ce type de solution a donné des résultats peu satisfaisants (suite semble-t-il à des problèmes de régulation).
- La combinaison entre pompe à chaleur et énergie solaire thermique est très peu fréquente. Un fabricant (Rotex) propose un tel système lié directement à une cuve de stockage. Ce type d'installation reste toutefois une exception.

Synthèse des résultats

- La pompe à chaleur reste en France une installation d'exception; le développement exponentiel rencontré en Allemagne ou en Suisse n'a pas encore eu lieu en France.
- Le développement de la pompe à chaleur en France est freiné par la politique menée par EDF pour l'implantation des chauffages électriques directs. La structure tarifaire met peu en valeur la pompe à chaleur.
- Une grande partie de la France bénéficiant d'un climat plus tempéré que la Suisse, l'Allemagne ou l'Autriche, la grande majorité des pompes à chaleur utilise l'air extérieur comme source froide.
- Le marché de l'énergie solaire thermique reste encore marginal en France; par conséquent, la combinaison entre l'énergie solaire thermique et la pompe à chaleur est à ce jour encore une exception.

2.2 Workshop in Olten

Die im Wärmepumpenzentrum Töss gemessenen COP's bewegen sich heute in einer relativ engen Bandbreite. Im Gegensatz dazu streuen die im Projekt FAWA gemessenen Jahresarbeitszahlen sehr stark («Sternenhimmel»). Die Erklärung dafür kann nur sein, dass auf der Anlageseite noch erhebliche Mängel bestehen. Deshalb wurde am 7. Februar 2001 in Olten ein Workshop zu diesem Thema durchgeführt.

Für das vorliegende Projekt «Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen» (kurz «STASCH») ergaben sich aus dem **Projekt FAWA** die folgenden Erkenntnisse:

- Wärmepumpenanlagen mit Speicher weisen wider Erwarten deutlich kürzere Laufzeiten auf als solche ohne Speicher. Daraus zu schliessen, dass Anlagen ohne Speicher generell besser sind, ist allerdings nicht zulässig, weil der Speicher – neben der Speicherfunktion – auch noch andere Zwecke erfüllt: Ausgleich von variablem Durchfluss, hydraulische Entkopplung, einfache Einbindung elektrische Zusatzheizung, Wärmequelle bei Abtauung mittels Prozessumkehr.
- Bei einer nass verlegten Fussbodenheizung (träges Wärmeabgabesystem) ohne Thermostatventile (konstanter Durchfluss) mit einer einzigen Heizgruppe (keine hydraulische Entkopplung notwendig) ist ein Speicher mit Sicherheit nicht notwendig.

- Die Auslegung der Erdsonden mit einer Entzugsleistung von 50 W/m hat sich bewährt. Es gibt keinen Grund, von diesem Wert abzuweichen.
- Es spricht nichts gegen den monovalenten Betrieb von Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen.
- Die Elektro-Zusattheizung monoenergetisch ausgelegter Wärmepumpenanlagen wird kaum je benötigt, sofern die Heizlast nicht wesentlich von der Planung abweicht. Diese Anlagen sind aber deutlich knapper dimensioniert.
- Die Wassererwärmung mit der Wärmepumpe ist energetisch und ökologisch sinnvoll.

Die Erfahrungen der **Wärmepumpenhersteller und Planer/Installateure** können wie folgt zusammengefasst werden:

- Acht Wärmepumpenhersteller (CTA, Hoval, KWT, Novelan, Satag, Sixmadun, Soltherm, Stiebel-Eltron) präsentierten Schaltungen. 25 der insgesamt 30 vorgestellten Schaltungen entsprachen den 7 durch STASCH vorgegebenen Standardlösungen.
- Zwei Hersteller präsentierten zwei weitere Schaltungen mit zusätzlichem Enthitzer, Verflüssiger und Unterkühler, die durch STASCH auch diskutiert werden sollten:
 - Separate Verflüssiger für Heizung und Warmwasser (Sixmadun)
 - Zusätzliche Enthitzer und Unterkühler für Warmwasser (KWT)
- Drei Schaltungen passten nicht in die STASCH-Systematik:
 - Bivalente Anlage mit Heizkessel (Novelan)
 - Kombispeicher ohne Solarenergienutzung (CTA)
 - «Hydrotransformator» (Soltherm)
- Die Regelung erfolgt bei praktisch allen Schaltungen durch eine witterungsgeführte Rücklauftemperaturregelung (ohne Speicher oder Seriespeicher) oder eine witterungsgeführte Speicherregelung (Parallelspeicher). Eine Fernbedienung vom Wohnzimmer aus – auch kombiniert mit einer Raumtemperaturaufschaltung – ist meist möglich.
- Thermostatventile werden heute zwingend vom Kunden verlangt. Deshalb sind auch Standardschaltungen notwendig, die für Thermostatventile geeignet sind.
- Beim Minergiehaus kann der Energieanteil für Heizung und Warmwasser ähnlich gross sein, was bei den Auslegungsrichtlinien für die Standardschaltungen unbedingt berücksichtigt werden muss. Es ist anzunehmen, dass dies bei neuen Gebäuden vermehrt zutrifft.
- Die Standardschaltungen sind zum grössten Teil seit längerer Zeit definiert und auch heute noch gültig (AWP [2], SWKI [3], RAVEL [4]). Was fehlt ist die Umsetzung des vorhandenen Know-how in der Praxis, insbesondere einfache Hilfsmittel zur Auslegung und Fehlervermeidung. (Vgl. Schreiben Szokody an Rognon vom 18.2.2001 [7])

Folgende **zusätzlichen Wünsche** ergaben sich aus der weiteren Diskussion:

- Die Standardschaltungen sollten auch von Wärmepumpen ausgehen, die mit zusätzlichen Enthitzern, Verflüssigern und Unterkühlern ausgerüstet sind (Vorschlag einer Systematik von Ch. Erb).
- Zumindest sollten geeignete Standardschaltungen für die Wärmepumpen «Swiss Retrofit Heat Pump» verfügbar sein, um zukunftsträchtige Lösungen zu fördern, statt zu behindern (Wunsch M. Zogg).

2.3 Combinaison d'une pompe à chaleur avec l'énergie solaire thermique

Comme mis en évidence dans le chapitre 2.4.1.3 ("Auswahlmatrix"), la combinaison de la pompe à chaleur avec l'énergie solaire thermique représente un cas particulier. En effet, sur les différents schémas standards, seul le schéma type 7 fait référence à deux producteurs d'énergie différents à mêmes de produire de l'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude (sans tenir compte d'un appoint électrique).

Globalement, les remarques suivantes sont à formuler face à la combinaison pompe à chaleur – énergie solaire thermique :

- L'énergie solaire thermique ne peut que très difficilement se suffire à elle-même (stockage saisonnier pour maison familiale difficile et onéreux à réaliser); pour cette raison, la combinaison avec une pompe à chaleur s'avère intéressante.
- Reliée sur les sondes géothermiques, la pompe à chaleur travaille sur des phases de douze mois. Plus l'énergie soutirée dans les sondes est importante, plus ces dernières doivent être dimensionnées généreusement. La combinaison avec une installation solaire thermique, dont la grande part d'énergie est fournie en période estivale ainsi qu'à l'entre-saison, permet de diminuer sensiblement la longueur des sondes géothermiques.
- Les deux systèmes de production de chaleur (pompe à chaleur et énergie solaire thermique) voient leur efficacité dépendre directement du niveau de la température de l'énergie produite. Pour l'un comme pour l'autre, plus le niveau de température est bas, plus le rendement (ou coefficient de performance) est élevé. Ces deux systèmes se combinent donc parfaitement.

Face à cette situation, le schéma de principe standard reliant la pompe à chaleur avec une installation solaire thermique pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire devra tenir compte des principes suivants :

- éviter le mélange des hautes et basses températures compte tenu que l'élévation de l'eau à un niveau de température élevé se fait au détriment d'un bon coefficient de performance de la pompe à chaleur,
- respecter la séparation "production d'eau chaude sanitaire – chauffage du bâtiment" non seulement pour la pompe à chaleur mais également pour les capteurs solaires thermiques,
- prélever l'énergie pour le chauffage du bâtiment dans la partie du stockage où le niveau de température est le plus bas (dans le bas de la cuve de stockage),
- pour éviter toute complication hydraulique, intégrer le stockage d'énergie pour le chauffage du bâtiment avec la cuve d'eau chaude sanitaire,
- mettre en place une régulation tenant rigoureusement compte de tous les paramètres de la pompe à chaleur et de l'installation solaire thermique (mise en place de garde-fou évitant des fonctionnements contradictoires).

Le schéma 7 répond de manière optimale à ces contraintes en alliant les avantages suivants :

- respect des niveaux de température,
- simplification maximale du schéma général,
- suppression de toutes fonction et organe inutiles.

2.4 Zwei Schritte zur richtigen Standardlösung

Das Wärmepumpen-Testzentrum Töss hat auf der Wärmepumpenseite klare Verhältnisse geschaffen. Die Aufgabe von STASCH wird es sein, auch auf der Anlageseite klare Verhältnisse zu schaffen.

Dazu werden im Wesentlichen **drei Planungs-Hilfsmittel** benötigt:

1. Standardanwendungen Eine Systematik der Anwendungsfälle
2. Standardlösungen Hydraulische Schaltung + Regelkonzept + Auslegung
3. Auswahlmatrix Welche Standardlösung ist für welche Standardanwendung wie gut geeignet?

Damit ergibt sich ein **logisches Vorgehen des Planers/Installateurs in zwei Schritten:**

1. Schritt Auswahl der Standardlösung mit Hilfe der Auswahlmatrix
2. Schritt Auslegung der ausgewählten Standardlösung (für jede Standardlösung ein eigenes Merkblatt)

Im Folgenden werden diese beiden Schritte, die der Planer/Installateur bei jeder Wärmepumpenanlage erneut auszuführen hat, so beschrieben, wie sie sich aus heutiger Sicht darstellen. Für die endgültige Fassung sind noch wesentliche Änderungen und Ergänzungen zu erwarten.

2.4.1 Schritt 1: Auswahl der Standardlösung mit Hilfe der Auswahlmatrix

2.4.1.1 Standardanwendungen

Am Anfang steht immer ein ganz bestimmter Anwendungsfall (= Standardanwendung). Dafür muss dann die beste Schaltung (= Standardlösung) gefunden werden – und nicht umgekehrt. Dieser Tatsache ist insbesondere auch im Hinblick auf den angepeilten Sanierungsmarkt Rechnung zu tragen.

Als erstes ist deshalb eine Systematik der Anwendungsfälle mit einer – wenn möglich nicht zu grossen – Anzahl von Standardanwendungen zu erstellen. Aus heutiger Sicht genügt es für eine genügend feine Systematik, wenn **drei Fragen** beantwortet werden, wobei jede Frage zwei oder drei «multiple choice» Antworten zulässt:

1. Wie erfolgt die Warmwasserbereitung?
 - Ohne Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe
 - Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe (Solarunterstützung für Warmwasser möglich)
 - Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe mit Solarunterstützung für Heizung und Warmwasser
2. Ist der Durchfluss einigermassen konstant UND/ODER ist eine hydraulische Entkopplung notwendig?
 - Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25%
 - Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25%
 - Mehrere geregelte Heizgruppen (Anteil Thermostatventile spielt keine Rolle)
3. Wie träge ist das Wärmeabgabesystem?
 - Nass verlegte Fussbodenheizung, allenfalls mit kleinem Anteil Heizkörperheizung
 - Trocken verlegte Fussbodenheizung ODER nass verlegte Fussbodenheizung mit wesentlichem Anteil Heizkörperheizung ODER reine Heizkörperheizung

Aus den drei Fragen ergeben sich maximal $3 \times 3 \times 2 = 18$ Standardanwendungen.

2.4.1.2 Standardlösungen

Die Diskussionen im Rahmen des Workshops zeigten, dass die bereits im Jahresbericht 2000 [5] aufgeführten 7 hydraulischen Standardlösungen gemäss Abbildung 1 weitaus die häufigsten sind. Es ergibt sich das folgende Bild (ergänzte Auswertung aufgrund der abgegebenen Folien), wenn man die 7 Standardlösungen den Anbietern zuordnet:

4 x Standardlösung 1 (ohne Speicher, ohne Warmwasser): CTA, KWT (nur Handfolien am Workshop), Sixmadun, Hoval.

2 x Standardlösung 2 (ohne Speicher mit Warmwasser): Hoval, Sixmadun

2 x Standardlösung 3 (Seriesspeicher ohne Warmwasser): Novelan (Speicher im Vorlauf), CTA (Speicher im Rücklauf)

2 x Standardlösung 4 (Seriesspeicher mit Warmwasser): Novelan (Speicher im Vorlauf), CTA (Speicher im Rücklauf)

5 x Standardlösung 5 (Parallelspeicher ohne Warmwasser): Stiebel-Eltron, CTA, KWT (nur Handfolien am Workshop), Sixmadun, Hoval

6 x Standardlösung 6 (Parallelspeicher mit Warmwasser): Stiebel-Eltron, CTA, KWT, Sixmadun, Hoval, Satag (evtl. mit externem Wärmetauscher)

4 x Standardlösung 7 (Kombispeicher mit Solarenergienutzung): CTA, anonyme Folie (Novelan), Hoval, KWT

2 x Schaltungen mit zusätzlichem Enthitzer, Verflüssiger, Unterkühler (werden in Abschnitt 2.5 diskutiert): KWT (zusätzlich Enthitzer und Unterkühler), Sixmadun (zusätzlicher Verflüssiger für Warmwasser)

3 x Schaltungen weder bei den Standardlösungen noch in Abschnitt 2.5 berücksichtigt: Novelan (bivalente Anlage mit Heizkessel), CTA (Kombispeicher ohne Solarenergienutzung), Soltherm («Hydrotransformator»)

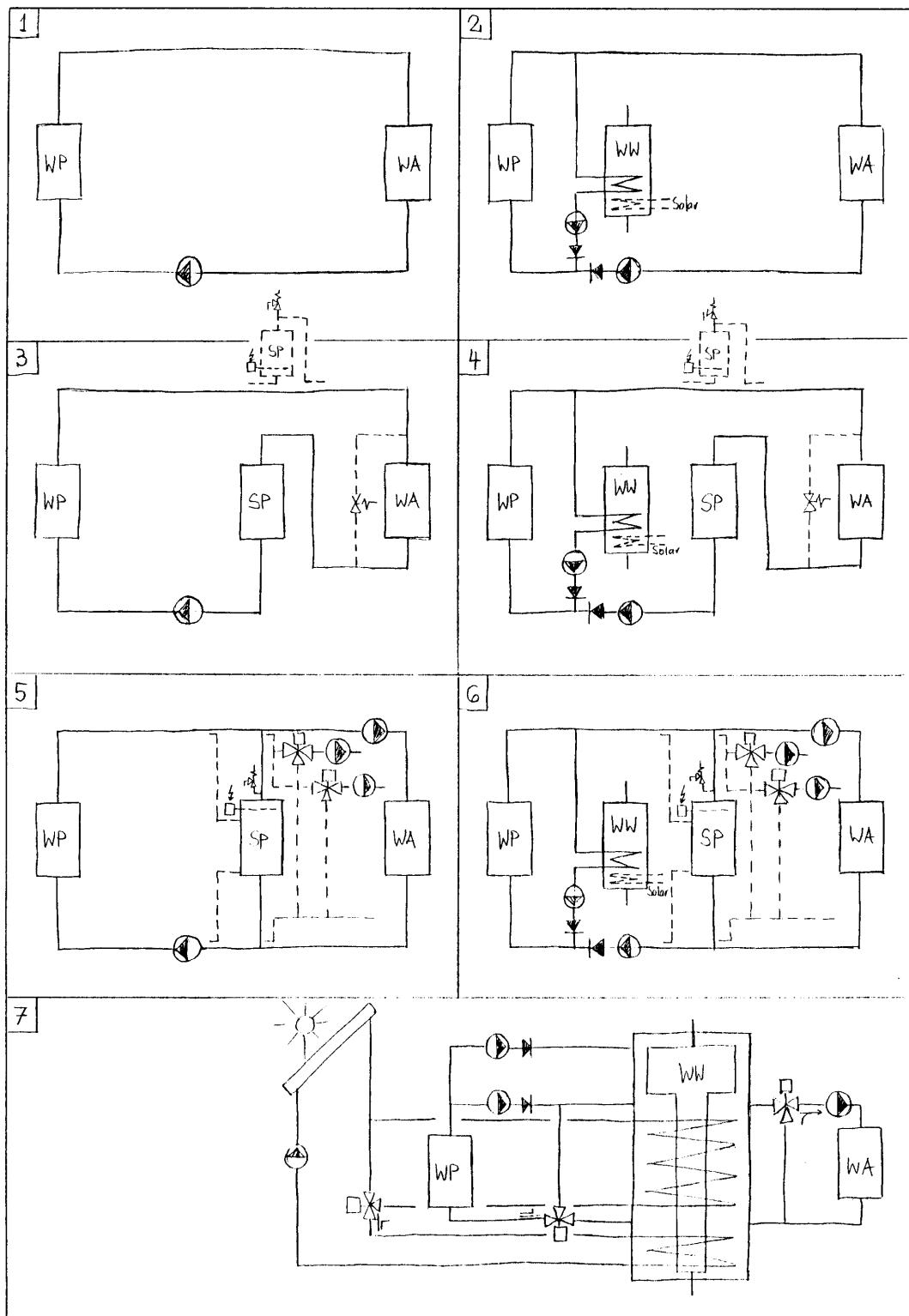


Abbildung 1: Standardlösungen

Anm.: Für Schaltung 7 stehen noch die beiden Schaltungen auf Seite 36 zur Auswahl

Tabelle 5 zeigt, welche Einschränkungen sich für die Standardlösungen ergeben. Daraus resultieren typische Anwendungen, die durch die Beantwortung der «multiple choice» Fragen der Standardanwendungen eindeutig zugeordnet werden können.

Nr.	Schaltung	Einschränkungen	Daraus resultierende typische Anwendungen («multiple choice» Antworten)
1	Ohne Heizwasserspeicher	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine Entkopplung Wärmeerzeugung/Wärmeabgabe ■ Nicht für variablen Durchfluss ■ Kein Überströmventil ■ Nicht für flinke Wärmeabgabe ■ Serielle elektrische Notheizung weniger betriebssicher als im Speicher 	<input checked="" type="checkbox"/> Ohne Warmwasserbereit. über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25%, kein Überströmventil <input checked="" type="checkbox"/> Nass verlegte Fussbodenheizung <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25%, kein Überströmventil <input checked="" type="checkbox"/> Nass verlegte Fussbodenheizung
2	Ohne Heizwasserspeicher, aber mit Warmwasserspeicher Variante 2.1: Solarwärmetauscher für Warmwasserbereitung		
3	Mit Heizwasserspeicher in Serie im Rücklauf Variante 3.1: Heizwasserspeicher im Vorlauf Variante 3.2: mit Überströmventil	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine Entkopplung Wärmeerzeugung/Wärmeabgabe ■ Variabler Durchfluss über Heizgruppe nur mit Überströmventil möglich ■ Serielle elektrische Notheizung weniger betriebssicher, wenn Speicher im Rücklauf hat aber Vorteile: Pumpenabschaltung wegen «kaltem» Speicher schneller möglich, «heisses» Wasser vom Überströmventil durchfliest Speicher korrekt von oben nach unten) 	<input checked="" type="checkbox"/> Ohne Warmwasserbereit. über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% <input checked="" type="checkbox"/> Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung gemischt mit Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% <input checked="" type="checkbox"/> Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung gemischt mit Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung
4	Mit Heizwasserspeicher in Serie im Rücklauf und WW-Speicher Variante 4.1: Heizwasserspeicher im Vorlauf Variante 4.2: mit Überströmventil Variante 4.3: Solarwärmetauscher für Warmwasserbereitung		
5	Mit Heizwasserspeicher parallel Variante 5.1: 3 oder 4 Anschlüsse am Heizwasserspeicher Variante 5.2: mit Elektroheizeinsatz im Heizwasserspeicher Variante 5.3: mit Mischventilen bei mehreren Heizgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Separate Pumpen für Ladung und Entladung notwendig ■ Witterungsgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung nicht möglich (Fühler im «toten» Wasser), stattdessen witterungsgeführte Zweipunkt-Speichertemperaturregelung bei einer Heizgruppe oder witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelungen mit Mischventil für mehrere Heizgruppen (plus Stufenladung Speicher ein/aus) 	<input checked="" type="checkbox"/> Ohne Warmwasserbereit. über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% <input checked="" type="checkbox"/> Mehrere geregelte Heizgruppen <input checked="" type="checkbox"/> Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung gemischt mit Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung <input checked="" type="checkbox"/> Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% <input checked="" type="checkbox"/> Mehrere geregelte Heizgruppen <input checked="" type="checkbox"/> Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung gemischt mit Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung
6	Mit Heizwasserspeicher parallel und Warmwasserspeicher Variante 6.1: 3 oder 4 Anschlüsse am Heizwasserspeicher Variante 6.2: mit Elektroheizeinsatz im Heizwasserspeicher Variante 6.3: mit Mischventilen bei mehreren Heizgruppen Variante 6.4: Solarwärmetauscher für Warmwasserbereitung		
7	Heizwasserspeicher mit integriertem Warmwasserspeicher und Solarenergienutzung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Separate Pumpen für Ladung und Entladung notwendig ■ Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Mischventil für die Heizgruppe(n) zwingend 	<input checked="" type="checkbox"/> Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe mit Solarunterstützung für Heizung und WW <input checked="" type="checkbox"/> Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% <input checked="" type="checkbox"/> Mehrere geregelte Heizgruppen <input checked="" type="checkbox"/> Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung gemischt mit Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung

Tabelle 5: Einschränkung und sich daraus ergebende typische Anwendungen

2.4.1.3 Auswahlmatrix

Die Auswahlmatrix gemäss Tabelle 6 ergibt sich aus Tabelle 5. Ergänzende Bemerkungen:

- Bewertung «😊» beim Parallelspeicher, weil Seriespeicher besser wäre (nur eine Pumpe)
- Bei Standardlösung 7 ist diese Differenzierung nicht mehr möglich, weil nur diese Standardlösung eine Solarenergienutzung für Heizung und Warmwasser zulässt (es könnte aber trotzdem die Frage gestellt werden, ob Solarenergienutzung allein für Warmwasser nicht sinnvoller wäre)

Standard-anwendungen ↓				Standardlösungen →						
				Ohne Heizwasserspeicher		Heizwasserspeicher in Serie im Rücklauf		Heizwasserspeicher parallel		Heizwasserspeicher mit integriertem Warmwasserspeicher
				ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	
				1	2	3	4	5	6	7
O	K	N	1	😊	–	😊	–	😊	–	–
		T	2	🚫	–	😊	–	😊	–	–
	V	N	3	🚫	–	😊*	–	😊	–	–
		T	4	🚫	–	😊*	–	😊	–	–
	E	N	5	🚫	–	🚫	–	😊**	–	–
		T	6	🚫	–	🚫	–	😊**	–	–
W	K	N	7	–	😊	–	😊	–	😊	–
		T	8	–	🚫	–	😊	–	😊	–
	V	N	9	–	🚫	–	😊	–	😊	–
		T	10	–	🚫	–	😊	–	😊	–
	E	N	11	–	🚫	–	🚫	–	😊**	–
		T	12	–	🚫	–	🚫	–	😊**	–
S	K	N	13	–	–	–	–	–	–	😊
		T	14	–	–	–	–	–	–	😊
	V	N	15	–	–	–	–	–	–	😊
		T	16	–	–	–	–	–	–	😊
	E	N	17	–	–	–	–	–	–	😊
		T	18	–	–	–	–	–	–	😊

Wie erfolgt die Warmwasserbereitung?

O Ohne Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe
 W Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe (Solarunterstützung für Warmwasser möglich)
 S Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe mit Solarunterstützung für Heizung und Warmwasser

Ist der Durchfluss einigermassen konstant UND/ODER ist eine hydraulische Entkopplung notwendig?

K Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25% (eher konstanter Massenstrom)
 V Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% (eher variabler Massenstrom)
 E Mehrere geregelte Heizgruppen (Anteil Thermostatventile spielt keine Rolle)

Wie trage ich das Wärmeabgabesystem?

N Nass verlegte Fussbodenheizung, allenfalls mit kleinem Anteil Heizkörperheizung
 T Trocken verlegte Fussbodenheizung ODER nass verlegte Fussbodenheizung mit wesentlichem Anteil Heizkörperheizung ODER reine Heizkörperheizung

Empfehlungen (aus heutiger Sicht)

😊 Zur Realisierung empfohlen
 😊 Bedingt zur Realisierung empfohlen
 😕 Nicht zur Realisierung empfohlen
 🚫 Verbotene Lösung
 – Nicht sinnvolle Kombination
 * Variante mit Überströmventil
 ** Variante mit Mischventilen für mehrere Heizgruppen

Tabelle 6: Auswahlmatrix

2.4.2 Schritt 2: Auslegung der ausgewählten Standardlösung

2.4.2.1 Für jede Standardlösung ein eigenes Merkblatt

Mit Hilfe der Matrix wurde in Schritt 1 aus den vorgegebenen Standardlösungen die voraussichtlich geeignete ausgewählt. Damit ist aber lediglich die hydraulische Schaltung gegeben, mögliche Varianten der hydraulischen Schaltung, Regelkonzept und Auslegungshinweise fehlen noch. In der endgültigen Form könnten die Standardlösungen beispielsweise durch sieben, je vierseitige Merkblätter beschrieben werden, welche die folgenden Kapitel enthalten:

- Prinzipschema der hydraulischen Schaltung mit möglichen Varianten (entsprechend Abbildung 1)
- Grundlagendaten (unterschiedlich für Neubau und Sanierung)
- Auswahl Varianten
- Auswahl Regelkonzept
- Auslegung

2.4.2.2 Grundlagendaten

Als erstes sind die notwendigen Grundlagendaten bereitzustellen. Für Neubau und Sanierung werden diese aus unterschiedlichen «Quellen» gemäss Tabelle 7 erstellt (vgl. dazu auch [1]).

Neubau	Sanierung	Resultate
<ul style="list-style-type: none"> ■ Heizenergiebedarf nach SIA 380/1 ■ Wärmeleistungsbedarf nach SIA 384/2 ■ Leistung weiterer Verbraucher (z. B. aus Datenblatt) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bisheriger Elektro/Brennstoffverbrauch (Rechnungen, «Tankbüchlein») ■ Tägliche Ablesungen Betriebsstunden zum gleichen Zeitpunkt ■ Messresultat Leistung bestehender Wärmeerzeuger (z. B. «Ausltern») oder Nutzungsgrad bestehender Anlage ■ Messresultat Leistungen weiterer Verbraucher ■ Aussentemperatur-Tagesmittelwerte (SMA-Meteodata aus dem Internet oder aus METEONORM) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Energiekennlinie: Heizenergiebedarf pro 24 Stunden (ohne Warmwasser) in Funktion der Aussentemperatur
<ul style="list-style-type: none"> ■ VL/RL-Temperaturen gemäss Berechnung Wärmeabgabesystem ■ VL/RL-Temperaturen weiterer Verbraucher (z. B. aus Datenblatt) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ablesungen VL/RL-Temperaturen Wärmeabgabesystem mehrmals an einigen ausgewählten Tagen (sehr kalt, nahe Heizgrenze) ■ Ablesungen VL/RL-Temperaturen weiterer Verbraucher ■ Aussentemperatur-Tagesmittelwerte (SMA-Meteodata aus dem Internet) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Temperaturkennlinien (Heizkurve) des Wärmeabgabesystems ■ Temperaturkennlinien (Heizkurve) weiterer Verbraucher
<ul style="list-style-type: none"> ■ Art und Anzahl Standardverbraucher Warmwasser ■ Berechnung Warmwasserverbrauch Nicht-Standardverbraucher ■ Warmwasser-Zirkulation unbedingt notwendig? ■ Falls ja: Berechnung Zirkulationsverluste 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Art und Anzahl Standardverbraucher Warmwasser ■ Abschätzung/Messresultate Warmwasserverbrauch Nicht-Standardverbraucher ■ Warmwasser-Zirkulation vorhanden? ■ Falls ja: Ist die Warmwasser-Zirkulation wirklich notwendig? ■ Falls ja: Abschätzung/Berechnung Zirkulationsverluste 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Warmwasser-Spitzenverbrauch (10 Minuten spitze) ■ Warmwasser-Tagesverbrauch mit Tageskurven ■ Zirkulationsverluste ■ Heizenergiebedarf zur Wassererwärmung pro 24 Stunden ■ Allfälliger Störeinfluss der Zirkulation auf die Schichtung
<ul style="list-style-type: none"> ■ Abklärung Tarifsituation und Sperrzeiten beim zuständigen EW 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abklärung Tarifsituation und Sperrzeiten beim zuständigen EW 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tarife ■ Sperrzeiten (real/maximal)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Art der Wärmequelle (Aussenluft oder Erdwärmesonde) ■ Abklärungen zur Wärmequelle (Geologie, Lärmbelästigung Nachbar) ■ Ggf. Bewilligungen zur Wärmequelle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Art der Wärmequelle (Aussenluft oder Erdwärmesonde) ■ Abklärungen zur Wärmequelle (Geologie, Lärmbelästigung Nachbar) ■ Ggf. Bewilligungen zur Wärmequelle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zur Auswahl stehende Wärmepumpenkennlinien (bei Luft/Wasser Abtauung berücksichtigt)
<u>Resultate von oben:</u> <ul style="list-style-type: none"> ■ Lastkennlinie(n) ■ Wärmepumpenlaufzeit zur Wassererwärmung pro 24 Stunden ■ Sperrzeit pro 24 Stunden ■ Zur Auswahl stehende Wärmepumpenkennlinien 	<u>Resultate von oben:</u> <ul style="list-style-type: none"> ■ Energiekennlinie ■ Wärmeenergiebedarf pro Tag zur Wassererwärmung pro 24 Stunden ■ Sperrzeit pro 24 Stunden ■ Zur Auswahl stehende Wärmepumpenkennlinien 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gesamt-Energiekennlinie (unter Berücksichtigung des Wärmeenergiebedarfs zur Wassererwärmung) ■ Gesamt-Lastkennlinie (unter Berücksichtigung der Sperrzeiten) und zur Auswahl stehende Wärmepumpenkennlinien in einem Diagramm

Tabelle 7: Bereitstellung der Grundlagendaten bei Neubau und Sanierung

2.4.2.3 Auswahl Varianten

Auf der einen Seite gilt, je weniger Varianten, desto einfacher und sicherer wird die Anwendung der Standardlösungen in der Praxis sein. Auf der anderen Seite wird eine minimale Anzahl von Varianten unumgänglich sein (in Abbildung 1 gestrichelt gezeichnet):

- Speicher im Vorlauf (Standardlösungen 3 und 4)
- Überströmventil (Standardlösungen 3 und 4)
- Drei oder vier Anschlüsse am Parallelspeicher (Standardlösung 5 und 6)
- Elektrische Zusatzheizung (Standardlösungen 3, 4, 5 und 6)
- Mehrere Heizgruppen (Standardlösungen 5, 6 und 7)
- Solarunterstützung nur beim Warmwasser (Standardlösungen 2, 4 und 6)

Weitere, in Abbildung 1 noch nicht eingezeichnete Varianten könnten sinnvoll sein:

- Externe Wärmetauscher zur Wassererwärmung (Standardlösungen 2, 4 und 6)
- Schnittstellen für Wärmepumpen mit zusätzlichem Enthitzern, Verflüssiger und Unterkühler, insbesondere die «Swiss Retrofit Heat Pump» (siehe dazu Abschnitt 2.5).

2.4.2.4 Auswahl Regelkonzept

Das Regelkonzept ist heute im Wesentlichen bereits durch die gewählte Standardlösung vorgegeben:

Standardlösung 1 und 3 Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Standardlösung 2 und 4 Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Warmwasserbereitung: alternativ mit 100% Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung)

Standardlösung 5 Bei einer einzigen Heizgruppe:

Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Hezwasserspeichertemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Bei mehreren Heizgruppen (hydraulisch entkoppelt):

Speicherladung: Witterungsgeführte Stufenladung Hezwasserspeicher (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelungen

Standardlösung 6 Bei einer einzigen Heizgruppe:

Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Hezwasserspeichertemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Warmwasserbereitung: alternativ mit 100% Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung)

Bei mehreren Heizgruppen (hydraulisch entkoppelt):

Speicherladung: Witterungsgeführte Stufenladung Hezwasserspeicher (ggf. mit Abtauungssteuerung)

Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelungen

Warmwasserbereitung: alternativ mit 100% Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung)

Standardlösung 7

Speicherladung mit Wärmepumpe Winter: Stufenladung des mittleren Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Durchgang, untere Pumpe in Betrieb)

Speicherladung mit Wärmepumpe Sommer: Nachwärmung des oberen

Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Umlenkung, obere Pumpe in Betrieb)

Speicherladung Solar: Vorwärmung des untersten Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Durchgang), Erwärmung des mittleren und oberen Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Umlenkung)

Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung (ggf. auch mehrere Gruppen möglich)

Die in FAWA verwendete Schaltung in Abbildung 10 ist wesentlich einfacher aufgebaut, die der Fa. SOLTOP in Abbildung 11 entspricht weitgehend der Variante 7.

Zu beachten ist auch, wo Fühler und Thermostatventile eingebaut, und welche Sollwerte und Hysteresen(n) im Heizungsregler eingestellt sind.

Einzelraumregelung mittels Thermostatventilen ist grundsätzlich bei den Standardlösungen 3–7 immer möglich.

Eine **Raumtemperaturaufschaltung** ist grundsätzlich bei allen Standardlösungen möglich, allerdings nur, wenn ein geeigneter Referenzraum mit geeigneter Messstelle gefunden werden kann (beim Mehrfamilienhaus beispielsweise kaum möglich).

Die Raumtemperaturaufschaltung kann unterschiedlichen Zwecken dienen:

- Momentane Absenkung der Heizkurve (Parallelverschiebung) solange die Störung anhält
- Sukzessive Optimierung der Heizkurve (sog. «Optimizer»)
- Anzeige der Raumtemperatur als Hilfsgrösse zur Optimierung der Heizkurve

Die Erfahrungen der letzten 15 Jahre mit der Raumtemperaturaufschaltung sind eher negativ:

- Wesentliche Vorteile der Einzelraumregelung mittels Thermostatventilen entfallen, Raumtemperaturaufschaltung ist eben keine Einzelraumregelung
- Die Kombination von Raumtemperaturaufschaltung und Thermostatventile birgt Gefahren – Raumtemperaturaufschaltung und **Thermostatventile im Referenzraum sind tödlich**
- Einen geeigneten Referenzraum mit geeigneter Messstelle zu finden ist schwierig, und die Gefahr, dass dabei Fehler passieren, ist gross. Die Nutzung der Räume kann sich ändern.
- Optimizer sind infolge schlechter Erfahrungen wieder weitgehend vom Markt verschwunden

2.4.2.5 Auslegung

Zur Auslegung der Standardlösung werden die Grundlagendaten aus Tabelle 7 benötigt. Daraus können dann die folgenden Größen berechnet werden:

- Volumenstrom Verdampfer
- Auslegetemperaturen Verdampfer
- Volumenstrom Verflüssiger (=Kondensator)
- Auslegetemperaturen Verflüssiger (=Kondensator)
- Weitere Volumenströme des hydraulischen Netzes
- Rohrdimensionen, Dämmungen
- Ventildimensionen
- Druckabfälle
- Ggf. Überströmventil-Nennweite und -Einstellung
- Ggf. Speichergrösse
- Ggf. Erdwärmesonden-Nennweite und -Länge

2.5 Zusätzliche Enthitzer, Verflüssiger und Unterkühler?

Am Workshop in Olten wurde gefordert, dass auch Wärmepumpen berücksichtigt werden sollen, die mit zusätzlichen Enthitzern, Verflüssigern und Unterkühlern ausgerüstet sind, insbesondere auch die «Swiss Retrofit Heat Pump». In der folgenden Tabelle 8 sind Vorteile und Nachteile aufgeführt.

Nr.	Schaltung	Vorteile/Nachteile
Z1	Separate Verflüssiger für Warmwasser und Heizung parallel	Vorteile: Kein Wärmetauscher im Warmwasserspeicher notwendig; kein Zwischenkreis notwendig, dadurch tiefere Kondensationstemperatur Nachteil: Es muss sichergestellt werden, dass die Oberflächentemperatur des Enthitzers nicht zu hoch wird; (sonst kann es Verkalkungsprobleme geben)
Z2	Enthitzer/Verflüssiger für Warmwasser und Verflüssiger Heizung in Serie	Vorteil: Höhere Warmwassertemperaturen im Winterbetrieb durch Enthitzung; geringerer Anteil der Energie als Kondensationswärme im Winter notwendig (→ bessere Arbeitszahl.) Nachteile: Es muss sichergestellt werden, dass die Oberflächentemperatur des Enthitzers nicht zu hoch wird; (sonst kann es Verkalkungsprobleme geben.) Weiter muss verhindert werden, dass es eine Energieverschiebung vom Warmwasser in die Heizung gibt, (z.B. durch Abstellen der Enthitzerpumpe, wenn Temperatur im Wassererwärmer höher als im Enthitzer)
Z3	Enthitzer/Verflüssiger für Warmwasser und Verflüssiger Heizung und Unterkühler Warmwasser in Serie	Vorteile: Höhere Warmwassertemperaturen im Winterbetrieb durch Enthitzung; geringerer Anteil der Energie als Kondensationswärme im Winter notwendig (→ bessere Arbeitszahl). Durch Nutzung der Flüssigkeitsunterkühlung für die Kaltwasservorwärmung wird eine zusätzliche Wärmequelle genutzt, was die Arbeitszahl weiter verbessert. Nachteile: Es muss sichergestellt werden, dass die Oberflächentemperatur des Enthitzers nicht zu hoch wird, (sonst kann es Verkalkungsprobleme geben.) Weiter muss verhindert werden, dass es eine Energieverschiebung vom Warmwasser in die Heizung gibt, (z.B. durch Abstellen der Enthitzerpumpe, wenn Temperatur im Wassererwärmer höher als im Enthitzer)
Z4	Swiss Retrofit Heat Pump: Hauptkreislauf (R407C) zur Raumheizung mit Economizer und Zwischendruckansaugung, separater Kreislauf (R134a) zur Warmwasserbereitung (Wärmequelle bei Heizbetrieb: Kondensatunterkühlung im Hauptkreislauf, Wärmequelle bei Sommerbetrieb: Umgebungsluft über Luftkühler des Hauptkreislaufs).	Vorteile: Vorlauftemperatur von 60°C problemlos erreichbar, geringer Leistungsabfall bei hohen Temperaturhüben (Zwischendruckansaugung), hohe Effizienz durch Kondensatunterkühlung (Economizer, Wärmequelle für Warmwasserbereitung) und integrierte Warmwasserbereitung. Nachteil: Aufwändigerer Wärmepumpenprozess.
Die Schaltungen Z1 bis Z3 haben ein gemeinsames Problem: Sie funktionieren nur optimal, solange tatsächlich die berechneten Leistungen auf den berechneten Temperaturniveaus anstehen. Für die Schaltung Z4 gilt: Selbst bei null Heizbedarf (Sommerbetrieb) funktioniert die Warmwasserbereitung dank dem dann stark überdimensionierten Luftkühler (bei abgestelltem Ventilator) ausgezeichnet.		

Tabelle 8: Schaltungen mit zusätzlichem Enthitzer, Verflüssiger und Unterkühler

2.6 Evaluation der Simulationssoftwarepakete

Für die Durchführung von Gebäude- und Anlagensimulationen sind mittlerweile verschiedene Simulationsprogramme erhältlich. Um eine geeignete Auswahl für die Anforderungen des Projektes Standardschaltungen treffen zu können, wurde eine sorgfältige Evaluation notwendig. Hierbei wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, in wieweit die Grundvoraussetzungen zur Bearbeitung der projektbezogenen Problemstellungen gegeben sind.

Da keine weiteren ernsthaften Varianten ausfindig zu machen waren, wurden in der Evaluation die folgenden 3 Produkte betrachtet.

- IDA-ICE/SE
- TRNSYS
- MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset

2.6.1 Kurzbeschreibung der untersuchten Softwarepakete

2.6.1.1 IDA

Dieses Produkt stammt von der schwedischen Firma Equa. Die Grundlagen wurden im wesentlichen zwischen 1987 und 1995 entwickelt und ab 1995 kommerziell besonders in Skandinavien vertrieben. Bisher ist IDA im deutschsprachigen Raum wenig bekannt.

Mit IDA-ICE (=Indoor Climate Energy) und -SE (Simulation Environment) liegt ein Werkzeug vor, dessen Stärken im Bereich der Gebäudesimulation liegen. Grundsätzlich gliedert sich die Programmstruktur in 3 Ebenen entsprechend der Handhabungsanforderungen:

1. Rein anwendergerechte Eingabemaske zur Gebäudesimulation und zur Berechnung von Energiebedarf und Raumkonditionen. Besonders ausführlich aufgebaut ist die Benutzeroberfläche zur Beschreibung des Gebäudes, dessen Lage, Ausrichtung und Verschattungen, sowie der geometrisch berücksichtigten Platzierung von Fenstern und Radiatoren zur Berücksichtigung von Strahlungseinflüssen.
2. Fortgeschrittene Ebene auf der Basis von abstrakten schematischen Darstellungen des gesamten Gebäudes mit Primärsystem, Sekundärsystem, Zonen, etc. in einfachster grafischer Ausführung
3. Expertenniveau in verzeichnisbaumartiger Struktur, mit direktem Zugang zu allen Schnittstellen, Variablen, Parametern, etc.

Im Bezug auf das Primärsystem ist IDA noch in einem Stadium, in dem viel Eigenarbeit geleistet werden muss (neue Komponenten erstellen), um die eigentliche Aufgabe des Projektes Standardschaltungen in Angriff nehmen zu können.

2.6.1.2 TRNSYS

Mitte der 70er Jahre wurden in den USA die ersten Programmierungen an TRNSYS vorgenommen. Ursprünglich aus der thermischen Sonnenenergienutzung entstanden, ist TRNSYS mittlerweile eine etablierte Simulationsumgebung und verfügt sowohl im deutschsprachigen Raum wie auch international über einen breiten Kreis von Anwendern (über 1000).

Mit der Version 15 bietet TRNSYS für die Gebäudebeschreibung wie auch für die Definition des Primärsystems Benutzeroberflächen, welche auf MS Windows basieren. TRNSYS weist einen im Laufe der Jahre umfangreich gewordenen Fundus an erprobten Anlagenkomponenten auf. Ein wesentlicher Nachteil besteht in der Begrenzung des Zeitschrittes auf 15 min mit dem Gebäudemodell Type 56.

Die zeilenorientierte Eingabe der Systeme im ASCII-Format steht ebenfalls zur Verfügung. Die erstellten Modelle können in jede Richtung umgeschrieben werden, d.h. von der benutzerfreundlichen Eingabeoberfläche in PREBID oder IISiBat „herunter“ auf zeilenorientierte ASCII-Daten oder umgekehrt.

2.6.1.3 Matlab Simulink Carnot-Blockset

Basierend auf Matlab Simulink bietet dieses Tool eine professionelle mathematische Grundlage, wodurch es in den verschiedensten Bereichen der Wissenschaft und Forschung international weit verbreitet ist. Mit der Toolbox Carnot-Blockset können die Eigenschaften von Matlab Simulink für die Simulation von hydraulischen Systemen genutzt werden, wobei eine umfangreiche Palette an Zusatzttools implementiert werden kann.

Nachteilig für das Projekt Standardschaltungen ist die nicht sehr weitgehende Ausführlichkeit des Gebäudemodells. Obwohl das Kernthema des Projektes die Hydraulik der Heizungsanlage ist, kann der Einfluss des Gebäudes auf die zeitlichen Abhängigkeiten der technischen Eigenschaften (Anlage) und

klimatischen Einflüsse (Strahlung, Temperaturen) nicht zu oberflächlich betrachtet werden. Daher würde eine ausführlichere Gebäudebeschreibung erforderlich werden.

Aufgrund der Methodik und der mathematischen Voraussetzungen ist Matlab Simulink mit Carnot-Blockset ein sehr gut geeignetes Tool für die Bearbeitung der im Projekt gestellten Anforderungen.

2.6.2 Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Evaluation und zum Vergleich der Programme skizziert:

- Zusammenstellen der Kriterien für die Matrix aus verschiedenen Quellen (Internet / Befragungen / eigene)
- Recherche nach möglichen Programmen
- Einarbeitung und Kennenlernen der jeweiligen Softwarepakete
- Vorführungen und Workshops durch Anwender (IDA: HTA Luzern, Achermann / TRNSYS: EMPA, Koschenz, A. Weber / Matlab Simulink Carnot-Blockset: ETH, Shafai)
- Arbeiten mit Wetterdaten, externen Daten einlesen, Primärsystemaufbau, Gebäudemodell, Simulationsrechnungen, etc. (da keine identischen Wetterdaten für alle Programme ohne weitere Kosten zu verursachen zu beschaffen waren, konnte keine direkt vergleichbare Berechnung durchgeführt werden)
- Unabhängiges Ausfüllen der Matrix je Programm, je eine zurückhaltend kritische und eine durchschnittliche Bewertung mit Unterstützung von Anwendern (siehe oben). Resultat aus Mittelwertbildung beider Bewertungen (Abbildung 7: Punktbandbreiten aus Matrix-Bewertung der Simulationsprogramme)
- Subjektiver Eindruck bei der Einarbeitung durch erste Konfrontation mit allen Programmen
- Ausführliche Befragungen von Herstellern und Anwendern aller evaluierten Programme.

2.6.3 Anforderungen des Projektes Standardschaltungen an das Software-Werkzeug

Die möglichst realitätsnahe Abbildung der hydraulischen Schaltungen von Wärmepumpenanlagen und deren Eigenschaften ist die Aufgabe des Simulationswerkzeuges für das Projekt Standardschaltungen. Hierfür ist es erforderlich, die Anlagenkomponenten in der für den jeweiligen Einfluss ausreichender Genauigkeit darzustellen. Ebenfalls ist die Validierung der Komponenten relevant.

Wie bereits genannt, ist die hydraulische Schaltung des Primärsystems die Kernaufgabe der Simulationsberechnungen. Daher wird schwerpunktmässig nach den Stärken und Schwächen in diesem Bereich gesucht, um eine zweckmässige Auswahl treffen zu können.

2.6.4 Verfügbarkeit der Komponenten und Validierung

Aufstellung der derzeit verfügbaren Komponenten für die 3 möglichen Software-Lösungen:

Schaltung Anzahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	IDA	TRNSYS	Matlab
Schaltung Nr.	1	2	3	3a	4	4a	5	5a	6	6a	7			
1	S/W-Wärmepumpe											bedingt	ja	ja
2	L/W-Wärmepumpe											bedingt	ja	ja
3	Umwälzpumpe											ja	ja	ja
4	Radiator											ja	ja	ja
5	Fussbodenheizung											ja	ja	ja
6	Erdsonde											bedingt	ja	ja
7	Regler											ja	ja	ja
8	T-Stück											ja	ja	ja
9	Rückschlagventil											ja	ja	ja
10	Schichtspeicher											nein	ja	ja
11	Wärmetauscher											ja	ja	ja
12	Mischspeicher											nein	ja	ja
13	Elektrodirektnachwärmung											nein	ja	ja
14	3-Weg-Umschaltventil											ja	ja	ja
15	3-Weg-Mischventil											ja	ja	ja
16	Sonnenkollektor											nein	ja	ja
17	Solarspeicher											nein	ja	ja

Legende erforderliche Komponente

9	17	17	ja
5	0	0	nein
3	0	0	bedingt
17	17	17	gesamt

Tabelle 9: Simulationsprogramme, Verfügbarkeit der Komponenten und Validierung

2.6.5 Erfahrungen von Softwareanwendern

TRNSYS Ver.15, MATLAB/SIMULINK/CARNOT und IDA-ICE

Mit verschiedenen Anwendern wurden Telefoninterviews durchgeführt, um Praxiserfahrungen mit dem jeweiligen Programm in Erfahrung zu bringen [8]. Vor dem Interview wurde die Aufgabenstellung und die zu lösenden Fragestellungen im BFE-Projekt „Standardschaltungen“ beschrieben.

Zusammenfassung

TRNSYS, Ver.15

- +: Weit verbreitet, auch in der Schweiz (EMPA, SORANE, A+W, SUP-SI) mit Support von Transsolar/EMPA. Volle Modularität. Viele validierte Komponenten, wie z.B. Mehrzonengebäude TYPE56, Sonnenkollektor, Wärmepumpe TYPE 201/204, Multiportspeicher TYPE140 von H. Drück, analytische und numerische Lösung einfacher DGL, grosse Bibliothek aus IEA Annex 17 (BEMS).
- : Lange Einarbeitungszeit. FORTRAN-Programmierung mühsam, Kernel 25 Jahre alt, Solver hat nicht den besten Ruf. Source Code vom Mehrzonenmodell Type 56 wird nur noch teilweise (Stand Ver. 14.2) als PDF-Datei freigegeben. Kein spezieller Regler integriert, aber PID-Regler als Non-standard TYPE120 verfügbar.

MATLAB/SIMULINK

- +: Professionelles, weit verbreitetes Werkzeug zur Matrizenberechnung und Lösung von DGL-Systemen. Mehrere hochoptimierte Solver stehen zur Auswahl. Viele Möglichkeiten zur grafischen Visualisierung (inkl. 3D) sind vorhanden.
Einfach, Schaltungen mit SIMULINK zusammenzustellen. Interessantes Tool für Regelung. SIMULINK enthält tools für verfügbare Regelungstechnik.
- : Einarbeitungszeit hoch. Verkaufspreis für Privatfirmen und Lizenzgebühren sind sehr hoch. Mehrzonengebäude nachzubilden könnte schwierig werden. Lange Rechenzeiten, da Rechenzeit wegen Matrizeninversion mit Zonenzahl exponentiell zunimmt

IDA-ICE

- +: Gute Benutzeroberfläche, einfache Modellierung mit Neutral Model Format (NMF), Portabilität durch Translator (TRNSYS 14.2, HVACSIM), ASHRAE secondary toolkit, PID-Regler, schnell
- : Wenig Modelle vorhanden, Gesamtsystem-Simulation kaum erprobt, keine kritische Masse an Usern

2.6.6 IDA-ICE

Im Rahmen der ersten Projektphase wurde das für das Projekt Standardschaltungen von der HTA-Luzern vorgeschlagene Gebäudesimulationsprogramm IDA und die spezifische Haustechnikanwendung IDA-ICE (Indoor Climate and Energy) auf seine Eignung und Vollständigkeit hin geprüft.

Ziel der ersten Phase war die Eignung von IDA für das Projekt Standardschaltungen zu testen und fehlende Modelle zu eruieren.

2.6.6.1 Implementierte Modelle in IDA

IDA-ICE ist ein thermisches Gebäudesimulationsprogramm mit Schwerpunkt Haustechnik. ICE besitzt ein sehr detailliertes Gebäudemodell – welches nebst Last- und Energieberechnungen auch Komfortbetrachtungen und Tageslichtberechnungen zulässt. Im Bezug auf das Projekt Standardschaltungen ist aber vor allem die Haustechnik von Bedeutung. Die Komponenten die für die Wärmeverteilung und Wärmeabgabe sind in ICE vorhanden. Es sind dies folgende Komponenten:

- Detailliertes Heizkörpermodell mit Strahlungsaustausch und konvektiver Wärmeabgabeberechnung
- Fußbodenheizungsmodul
- P, PD Regler
- Thermostatventil
- T-Stücke
- Verteiler
- Pumpen: Einstufig und differenzdruckgeregelt
- 2- und 3-Weg Ventil
- Wärmetauscher
- Expansionsgefäß

Für Luft- und Wasserkreisläufe können Druckverlustberechnungen durchgeführt werden.

Der Schwachpunkt von ICE sind die fehlenden Primärsysteme wie:

- Wärmepumpen: 1- und 2-stufig
- Erdsondenmodell
- Sonnenkollektor

- Speichermodelle für verschiedene Speicherarten.

Die HTA Luzern hat diese Schwachpunkte erkannt und wird die fehlenden Komponenten modellieren und diesem Projekt zur Verfügung zu stellen.

So wurde das Modell für die einstufige Wärmepumpe von TRNSYS Type 201 (Anhang 6.4) welches an der HTA Luzern im Rahmen des BFE-Projekts „Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe“ entwickelt und getestet wurde, in das sog. Neutral Model Format (NMF, siehe 2.6.6.3) umgeschrieben. Es steht somit IDA zur Verfügung.

Als Vorlage für das Speichermodell, wird TRNSYS Type 74 verwendet, welches von H. Drück und Th. Pauschiger (Universität Stuttgart) modelliert wurde. Mit diesem Modellansatz, der z.Z. in NMF für IDA implementiert wird, können dann die für das Projekt Standardschaltungen nötigen Speichertypen modelliert werden. Welche Modelle für das Erdsondenmodell und den Sonnenkollektor in NMF umgesetzt werden, ist Gegenstand weitere Abklärungen.

2.6.6.2 IDA-SE: Simulationsumgebung für losgelöste Simulationsbetrachtungen

Die Simulationsumgebung IDA-SE (Simulation Environment) bietet eine ideale Plattform, um verschiedene Simulationsmodelle losgelöst von einer Applikation zu betrachten. Da IDA ein komponentenbasiertes Simulationsprogramm ist, stehen auf der Simulationsumgebung alle Modelle von IDA-ICE auch hier zur Verfügung. Somit können hydraulische Schaltungen auch in dieser Umgebung modelliert werden. Der wesentliche Vorteil auf dieser Ebene ist, dass die Basis der Simulationszeitschritte verändert werden kann. D.h. vom maximalen Stundenschritt zurück auf Minuten oder Sekundenzeitschritte. Die Betrachtungen von kurzzeitigen Änderungen können somit besser berücksichtigt werden.

Siehe Abbildung 2. Dieses Anwendung wurde für die Firma Grundfos zum Testen von Umwälzpumpen entwickelt (Anhang 6.5).

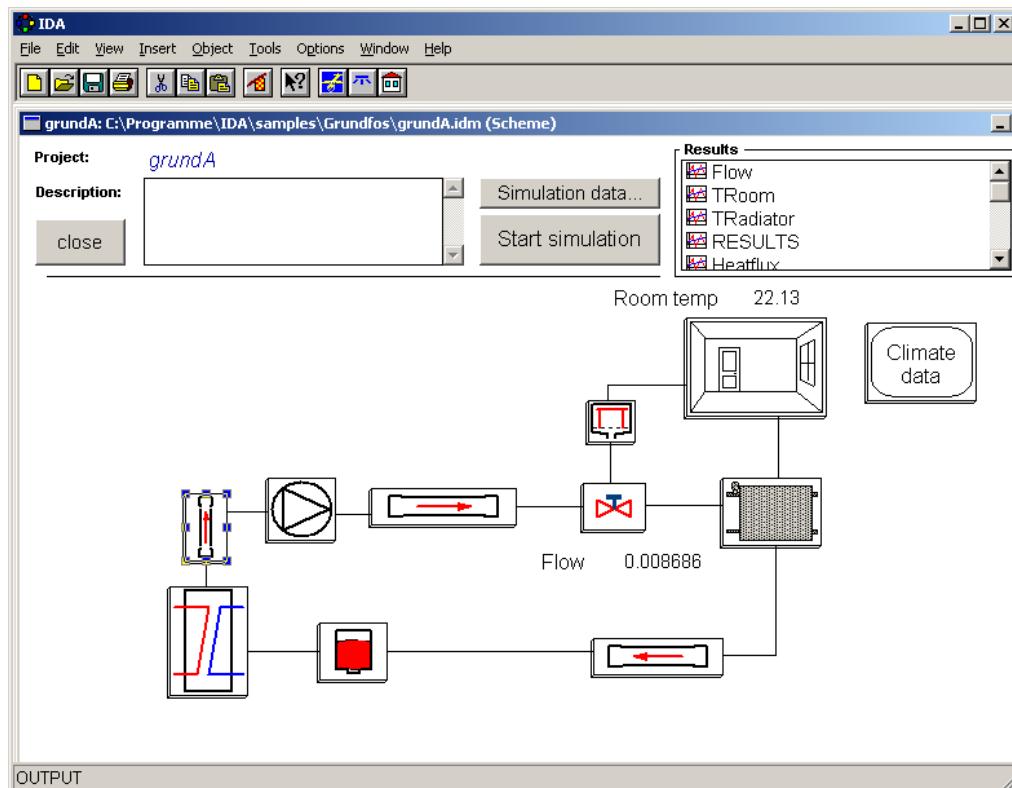


Abbildung 2: Beispiel „Einfacher Pumpenkreislauf“ (Quelle: EQUA – Schweden)

Die Modellierung auf IDA-SE erscheint in diesem Falle sehr geeignet für die geplanten Parameterstudien. Ein weiterer Vorteil ist, dass die auf dieser Umgebung getesteten Schaltungen als Gesamtpaket

in die Applikation IDA-ICE eingebunden werden, und so an detaillierten Gebäudemodellen eingesetzt werden können.

2.6.6.3 NMF: Physikalische Modelle von neuen Komponenten in IDA integrieren

Neue Modelle werden in NMF (Neutral Model Format) geschrieben. Dabei wird nicht ein Programmcode geschrieben, sondern die Formeln werden in Form von Gleichungen definiert.

Folgende Punkte charakterisieren die NMF Modellierung

- Lösen von Differentialgleichungen sind möglich
- Ungleichungen werden durch den Solver gelöst. Dadurch werden extra Iterationsschleifen in den Komponentenmodellen überflüssig.
- Normierte Schnittstellen und Variablen garantieren Kompatibilität zwischen Modellen verschiedener Programmierer
- Einfaches Implementieren in bestehende Applikationen
- Transparente Programmstruktur und für jedermann einblickbar („open source“)

Es bleibt zu erwähnen, dass das Modellieren mit NMF durch die einfache Struktur sehr effizient ist. Durch die offene Struktur können allfällige nötige Anpassungen von bestehenden Komponenten für das Projekt mit wenig Aufwand vorgenommen werden.

2.6.7 Simulation heizungstechnischer Anlagen mit MATLAB-Simulink®

Die folgenden Ausführungen wurde der Website des Solarinstituts Jülich (<http://www.sij.fh-aachen.de>) und dem CARNOT Reference Manual entnommen. Das Solarinstitut Jülich, Teil der FH Aachen entwickelte das CARNOT-Blockset mit Unterstützung der Fa. VIESSMANN. Die aktuelle Version ist 1.0, ein Update (Version 2.0) ist in Bearbeitung.

2.6.7.1 Einleitung

Moderne Heizungssysteme, gerade in Verbindung mit regenerativen Energiequellen, müssen sorgfältig an Energieangebot und Verbrauch angepaßt werden. Dazu ist die parallele Berechnung von Anlage und Regelung nötig.

In Forschungsprojekten befaßt sich das Solar-Institut Jülich mit der Auslegung von Energiesystemen. Dabei wurde auf der Basis von MATLAB-Simulink® ein neues Werkzeug zur dynamischen Simulation von thermischen Systemen geschaffen.

In Kooperationen mit Industrieunternehmen wurden damit schon einige zukunftsweisende Konzepte ausgearbeitet und realisiert.

Als vorteilhaft bei der Zusammenarbeit erweist sich die Ausrichtung des Solar-Instituts auf die wissenschaftlichen Aspekte des Projektes. Die Industriepartner sind dagegen an verwertbaren Ergebnissen und an einer schnellen Umsetzung interessiert. Durch die Kombination werden neue Forschungsergebnisse erarbeitet und für deren Umsetzung gesorgt.

2.6.7.2 MATLAB-Simulink

Die Verwendung von MATLAB-Simulink® als Basis bietet eine Reihe von Vorteilen:

- MATLAB-Simulink® hat sich in der Industrie als Standard für Simulationen etabliert
- Lösung der Gleichungen mit bewährten Algorithmen
- Effizienz der Simulation durch variable Zeitschrittweite
- Entwicklung von Reglern und Übertragung auf die Anlage
- Komfortable Simulink Eingabemasken für die Parameter
- MATLAB Befehle und Toolboxen nutzbar (Optimierung, Grafik, Regler, Statistik, System Identification)

- Anwendungen von Real-Time-Workshop und I/O-Karte: hardware in the loop test, predictive control, online system identification
- graphischer Aufbau eigener Komponenten mit Simulink
- Support und Weiterentwicklung durch TheMathWorks
- Einbindung von anderen Programmen möglich (z.B. TRNSYS)

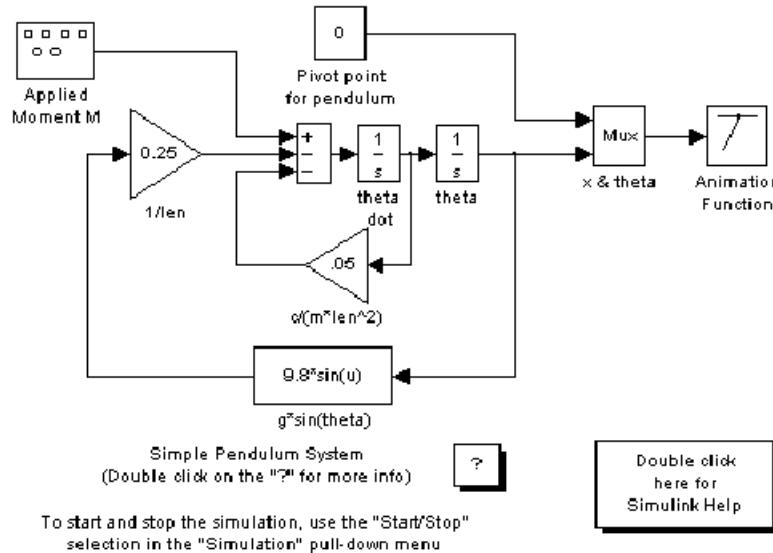


Abbildung 3: Graphische Oberfläche von Simulink

2.6.7.3 Die Bibliothek CARNOT

Mit CARNOT steht eine flexible, leistungsfähige und benutzerfreundliche Software auf Basis von MATLAB-Simulink zur Verfügung, mit der Heizungsanlagen in Gebäuden berechnet werden können.

Die Software enthält zwei Bibliotheken, die CARNOT Bibliothek, die sich eher an Entwickler richtet, und die System Bibliothek CARSYS, die sich an reine Anwender der Toolbox richtet. Die CARNOT Bibliothek stellt zur eigenen Erstellung von Modellen einige Vorlagen wie grundlegende wärme- und strömungstechnische Funktionen zur Verfügung und Die CARSYS Bibliothek enthält kommerzielle Komponenten, aus denen reale, am Markt erhältliche Systeme aufgebaut und simuliert werden können.

Im Detail lassen sich folgende Arbeiten durchführen:

- Systeme auslegen und optimieren
- Energieertrag von Solaranlagen bestimmen
- Energieverbrauch konventioneller Systeme berechnen
- Parameteridentifikation aus Messdaten (z.B. für Komponenten- oder Systemtest)
- Entwurf, Optimierung und Implementierung von Reglern
- Test von Komponenten am Rechner ("hardware in the loop")
- Steuerung und Regelung von Energieanlagen über den Rechner
- Entwicklung und Verbesserung eigener, innovativer Komponenten
- Einfache Erweiterung bestehender Komponenten um eigene Funktionen (z.B. Bakterien- oder Legionellenwachstum in Warmwasserspeichern)
- Untersuchung der Wirtschaftlichkeit
- Ökologische Bewertung der Anlagen
- Zusammenstellen von Bibliotheken mit Komponenten einzelner Hersteller
- Export des Anlagenmodells als "Stand-alone Programm", z.B. zur Auslegung von Systemen mit Standardverschaltung und wenigen freien Parametern

2.6.7.3.1 Aufbau der Bibliothek

CARNOT ist ähnlich wie Simulink modular aufgebaut:

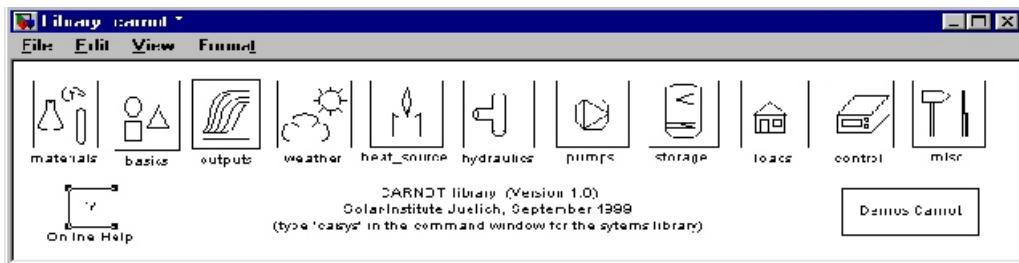


Abbildung 4: Subsets der CARNOT-Bibliothek

Komponenten werden mit der Maus per "drag and drop" aus der Bibliothek entnommen und graphisch zum Anlagenmodell verbunden.

Durch die Struktur von Simulink ist eine Kontrolle des Simulationsablaufs und der Ergebnisse leicht möglich. Elemente wie Digitalanzeigen oder graphische Ausgaben können an beliebiger Stelle eingefügt werden. Parameter können selbst bei laufender Simulation verändert und angepasst werden.

Einige grundlegende Funktionen wurden implementiert:

- gleichzeitige hydraulische und thermische Berechnung von Rohrnetzen
- Berechnung von Stoffdaten verschiedener Wärmeträger (z.B. Wasser-Glykol)
- Check auf Eisbildung oder Verdampfung
- Funktionen zur Wärmeübertragung
- Hilfsfunktionen (z.B. Aufruf der Stoffdaten aus dem MATLAB Command-Window, Transmissions-Absorptions-Berechnung für Solarkollektoren)

2.6.7.3.2 Aufbau von Systemen und Datenstruktur

Systeme lassen sich wie bei Simulink üblich zusammensetzen und werden über Vektoren verbunden. Thermische und hydraulische Daten werden im Thermohydraulischen Vektor (THV) weitergegeben.

Weitere Vektor-Elemente werden für zukünftige Erweiterungen freigehalten. Bei der Erstellung eigener Modelle müssen diese Vektor-Felder einfach vom Modell-Eingang zum Modell-Ausgang durchgeschleift werden.

Der Thermohydraulische Vektor (THV) ist das Verbindungselement zwischen den verschiedenen Komponenten. Im folgenden werden die darin enthaltenen Größen beschrieben:

No.	description	abbreviation	unit	remarks
1	flow identifier	ID	none	is set by the simulation, not by the user
2	temperature	T	[°C]	
3	mass flow	mdot	[kg/s]	
4	pressure	p	[Pa]	
5	fluid type	fluid_ID	none	is set in the pump
6	mixture of fluid	fluid_mix	[0..1]	is set in the pump
7	diameter last piece	d_last	[m]	
8	constant coefficient of pressure drop	c	none	
9	linear coefficient of pressure drop	l	[s/kg]	
10	quadratic coefficient of pressure drop	q	[s ² /kg ²]	

11 to 20 not used

Es gibt noch weitere Vektoren für

- Wetterdaten
 - Brennstoffe
 - Verbrauch & Emission
 - Gebäude & Luftwechsel

und verschiedene Routinen zur Berechnung von Zustandsgrößen.

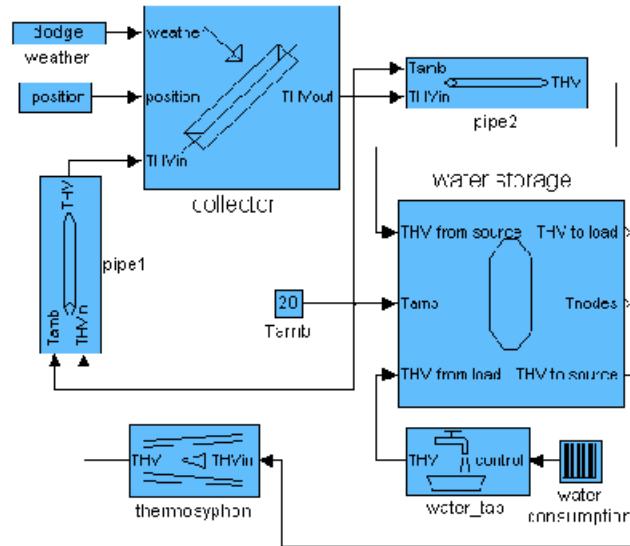


Abbildung 5: Schema einer Solaranlage

2.6.7.3.3 Komponenten

Modelle folgender Bauteile sind enthalten:

- Durchlauferhitzer
 - Erdsonde
 - Erdwärmetauscher
 - Haus (einfaches Modell)
 - Heizkessel
 - Heizkörper
 - Kombispeicher
 - Messsensoren
 - Pumpen
 - Rohrleitungen
 - Solarkollektoren (auch optisch asymmetrische)
 - Speicher mit und ohne Wärmetauscher
 - Ventile
 - Verzweigung von Rohrleitungen
 - Wärmepumpe
 - Wärmetauscher
 - Wasserverbraucher
 - Wetterdaten
 - Zweipunktregler

Exemplarisch werden 2 Modelle beschrieben:

2.6.7.3.3.1 Kollektormodell

Das Modell wurde im Rahmen einer Studie über Solarkollektoren erstellt. Das Ziel war, aus Messdaten auf den Zustand eines im Betrieb befindlichen Kollektors schließen zu können. So sollte sich beispielsweise eine Wirkungsgradverschlechterung durch eine verschmutzte Scheibe von einer Verschlechterung aufgrund einer defekten Isolierung unterscheiden lassen.

Das Modell, basierend auf den physikalischen Parametern des Kollektors, wurde in der Programmiersprache C implementiert und in die Simulationsumgebung eingebunden. Dann wurden die physikalisch sinnvollen Parameter dieses Modells durch Einsatz der Optimierungsfunktionen von MATLAB aus den Messdaten ermittelt. Auf diese Weise konnte bei einer im Betrieb auftretenden Wirkungsgradverschlechterung auf die Ursache zurückgeschlossen werden.

2.6.7.3.3.2 Speicher

Im diesem Modell wird der Speicher in eine wählbare Zahl von horizontalen Schichten unterteilt. Eine beliebige Anzahl von "Ports" (Rohrleitung, Wärmetauscher) kann angeschlossen werden. Interne Wärmetauscher können als Schichtenlader definiert werden.

Das Modell liegt auch als Kombispeicher vor, in diesem Fall werden zwei gekoppelte eindimensionale Modelle gerechnet.

2.6.7.3.4 Das Blockset CARSYS

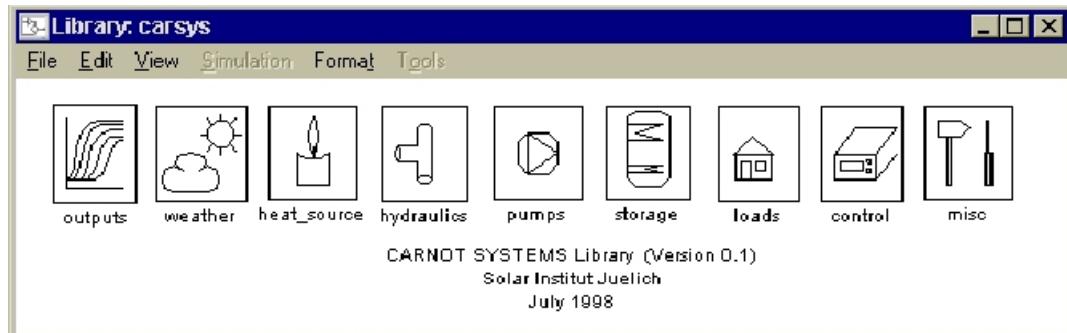


Abbildung 6: CARSYS Bibliothek

Neben dem Blockset CARNOT enthält die Toolbox ein weiteres Blockset, die **CARNOT SYSTEM** Bibliothek (CARSYS).

Während sich das CARNOT Blockset an Entwickler richtet und Elemente zur eigenen Erweiterung der Toolbox enthält, zum Beispiel grundlegende wärme- und strömungstechnische Funktionen im Subset "Basics" richtet sich die CARSYS Library an Anwender. Das Entwicklungssubset der CARNOT Library sind in der CARSYS Library nicht enthalten. Die Komponenten sind mit den Daten von kommerziellen von Hersteller bereits fertig parametrisiert, so dass direkt ein kommerziell erhältliches System simuliert und berechnet werden kann.

2.6.7.3.5 Erstellung eigener Modelle

Prinzipiell können Modelle mit Simulink-Blöcken, als m-File (MATLAB Programmiersprache) oder in der Programmiersprache C erstellt werden. Beispielhaft wird im Handbuch die Modellerstellung eines Heizkessels besprochen. Für die Erstellung graphischer Modelle enthält die CARNOT Bibliothek grundlegende wärme- und strömungstechnische Komponenten und außerdem eine Vorlage, die die Modellerstellung vereinfacht. Zur Programmierung wird von MATLAB-Simulink eine Vorlagendatei mitgeliefert, in der nur der reine Modellprogrammcode eingetragen werden muss, und die Kommunikation

tion und der Datenaustausch mit der Simulationsumgebung über diese Vorlagendatei genau definiert ist, so dass sich der Entwickler damit nicht zu beschäftigen braucht.

2.6.7.3.6 Anwendungen

Für folgende Fälle wurde die Toolbox bereits erfolgreich eingesetzt:

- Auslegung eines Wärmenetzes mit Blockheizkraftwerk (VDI-Bericht Nr. 1424)
- Entwicklung von Reglern für Heizungsanlagen
- Auslegung eines Latentwärmespeichers im Rahmen eines Forschungsprojektes
- Parameteridentifikation an Solarkollektoren für dynamischen Test

2.7 Ergebnis der Softwareevaluation

2.7.1 Fazit der HTA-Luzern für IDA

Die fehlenden Komponenten werden von der HTA-Luzern innerhalb nützlicher Frist für das Projekt Standardschaltungen bereitgestellt und gehen nicht zu Lasten des Projektes.

Sind diese Voraussetzungen gegeben, ist IDA ein geeignetes Instrument für bevorstehenden Parameterstudien von Standardschaltungen.

2.7.2 Fazit der FHBB für MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset und TRNSYS

Betrachtet man die Aufgabenstellung des Projekts Standardschaltungen und die zur Verfügung stehenden, validierten Komponenten fiele die Wahl auf TRNSYS. Für einen längeren Zeithorizont und unter Berücksichtigung der allgemeinen Verfügbarkeit und des möglichen Entwicklungspotenzials ist MATLAB/SIMULINK mit dem CARNOT-Blockset die erste Wahl (s. Abbildung 7).

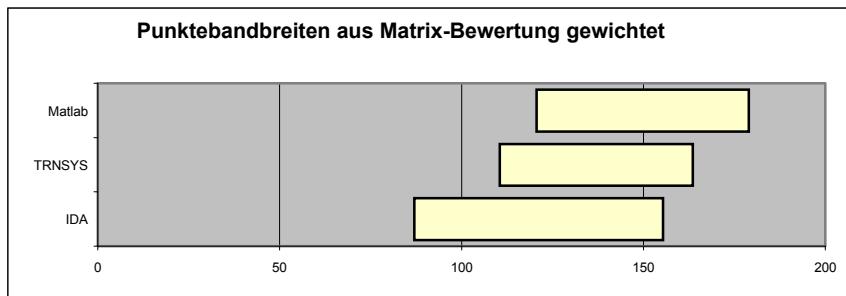


Abbildung 7: Punktbandbreiten aus Matrix-Bewertung der Simulationsprogramme

2.7.3 Entscheid für MATLAB/SIMULINK mit CARNOT-Blockset

Die Abwägung aller Vor- und Nachteile, der Wunsch nach einer langfristigen Lösung mit Entwicklungspotenzial und die wesentlich einfachere und effizientere Projektkoordination beim Arbeiten mit derselben Software haben die Projektgruppe dazu bewogen, die Simulationen mit MATLAB/SIMULINK und dem CARNOT-Blockset durchzuführen. Mit ausschlaggebend war die neue Situation, die sich durch die Verfügbarkeit des CARNOT-Blocksets ergab.

3 EMPFEHLUNG FÜR DIE SIMULATIONEN

3.1 Schaltungen, Varianten, Regelkonzepte

Alle vorgeschlagenen Standardlösungen 1 bis 7 gemäss Abbildung 1 sollen simuliert werden.

Wärmepumpen, die mit zusätzlichen Enthitzern, Verflüssigern und Unterkühlern ausgerüstet sind, werden nicht simuliert (Nr. Z1 bis Z4 gemäss Tabelle 8). Diese Wärmepumpen, speziell die «Swiss Retrofit Heat Pump», sollen jedoch als Blackbox mit hydraulischen Schnittstellen in die Schaltungen implementiert werden, sofern die Kapazitäten zur Verfügung stehen oder im Laufe des Projektes diese Betrachtungen als erforderlich erkannt werden.

3.2 Randbedingungen

3.2.1 Wärmepumpe

Wärmequelle:

- Luft/Wasser
- Sole/Wasser

Betriebsart:

- Einstufig (Beispiel Satag: Sole/Wasser einstufig bis 16 kW)
- Zweistufig (Beispiel Satag: Sole/Wasser zweistufig ab 8 kW); nur für Sanierung

3.2.2 Wassererwärmung

- Legionellschaltung (Warmwasser 1 mal pro Woche auf 65°C erwärmen¹)
- Vorwärmung mit Wärmepumpe, Nachheizung elektrisch

3.2.3 Regelung:

- Verbesserung durch Raumaufschaltung prüfen
- 1 Speicherfühler (für Mischspeicher)
2 Speicherfühler oben EIN und unten AUS
Speicherfühler oben EIN und Rücklauffühler AUS
- Reglereinstellung (Sollwerte, Hysterese EIN/AUS → Praxishinweise)

3.2.4 Weitere Komponenten

- Pumpen: Kennlinien üblicherweise verwendeter Pumpen (z. B. Grundfos)
- Überströmventile: Kennlinien üblicherweise verwendeter Überströmventile (z. B. Danfoss)

3.2.5 Wärmeabgabesystem, Gebäude

In Tabelle 10 sind die typischen Anwendungsfälle definiert. In der Auswahlmatrix (Tabelle 6) ergeben sie eine sinnvolle und nicht verbotene Lösung.

¹ Mit Propanwärmepumpe oder Elektroeinsatz

Randbedingungen Wärmeabgabesystem und Gebäude	Üblicher Neubau	Minergie träge	Minergie flink	Kesseleratz Mitteltemp.	Kesseleratz Hochtemp.
Nass verlegte Fussbodenheizung → träge	✓	✓			
Trocken verlegte Fussbodenheizung ODER Nass verlegte FBH mit wesentlichem Anteil Heizkörperheizung → mittelträge				✓	
Heizkörperheizung → flink			✓		✓
Niedrige VL/RL-Temperaturen → max. Vorlauftemperatur < 35°		✓			
Mittlere VL/RL-Temperaturen → max. Vorlauftemperatur 35...45°	✓		✓		
Höhere VL/RL-Temperaturen → max. Vorlauftemperatur 45...55°				✓	
Hohe VL/RL-Temperaturen → max. Vorlauftemperatur 55...65°					✓
Gebäude mit grosser Speichermasse (SIA 384/2: wärmeaktive Masse > 700 kg/m ²) → träge					
Gebäude mit mittelgrosser Speichermasse (SIA 384/2: wärmeaktive Masse 300...700 kg/m ²) → mittelträge	✓	✓		✓	✓
Gebäude mit kleiner Speichermasse (SIA 384/2: wärmeaktive Masse < 300 kg/m ²) → flink			✓		
Gebäude mit schlechter Wärmedämmung → grosser Heizenergiebedarf				✓	✓
Gebäude mit normaler Wärmedämmung entsprechend SIA 380/1 → mittlerer Heizenergiebedarf	✓				
Gebäude mit hoher Wärmedämmung (z. B. Minergiestandard): → kleiner Heizenergiebedarf		✓	✓		
Verhältnis Störenergie/Heizenergiebedarf γ gross → grosse Störung		✓	✓		
Verhältnis Störenergie/Heizenergiebedarf γ mittel → durchschnittliche Störung	✓				
Verhältnis Störenergie/Heizenergiebedarf γ klein → geringe Störung				✓	✓
Verhältnis Warmwasser-Energiebedarf/Heizenergiebedarf klein → kurze Wärmepumpen-Laufzeit zur Wassererwärmung				✓	✓
Verhältnis Warmwasser-Energiebedarf/Heizenergiebedarf mittel → mittellange Wärmepumpen-Laufzeit zur Wassererwärmung	✓				
Verhältnis Warmwasser-Energiebedarf/Heizenergiebedarf gross → lange Wärmepumpen-Laufzeit zur Wassererwärmung		✓	✓		

Tabelle 10: Typische Anwendungsfälle zur Simulation (Anm.: γ wird nach B. Keller [9] berechnet)

3.2.6 Nutzer

Einfamilienhaus mit 4 Personen (2 Erwachsene, 2 Kinder). Dabei ist auch von Interesse, was passieren würde, wenn sich das Benutzerverhalten ändert, wie z.B. 4 Erwachsene anstatt 2 Erwachsene / 2 Kinder.

3.3 Auslegung

Beachtet werden muss hier:

- Weil SIA 384/2 Wärmegewinne nicht berücksichtigt, wird immer tendenziell überdimensioniert (Auslastung der Wärmepumpe bei -8°C gemäss FAWA: monovalent 71%; monoenergetisch 83%)

- Die Aussentemperatur im Auslegepunkt (z. B. -8°C für Zürich) ist nicht die tatsächlich minimal vorkommende Aussentemperatur (z. B. Zürich, Januar 1985, Tagesmittelwerte: 5 Tage lang um -15°C bzw. 2 Wochen lang unter -10°C)
- Sperrzeiten werden heute vom Elektrizitätswerk üblicherweise nur zu 1...3 Stunden genutzt, obwohl die Lieferverträge Sperrzeiten von bis zu 6 Stunden vorsehen

Eine realistische Auslegung könnte folgendermassen aussehen:

- 80% Auslastung der Wärmepumpe bei -8° Aussentemperatur (Anm.: Bei Dimensionierung für eine Sperrzeit, die kleiner als die vom EW zulässige ist, besteht für Planer/Installateur ein Haftungsrisiko)
- darin berücksichtigt: 3 h fixe Sperrzeiten 11.00-12.00 und 22.00-24.00; es ist auch zu untersuchen, wie die Anlage funktioniert, wenn das EW die Sperrzeit auf 6 h Sperrzeit erhöht
- darin berücksichtigt: Laufzeit für die Warmwasserbereitung

Die Laufzeit der Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung könnte auf die Standardnutzung gemäss SIA 380/1 abgestützt werden:

- Standardverbrauch pro Person 3'000 MJ/a = 833 kWh/a
- Ergibt Pro Person 2,3 kWh/d oder 50 l/d bei einer Temperaturdifferenz von 40 K (Speicher- und Zirkulationsverluste noch nicht berücksichtigt)

Im übrigen gelten die provisorischen Faustregeln gemäss Tabelle 12.

3.4 Fragen, die die Simulationen beantworten sollen

3.4.1 Allgemeine Fragen

Nr.	Fragen, die die Simulationen beantworten sollen	Provisorische Antworten
1.	Sind die Fragen und «multiple choice» Antworten für die Standardanwendungen genügend detailliert?	Siehe Standardanwendungen in Abschnitt 2.4.1.1
2.	Sind die Ratschläge in der Auswahlmatrix «Zur Realisierung empfohlen» usw. sinnvoll?	Siehe Auswahlmatrix in Tabelle 6
3.	Sind die Schaltungen und Varianten der Standardlösungen richtig gewählt?	Siehe Standardlösungen in Abbildung 1
4.	Sind die empfohlenen Regelkonzepte der Standardlösungen richtig gewählt?	Siehe Auswahl Regelkonzepte in 2.4.2.4
5.	Lohnt es sich, den Speicher in der Nacht aufzuladen ?	Trotz kleinerer Arbeitszahl fährt der Bauherr bei den Heizkosten besser ?
6.	Auf welchen Betriebspunkt soll Speicher dimensioniert werden (Volumen \leftrightarrow WP-Heizleistung) ?	Auslegung für Halblast (max. Last oder Heizgrenze) ?

Tabelle 11: Allgemeine Fragen

3.4.2 Spezielle Fragen

Nr.	Fragen, die die Simulationen beantworten sollen	Provisorische Antworten
7.	Wie lautet der Kriterienkatalog, dass kein Speicher notwendig ist?	Nass verlegte Fussbodenheizung (träges Wärmeabgasystem), keine Thermostatventile (konstanter Durchfluss), eine einzige Heizgruppe (keine hydraulische Entkopplung notwendig), keine Unterscheidung zwischen Luft/Wasser und Sole/Wasser.
8.	Wieviel variablen Durchfluss vertragen die Standardschaltungen 1 und 2?	Anteil Thermostatventile < 25%
9.	Wenn der variable Durchfluss zu gross ist, aber ein Speicher zur Energiespeicherung nicht notwendig wäre: Wie lautet die Faustregel für die Speichergrösse der Standardschaltungen 3 und 4?	Speichergrösse 15...20 Liter pro kW max. Heizleistung
10.	Wenn der/die Verbraucher hydraulisch entkoppelt werden	Speichergrösse 20...50 Liter pro kW max. Heizleistung

	den müssen, aber ein Speicher zur Energiespeicherung nicht notwendig wäre: Wie lautet die Faustregel für die Speichergrösse der Standardschaltungen 5 und 6?	
11.	Wie lautet die Faustregel für die Grösse eines Speichers zur Energiespeicherung für die Standardlösungen 3–6?	Speichergrösse 50...100 Liter pro kW max Heizleistung
12.	Wie lautet die Faustregel für die Grösse eines Speichers zur Solarenergienutzung für die Standardlösung 7?	Speichergrösse bei Solarnutzung ≥ 150 Liter pro m^2 Kollektorfläche (gemäss Jenni)
13.	Luft/Wasser-Wärmepumpe: Wie lautet die Faustregel für die Auslegung des Volumenstroms im Verdampfer?	Volumenstrom Verdampfer entsprechend Temperaturdifferenz 5 K im Auslegungspunkt
14.	Sole/Wasser-Wärmepumpe: Wie lautet die Faustregel für die Auslegung des Volumenstroms im Verdampfer?	Volumenstrom Verdampfer entsprechend Temperaturdifferenz 3 K im Auslegungspunkt
15.	Wie lautet die Faustregel für die Auslegung des Volumenstroms im Verflüssiger?	Volumenstrom Verflüssiger entsprechend Temperaturdifferenz von 10 K bei maximal vorkommender Heizleistung (bei Aussenluft an der Heizgrenze); bei Parallelspeicher grösser als Entladekreis
16.	Wie lautet die Faustregel für die Auslegung des Volumenstroms im Solarkreis?	Volumenstrom Solarkreis 20...25 l/h pro m^2 Kollektorfläche («low flow» gemäss Jenni)
17.	In welchen Fällen sind Erdwärmesonden-Nennweiten DN 32 bzw. DN 40 optimal?	Erdwärmesonden-Nennweiten DN 25 heute überholt, heute normalerweise DN 32, DN 40 in Ausnahmefällen
18.	Wie lautet die Faustregel zur Auslegung des Wärmetauschers im Wassererwärmer für die Wärmepumpe?	Wärmetauscher im Wassererwärmer mit 0,4 m^2 pro kW Wärmepumpen-Heizleistung (gemäss Szokody), bei Aussenluft an der Heizgrenze
19.	Wie lautet die Faustregel zur Auslegung des Wärmetauschers im Wassererwärmer für die Sonnenkollektoren?	Wärmetauscher im Wassererwärmer für die Sonnenkollektoren 0,13 m^2 pro m^2 Kollektorfläche (Glattrohr, gemäss Jenni)
20.	Wie lautet die Faustregel für die Erdsondenlänge?	50 W Entzugsleistung pro Laufmeter Erdsondenlänge
21.	Wie lautet die Faustregel zur Rohrdimensionierung?	Rohrdimensionen entsprechend Druckabfall ≤ 70 Pa/m (inkl. Einzelwiderstände)
22.	Unter welchen Voraussetzungen kann die Verflüssigerpumpe in den Standardschaltungen 1–4 abgeschaltet werden, wenn die Wärmepumpe nicht läuft?	Heute wird üblicherweise nicht abgeschaltet, weil sonst der Rücklaufthermometerfühler im «toten Wasser» ist und der Speicher noch geleert werden soll
23.	Soll bei zweistufigen Wärmepumpen auch eine Umschaltung Solepumpe/Ventilator erfolgen?	Heute wird üblicherweise nicht umgeschaltet
24.	Seriespeicher besser im Vorlauf oder im Rücklauf?	Hauptvariante = Seriespeicher im Rücklauf (im Vorlauf nur mit elektrischer Zusatzheizung)
25.	Kriterienkatalog für eine Raumaufschaltung?	
26.	Kriterienkatalog für spezielle Zeitprogrammsteuerung?	
27.	Kriterienkatalog für spezielle Wassererwärmerschaltungen? («Legionellenschaltung», Vorwärmung mit Wärmepumpe – Nachheizung elektrisch)	
28.	Kriterienkatalog Speicherfühler/Rücklauffühler?	

Tabelle 12: Spezielle Fragen

3.5 Komfortkriterien

Die Komfortkriterien oder Behaglichkeitsmässstäbe werden nach einer von O. Fanger statistisch-empirisch ermittelten Komfortformel berechnet, welche auch in der SIA180:1999 enthalten ist [12,13].

Die thermische Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum hängt ab von:

a) den Einflüssen des Raumes:

- Raumlufttemperatur
- mittlere Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen (mittlere Strahlungstemperatur)
- Luftbewegung (Geschwindigkeit, Richtung, Turbulenz)

– relative Raumluftfeuchte

b) den Einflüssen des Menschen:

- seiner Tätigkeit, d.h. Wärmeabgabe des Körpers in *met*
- seiner Bekleidung, d.h. Wärmedämmwert in *clo*
- seinem physiologischen Zustand

Weil die thermische Behaglichkeit individuell empfunden wird, kann sie nur statistisch erfasst werden.

Die folgende empirische Formel in Gl. 1 berechnet den Prozentsatz der unzufriedenen Personen (Percentage of Persons Dissatisfied). Sie gilt für Luftgeschwindigkeiten über 0.05 m/s. Die darin enthaltene Zahl 34 bezieht sich auf die Hauttemperatur t_s bei einer leicht sitzende Tätigkeit (1 met) mit normaler Haus- oder Arbeitsbekleidung (0.8 clo):

$$PPD = (v - 0.05)^{0.6} \cdot (3 + 37 \cdot v \cdot T_u) \cdot (34 - t_L) \text{ in \%}$$

Gl. 1

wobei

v mittlere Luftgeschwindigkeit in Personennähe in m/s

T_u Turbulenzgrad, berechnet aufgrund der in 84% der Messungen nicht erreichten Geschwindigkeit (v_{84}) und der in 50% der Messungen erreichten oder überschrittenen Geschwindigkeit (Medianwert v_{50})

t_L Raumlufttemperatur in °C

Nach SIA 180 sind PPD-Werte für die Zugluft bis 20 % zulässig, sofern die optimale Raumlufttemperatur eingehalten ist. Im Projekt STASCH soll die Grenze jedoch bei 10% gezogen werden (s. Abbildung 9).

Da die Luftgeschwindigkeit und der Turbulenzgrad aus der MATLAB/SIMULINK-Simulation nicht explizit hervorgehen wird, - dies wäre nur bei aufwändigen CFD-Simulationen der Fall -, werden dafür fixe Parameter angenommen. Die einzige verbleibende Variable ist die Raumlufttemperatur. Der PPD-Wert wird somit eine Funktion der Temperaturverteilung (s. Abbildung 8).

Ein möglicher **Komfortfaktor** ist das Verhältnis „behaglicher Stunden“ zum gesamten betrachteten Zeitraum:

$$\text{Komfortfaktor} = (\text{PPD-Stunden unter 10\% PPD}) / (\text{PPD-Stunden})$$

Gl. 2

Die zonenweise gebildeten Komfortfaktoren müssen dann noch für die verschiedenen thermischen Zonen gewichtet werden, da der Komfort im Hauptaufenthaltsbereich von gröserer Bedeutung ist als in den Nebenräumen.

Die Definition des Komfortfaktors und die zu einem gewissen Grad willkürliche Gewichtung der thermischen Zonen sind ein Versuch, den Komfort für die verschiedenen Simulationsvarianten konsistent erfassen zu können. Er bildet neben Anlageneffizienz und Wirtschaftlichkeit ein bedeutendes Beurteilungskriterium.

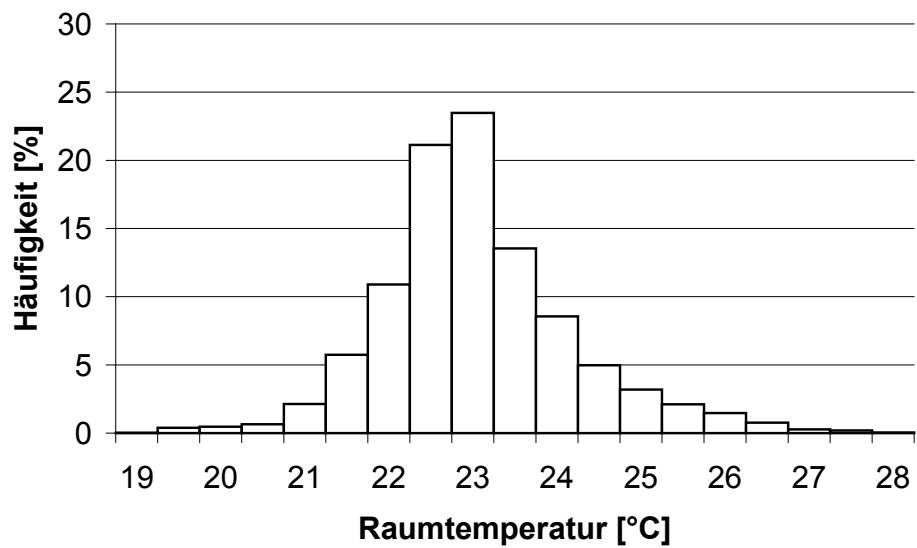


Abbildung 8: Temperaturverteilung im EG eines EFH in Schötz [10]

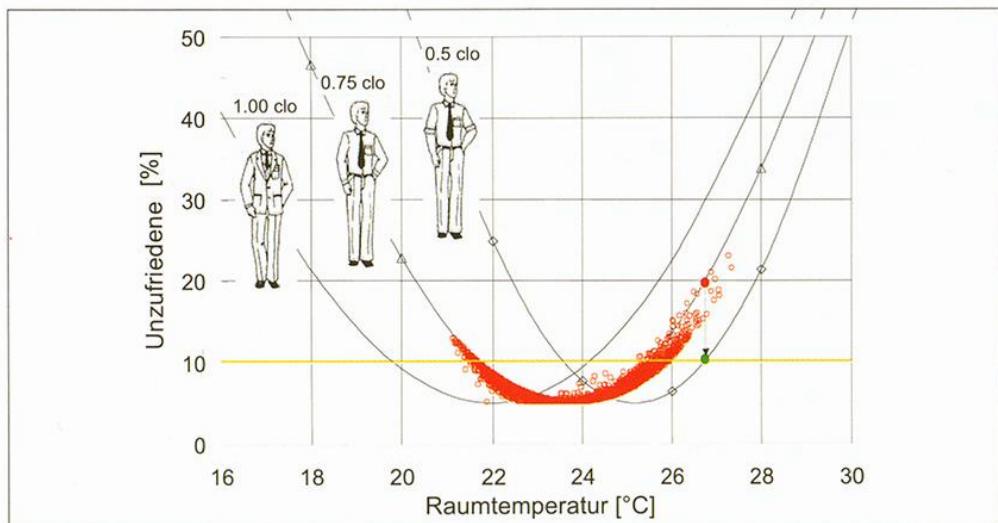


Abbildung 9: Anzahl Unzufriedener (PPD) bei verschiedenen Raumlufttemperaturen in einem Büro im Sommer [11]; Anm.: 5% Unzufriedene sind das nach O. Fanger erreichbare Optimum

4 SYMBOLVERZEICHNIS

GLOSSAR FAWA

BHZ_gem.	Abgabesystem Bodenheizung oder Bodenheizung gemischt mit Radiatoren
BWW	Brauchwarmwasser
	>0%: BWW teilweise oder total mit WP
	Wi_o_So 100% WP: WP erwärmt BWW im Winter oder Sommer zu 100%
	WP Vorw.: nur Vorwärmung des BWW durch WP
	WP+SoKo: BWW durch WP und Sonnenkollektoren
EKZ	Energiekennzahl
JAZ 2	Verhältnis zwischen der Wärmemenge ab WP resp. ab Speicher, sofern vorhanden, und dem WP spezifischen Elektrizitätsbedarf (inklusive aller Hilfsaggregate wie Umwälzpumpen und Carterheizung)
L/W	Luft/Wasser-Anlagen
LZ	Laufzeit
m/	mit
nJAZ 2	Klimanormierte JAZ 2
o/	ohne
Par.	parallel
Rad.	Abgabesystem Radiatoren
S/W	Sole/Wasser-Anlagen
SD	Standardabweichung
Ser.	seriell
SNG	Systemnutzungsgrad: erzeugte Wärmemenge für Raumheizung und BWW in Beziehung zum totalen Stromverbrauch der Anlage (inkl. Elektroboiler)
Sp.	Speicher
Ta	Aussentemperatur
Th.v.	Thermostatventile
TRkp.	Regler mit Raumkompensation
TVL (dim.)	Vorlauftemperatur bei Dimensionierungsbedingungen (meist Ta -8°C)

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] H. R. Gabathuler: Erhöhte Anforderungen an die Planung von Wärmepumpenanlagen bei Sanierungen. In: Neue Wege zur Heizungssanierung mit Wärmepumpen. 8. UAW-Tagung in Burgdorf vom 8. Mai 2001. Bern, Bundesamt für Energie, 2001.
- [2] AWP-Richtlinie 9, Empfehlungen für die Planung einer Wärmepumpenheizungsanlage, Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen, Zürich, 1986.
- [3] SWKI-Richtlinie 92-1, Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpenheizungsanlagen, Schweizerischer Verein von Wärme- und Klimingenieuren, 5/1992.
- [4] RAVEL im Wärmesektor, Heft 5: Standardschaltungen, Praxiserprobte Schaltungen für Wärmepumpen, Wärmekraftkopplung, Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, EDMZ 724.359 D, 1994.
- [5] Jahresbericht 2000, Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen, BFE/UAW, 2000.
- [6] METEONORM, Version 4.0, Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology, Software on CD-ROM, Meteotest, 1999.
- [7] G. Szokody, persönliche Mitteilung zuhanden BFE
- [8] Th. Afjei, Telefoninterviews mit Anwendern verschiedener Simulationsprogramme, 2001, CH.
- [9] B. Keller, Wirklich nachhaltiges Bauen, Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Nr. 22, 2000, CH.
- [10] Afjei, Th.; Betschart, W.; Bonvin, M.; Geering, H. P.; Ginsburg, S.; Keller, P.; Shafai, E.; Wittwer, D.; Zweifel, G.: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Phase 3: Messungen an drei Funktionsmustern, Benutzereinfluss, Vergleich verschiedener Heiz- und Regelkonzepte. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern, CH, 2000.
- [11] V. Dorer, A. Haas, M. Koschenz, Den Komfort planen, Gebäudetechnik 3/2001, CH.
- [12] Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg 1997, ISBN 3-486-26214-9, D.
- [13] SIA 180, Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, 1999, CH.

6 ANHANG

6.1 Einbindung von Wärmepumpe und Solaranlage in FAWA

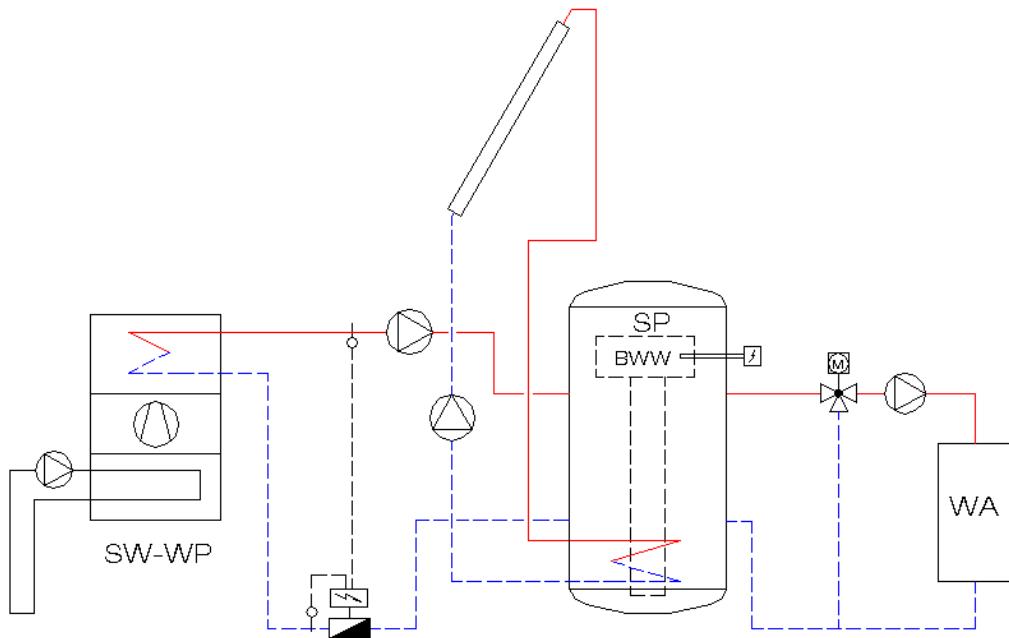


Abbildung 10: Einbindung des Kombispeichers bei allen in FAWA untersuchten Anlagen.

6.2 Schema WP-Sonne/ Warmwasser und Heizung mit Kombispeicher Strativari/EFH

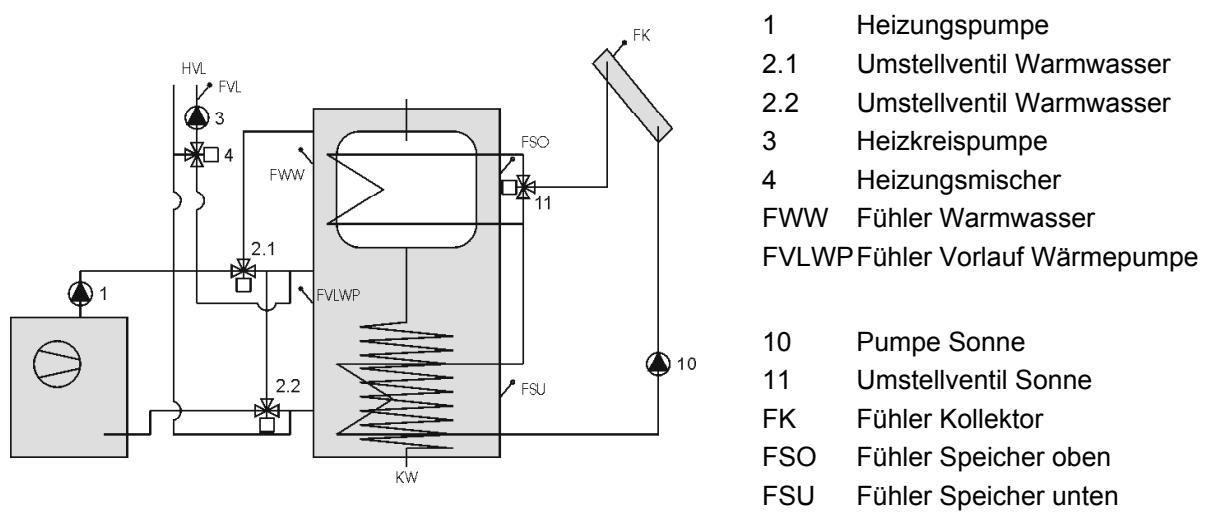


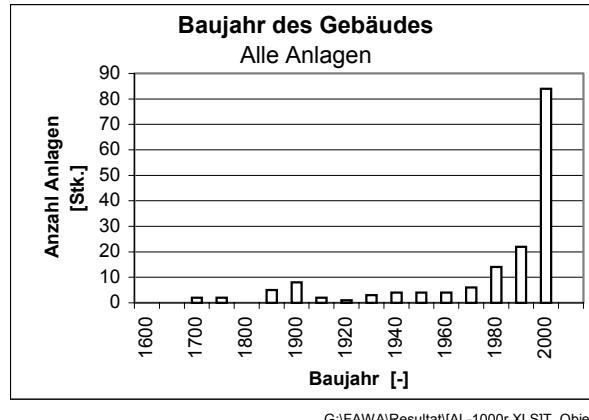
Abbildung 11: Schema WP-Kombispeicher-Sonnenkollektor (Fa. SOLTOP)

6.3 Resultate aus FAWA

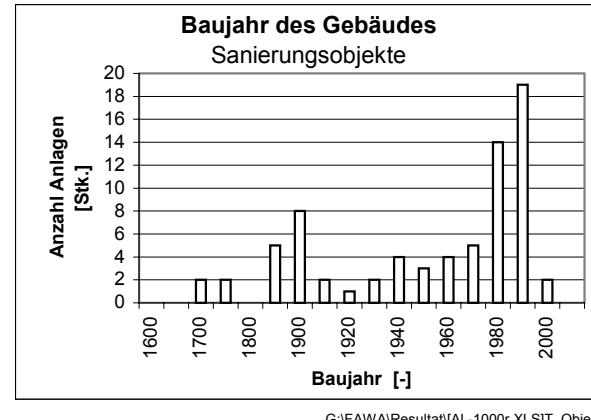
Objekt

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Objekt

Baujahr

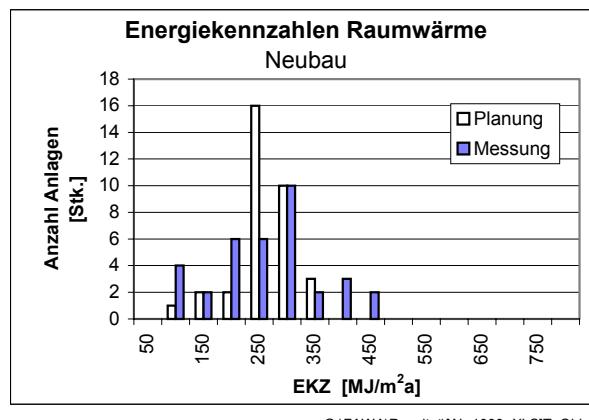


Mittel 18 -
Anzahl 161 Stk.
SD 57 -

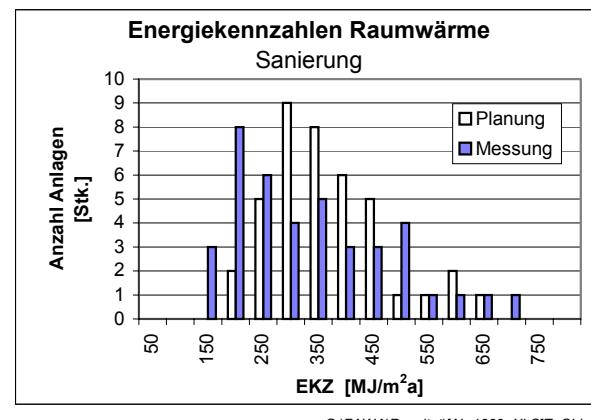


Mittel 1935 -
Anzahl 73 Stk.
SD 72 -

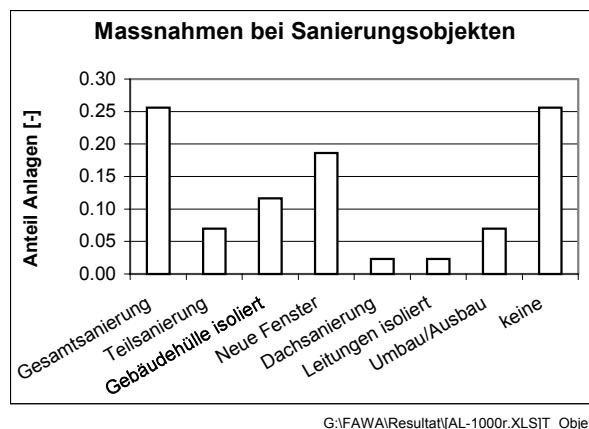
Energiekennzahl (EKZ)



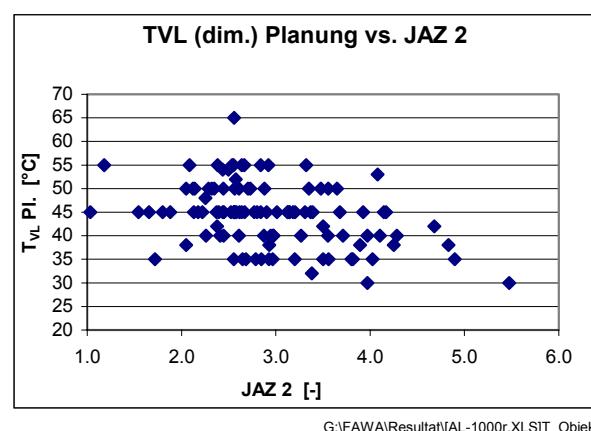
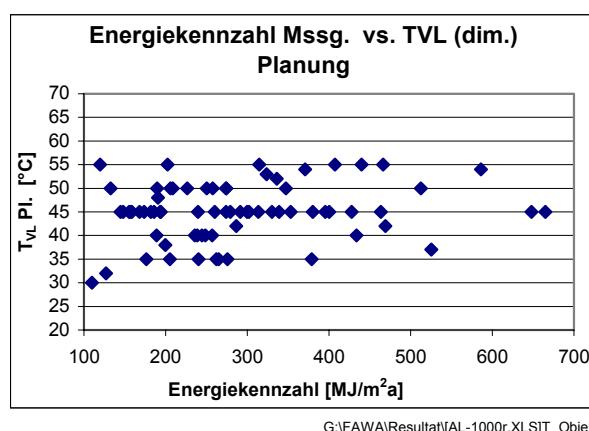
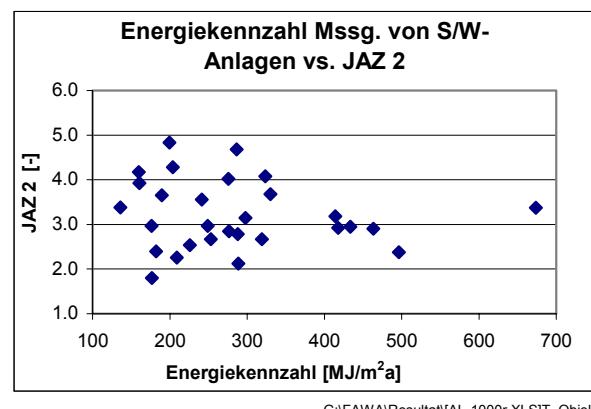
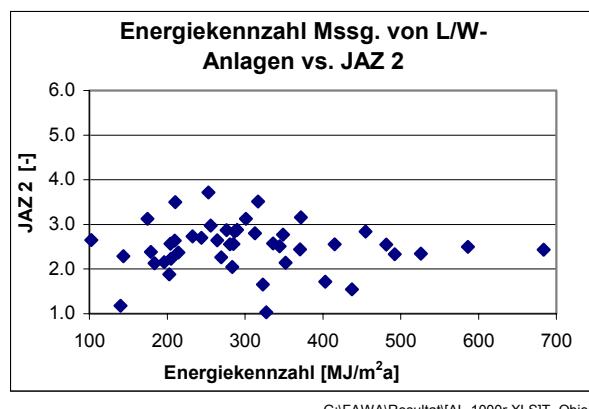
Planung 238
Mittel
Anzahl 34
SD
Messung 238 MJ/m²
95 MJ/m²

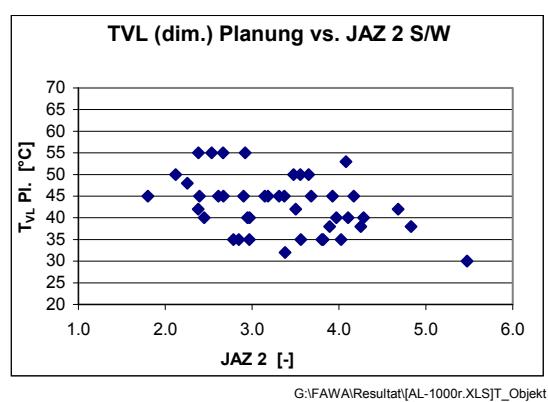
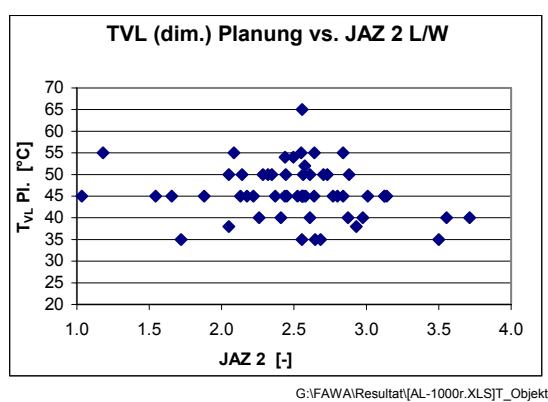
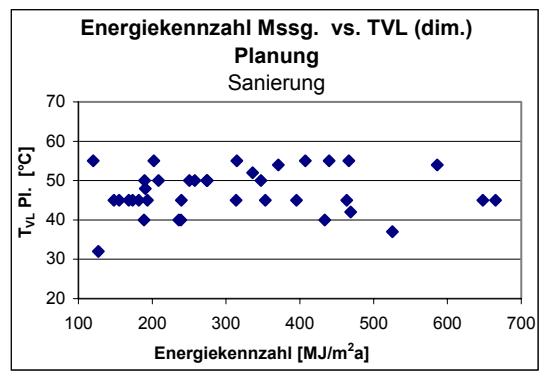
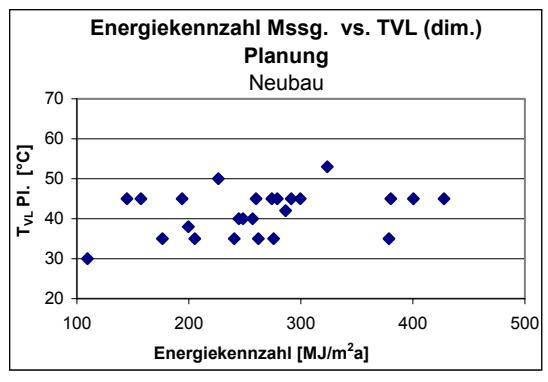


Planung 344
Mittel
Anzahl 40
SD
Messung 315 MJ/m²
40 Stk.
144 MJ/m²

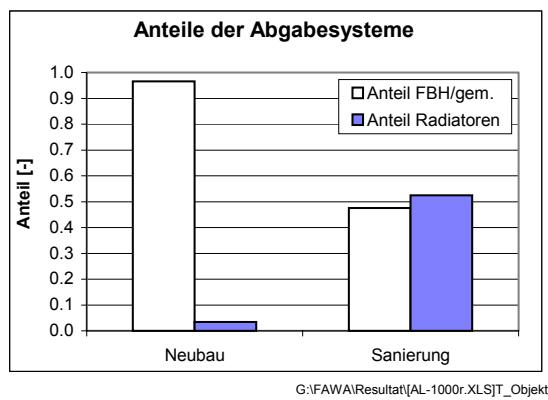


Massnahmen	Anzahl [Stk.]	Anteil [-]	EKZ (Mssg.) [MJ/m ²]
Gesamtsanierung	11	0.26	286
Teilsanierung	3	0.07	368
Gebäudehülle isoliert	5	0.12	284
Neue Fenster	8	0.19	328
Dachsanierung	1	0.02	586
Leitungen isoliert	1	0.02	209
Umbau/Ausbau	3	0.07	456
keine	11	0.26	271
Angaben total	43	1.00	Mittelwert
			348

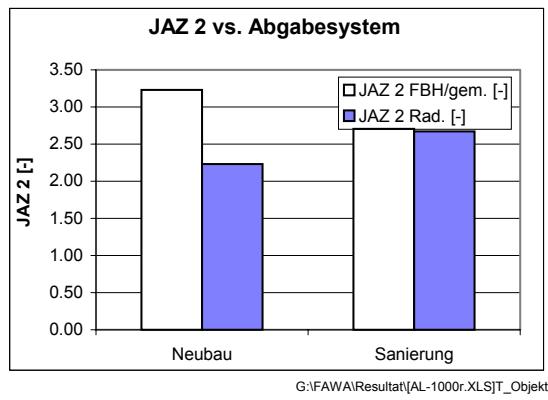




Abgabesystem



Abgabesystem	Neubau	Sanierung
FBH/gem. [Stk.]	56	29
Rad. [Stk.]	2	32
Anteil FBH/gem. [-]	0.97	0.48
Anteil Rad. [-]	0.03	0.52
JAZ 2 FBH/gem. [-]	3.23	2.71
JAZ 2 Rad. [-]	2.23	2.67



Auslastung der Luft/Wasser-Anlagen

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung

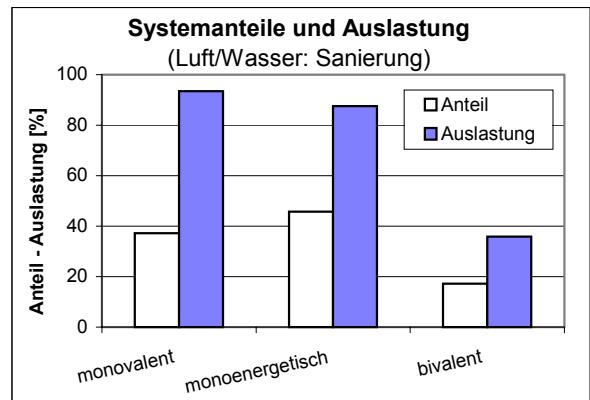
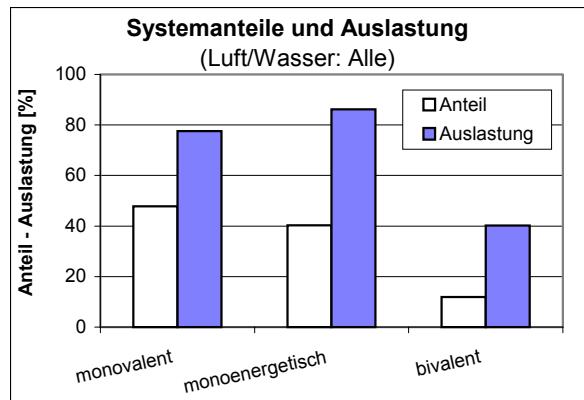
Geplante Betriebsart der L/W-Anlagen	Anzahl [Stk.]	Anteil [%]	Auslastung ^a [%]	JAZ 2 [-]	All
mit El.Zusatzhzg.	36	53			
monovalent ^b	32	48	78	2.67	
monoenergetisch	27	40	86	2.42	
bivalent	8	12	40	2.39	
Total	67	100			

^aBei Dimensionierungsbedingungen (Ta -8°C)

^bAnlagen, bei welchen nicht ein zusätzlicher Erzeuger automatisch einschaltet

Anlagen mit Betrieb des Elektroeinsatzes (EE)	9 Stk.
Anteil an Neubauanlagen	19 %
Anteil an Sanierungsanlagen	9 %
Anteil des EE am max. Heizleistungsbedarf	35 %
Mittlere Wärmemenge ab EE	171 kWh/a
Mittlere Wärmemenge ab WP	20'547 kWh/a
Anteil EE an Wärmeproduktion	0.8 %
Auslastung (WP) dieser Anlagen bei Ta -8°C	92 %

Geplante Betriebsart der L/W-Anlagen (San.)	Anzahl [Stk.]	Anteil [%]	Auslastung [%]	JAZ 2 [-]	Sanierung
mit El.Zusatzhzg.	18	50			
monovalent	13	37	93	2.59	
monoenergetisch	16	46	87	2.34	
bivalent	6	17	36	2.30	
Total	35	100			



G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung

Auslastung der Sole/Wasser-Anlagen

Der heutige Anlagenbestand an Sole/Wasser-Systemen setzt sich folgendermassen zusammen:

Geplante Betriebsart der S/W-Anlagen	Anzahl [Stk.]	Anteil [%]	Auslastung* [%]	JAZ 2 [-]
mit El.Zusatzhzg.	3	7		
monovalent	40	87	67	3.45
monoenergetisch	3	7	95	2.63
bivalent	3	7	72	2.97
Total	46	100		

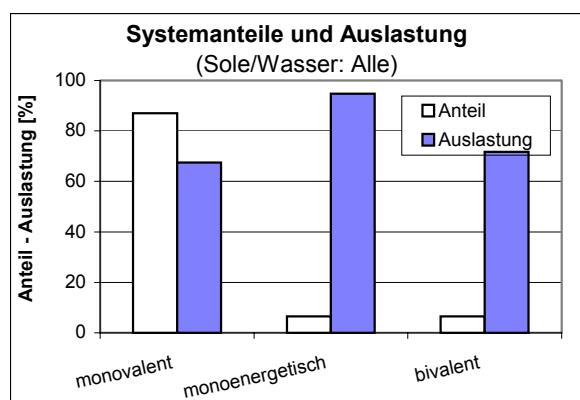
*Bei Dimensionierungsbedingungen (Ta -8°C)

Anlagen mit Betrieb des El.Heizstabes

0 Stk.

Anteil des EE am max. Heizleistungsbedarf

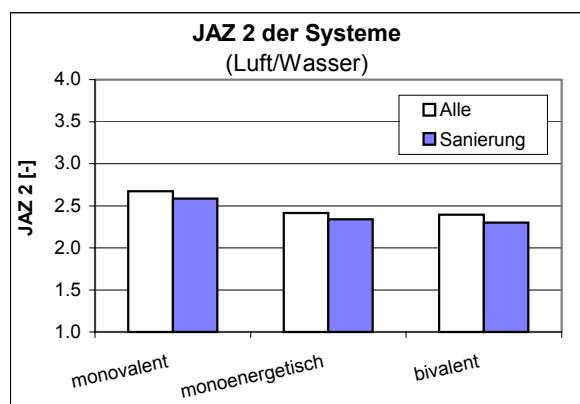
141 %



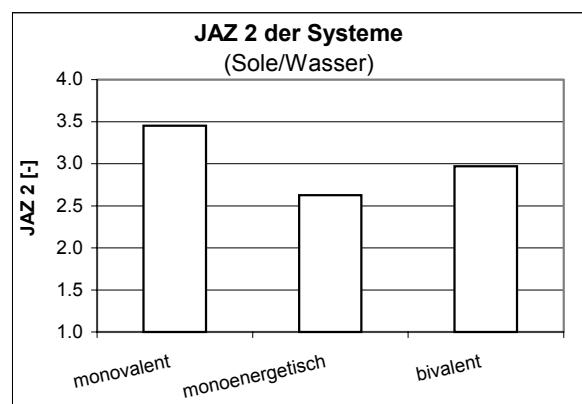
G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung

Dimensionierung

Dimensionierung der Anlagen	Auslastung [%]	monovalent L/W [%]	S/W [%]	Alle [%]	Alle [%]
Überdimensioniert	<70	55	63	59	48
Korrekt dimensioniert	70-100	32	25	28	36
Unterdimensioniert	<100	13	13	13	16



G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung



G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.XLS\T_Auslastung

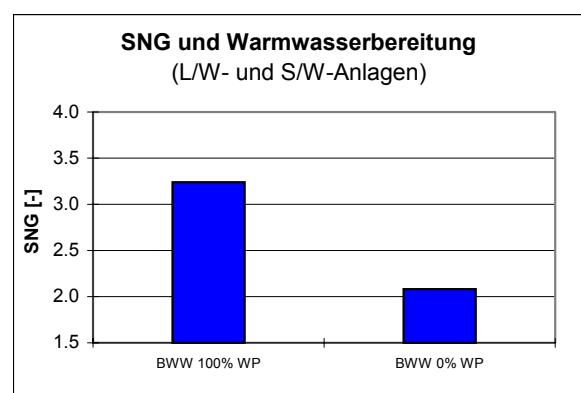
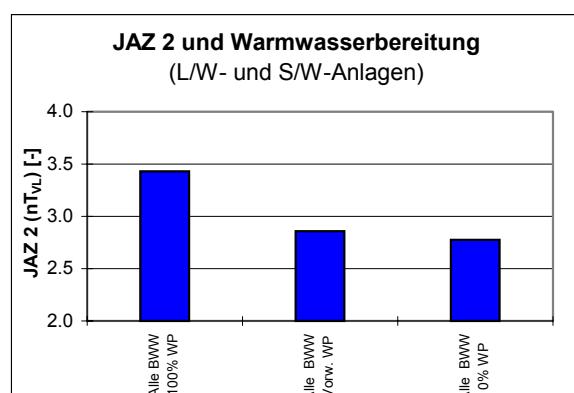
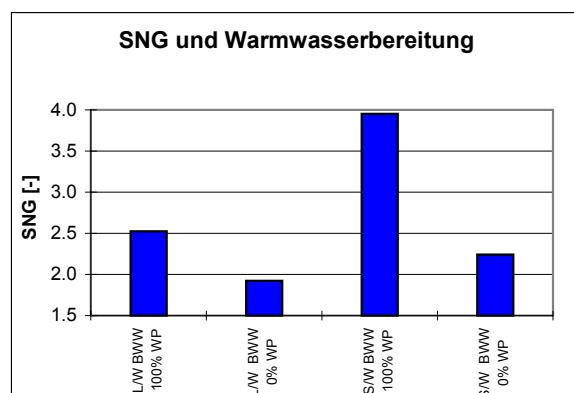
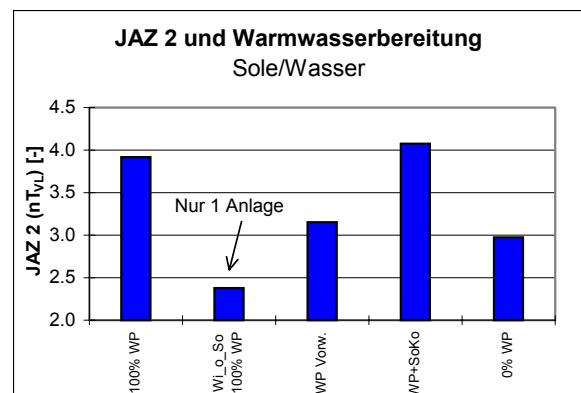
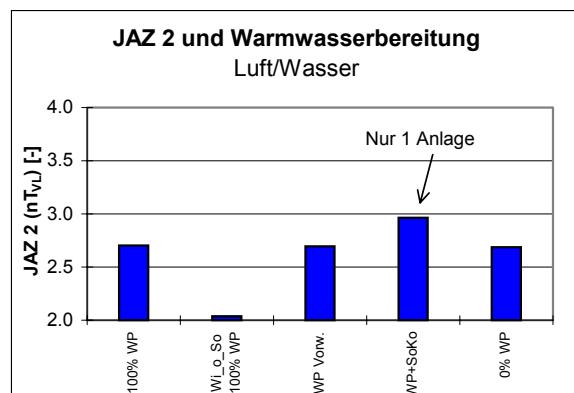
Brauchwarmwasser

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.xls]T_BWW

BWW ab WP	Luft/Wasser				Sole/Wasser			
	Anlagen [Stk.]	Anteil BWW an Qtot ^a [-]	JAZ 2 [-]	SNG ^b [-]	Anlagen [Stk.]	Anteil BWW an Qtot [-]	JAZ 2 [-]	SNG [-]
100% WP	10	0.24	2.52	2.52	15	0.18	3.95	3.95
Wi_o_So 100% WP	2		2.10		1		2.38	
WP Vorw.	9		2.51		5		3.16	
WP+SoKo	1		2.73		2		4.17	
0% WP	41	0.19	2.59	1.92	18	0.13	2.86	2.24

^a BWW aus Belegung und Standardnutzung (SIA 380/1) berechnet

^b SNG (Jahresnutzungsgrad): Verhältnis von Elektrizitätsverbrauch zu Wärmebezug ab Speicher/Boiler (ohne Verteilerverluste), nicht normiert.



Technische Speicher

C:\FAWA\Resultat\AL-1000r.xls\T_Speicher

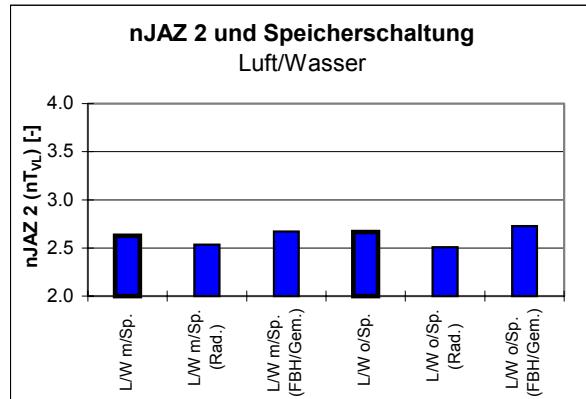


Abb. 1

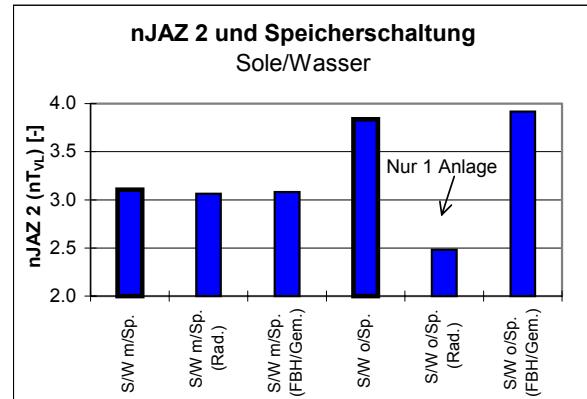


Abb. 2

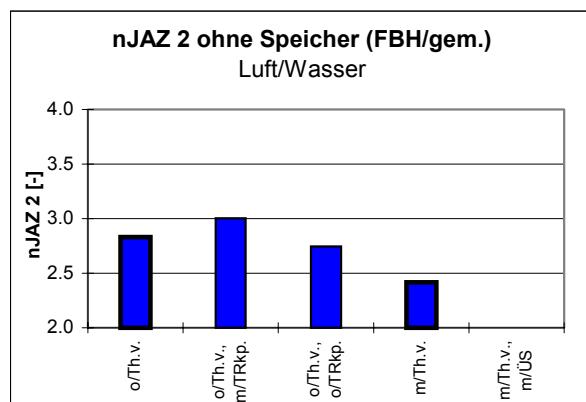


Abb. 3

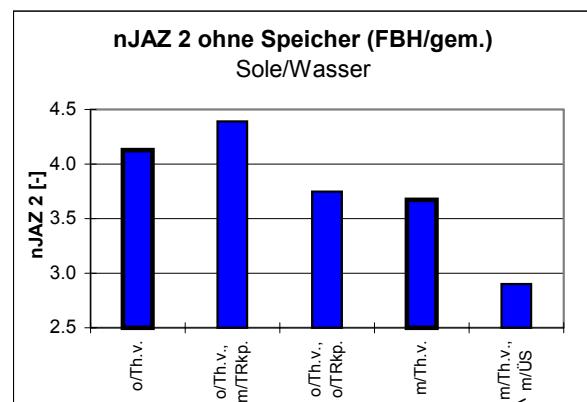


Abb. 4

nJAZ 2	Luft/Wasser				Sole/Wasser			
	Mittel	Mittel (nT _{VL})	Anzahl	SD	Mittel	Mittel (nT _{VL})	Anzahl	SD
m/ Speicher	2.50	2.63	53	0.46	2.97	3.10	28	0.63
Radiatoren	2.32	2.53	16	0.41	2.92	3.06	12	0.69
FBH o. gem.	2.59	2.67	33	0.49	2.98	3.08	15	0.60
o/ Speicher	2.61	2.66	13	0.37	3.93	3.84	18	0.81
Radiatoren	2.49	2.51	2	0.36	2.81	2.48	1	#DIV/0!
FBH o. gem.	2.67	2.73	10	0.39	3.99	3.92	17	0.78
o/Th.v.	2.83		6	0.34	4.13		12	0.86
o/Th.v., m/T _R kp.	3.00		2	0.60	4.39		7	1.03
o/Th.v., o/T _R kp.	2.75		4	0.19	3.75		2	0.68
m/Th.v.	2.42		4	0.35	3.67		5	0.48
m/Th.v., m/ÜS	#DIV/0!		0	####	2.90		1	#DIV/0!
m/ sSP.,Th.v.								
m/Überst.	2.65		3	0.45	#DIV/0!		0	#DIV/0!
o/Überst.	2.52		7	0.32	3.31		2	0.89

nJAZ 2 vs. Speichereinbindung

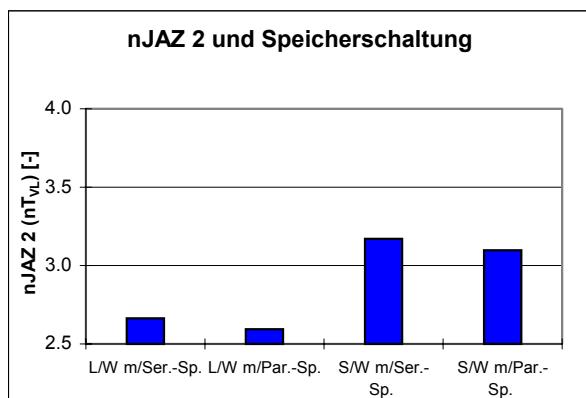


Abb. 5

Laufzeit pro Start vs. Speicher

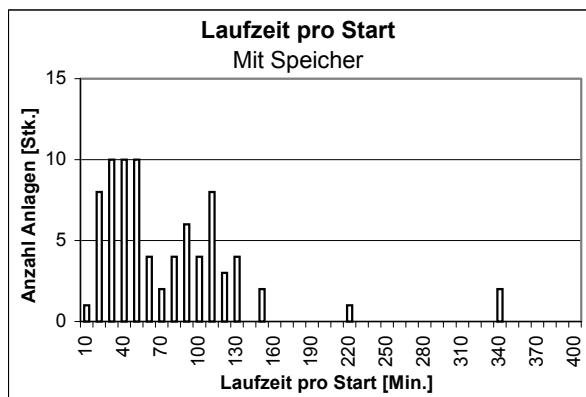


Abb. 6

m/ Speicher	Alle	L/W	S/W
LZ [Min./Start]	71	64	76
Anlagen [Stk.]	79	51	19
SD [Min.]	59	44	71

m/ Speicher	Parallel	Seriell
LZ [Min./Start]	63	70
Anlagen [Stk.]	49	19
SD [Min.]	36	81

nJAZ 2 (nT _{VL})	Mittel	Anzahl	SD
Luft/Wasser			
m/ Ser.Sp.	2.66	14	0.45
m/ Par.Sp.	2.59	35	0.48
Sole/Wasser			
m/ Ser.Sp.	3.17	5	0.71
m/ Par.Sp.	3.10	19	0.61

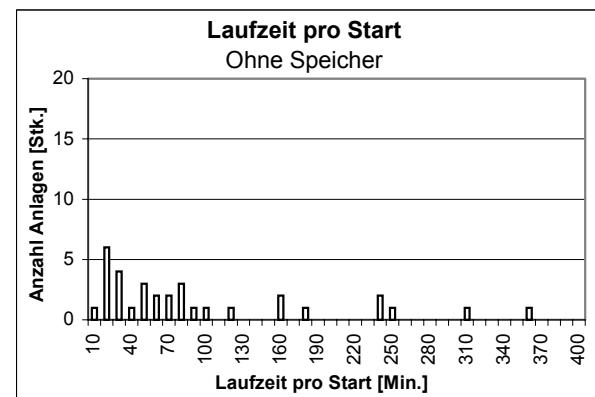


Abb. 7

o/ Speicher	Alle	L/W	S/W
LZ [Min./Start]	91	104	100
Anlagen [Stk.]	33	10	17
SD [Min.]	92	116	90

o/ Speicher	m/Th.v.	o/Th.v.	+ T _R komp.
LZ [Min./Start]	91	92	117
Anlagen [Stk.]	9	24	12
SD [Min.]	76	99	92

Regelung

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.xls\T_Regelung

nJAZ 2 vs. Regelung

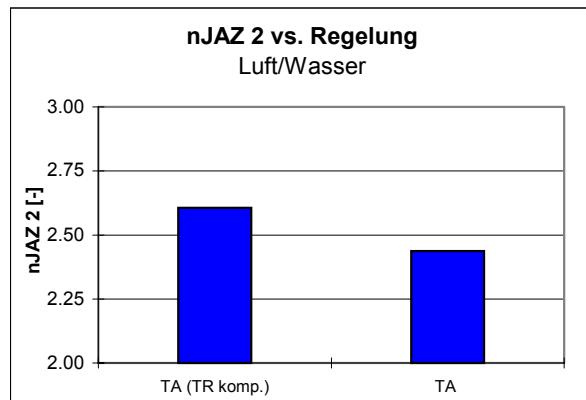


Abb. 1

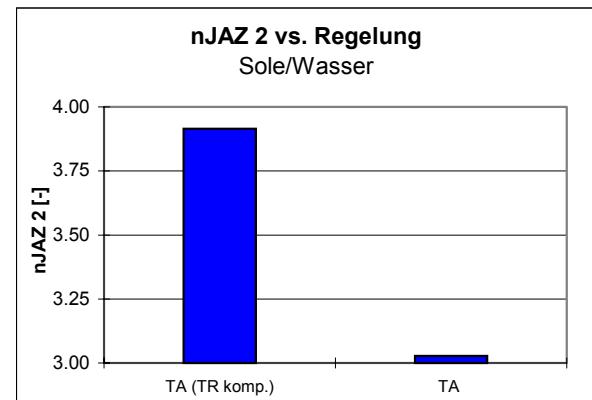


Abb. 2

nJAZ 2	Luft/Wasser			Sole/Wasser		
	Mittel	Anzahl	SD	Mittel	Anzahl	SD
TA (T _R komp.)	2.61	27	0.43	3.91	17	0.82
TA	2.44	23	0.53	3.03	18	0.68

Störung

G:\FAWA\Resultat\AL-1000r.xls\T_Störung

Verfügbarkeit

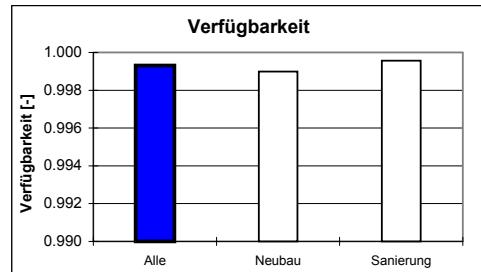


Abb. 1

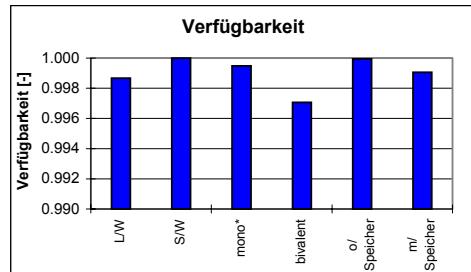


Abb. 2

Untersuchte Anlagen 123 Stk.

Störung	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W	mono*	bivalent	o/ Speicher	m/ Speicher
LZ total [h]	479'295	215'991	255'014	247'565	183'548	443'426	35'004	134'292	345'003
Störung [h]	331	219	112	330	1	228	103	7	324
Verfügbarkeit [-]	0.9993	0.9990	0.9996	0.9987	1.0000	0.9995	0.9971	0.9999	0.9991
Anlagen [Stk.]	6	3	3	5	1	3	3	2	4
Anteil [-]	0.05	0.05	0.05	0.07	0.02	0.03	0.30	0.06	0.05

Verfügbarkeit 1 Promill = 1.6 h/a

*monovalent/monoenergetisch

Laufzeit 1603 h/a
Anlagenjahre 299 Stk.
Lebensdauer 15 a (Annahme)

Störungsdauer	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W	mono*	bivalent	o/ Speicher	m/ Speicher
Störung pro Jahr	1.1	1.6	0.7	2.1	0.0	0.8	4.7	0.1	1.5
Störungsdauer [h]	55	73	37	66	1	76	34	4	81
Jahre/Störung [a]	50	45	53	31	114	92	7	42	54
Wahrsch.	0.08	0.09	0.08	0.13	0.03	0.04	0.55	0.10	0.07

*monovalent/monoenergetisch

Störungseintritt	Alle	Neubau	Sanierung	L/W	S/W	mono*	bivalent	o/ Speicher	m/ Speicher
Anlagenjahre	299	135	159	154	114	277	22	84	215
Störung pro Jahr	0.020	0.022	0.019	0.032	0.009	0.011	0.137	0.024	0.019
Wahrsch.	0.30	0.33	0.28	0.49	0.13	0.16	2.06	0.36	0.28

*monovalent/monoenergetisch

Störungstypen

Störungen Typ	Anzahl Störungen		Störungsdauer	
	Störungen [Stk.]	Anlagen [Stk.]	Dauer [h/Störung]	Anlagen [Stk.]
Hochdruck				
Niederdruck	4	1	2	1
Wassermangel Verd.				
Regelung	2	1	96	1
Stromausfall				
Vereisung Verdampfer				
Kompressor	3	1	32	1
KM-Verlust				
Verschm. Verd.				
Verschm. Kond.				
Fehlbedienung				
Umwälzpumpe				
Wassermangel Kond.				
unbekannt	7	3	2	3
Total	16	6	131	6

6.4 Wärmepumpenmodell TRNSYS Type 201

TRNSYS Type

Kompressionswärmepumpe inklusiv Frost- und Taktverluste

Version 1.1
Modellbeschreibung und Implementation in
TRNSYS

Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft:
Kostengünstige Niedertemperaturheizungen
mit Wärmepumpe

Dr. Thomas Afjei, INFEL Zürich
Michael Wetter, ZTL Luzern
7. Mai 1997

6.4.1 Allgemeine Beschreibung

Die Wärmepumpe ist als Black-Box modelliert. Die Modellierung ist weitgehend mit denjenigen des YUM-Simulationsprogramms [1, 2] identisch. Die Eingangsgrößen sind die Verdampfer- und Kondensatoreintrittstemperatur, der Verdampfer- und Kondensatormassenstrom sowie das Stellsignal eines extern simulierten Reglers.

Die Kondensator- sowie Verdampferleistung wird auf Grund der von den Herstellern angegebenen Leistungskennfeldern berechnet. Diese Kennfelder weisen die Kondensatorleistung und die elektrische Klemmenleistung in Funktion der Verdampfereintritts- sowie Kondensatoraustrittstemperatur aus (siehe Abbildung 12). Basierend auf diesen Kennfeldern werden mit dem YUM-Simulationsprogramm oder mit dem aus dem YUM extrahierten Teil 'Polynom' die Koeffizienten von biquadratischen Polynomen berechnet, die das Leistungsverhalten über den Betriebsbereich beschreiben. Die Kennfelder können mit einem Skalierungsfaktor linear gestreckt resp. gestaucht werden, um die Wärmepumpenleistung bei gleichbleibender Leistungszahl einfach zu ändern (neu in Version 1.1).

Da diese Kennfelder nur für den stationären Betrieb gelten, werden zusätzlich die Taktverluste der Wärmepumpe als Lösung einer Differentialgleichung erster Ordnung, in der Regelungstechnik als PT_1 -Element bekannt, mitberücksichtigt.

Die Leistungsminderung infolge Vereisung und Abtauung des Verdampfers können, falls sie nicht bereits in den Herstellerunterlagen enthalten sind, nach einem halbempirischen Ansatz erfasst werden. Der Zeitpunkt, an dem sich Frost bildet sowie der Zeitpunkt der Verdampferabtauung kann nicht erfasst werden.

Basierend auf Validationen des YUM-Algorithmus mit Messdaten kann mit folgenden Genauigkeiten gerechnet werden:

	relativer Fehler
Kondensatorenergie	6.6%
Kompressorenergie	12.5%
Arbeitszahl	2.7%

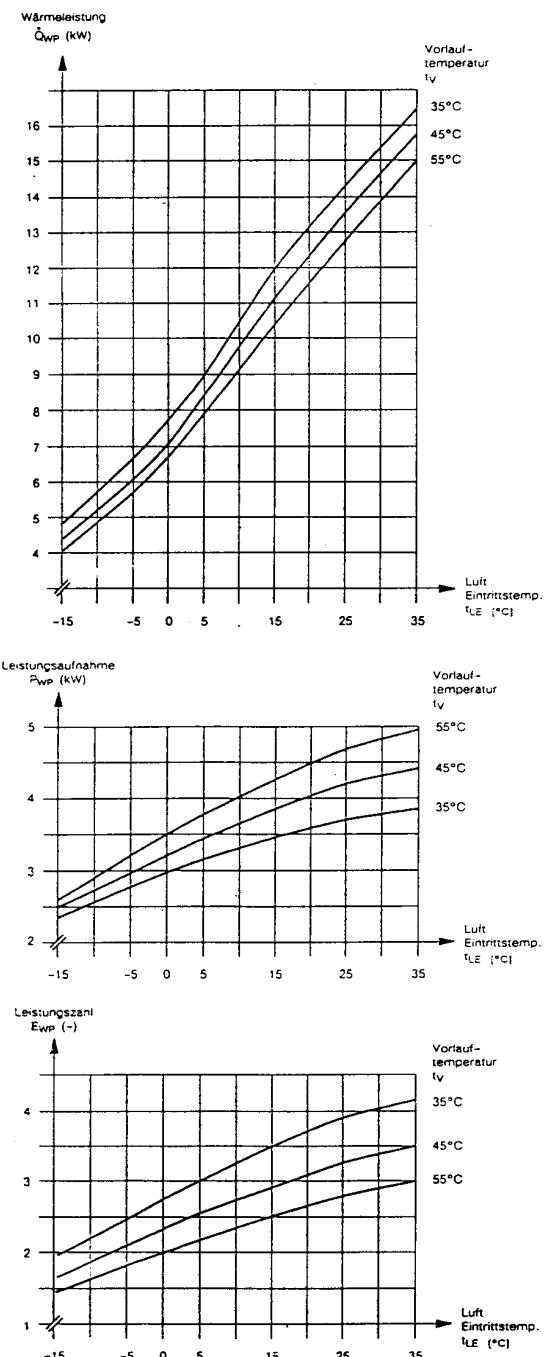


Abbildung 12: Beispiel für Leistungskennfelder einer Wärmepumpe

6.4.2 Formelzeichen		6.4.2.1.2 Indizes	
6.4.2.1.1 Variablen			
τ	Zeitkonstante	c	Kondensator
Δ	Differenz	corr	korrigiert
A	Konstante für Frostverlust	e	Verdampfer
B	Konstante für Frostverlust	f	fiktiv
bp	Polynomkoeffizient für Kompressorleistung	hp	Wärmepumpe
bq	Polynomkoeffizient für Kondensatorleistung	ice	Ver-/Enteisung
C	Konstante für Frostverlust	icyc-le	inklusiv Taktverluste
c	spezifische Wärmekapazität	in	Eintritt
COP	Leistungszahl (coefficient of performance)	lb	untere Grenze
D	Konstante für Frostverlust	m	Mittelwert
E	Konstante für Frostverlust	n	normalisiert
f	Skalierfaktor für Kennfelder	nom	Nominalwert
m	Massenstrom	off	aus
P	elektrische Leistung	on	ein
Q	Wärmeleistung	out	Austritt
T	Temperatur	plug	Klemme (Klemmenleistung)
t	Zeit	ss	stationärer Zustand
		ub	obere Grenze
		wol	ohne Verluste

6.4.3 Mathematische Beschreibung

Vorzeichenkonvention: zugeführte Leistung respektive Energie ist immer positiv, abgeführte negativ.

6.4.3.1 Stationäre Kondensator und Verdampferleistung

Die mit dem ausgelagerten Polynomprogramm berechneten Koeffizienten b_p und b_q werden beim Einlesen mit dem Skalierungsfaktor f multipliziert:

$bq_i \coloneqq f \, bq_i \quad \text{für } i = 1 \dots 6$

$bp_i := f \; bp_i \quad \text{für } i = 1 \dots 6$

Gl. 3

Die stationären Leistungen werden mit biquadratischen Polynomen

$$Q_{ss,c,wol} = bq_1 + bq_2 T_{n,e,in} + bq_3 T_{n,c,out} + \\ bq_4 T_{n,e,in} T_{n,c,out} + bq_5 T_{n,e,in}^2 + bq_6 T_{n,c,out}^2$$

Gl. 4

$$P_{ss,plug} = bp_1 + bp_2 T_{n,e,in} + bp_3 T_{n,c,out} + \\ bp_4 T_{n,e,in} T_{n,c,out} + bp_5 T_{n,e,in}^2 + bp_6 T_{n,c,out}^2$$

Gl. 5

berechnet.

Dabei werden normalisierte Temperaturen nach der Beziehung

$$T_n = \frac{T[^\circ C]}{273.15} + 1.0$$

Gl 6

verwendet.

Die Polynomkoeffizienten können mit dem Simulationsprogramm YUM bestimmt werden.

6.4.3.2 Iteration Kondensatoraustrittstemperatur

Für die Leistungsbestimmung nach Gl. 4 und Gl. 5 muss die Kondensatoraustrittstemperatur bekannt sein. Da diese jedoch wiederum von der Kondensatorleistung abhängt, muss sie iterativ bestimmt werden. Die Iteration erfolgt nach dem Algorithmus von Van Wijngaarden-Decker-Brent [3]. Dieser kombiniert die Stabilität der Bisektion mit der Geschwindigkeit der inversen quadratischen Interpolation.

6.4.3.3 *Taktverluste*

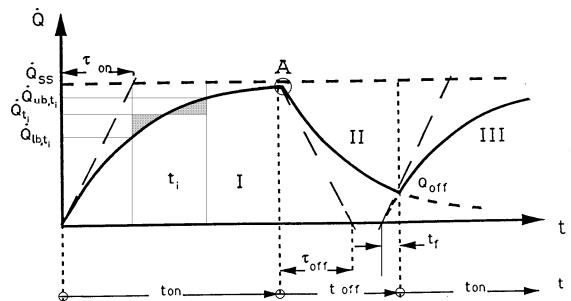


Abbildung 13: Taktverluste mit Beispiel eines diskretisierten Zeitschriffts

Beim Einschalten der Wärmepumpe muss zuerst das Wärmepumpenaggregat aufgeheizt sowie die Druckdifferenz zwischen Verdampfer und Kondensator aufgebaut werden. Dies führt beim Einschalten der Wärmepumpe zu einer anfänglichen Leistungsminderung. Der Ansatz für die Beschreibung dieser Minderung beim Start einer vollständig abgekühlten Wärmepumpe (Bereich I) lautet:

$$\Delta \dot{Q}_{on,c} = \dot{Q}_{ss,c} e^{-\frac{t_{on}}{\tau_{on}}}$$

Ist die Wärmepumpe noch nicht vollständig abgekühlt, so kann die Einschaltzeit entsprechend Abbildung 13 transformiert werden (Bereich III). Gl. 7 lautet nun:

$$\Delta \dot{Q}_{on,c} = \dot{Q}_{ss,c} e^{-\frac{t_f + t_{on}}{\tau_{on}}}$$

Die effektive Kondensatorleistung (ohne Vereisungs- und Abtauverluste) berechnet sich somit nach:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{ss,c} - \Delta \dot{Q}_{on,c}$$

$$= \dot{Q}_{ss,c} \left(1 - e^{-\frac{t_f + t_{on}}{t_{on}}} \right)$$

Gl. 9

Die Zeitverschiebung t_f wird bei jeder Einschaltung der Wärmepumpe neu bestimmt. Da die Einschaltzeit t_{on} zum Zeitpunkt der Einschaltung null ist (Übergang Bereich II in Bereich III), kann die Zeitverschiebung t_f gemäss Abbildung 13 über die Beziehung

$$\dot{Q}_{lb,c} = \dot{Q}_{ss,c} \left(1 - e^{-\frac{t_f}{\tau_{on}}} \right) \quad \text{Gl. 10}$$

gewonnen werden. Gl. 10 aufgelöst nach t_f ergibt

$$t_f = -\tau_{on} \ln \left(1 - \frac{\dot{Q}_{lb,c}}{\dot{Q}_{ss,c}} \right) \quad \text{Gl. 11}$$

Bei abgeschalteter Wärmepumpe soll sich ihr Energieinhalt nach einem Exponentialgesetz abbauen. Hierzu muss jedoch der Startpunkt der Abkühlkurve (Abbildung 13, Punkt A) bekannt sein. Damit dieser zur Verfügung steht, muss in jedem Zeitschritt, bei der die Wärmepumpe in Betrieb ist, ihre Leistung an der oberen Intervallgrenze nach der Beziehung

$$\dot{Q}_{ub,c} = \dot{Q}_{ss,c} \left(1 - e^{-\frac{t_f + t_{on,ub}}{\tau_{on}}} \right) \quad \text{Gl. 12}$$

berechnet werden.

Die Abkühlkurve in Abbildung 13 (Bereich II) wird analog zur vor beschriebenen Leistungsminderung mit

$$\dot{Q}_{loss,c} = \dot{Q}_{ss,c,nom} e^{-\frac{t_f + t_{off}}{\tau_{off}}} \quad \text{Gl. 13}$$

berechnet. Beim Abkühlen der Wärmepumpe ist der zeitliche Leistungsverlauf also proportional zu der Nominalleistung der Wärmepumpe (bei 7°C Verdampfer-Eintrittstemperatur / 35°C Kondensatoraustrittstemperatur), auf die die Abtauzeitkonstante durch Messungen bezogen ist.

Die Zeitverschiebung t_f wird wieder analog dem Ansatz von Gl. 10, jedoch mit fallender Exponentialfunktion, berechnet:

$$\dot{Q}_{lb,c} = \dot{Q}_{ss,c,nom} e^{-\frac{t_f}{\tau_{off}}} \quad \text{Gl. 14}$$

$$t_f = -\tau_{off} \ln \left(1 - \frac{\dot{Q}_{lb,c}}{\dot{Q}_{ss,c,nom}} \right) \quad \text{Gl. 15}$$

Die Leistung an der unteren Intervallgrenze des aktuellen Zeitschritts t ist zugleich die Leistung an der oberen Grenze des vorherigen Zeitintervall $t-1$. Diese wurde bereits im letzten Zeitschritt nach Gl. 12 berechnet.

Somit ergibt sich für die Verlustleistung am oberen Ende des momentanen Zeitintervalls, wenn die Zeitspanne zwischen der Abschaltung und der oberen Grenze des aktuellen Zeitintervall mit t_{ub} bezeichnet wird

$$\dot{Q}_{ub,c} = \dot{Q}_{ss,c,nom} e^{-\frac{t_f + t_{ub}}{\tau_{off}}} \quad \text{Gl. 16}$$

Dieser Wert wird weiterverwendet, falls die Wärmepumpe im nächsten Zeitschritt wieder eingeschalten wird.

Die mittlere Kondensatorleistung während dem aktuellen Zeitschritt wird durch Integration der Leistung nach Gl. 9 über den Zeitschritt erhalten:

Für $A + BT_{e,in} > 0$:

$$\Delta COP_{ice} = A + BT_{e,in} + Ce^{-\frac{(T_{e,in} - D)^2}{E}}$$

Für $A + BT_{e,in} \leq 0$

$$\Delta COP_{ice} = Ce^{-\frac{(T_{e,in} - D)^2}{E}} \quad \text{Gl. 17}$$

Für die Leistungszahl unter der Berücksichtigung der Taktverluste gilt somit

$$COP_{cycle} = \frac{-\dot{Q}_{m,c}}{P_{plug}} \quad \text{Gl. 18}$$

6.4.3.4 Ver- und Enteisung Verdampfer

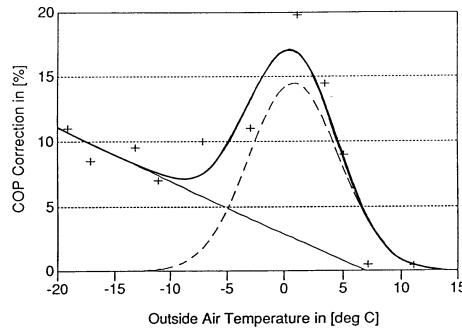


Abbildung 14: Leistungszahlminderung durch Ver- und Enteisung des Verdampfers. (Eingezeichnete Punkte aus Messdaten.)

Die relative Änderung der Leistungszahl, bedingt durch Vereisung und Abtauung des Verdampfers, wird durch eine modifizierte Gauss Kurve [4] gemäss Abbildung 14 beschrieben.

Der Kurvenverlauf resultiert von der Superposition einer Gauss Kurve mit einer Geraden. Die Gausskurve repräsentiert die maximale Frostbildung zwischen 0°C und +5°C (hohe absolute Luftfeuchte). Die Gerade steht für den mit fallender Außentemperatur steigenden sensiblen Energieeinsatz, der zur Aufheizung des Verdampfermetalls und des Kältemittels im Verdampfer für die Abschmelzung des angefrorenen Eises notwendig ist.

Die relative Änderung der Leistungszahl berechnet sich demzufolge nach

Für $A + BT_{e,in} > 0$:

$$\Delta COP_{ice} = A + BT_{e,in} + Ce^{-\frac{(T_{e,in}-D)^2}{E}}$$

Für $A + BT_{e,in} \leq 0$

$$\Delta COP_{ice} = Ce^{-\frac{(T_{e,in}-D)^2}{E}}$$

Gl. 19

Folglich gilt für die Leistungszahl unter Berücksichtigung aller Verluste (Taktverluste, Vereisung, Abtauung):

$$COP_{corr} = COP_{icyle} (1 - \Delta COP_{ice})$$

Gl. 20

6.4.3.5 Kondensator und Verdampferleistung

Mit der korrigierten Leistungszahl COP_{corr} lässt sich nun die über den Zeitschritt mittlere Kondensator- und Verdampferleistung berechnen mit

$$\dot{Q}_{m,c} = -COP_{corr} P_{plug}$$

Gl. 21

Für $(\dot{Q}_{m,c} + P_{comp}) > 0$

$$\dot{Q}_{m,e} = -(\dot{Q}_{m,c} + P_{comp})$$

Für $(\dot{Q}_{m,c} + P_{comp}) \leq 0$

$$\dot{Q}_{m,e} = 0$$

Gl. 22

Schlussendlich lassen sich die Austrittstemperaturen des Kondensators und Verdampfer berechnen mit:

$$T_{c,out,corr} = T_{c,in} - \frac{\dot{Q}_{m,c}}{\dot{m}_c c_c}$$

Gl. 23

$$T_{e,out,corr} = T_{e,in} - \frac{\dot{Q}_{m,e}}{\dot{m}_e c_e}$$

Gl. 24

6.4.3.6 Wärmepumpenmodus

Die Variable $hpmode$ wird als Output(12) ausgegeben. Sie ist ein Indikator, in welchem Betriebsmodus sich die Wärmepumpe befindet. Folgende Modi sind möglich:

hpmode	Bedeutung
100	Wärmepumpe ein, normal Betrieb
200	Wärmepumpe ausgeschaltet durch externen Regler ($y_{hp}=0$)
210	Niederdruckstörung. Verdampfereintrittstemperatur tiefer als Niederdruckthermostat
220	Niederdruckstörung. Verdampferaustrittstemperatur tiefer als Niederdruckthermostat
230	Niederdruckstörung. Kein Massenstrom durch Verdampfer
250	Hochdruckstörung. Kondensatoreintrittstemperatur höher als Hochdruckthermostat
260	Hochdruckstörung. Kondensatoraustrittstemperatur höher als Hochdruckthermostat
270	Hochdruckstörung. Kein Massenstrom durch Kondensator

6.4.4 Komponenten Konfiguration					
Parame- ter	Fortran Variable	Beschreibung			
1	scale	Skalierungsfaktor für Leistungskennfelder	17	nchange- max	Maximale Anzahl Ein-/ Ausschaltungen der Wärmepumpe pro TRNSYS Iterationsschritt
2	ce	spezifische Wärmekapazität Verdampfermedium	18	LUNbq	Logical unit number der Datei mit Polynomkonstanten für die Kondensatorleistung
3	cc	spezifische Wärmekapazität Kondensatormedium	19	LUNbp	Logical unit number der Datei mit Polynomkonstanten für die Kompressorleistung
4	Pcar	Leistung Carterheizung			
5	loprth	Niederdruckthermostat			assign <i>dateiname</i> LUNbq
6	hiprth	Hochdruckthermostat			assign <i>dateiname</i> LUNbp
7	airhp	Flag für Verdampfervereisung (0: Vereisung wird nicht berechnet, 1: Vereisung wird berechnet)			Beide Dateien müssen derart geändert werden, das die ersten 10 Zeilen 80 Charakter lang sind.
8	COPcorr1	1. COP Correction Wert auf Gerade für Enteisungsverluste	Input	Fortran Variable	Beschreibung
9	COPcorr2	2 COP Correction Wert auf Gerade für Enteisungsverluste	1	mdote	Massenstrom Verdampfer
10	COPcorr3	Maximum COP Correction auf der Gauss Kurve (<i>nicht</i> auf der resultierenden Überlagerung der Gauss Kurve mit der Geraden!)	2	Tein	Eintrittstemperatur Verdampfer
11	Tdbcrr1	Aussenlufttemperatur bei 1. COP Correction Wert	3	mdotc	Massenstrom Kondensator
12	Tdbcrr2	Aussenlufttemperatur bei 2 COP Correction Wert	4	Tcin	Eintrittstemperatur Kondensator
13	Tdbcrr3	Aussenlufttemperatur bei Maximum der Gauss Kurve	5	yhp	Stellsignal Wärmepumpe (0: aus, 1: ein)
14	Tdbcrr4	Temperaturspreizung (Breite) der Gausskurve auf der Hälfte des Gauss-Maximums	6	ycar	Stellsignal Carterheizung (0: aus, 1: ein)
15	tauon	Aufheizkonstante, bezogen auf mittlere Betriebsleistung			
16	tauoff	Abkühlkonstante, bezogen auf Verdampfereintritt 7°C, Kondensatoraustritt 35°C			

Out- put	Fortran Variable	Beschreibung	6.4.5	Literaturverzeichnis
1	mdote	Massenstrom Verdampfer	1	Afjei Thomas; YUM, A Yearly Utilization Model for Calculating the Seasonal Performance Factor of Electric Driven Heat Pump Heating Systems, Technical Form; Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IET-LES; Zürich 1989; Schweiz
2	Teout	Austrittstemperatur Verdampfer		
3	mdotc	Massenstrom Kondensator		
4	Tcoutc	Austrittstemperatur Kondensator	2	Afjei Thomas, Wittwer Dieter; Yearly Utilization Model YUM WP/Holz, Benutzerhandbuch mit Beispielen; INFEL/KRE; Zürich 1995; Schweiz
5	Qdotmc	Mittlere Kondensatorleistung über den Zeitschritt		
6	Qdotme	Mittlere Verdampferleistung über den Zeitschritt	3	Press William H., Flannery Brian P., Teukolsky Saul A., Vetterling William T.; Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing; ISBN 0 521 30811 9; Cambridge University Press; Cambridge MA 1987; USA
7	Pcomp	Kompressorleistung		
8	Pcar	Leistung Carterheizung		
9	(Pcomp+ Pcar)	Summe Kompressor- und Carterleistung	4	Conde M. R.; Progress Report IEA-Annex 10, Air-to-Water Heat Pump, Simple Simulation Model; Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IET-LES; Zürich 1985; Schweiz
10	COPc	Leistungszahl inkl. Takt- und Frostverluste		
11	deltCOP	relative Leistungszahlminde- rung infolge Frostverluste		
12	hpmode	Betriebsmodus Wärme- pumpe		
13	switch	Anzahl Wärmepumpenein- schaltungen seit Simulati- onsbeginn		
14	timeint	Verstrichene Zeit seit der letzten Einschaltung und dem jetzigen Einschaltbe- fehl (=0 wenn Wärmepumpe nicht im aktuellen Zeitschritt eingeschalten wurde)		

6.5 Standardschaltung Typ Grundfos (EQUA Schweden)

Simulation of a small central heating system

NBI/21/02/00

Simulation of a small central heating system

Niels Bidstrup
16-02-00

1 Introduction

This note describes a simple modelling and simulation of a small heating installation for a single family house. The simulation is implemented in the SIMULINK model (smallch.mdl). The purpose with this note is to give the reader a quick overview of the principal components in a small heating system and how they interact. The heating component models are simplified models which means the not all nonlinearities and dynamics are described.

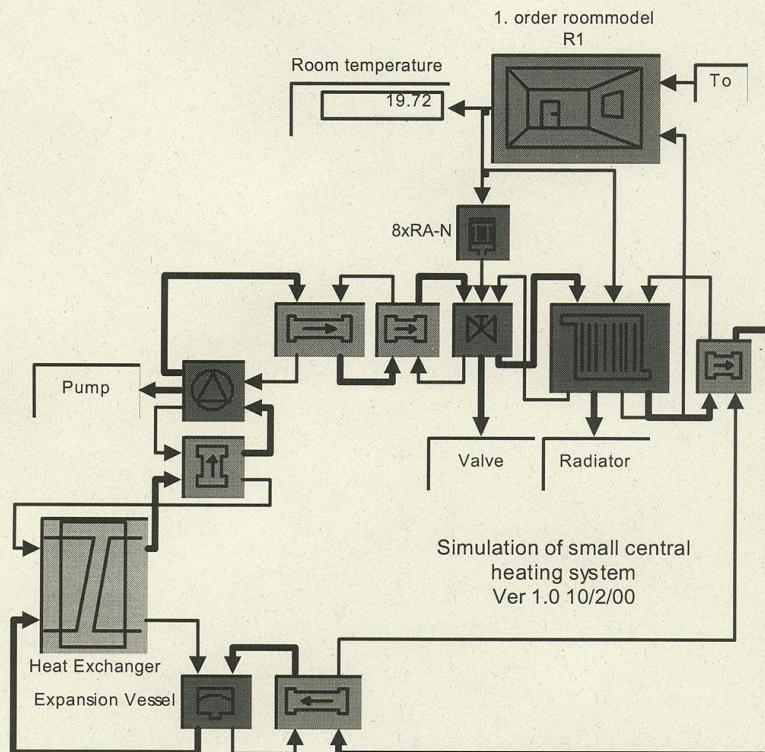


Figure 1. SIMULINK model of district heating system

In this simulation the heat is supplied by a heat exchanger which is modelled ideal as a constant forward flow temperature independent of load. It could also be a boiler. The expansion vessel is also ideally modelled which means that the pressure is fixed to zero and independent of the water temperature.

2 Heating component models

2.1 Circulator pump model

The differential pressure of a circulator pump is dependent of speed and circulator pump flow. A simple model which describes this is

$$H_{pump} = H_{max} \left(\left(\frac{N_{pump}}{N_{max}} \right)^2 - \left(\frac{Q_{pump}}{Q_{max}} \right)^2 \right)$$

Given H_{max} , N_{max} and Q_{max} the pump pressure can be described in all load conditions

2.2 Pipe model

The flow through a pipe can be described as

$$Q_{pipe} = K_{pipe} \sqrt{(H_{pipe_in} - H_{pipe_out})}$$

Given K_{pipe} , the pressure loss can be described at all loads. The heat loss in the pipes is zero.

2.3 Thermostatic valve models

The thermostatic valve consists of two parts. The actual valve and the thermostatic element which adjust the valve position X_v [%] according to room temperature and setting.

$$X_v = 12.5(T_{set} - T_{room}) + 25$$

Notice that at the desired room when $T_{set} = T_{room}$ the valve is only 25 % opened. The reason for this is that the proportional band of the thermostatic valve is 6-8 °C which is not acceptable for room temperature control. Therefore when dimensioning the room control loop the size of the thermostatic valve is chosen such that the valve only operates in the range 0-25% which means that the actual proportional band is reduced to 2 [°C].

The flow through the valve is defined by its K_v value which is a function of the valve position X_v

$$Q_v = K_v(X_v) \sqrt{H_{v_in} - H_{v_out}}$$

For the thermostatic valve in this simulation the Kv value is

K _v	0	0.19	0.35	0.45	0.5	0.65
X _v	0	16.67	33.33	50	66.67	100

2.4 Radiator models

The radiator is modelled as

$$M_w c_{pw} \frac{dT_r}{dt} = (T_f - T_r) Q_{rad} c_{pw} - \Phi_{rad}$$

where

$$\Phi_{rad} = \Phi_{rad}^0 \left(\frac{T_r - T_{room}}{60} \right)^{1.3}$$

M_w is mass of the water in the radiator c_{pw} the specific heat capacity of water Φ_{rad}^0 the nominal power output of the radiator.

2.5 Room model

The room is modelled as

$$C_{room} \frac{dT_{room}}{dt} = \frac{1}{R_{room}} (T_{room} - T_{out}) - \Phi_{rad}$$

By entering heat loss, size and the desired time constant for the room R_{room} Φ_{rad} are calculated.

6.6 DACH-Schaltungen

Bingory 5.2.01



Leistungsgemeinschaft
Wärmepumpe

Wiedner Hauptstraße 63
Postfach 335
A-1045 Wien

Telefon (01) 501 05 - 35 19
Telefax (01) 505 09 28

DVR: 0043265

Standardschaltungen
der österreichischen
Leistungsgemeinschaft Wärmepumpen

VORENTWURF
WÄRMEPUMPEN ANLAGEN-GÜTESIEGEL

Präambel:

Dient zur langfristigen und dauerhaften Qualitätssicherung im Bereich Wärmepumpenheizungen, wobei nicht das einzelne Wärmepumpenfabrikat, sondern das ausführende Unternehmen zertifiziert wird.

Vorteile für Gütesiegelinhaber:

- Zugang zur WP Interessentenbörse der EVU und des Verbandes
- Vertrauensbonus beim Kunden
- Erkennbar als Wärmepumpen-Anlagenpartner
- Mitglied einer internationalen Vereinigung (D-A-CH) zur Qualitätssicherung und Innovation

A) Allgemeines zum Erlangen eines Gütesiegels:

- 1.) Über die Erteilung des GS entscheidet der LGW Vorstand entsprechend der Vorprüfung.
- 2.) Die technische Vorprüfung erfolgt durch eine vom Vorstand der LGW autorisierte Stelle oder Personengruppe.
- 3.) Die Ermittlung der Jahresarbeitszahl erfolgt durch geeignete Wärmemengenmessung (durch EVU, LGW, usw.) und die Abnahme durch eine von der LGW autorisierten Stelle.
- 4.) Über den Zeitpunkt der Messung entscheidet der LGW Vorstand.
- 5.) Die Erteilung des GS setzt die Mitgliedschaft in der LGW voraus.
- 6.) Zur Einreichung sind 3 ausgeführte Wärmepumpenheizungen namentlich zu machen, wovon eine als Meßobjekt durch die LGW ausgesucht wird.
- 7.) Die Meßperiode soll eine Heizperiode betragen, kann aber im Bedarfsfall verkürzt werden.
- 8.) Das Gütesiegel wird auf unbestimmte Zeit verliehen, kann aber über Antrag durch einen Vorstandsbeschluß der LGW entzogen werden.

2)

- 9.) Eine Nachprüfung kann durch die LGW frei festgelegt werden. Das Gütesiegel erlischt bei nachweislich nicht funktionierenden Anlagen, wenn die Verantwortung dafür beim Gütesiegelinhaber liegt.
- 10.) Der Inhaber des Gütesiegels verpflichtet sich zur Einhaltung der im Rahmen der Verwendung des Gütesiegels geltenden Vereinbarungen.
- 11.) Gewährleistungsdauer:
24 Monate nach Inbetriebnahme (lt. Abnahmeprotokoll).
Die eingesetzten Wärmepumpen müssen das Geräte-Gütesiegel besitzen.
Ausnahme:
Sonderfertigungen bei Einhaltung der unter Pkt. B) angeführten Jahresarbeitszahl und der einschlägigen Normen und E-Technik-bestimmungen.
- 12.) Der Gerätehersteller weist nach, daß er über eigene technische Entwicklungskapazitäten verfügt und in der Lage ist, eine ausreichende Ausgangsprüfung der Geräte vorzunehmen.
- 13.) Vorläufiges Erteilen (wenn gut funktionierende Anlagen bereits errichtet wurden)
- 14.) Kosten für die Erteilung des Gütesiegels prüfen

B) Besondere Anforderungen:

- 1.) Die Anlagen sind dem Stand der Technik, d.h. **Niedertemperaturheizung mit Einsatzbereich lt. Diagramm** auszuführen. Es ist jedoch die **höchste AZ** anzustreben.
Als maximale Spreizung im Heizsystem sind 5 K nicht zu überschreiten.
- 2.) **Faires Auftreten** (Versprechungen, Arbeitszahlen, Service, Mitbewerb, Verhältnis zu Behörden, usw.).
- 3.) Die **Installationsfirma** muß nachweislich über einen eigenen oder zuverlässigen **Werkskundendienst** verfügen, welcher innerhalb **24 Stunden** nach Eingang einer Störungsmeldung an der Anlage erscheint, um den Mangel zu beheben. Diese Leistungen können auch von **Vertragsfirmen** übernommen werden.
- 4.) Der **Gütesiegelinhaber** verpflichtet sich, bei nicht funktionierenden Anlagen für die Beseitigung von Mängeln zu sorgen.

3)

C) Jahresarbeitszahlen:

- Folgende Mindest-Jahresarbeitszahlen sind bei der monovalenten Gebäudeheizung zu erreichen:

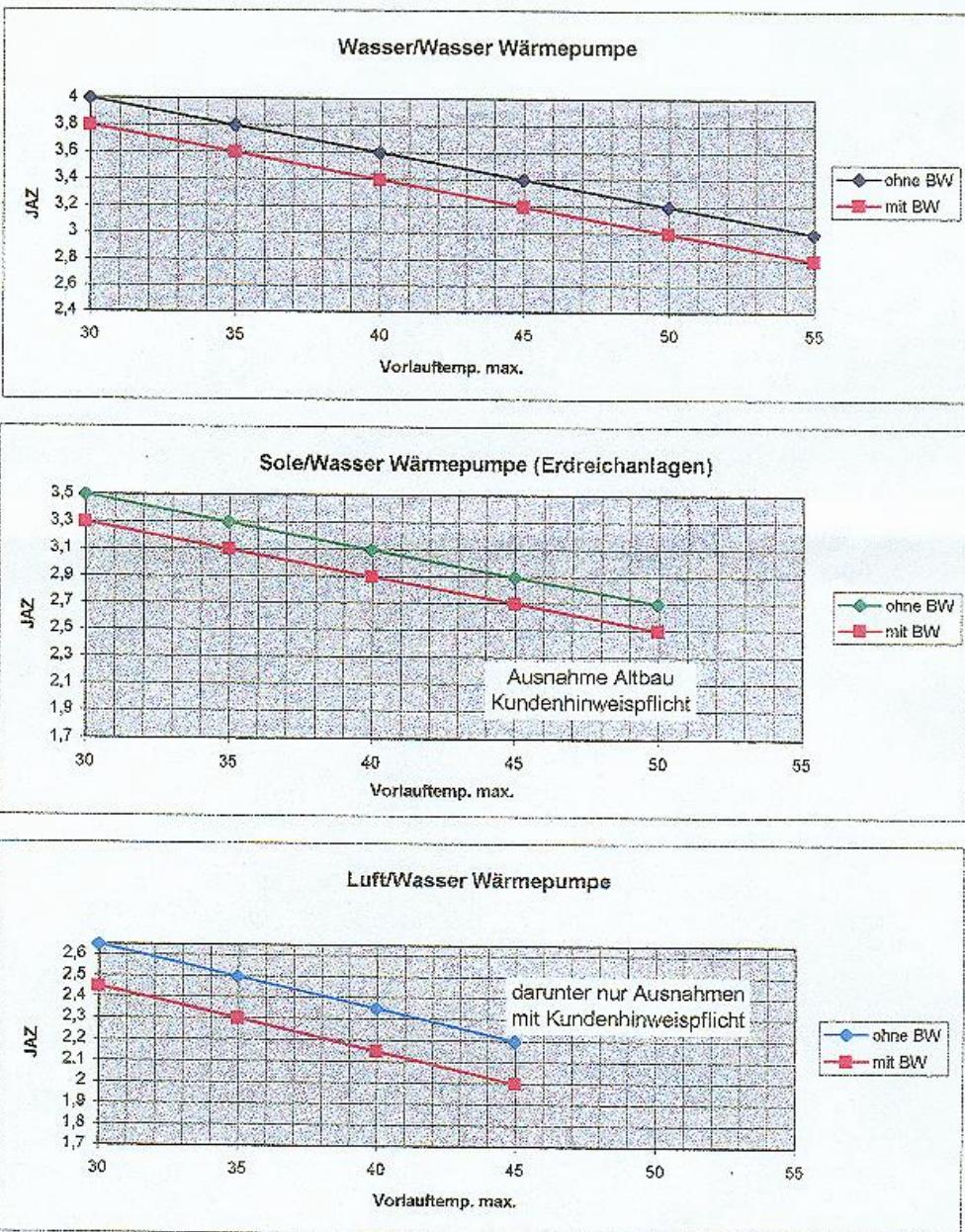
It. Diagramm

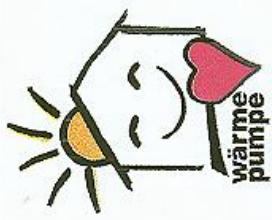
Eine Meßstrecke entsprechend den Normen für eine Wärmemengenmessung ist vorzusehen oder im Bedarfsfall von der Installationsfirma innerhalb von 10 Tagen kostenlos einzubauen.

D) Dokumentation:

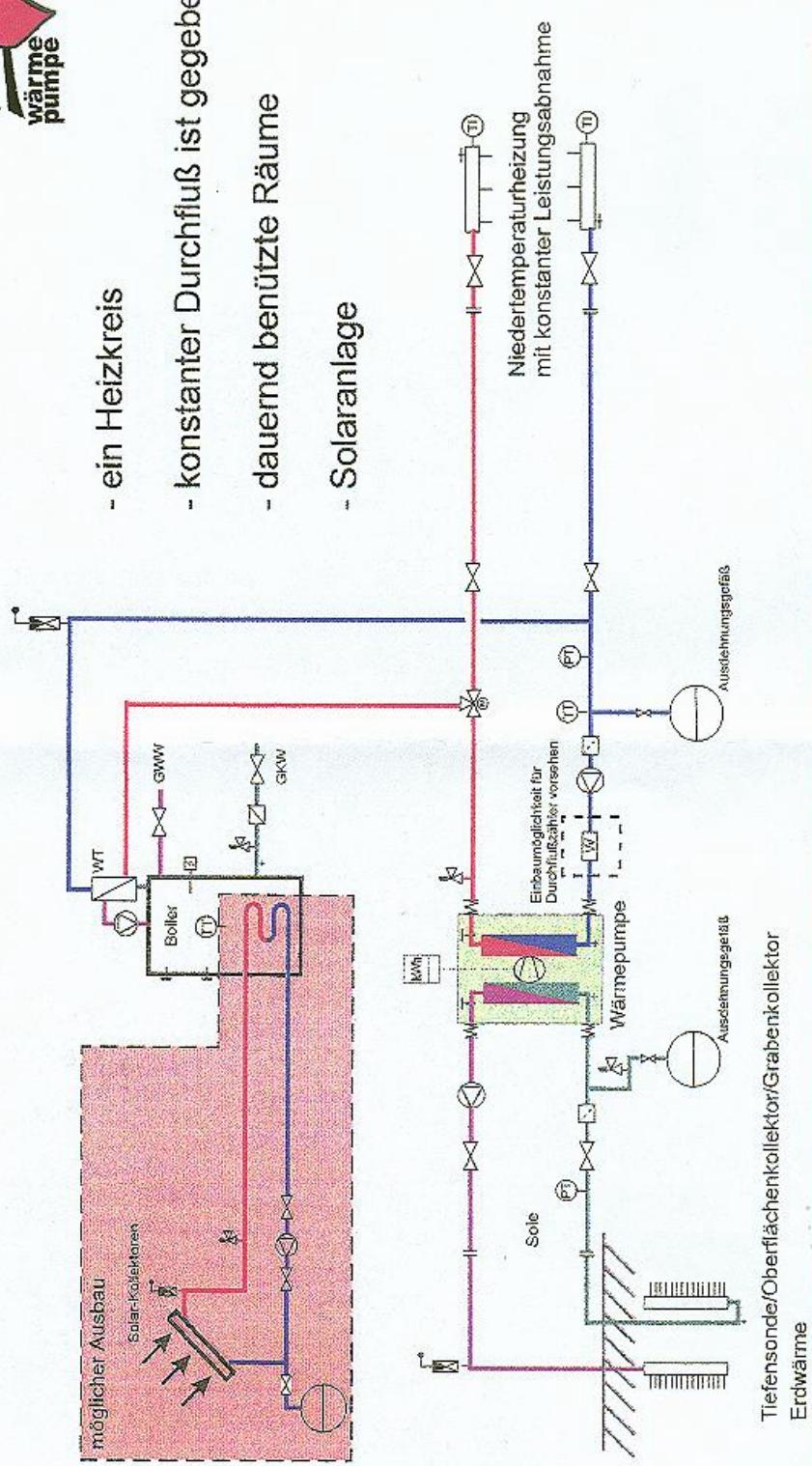
- Gewerbeberechtigung:
- Heizlastberechnung nach Ö-Norm M 7500 oder M 8135
- Projektplan (Hydraulikschema)
- IB-Protokoll (Laufzeit, Gewährleistung)
- Verlegeplan FB oder NT-Heizkörper

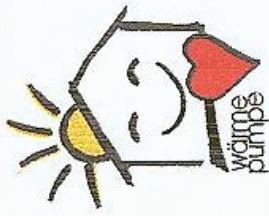
Zu erreichende Mindestjahresarbeitszahlen bei den einzelnen Systemen, abhängig von der jeweiligen Vorlauftemperatur



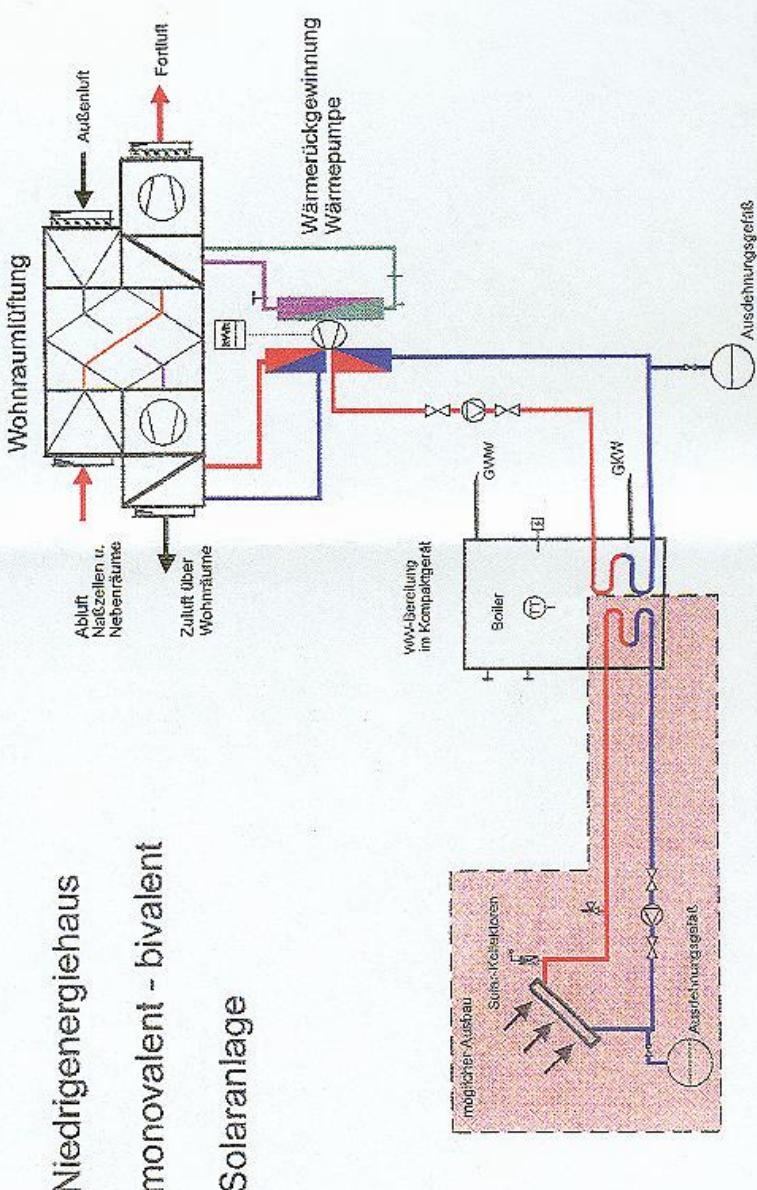


Hydraulikschema Sole Wärmepumpe NT-Heizung mit GWW-Bereitung





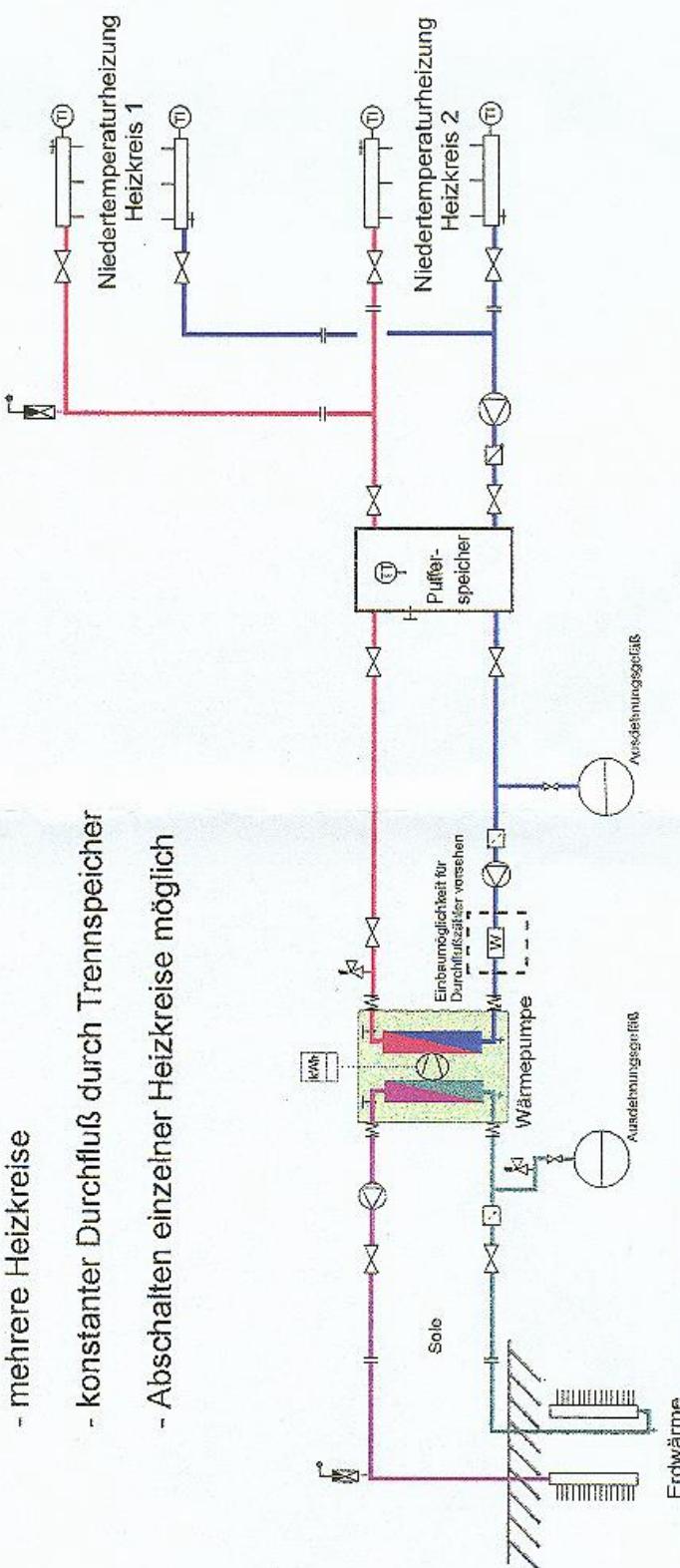
Schema Wohnraum Be- u. Entlüftung mit WRG und GWV-Bereitung



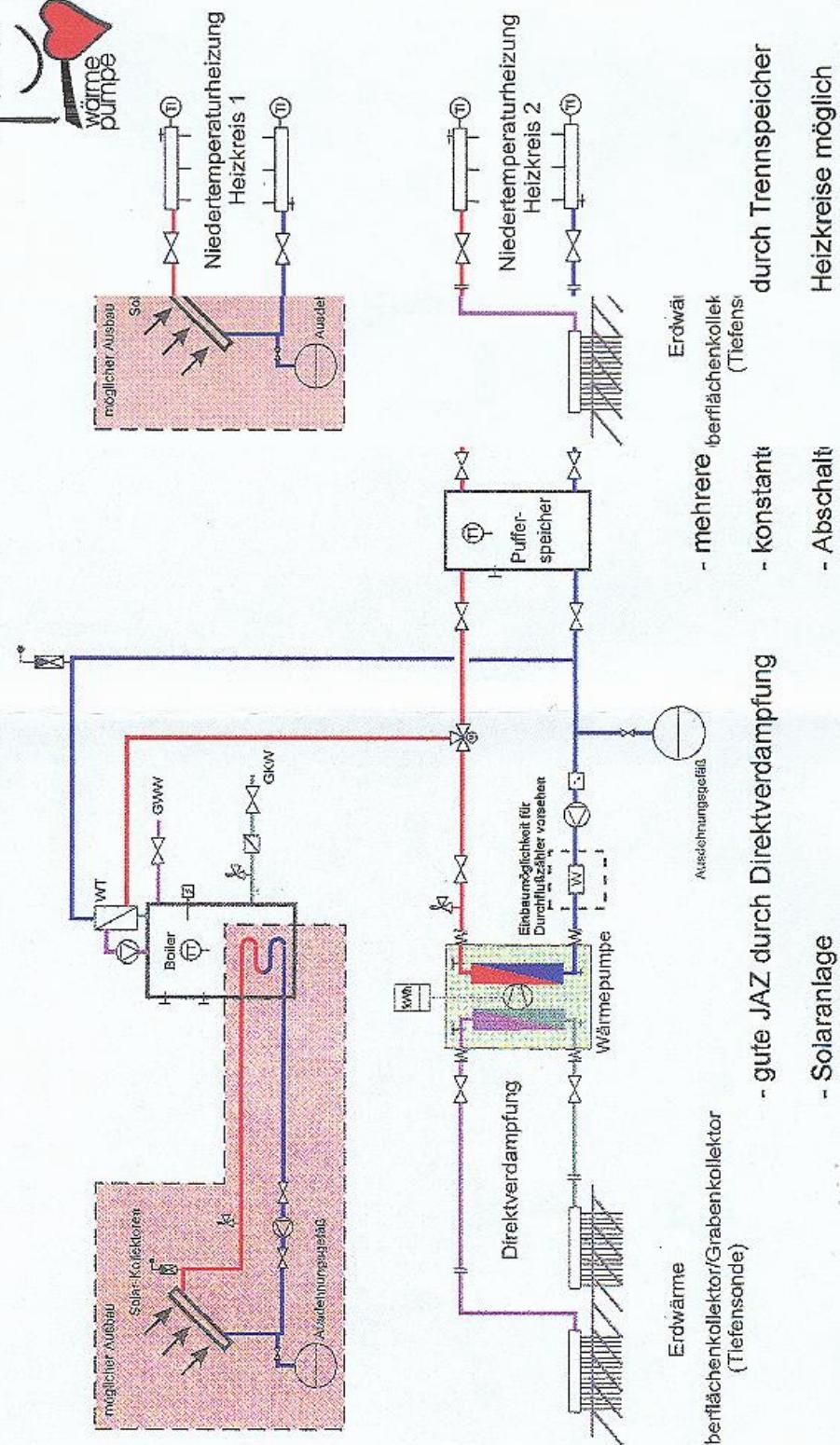


Hydraulikschema Sole Wärmepumpe NT-Heizung mit Trennspeicher

- mehrere Heizkreise
- konstanter Durchfluß durch Trennspeicher
- Abschalten einzelner Heizkreise möglich



Hydraulikschemata Erdreich-Direktverdampfungs NT-Heizung mit GWW-Bereitung und Trennspe



Hydraulikschema Sole Wärmepumpe NT-Heizung mit GWW-Bereitung und Trennspeicher

