

Von Euw | Alimpic | Hildebrand

Gebäudetechnik

Systeme integral planen



Inhalt

1. Integrale Gebäudetechnik	3	5. Warmwasserversorgung	141
1.1 Vorteile der Teamarbeit	3	5.1 Aufbau und Komponenten	141
1.2 Graue Energie	6	5.2 Hydraulische Einbindung von WW-Anlagen	144
1.3 Im Spannungsfeld Gebäudetechnik und Architektur	10	5.3 Wassererwärmung mittels Abwärme	152
1.4 Komfortbedürfnisse, Behaglichkeit	12	5.4 Legionellen	153
1.5 Grundprinzipien der sanften Klimatechnik	17	6. Diverse Gebäudetechnik	157
1.6 Energie und Gebäudetechnik	18	6.1 Versorgung mit elektrischer Energie	157
1.7 Beispielhafte integrale Gebäudetechnik	25	6.2 Aufzüge und Fahrtreppen	161
2. Heizungsanlagen	33	6.3 Geräte und Betriebseinrichtungen	163
2.1 Komponenten einer Heizungsanlage	33	6.4 Sonnenschutz	165
2.2 Hydraulik von Heizungsanlagen	35	6.5 Gebäudeautomation	168
2.3 Wärmepumpen	42	6.6 Messeinrichtungen für Photovoltaikanlagen	172
2.4 Praxisbeispiele zu Wärmepumpen	50	7. Anhang	173
2.5 Feste Brennstoffe	62	7.1 Quellen	173
2.6 Praxisbeispiel zu Holzfeuerung	66	7.2 Weiterführende Infos	174
2.7 Fernwärme	68	7.3 Autorenverzeichnis	175
2.8 Praxisbeispiele Fernwärmenutzung	68	7.4 Schlagwortverzeichnis	176
2.9 Wärmekraftkopplung	71		
2.10 Praxisbeispiele zu Wärmekraftkopplungen (WKK)	72		
2.11 Thermische Solarwärmenutzung	74		
2.12 Praxisbeispiele zur Solarwärmenutzung	80		
2.13 Wärmeverteilung und Wärmeabgabe	87		
3. Klimakälte	89		
3.1 Bedeutung, Begriffe	89		
3.2 Kältemittel	92		
3.3 Kühllasten	97		
3.5 Kälteabgabe im Raum	109		
3.6 Trends in der Kältetechnik	113		
4. Lüfterneuerung	115		
4.1 Typologie der Lüftungsanlagen	115		
4.2 Systemwahl	132		
4.3 Wärmerückgewinnung	133		
4.4 Luftförderung und Luftbehandlung	134		

Impressum

Gebäudetechnik – Systeme integral planen

Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau

Autoren: Reto von Euw, Zoran Alimpic, und Kurt Hildebrand mit Beiträgen von Ruben Lüthy, Heinrich Manz, Jürg Nipkow, Jürg Tödtli und Volker Wouters

Projektleitung: Fachhochschule Nordwestschweiz; Institut für Energie am Bau, MuttENZ; Armin Binz, Achim Geissler, Barbara Zehnder

Lektorat und Seitenherstellung: Faktor Journalisten AG, Zürich; Othmar Humm, Christine Sidler, Sarah Jost

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Grundlage bilden die Zertifikatskurse des Masterstudienganges «Energie und Nachhaltigkeit am Bau» (www.enbau.ch), ein Weiterbildungsangebot von fünf schweizerischen Fachhochschulen. Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE/EnergieSchweiz und die Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

Bezug: Als Download (kostenfrei) unter www.energiewissen.ch oder als Buch beim Faktor Verlag, info@faktor.ch oder www.faktor.ch

Oktober 2012.

ISBN: 978-3-905711-18-9

Integrale Gebäudetechnik

Reto von Euw
Kurt Hildebrand

1.1 Vorteile der Teamarbeit

Die Parameter sind klar zu definieren.

«Bauen» bedeutet eine gestalterisch ansprechende Verbindung von Konstruktion, Material und Gebäudetechnik – eine Aufgabe für ein interdisziplinäres Team. Durch diese Zusammenarbeit wird ein Mehrwert erzeugt. Dieser widerspiegelt sich im Komfort und im Energieverbrauch, aber auch in der Zufriedenheit der Nutzer. Um diese Ziele zu erreichen, muss an einem neuen Verständnis für Planung, Bau und Betrieb von Bauten gearbeitet werden. Die Planenden müssen Aspekte der Architektur, der Raumorganisation und der Gebäudetechnik verbinden und nach aussen kommunizieren; sie müssen den Mut aufbringen, der Bauherrschaft ein Gesamtkonzept zu verkaufen. Dies zwingt die Planenden dazu, sich mit dem «Gebäude als System» auseinanderzusetzen, das Konzept zu verstehen und im Kontext zum Nutzenden bzw. zur Bauherrschaft zu sehen (Abbildung 1). Dabei sollten sie die im Team erarbeiteten Ziel- und Projektdefinition laufend überprüfen und die heute möglichen dynamischen Planungsinstrumente wie Simulationen, Regel- und Führungshilfen der Gebäudeautomation angemessen einsetzen.

Angemessene Lösungen. Die heutige Technik im Bauwesen erlaubt uns, komplexe Aufgaben zu lösen – nicht nur komplex im Sinne von viel eingesetzter Technik, sondern angemessene Lösungen mit angemessener Technik. Wir streben nach wie vor kompakte Gebäude an unter Berücksichtigung der Tageslichtnutzung, der Fassadenorientierung, des Glasanteiles, der Speichermasse, der Luftdichtheit, des Schallschutzes, der Sicherheit und nicht zuletzt der Gestaltung und der sozialen Verträglichkeit. Dies bedingt eine stetige Iteration der einzelnen Planungsschritte des Planungsteams unter Berücksichtigung der Wünsche der Bauherrschaft.

Ein interdisziplinäres Team muss sich um die Gesamtheit eines Bauwerkes kümmern. Bauherrschaft, Architekt, Kostenplaner, Tragwerk- und Bauingenieur sowie die Gebäudetechnikplaner müssen in einem partnerschaftlichen Zusammenwirken die Nutzungsvereinbarungen, Ziel- und Projektdefinition im Hochbau treffen. In jeder Projektphase muss die Möglichkeit bestehen, dies zu hinterfragen, zu optimieren und dafür Verantwortung zu übernehmen.

Die modulare Darstellung der Gebäudetechnik, kurz «Modula GT», zeigt die Zusammenhänge der Gebäudetechnik aller Gewerke. Die Idee ist, dass ein interdisziplinäres Team eine gemeinsame Terminologie nutzt und dadurch zu einem besseren gegenseitigen Verständnis gelangt. Die Methode enthält jedoch keine Anforderungen an gebäudetechnische Systeme. Das Instrument Modula GT kann für bestehende Bauten wie für Neubauten angewendet werden. Dieses Instrument wird mit der Norm SIA 410 (Vernehmlassung) beschrieben.

Neubauten:

- Konzept- und Variantenstudien
- Machbarkeitsprüfungen, Systemwahl
- Vorprojekt bis Realisation

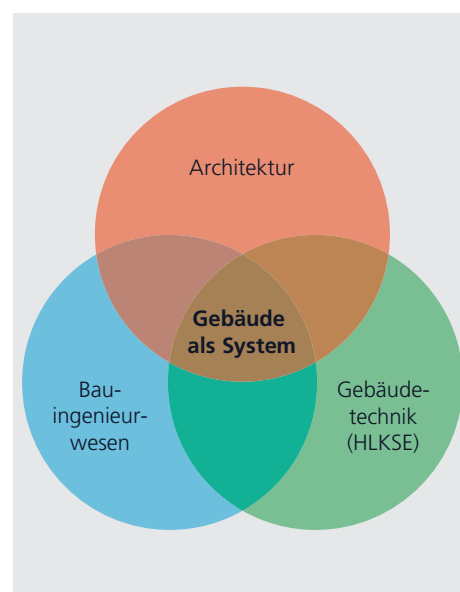


Abbildung 1:
Das Gebäude als System.

Sanierungen respektive Betriebsoptimierungen:

- Analyse der bestehenden Systeme
- Erfassen bestehender Teilsysteme
- Erfassung der «Hardware» (Installationen)
- Darstellung der «Software» (Gebäudeautomation)

Anlagen der klassischen Haustechnik – Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Sanieranlagen, Elektroversorgung und Gebäudeautomation – werden in zunehmendem Masse miteinander vernetzt. Deshalb ist ein gesamtheitliches Verständnis dieser Disziplinen H–L–K–S–E–GA sehr wichtig – als einzelne Funktionen wie auch als gebäudetechnisches Gesamtsystem.

Für den Planer schwinden die Unterschiede zwischen Neubauten und Sanierungen. In beiden Fällen gelten dieselben Regeln der integralen Planung. Bei hochwertigen

Bürobauten wird bei der Umbau- und Anpassungsflexibilität erwartet, dass die Hohlräume unter den Fussböden oder in den Decken für gebäudetechnische Installationen Anpassungen erlauben. Ausschlaggebend für die Planung sind vor allem die Nutzungsformen sowie die Verfügbarkeit von Energieressourcen am Standort des Gebäudes. Anzustreben sind nach wie vor kompakte Gebäude, unter Berücksichtigung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft.

Gebäudeorientierung

Das Angebot an Solarstrahlung ist je nach Tageszeit, Standort, Wetterlage und Ausrichtung der Fläche stark unterschiedlich. Zudem kann die Nutzung von Sonnenenergie durch Verschattung beeinträchtigt sein. Es ist ein Optimum zwischen der Wärmenutzung und Schutz vor Überhitzung anzustreben. In Abbildung 2 ist dar-

Tabelle 1:
Zuordnung der gebäudetechnischen Teilsysteme zu den Hauptbegriffen.

Teilsysteme	Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe
Systeme					
Heizungsanlagen	Energiezufuhr	Wärmeerzeugung	Wärmespeicherung	Wärmeverteilung	Wärmeabgabe
Lüftungs- und Klimaanlage	Aussenluft-/ Fortluftführung	Luftaufbereitung	Luftwärmespeicherung	Luftverteilung	Luftabgabe
Kälteanlagen	Energiezufuhr Wärmesenke	Kälteerzeugung Rückkühlung	Kältespeicherung	Kälteverteilung	Kälteabgabe
Sanitäranlagen					
Wasserversorgungsanlage	Wasserquelle	Wasserbehandlung	Wasserspeicherung	Wasserverteilung	Entnahmestelle
Wasserentsorgungsanlage	Abwasser	Abscheideanlage	Abwasserspeicherung	Abwasserleitung	Entwässerungsgegenstand
Gasversorgungsanlage	Gasquelle	Gasbehandlung	Gasspeicher	Gasverteilung	Gasverbrauchsapparat
Druckluft- und Vakuumanlage	Aussenluft	Kompressor/ Luftbehandlung	Druckluft-/ Vakuumbehälter	Luftverteilung	Druckluft-/ Vakuumverbraucher
Elektro- und Kommunikationsanlagen					
Elektroanlage	Starkstrom- anschlussleitung	Starkstrom- erzeugung	Energiespeicher	Installationen (Stark- bzw. Schwachstrom)	Verbraucher
Kommunikationsanlage	Kommunikations- einspeisung	Datenquelle	Datenspeicher	Daten- und Kommunikations- installation	Daten- und Kommunikations- verbraucher

Gebäudeautomationssysteme	Feldebene	Automationsebene	Managementebene
----------------------------------	-----------	------------------	-----------------

gestellt, wie die Verschattung eines Geländes auf einem Papier sich darstellt. Horizontaufnahmen mit Panoramabildern können heute auch digital erfasst (z. B. www.energieburo.ch/fr_produkte.htm) und elektronisch ausgewertet werden.

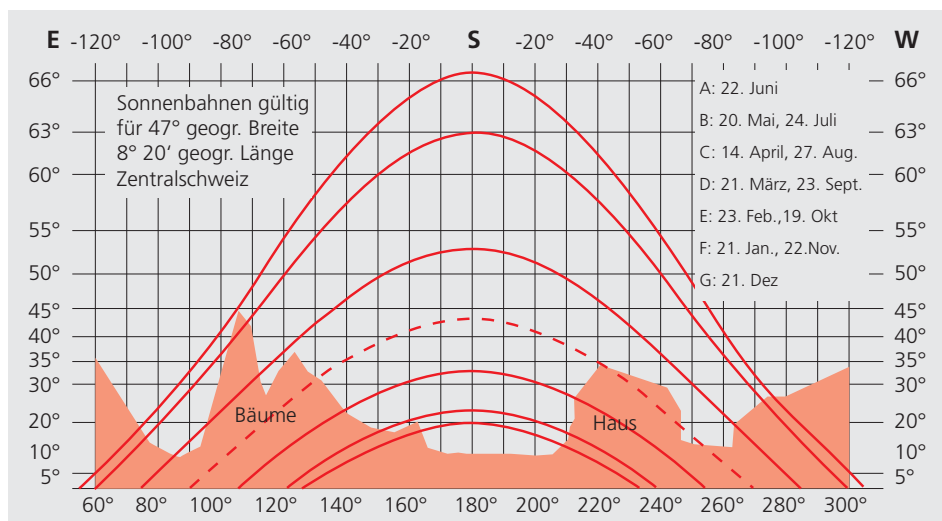


Abbildung 2:
Beispiel eines
Sonnenstands-
diagrammes mit
eingezeichneter
Horizontaufnahme.

Tageslichtnutzung	Tageslichtnutzung versus Kompaktheit, d.h. Raumtiefen bis 6 m (Fenster: Lichttransmission)
Fassadenorientierung	Passive Sonnenenergienutzung mitberücksichtigen. Orientierung nach Nutzung (z. B. Wohnen Südwest-Nordost, Büro Süden-Norden)
Angemessene Glasanteile, optimierte Glasanteile pro Fassade	Reine Glasfassaden sind nicht behaglich – zu grosser Strahlungsaustausch, negativer Einfluss der Oberflächentemperaturen, etc.
Speichermasse	Selbstregeleffekte, dämpfende Wirkung von Wärme- und Kälteeinflüssen (von innen und aussen)
Luftdichtheit	Verhindern von ungewolltem Luftaustausch und damit unkontrolliertem Energiefluss
Schallschutz	Schallimmissionen gezielt beschränken
Wärmeschutz	Ziel: hoher Komfort und eine optimale Energiebilanz
Materialwahl	Berücksichtigung von grauer Energie und gesundheits-schädlichen Einflüssen, Schonung von Ressourcen
Dämmperimeter	Dämmperimeter möglichst einfach definieren, unter Minimierung von Wärmebrücken
Bilanz von Energieflüssen	Leistungs- und Energieaufwand ist möglichst mit dynamischen Rechenmodellen zu berechnen und zu optimieren.
Sicherheit	Betriebliche Sicherheit, Unfallsicherheit, Brandschutz, etc.
Soziale Verträglichkeit	Für Menschen gebaut, schön und richtig, in der Funktionalität überzeugend

Tabelle 2: Abhängigkeiten zwischen Architektur und Gebäudetechnik.

1.2 Graue Energie

Form, Hülle und Tragstruktur sind für die Massenbilanz sowie die graue Energie eines Gebäudes bestimmend. Überaus relevant für die Primärenergiebilanz sind aber auch die gebäudetechnischen Anlagen. Die berechneten Resultate zweier verschiedener Gebäudetypen mit unterschiedlichem Technisierungsgrad zeigen dabei konstant hohe Anteile: Beim Neubau Bettenhaus Stadtspital Triemli liegt der Anteil der Haustechnik am Gesamtbetrag der grauen Energie bei knapp einem Viertel. Und für die Wohnsiedlung «Sihlbögen» der Baugenossenschaft Zurlinden beträgt der Anteil der Haustechnik ähnlich hohe 23 % (Abbildung 3 und Tabelle 4). Darin schlägt sich die kurze Lebensdauer der Anlagen nieder. Die meisten technischen Systeme müssen während eines Gebäudelebenszyklus von rund 60 Jahren mindestens einmal ersetzt werden. Die ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen zeigt weitere energetisch relevante Aspekte von Haustechnikanlagen.

Lüftungsanlagen

Untersucht wurden Wohnungslüftungsanlagen in einem Dutzend Mehr- respektive Einfamilienhäusern. Bei Letzteren liegt der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf bezogen auf einen m^2 EBF jeweils bei rund 200 MJ/m^2 EBF. Die Kanalsysteme bergen jeweils den Hauptanteil der grauen Energie. Besonders zu Buche schlagen Rohre aus verzinktem Stahl gegenüber den PE-Kanälen mit geringerem Anteil an grauer Energie. Zentrale Anlagen schneiden – trotz längeren Verteilwegen – günstiger ab als dezentral installierte Lüftungsanlagen. Erdregister verursachen, insbesondere wenn mit Beton anstelle von PE oder PVC konstruiert, einen relevanten Primärenergiebedarf. Der Primärenergiebedarf von Abluftanlagen beträgt aufgrund des geringeren technischen Aufwands deutlich weniger als die Hälfte als bei einer einfachen Wohnungslüftung. Bemerkenswert zudem: Wird die Küchenabluft ausschliesslich in vertikalen (möglichst wenigen hori-

zontalen) Steigzonen organisiert, verringert sich der Anteil der grauen Energie.

Ausserdem: Lüftungsanlagen in Bürogebäuden setzen höhere Luftvolumenströme um, weshalb die Aggregate mehr Masse und einen im Vergleich zu Wohnungslüftungsanlagen höheren Primärenergiebedarf (pro m^2 EBF) aufweisen.

Heizung

Wärmeverteilung und Abgabesystem tragen hauptsächlich zum Anteil der grauen Energie eines Heizsystems bei. In einer Fallstudie sind neun reale Beispiele bilanziert: Der Primärenergiebedarf von Heizungsanlagen ist demjenigen von Lüftungsinstallationen in etwa gleichzusetzen. Wird der flächenbezogene Primärenergiebedarf des Wärmeabgabesystems berechnet, zeigt sich der Einfluss des spezifischen Leistungsbedarfs. Eine Gegenüberstellung von Heizkörper versus Bodenheizung ist anhand pauschaler Werte aber nicht sinnvoll. Bei Feuerungsanlagen macht die Peripherie den Unterschied aus: Für die Ölheizung ist der Tank zusätzlich zu bilanzieren, bei den Holzfeuerungen ist es der häufig bereitgestellte Energiespeicher und bei der Wärmepumpe ist insbesondere das Abtiefen der Erdsonde von hoher Relevanz. Im weiteren ist die Primärenergiebilanz von Heizungsanlagen ebenfalls abhängig vom spezifischen Leistungsbedarf.

Elektroanlagen

Kunststoffe und Kupfer prägen die Material- und Energiebilanz von hausinternen Elektroanlagen. Die Verkabelung und die Beleuchtung tragen daher – je nach Ausrüstungsstandard – zu einem hohen flächenspezifischen Primärenergiebedarf bei. In Bürogebäuden mit vielen Steckdosen und Datenkabelanschlüssen ist der Installationsgrad hoch. Im hochtechnisierten «Triemli» liegt der Graue-Energie-Anteil der Elektroanlagen bei über 10 % des gesamten Gebäudes (berechnet auf ein Jahr).

Sanitäranlagen

Zum Grundinventar der sanitären Anlagen gehören neben den Wasserleitungen der

Warmwasserboiler und Badezimmerapparaturen. Die Zahl der Steigzonen und der Ausrüstungsstandard bestimmen den Primärenergiebedarf; bei Wohnhäusern liegt er typischerweise etwas höher als bei Bürogebäuden. Bezogen auf die Energiebezugsfläche liegt die Graue Energie von Sanitäranlagen in einem vergleichbar relevanten Bereich wie Heizsysteme oder Lüftungsanlagen.

Solaranlagen

Die energetische Amortisation ist bei Solarthermie- und Photovoltaikanlagen von grossem Interesse: Flachkollektoranlagen liefern spätestens nach 2½ Jahren «positive» Wärmeenergie. Zwischen ein bis drei Jahren müssen photovoltaische Zellen (je nach Wirkungsgrad) in Betrieb sein, um den Primärenergiebedarf abzuzahlen. Der

Primärenergiebedarf ist bei der Installation einer solarthermischen Anlage (Warmwasserspeicher, Leitungen, Dämmungen und Pumpen mitgerechnet) relevant und liegt bei maximal 100 MJ/m² EBF. Beeinflusst wird die Primärenergiebilanz von solarthermischen Anlagen insbesondere vom Einsatzzweck. Anlagen, welche nur für Warmwassererzeugung eingesetzt werden, kommen günstiger weg als bei der Kombination mit Heizungsunterstützung. Hierzu ist ein Wärmespeicher erforderlich, was mehr Masse und mehr graue Energie erfordert.

Haustechnik: Graue Energie		
Anlagen		Primärenergiebedarf * (in MJ pro m ² EBF)
Lüftung (für Wohnraumlüftung)	Merkmale	
	Stahlzinkkanal	210
	PE-Kanäle	131
	Erdregister	60
Heizung (Erdwärmepumpe)	Leistungsbedarf	
	10 W/m ²	70
	30 W/m ²	210
	50 W/m ²	340
Heizung (Heizöl, Erdgas, Holz)	Leistungsbedarf	
	10 W/m ²	10
	30 W/m ²	30
	50 W/m ²	40
Elektro	Installationsgrad	
	gering	150
	mittel	250
	hoch	500
Sanitär	Typologie	
	Bürogebäude	160
	Wohnbaute	230
Solarthermie (nur Warmwassererzeugung)	Typologie	
	Einfamilienhaus	112
	Mehrfamilienhaus	67
* Durchschnittswerte gemäss SIA 2032; Quelle: Basler & Hofmann, 2008		

Tabelle 3: Richtwerte für den Primärenergieaufwand zur Erstellung von haustechnischen Installationen.

Beispiel Sihlbogen

Das Gebäude weist sieben Wohngeschosse und ein Untergeschoss auf. Es hat eine einfache, kubische Form, mit einer separaten, vorangestellten Balkonschicht. Fünf innenliegende Treppenhäuser erschliessen pro Geschoss je zwei Wohnungen. Ein einfaches Tragsystem ermöglicht eine hohe Flexibilität. Die Nasszonenbereiche sind konzentriert in einer Mittelzone angeordnet. Konstruktiv gesehen handelt es sich um eine Mischbauweise aus massiven Decken und Innenwänden, sowie einer tragenden und dämmenden Leichtkonstruktion in Holz bei den Fassaden, mit einer hinterlüfteten Bekleidung.

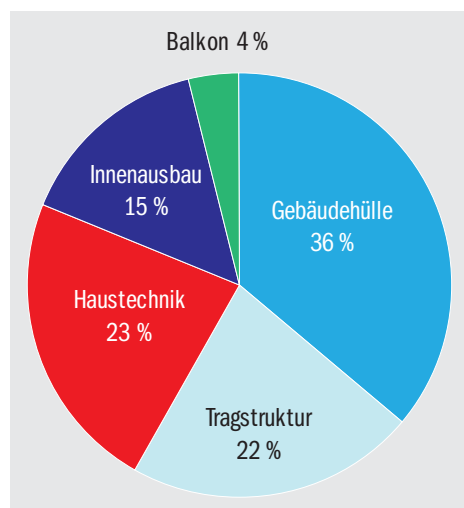


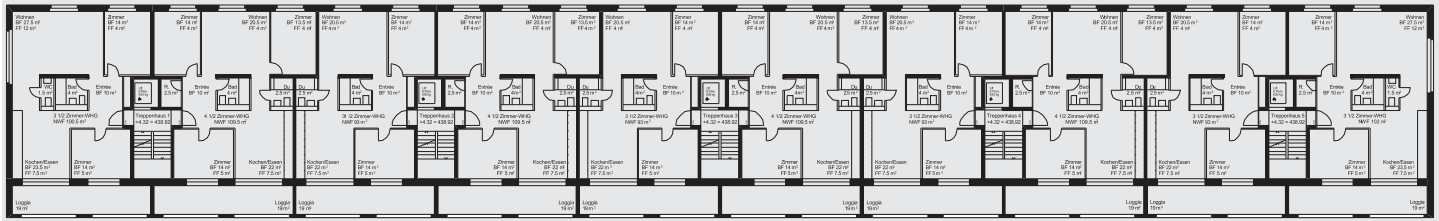
Abbildung 3: Anteile der Gewerke an der gesamten grauen Energie (Beispiel Sihlbogen in Zürich-Leimbach).

Bauteile, Gewerke	MJ pro m ² EBF und Jahr	MJ pro m ² GF und Jahr	Anteil
Haustechnik (inkl. Elektro, Heizung, Lüftung, Sanitär)	23,46	20,47	23 %
Tragkonstruktion (inkl. Innenwand, Stützen, Decke)	22,44	19,58	22 %
Innenausbau (inkl. Trennwände, Bodenbeläge, Wand-, Deckenbekleidung)	15,3	13,35	15 %
Gebäudehülle, inkl.	36,6	30,8	36 %
Fenster, Türen	12,24	10,68	12 %
Aussenwand über Terrain (inkl. Bekleidung)	11,22	9,79	11 %
Dach (inkl. Dachhaut)	6,12	5,34	6 %
Aushub, Fundament	5,1	4,45	5 %
Aussenwand unter Terrain (inkl. Bekleidung)	2,04	1,78	2 %
Balkone	4,08	3,56	4 %
Total	102	89	100 %

Tabelle 4: Beispiel Sihlbogen. Primärenergiebilanz der einzelnen Bauteile und Gewerke

EBF: Energiebezugsfläche

GF: Geschossfläche



Objektdaten	
Standort	Zürich-Leimbach
Gebäudetyp	7-geschossiger Wohn- und Gewerbebau
Baujahr	2012
Gesamtbaukosten (BKP 2)	ca. 90 Mio. Franken
Geschossfläche	9860 m ²
Aussengeschossfläche Balkone	1326 m ²
Energiebezugsfläche	8583 m ²
Gebäudehüllfläche	8149 m ²
Gebäudehüllzahl	0,95
Heizwärmebedarf Q _h	56 MJ/m ² a
Graue Energie für Erstellung	3590 MJ/m ² EBF
Graue Energie für Entsorgung	627 MJ/m ² EBF
Graue Energie total pro Jahr	102 MJ/m ² a

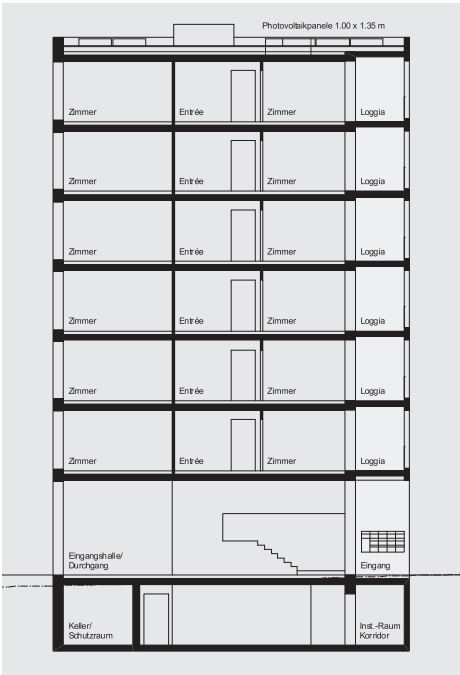


Abbildung 4: Die Siedlung Sihlbogen in Zürich-Leimbach: Rendering, Grundriss Obergeschoss und Schnitt.

Tabelle 5: Objektdaten Sihlbogen (Quellen: Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 302, Schlussbericht; Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, 2008).

1.3 Im Spannungsfeld Gebäudetechnik und Architektur

Schachtkonzept, Situierung der Zentralen, Installationsebenen und Installationszonen

Systemtrennung – primäre, sekundäre und tertiäre Systeme: Aufgrund der unterschiedlichen Lebenszyklen der Bauteilsysteme und deren Bewirtschaftung wird wieder vermehrt auf die Zugänglichkeit zu Leitungen, Kanalsystemen, etc. geachtet. Integrale Gebäudetechnik bedeutet auch, auf Unterschiede in der Nutzungsdauer zu achten.

Das Primärsystem ist eine langfristige Investition (Nutzungsdauer 50 bis 100 Jahre) und versteht sich als weitgehend unveränderbarer Rahmen für das Sekundärsystem. Es umfasst im Wesentlichen:

- Tragkonstruktion (horizontales und vertikales Raster)
- Gebäudehülle (Fassade und Dach)
- Äussere Erschliessung (Arealerschliessung)
- Innere Erschliessung (Haupterschliessung horizontal und vertikal)
- Grundstruktur der Gebäudetechnik (Konzept der technischen Erschliessung horizontal und vertikal, Standort der Technikräume)

Das Sekundärsystem stellt eine mittelfristige Investition dar (Nutzungsdauer 15 bis 50 Jahre) und sollte über einen hohen Variabilitätsgrad verfügen. Es ist anpass-

bar und enthält in erster Linie die Elemente:

- Innenausbau (Wände, Böden, Decken)
- Gebäudetechnische Installationen

Das Tertiärsystem ist eine mittel- bis kurzfristige Investition (Nutzungsdauer 5 bis 15 Jahre) und ohne grössere bauliche Massnahmen veränderbar. Zu diesem System zählen vor allem:

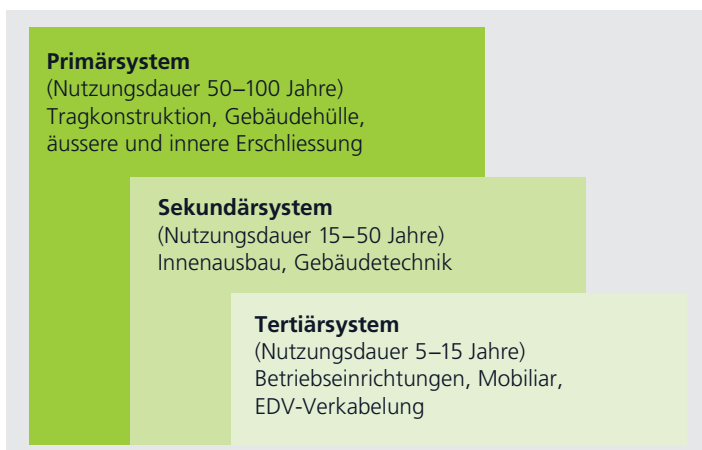
- Einrichtung und das Mobiliar
- Apparate (inklusive derer Anschlüsse an das Sekundärsystem)
- EDV-Verkabelung

Die Gebäudetechnik – ein Teil des Sekundärsystems

- Heizungsanlagen
- Lüftungs- und Klimaanlage
- Kälteanlagen
- Sanitäranlagen (Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen)
- Beleuchtungsanlagen
- Anlagen zur Elektroversorgung
- Kommunikationsanlagen
- Gebäudeautomationsanlagen
- Transportanlagen
- Sicherheitsanlagen, z. B. Brandschutzanlagen
- Sonnenschutzsysteme

Wird eine Differenzierung der Systeme nach ihrer Nutzungsdauer eingefordert, so ist dies im Planungsprozess rechtzeitig zu berücksichtigen. Die Disposition der Zentralen steht an erster Stelle, denn Zentralen und Dezentralen wie auch Mischformen haben erheblichen Einfluss auf die Schachtdispositionen und auf die Komponentenqualität (Apparate und Geräte). Lage, Grösse und Zugänglichkeit von Zentralen sind ein wichtiges Element der integralen Planung. Dies gilt insbesondere hinsichtlich des Energieverbrauches, der Instandhaltung und der Wartung, des Messkonzeptes und der Sicherheit (z. B. Brandschutz). Sowohl die Grösse als auch die Geometrie des Raumes müssen Anpassungen an den Installationen sowie Ergänzungen ermöglichen. Die Zugänglichkeit, auch für grössere Komponenten, muss gewährleistet sein. Die Berücksichtigung

Abbildung 5:
System-
differenzierung
nach der
Nutzungsdauer.



dieser Aspekte in einer frühen Planungsphase ist von eminenter Bedeutung. Eine Ausnahme bilden Tabs (thermoaktive Bauteilsysteme), die im Konstruktionsbeton eingelassen sind. Risikoanalysen haben jedoch gezeigt, dass die Nutzungsdauer solcher Systeme, sofern sie nicht beim Einbringen mechanisch verletzt werden, länger als 50 Jahre beträgt.

Der SIA hat in den Normen SIA 382/1 und SIA 384/1 Diagramme publiziert, die zur Dimensionierung von gebäudetechnischen Infrastrukturen dienen, z.B. Querschnitte von Installationsschächten, Grösse der Zentralen, Dimensionierung von Brennstofflagern. Die Infrastruktur der Gebäudetechnik kann zwischen 10 % und 30 % der Gebäudefläche einnehmen. Damit wird sie für den architektonischen Entwurf relevant.

Flexibilität bedeutet auch Offenheit des Gebäudes für zukünftige Nutzungsänderungen. Gebäude werden oft nur für eine geplante Nutzung konzipiert. Dies führt bei Umnutzungen zu grossen Aufwendungen, da die Gebäudestruktur stark auf die Erstnutzung ausgerichtet ist. Bei Neubauten und Erneuerungen muss durch die Bauherrschaft der Spielraum für modifizierte Nutzungen definiert werden. Die Qualität der Primärstruktur wird durch die langfristig zweckmässige Dimensionierung der Grundgrössen, welche für Nut-

zungsentwicklungen und Umnutzungen entscheidend sind (z.B. Raumhöhe, Nutzlasten, installationstechnisches und logistisches Erschliessungspotenzial) massgeblich bestimmt. Durch die Systemtrennung erhalten Gebäude einen Mehrwert für die Zukunft. Der Mehraufwand für das Primärsystem wird durch die reduzierten Folgeaufwendungen und die vorteilhafte Nutzungsflexibilität kompensiert. In grösseren Einheiten, z.B. in einem Masterplan eines Areals, soll für Umnutzungen und Sanierungen eine Rochade möglich sein. Das heisst, ein Gebäude oder eine Einheit muss aufgrund der Flexibilität eine temporär auszulagernde Abteilung oder eine Einheit aufnehmen können.

Die Grundversorgung eines Gebäudes wie auch die dazu supplementären Installationen, zum Beispiel ein Mieterausbau, sollten spätere Änderungen und Ergänzungen zulassen. Entsprechend flexibel sind die Konzepte zu gestalten.

Unter Beachtung der oben dargestellten Rahmenbedingungen und energetisch sinnvollen Ausstattung mit energieeffizienten Geräten wird das Gebäude «fehler-tolerant». Das heisst, Störeinflüsse werden grundsätzlich in ihrer Wirkung gedämpft wahrgenommen, entsprechend kann die Gebäudetechnik massvoll und optimiert darauf reagieren – wenn überhaupt notwendig.

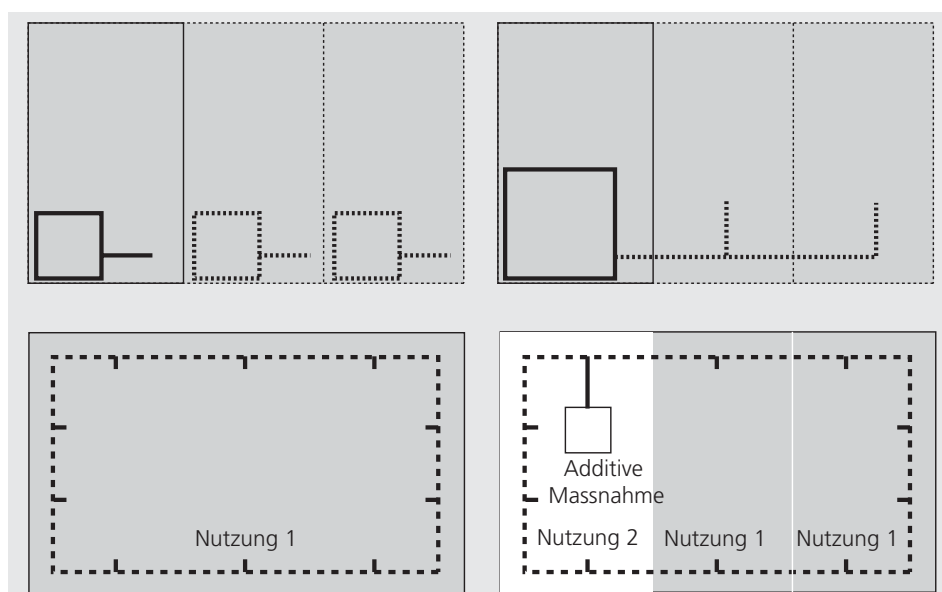


Abbildung 6:
Zur Typologie der
Flexibilität in einem
Hochbau (HSLU).

1.4 Komfortbedürfnisse, Behaglichkeit

Die Verantwortung für ein gutes Innenraumklima und für einen energie- und kostensparenden Betrieb kehrt wieder ins Tätigkeitsfeld der Architekten zurück. Das Planungsteam muss die Gebäude so planen, dass sie mit nur wenigen angemessenen mechanischen Hilfsmitteln einen optimalen Komfort sicherstellen. Abhängig vom Verwendungszweck stellen sich die Anforderungen an die Komfortbedürfnisse. In einem Kunstmuseum hat die Konstanz der relativen Raumluftfeuchte und deren absoluten Betrag erste Priorität. In einem Bürobau spielt der Einfluss des thermischen Komforts auf die kreative Leistungsfähigkeit eine bedeutende Rolle. Im Wohnungsbau muss individuellen Lebensgewohnheiten mehr Rechnung getragen werden als beispielsweise im Schulhausbau. Selbstverständlich werden die Architekten zur Lösung der Aufgaben auf Spezialisten für bauphysikalische, raumakustische und raumklimatechnische Fragen zurückgreifen. Entscheidend ist aber die Gesamtverantwortung des Architekten, denn die Sicherstellung des Komforts soll hauptsächlich mit baulichen Massnahmen garantiert werden.

Bezüglich Komfortanforderungen unterscheiden sich Wohn- und Büroräume kaum noch. Die Aktivitätsgrade sind einander ähnlich und die Bekleidung kann individuell leicht angepasst werden.

Da heute das Rauchen in den meisten Gebäuden und Büroanlagen untersagt ist, richten sich die Aussenluftraten nach den Nichtrauchern. In Räumen, in denen das Rauchen erlaubt ist, hat sich die notwendige Luftrate an den Rauchern zu orientieren.

Zur Physiologie des Wärmeempfindens

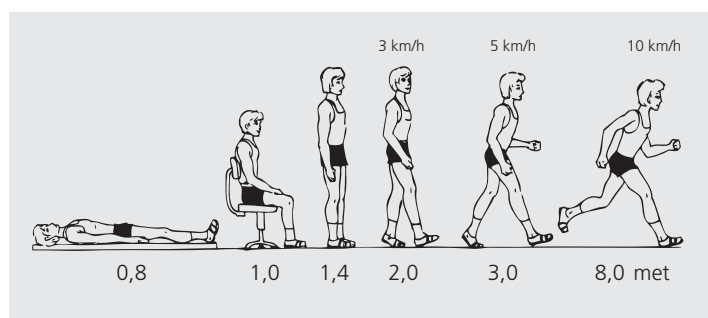
Menschen verfügen über ein äusserst flexibles Thermo-Kontrollsystem, das ihre Kerntemperatur durch die Balance zwischen der chemischen Wärmeerzeugung ihres Metabolismus und der Kühlung durch Abstrahlung an Umgebungsflächen, durch Konvektion an die Umgebungsluft und durch Wasserverdunstung in engen

Masse	60 kg bis 90 kg
Körpervolumen	0,075 m ³
Puls	60/min bis 80/min
Atemzüge	16/min
Atemluftmenge	0,5 m ³ /h
CO ₂ -Ausatmung (ruhend)	18 l/h bis 20 l/h
Körpertemperatur	37 °C
mittlere Hauttemperatur	32 °C bis 33 °C
Grundwärmumsatz	70 W bis 80 W
Dauerleistung	85 W
Verdunstungsrate	40 g/h bis 50 g/h

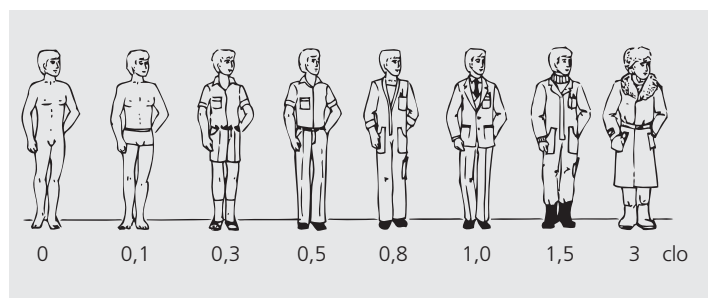
Tabelle 6: Biophysikalische Daten des Menschen.

Parameter	Empfindlichkeitsschwelle	Beurteilung
Raumlufttemperatur	± 0.5 °C	sehr empfindlich
Unterschied zwischen Luft- und Oberflächentemperatur	2 K	sehr empfindlich
Luftbewegung in Hautnähe	1 m/s	sehr empfindlich
Strahlungswärme	25 W/m ²	empfindlich
Relative Luftfeuchtigkeit	±15 %	wenig empfindlich

Tabelle 7: Die Empfindsamkeit des Körpers.



Tätigkeit	met	W/m ²
ruhig liegend	0,8	47
ruhig sitzend	1,0	58
sitzende Arbeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	1,2	70
entspannt stehend	1,2	70
leichte Arbeit, stehend (Laden, einkaufen, Labor, leichte Werkarbeit)	1,6	93
mittelschwere Arbeit stehend (Verkauf, Hausarbeit, Werkstatt, Garage)	2,0	117
Schwerarbeit, Indoor-Sport (Schwerindustrie, Tanz, Tennis, Gymnastik)	3,0	175



Bekleidungsart	clo	m ² K/W
unbekleidet, nackt	0	0
Turnbekleidung, Tropenbekleidung: Unterwäsche, Shorts, Socken, Turnschuhe, Sandalen	0,3 bis 0,4	0,06
leichte Sommerbekleidung: offenes, kurzes Hemd, lange, leichte Hosen, Socken, Schuhe	0,5	0,078
feste Arbeitskleider, leichter Strassenanzug, Hausbekleidung im Winter: Hemd (langarm), Hose, leichte Jacke, Pullover	≈ 1,0	0,16

Grenzen hält. Kleinere Schwankungen der Raumbedingungen werden als stimulierend empfunden und halten den Kontrollmechanismus in Gang. Als wichtigster Behaglichkeitsparameter gilt die operative Temperatur, der arithmetische Mittelwert der mittleren Oberflächentemperaturen der Umgebungswände und der Raumlufttemperatur. Die Grundgrösse «met» (metabolism) dient als Mass für den energetischen Grundumsatz des Körpers in Funktion der physischen Aktivität. 1 met $\approx$ 60 W/m², dies entspricht etwa der metabolischen Wärmeentwicklung einer still sitzenden Person, bezogen auf 1 m² Körperoberfläche.

Besonders wohl fühlen sich die Menschen, wenn sich ihre Wärmeabgabe durch Abstrahlung an die Umgebungsflächen und durch Konvektion (einschliesslich Atmung) an die Luft im Verhältnis 45 zu 50 aufteilt. Dies ist mitunter ein Grund dafür, dass die konventionelle Klimatechnik, bei der ausschliesslich die Lufttemperatur kontrolliert wird, nie voll befriedigen konnte. Erst wenn die operative Temperatur – sei es durch eine zu hohe mittlere Temperatur der Umgebungsflächen oder durch eine zu hohe Raumlufttemperatur – so weit ansteigt, dass die notwendige Kühlung nicht mehr gewährleistet ist, setzt eine über den Grundwert hinausgehende Kühlung durch erhöhte Verdunstung ein (Schwitzen). Dieser Effekt wird durch den erhöhten Wassertransport an die Hautoberfläche ausgelöst.

Die optimale Raumtemperatur als empfundener Mittelwert aus der Raumlufttemperatur und dem Mittelwert der Temperaturen der Umgebungsflächen richtet sich nach dem Aktivitätsgrad und dem integralen Wärmedämmwert der Bekleidung. Für einen Mann mit mittelschwerem Anzug, Langarm-Hemd, Krawatte, kurzen Socken und leichten Strassenschuhen ist ein Bekleidungsfaktor von 1,1 anzunehmen. Für eine angenehme Sommerbekleidung mit Kurzarm-Hemd, leichter Baumwollhose und nackten Füßen in leichten Moccasins beträgt der entsprechende Wert nur 0,5.

Abbildung 7: Wärmeproduktion und «met»-Werte in Abhängigkeit der Tätigkeit (Körperoberfläche erwachsene Person ca. 1,8 m²; siehe auch Tabelle 52 auf Seite 101).

Tabelle 8: Wärmeproduktion und «met»-Werte in Abhängigkeit der Tätigkeit.

Abbildung 8: Thermischer Widerstand von Bekleidung und entsprechende «clo»-Werte.

Tabelle 9: «clo»-Werte von Bekleidungsvarianten und deren thermischer Widerstand.

Nur 3 % der befragten Personen mit leichten Hausschuhen beurteilen einen 24°C warmen Fussboden als leicht zu warm, während gleichzeitig weitere 3 % finden, er sei leicht zu kühl. Insgesamt also 6 % leicht Unzufriedene. Liegt die Fussbodentemperatur bei 22°C, dann steigt die Zahl der nicht gänzlich Zufriedenen auf 8 %, das heisst, nur noch 2 % finden den Fussboden leicht zu warm; dafür sagen jetzt 6 %, er dürfte leicht wärmer sein. Erst unter 20°C und über 27°C sind sich alle einig bei «leicht zu kühl» respektive «leicht zu warm». Für den direkten Wärmefluss von der Fusssohle zum Fussboden und die Abstrahlung vom Fussgelenk zur Umgebung wäre eine Fussboden-Oberflächentemperatur von 24°C ideal. Bei der Komfortbeurteilung der Fussbodentemperatur spielt aber wegen dem direkten Kontakt noch eine zweite Grösse eine wichtige Rolle, nämlich die Wärme-Eindringzahl. Die Wärme-eindringzahl hängt vom Material des Fussbodenbelages ab. Je geringer die Wärmeleitung der obersten Schicht ist, umso weniger Wärme fliesst von der Fusssohle in den Fussboden. Das bedeutet, dass in der obersten Schicht ein Wärmestau stattfindet und den Wärmeabfluss bremst. Der gebremste Wärmefluss wird zudem als «angewachsene Umgebungstemperatur» wahrgenommen, ein Effekt, der im Winter als angenehm empfunden wird. Der PPD-Index ist ein dem PMV-Index fest zugeordneter Prozentsatz, der mit dem mittleren Prozentsatz einer grösseren Anzahl von Versuchspersonen innerhalb der statistischen Unsicherheit übereinstimmt. PPD steht für «predicted percentage of dissatisfied», PMV für «predicted mean vote». Der PMV- und der PPD-Index beschreiben thermische Empfindungen von «zu heiss» bis «zu kalt» für den ganzen Körper als Ganzes. Thermische Unbehaglichkeit kann aber auch bezüglich einzelner Kriterien empfunden werden. Zugserscheinungen zählen hierbei zu den am häufigsten genannten Ursachen.

Abbildung 9:
Geistige Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur.

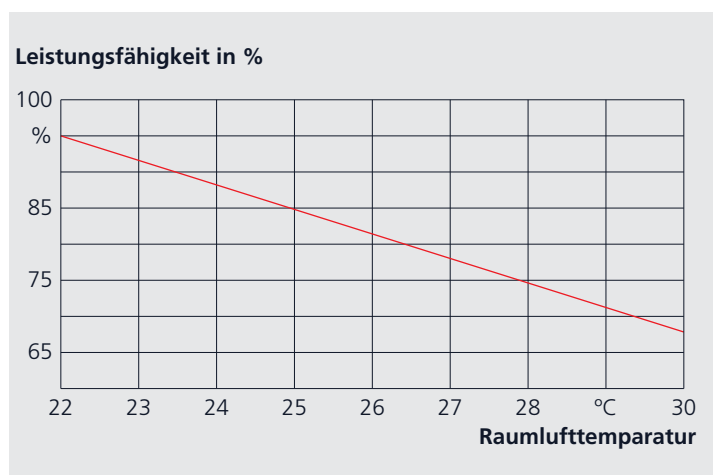
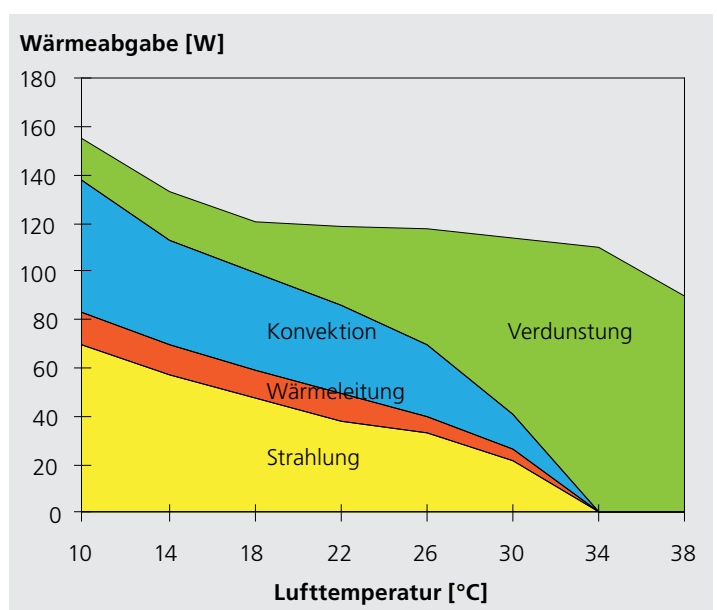


Abbildung 10:
Wärmeabgabe des Menschen. Quelle: Robert Meierhans



Abbildung 11:
Wärmeabgabe des Menschen (sitzend, keine körperliche Tätigkeit, normale Bekleidung, ruhende Luft. Quelle: Recknagel

Im Winter sind bei guter Wärmedämmung die inneren Oberflächentemperaturen und damit der Strahlungskomfort ent-



scheidend höher. Gut wärmegedämmte Gebäude benötigen geringere Heizleistungen und erlauben deshalb sanftere Massnahmen zur Kontrolle der Raumtemperatur. Diese Bauweise vermeidet Lufttrockenheit, Kaltluftabfall an Aussenwänden und Fenstern und unangenehme Wärmeabstrahlung gegen kalte Oberflächen. Aus hygienischen Gründen spielen warme Oberflächentemperaturen auch als Mass-

nahme gegen Pilzbefall eine wichtige Rolle. An schlecht gedämmten, kalten Aussenwänden stellt sich nämlich eine höhere relative Luftfeuchtigkeit ein, die schnell zu Schimmelpilz mit toxischen Zerfallsprodukten führt und für ernsthafte Allergien sorgen kann.

Im Sommer kann die durch Wärmedämmung und Beschattung auf nahezu Raum-

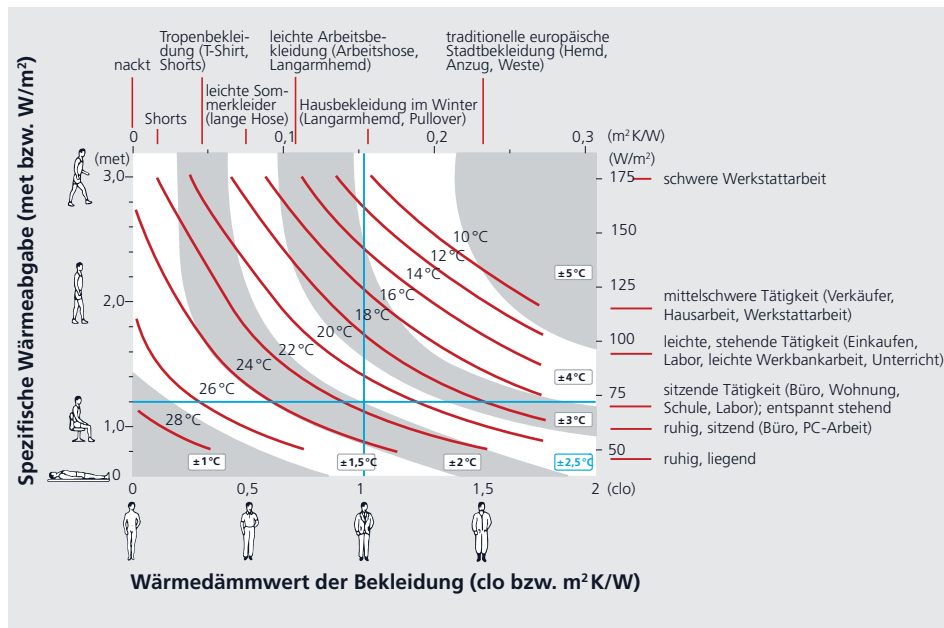


Abbildung 12: Spezifische Wärmeabgabe (met) des Menschen in Abhängigkeit des Wärmedämmwertes (clo) der Bekleidung. Rahmenbedingungen: 50 % relative Feuchte, 0,15 m/s Luftgeschwindigkeit und 10 % Unzufriedene. Quelle: ISO 7730

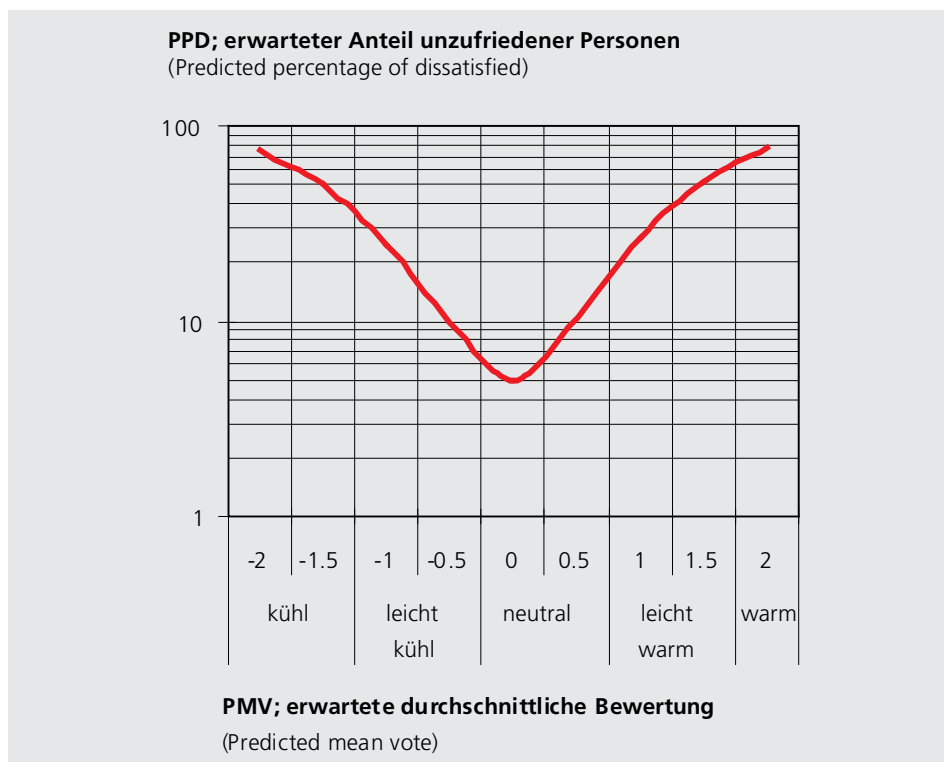


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen dem erwarteten Anteil unzufriedener Personen und der durchschnittlichen Bewertung des thermischen Komforts. Abweichungen von der «neutralen» Temperatur in K.

temperatur gehaltene Gebäudemasse als Pufferspeicher für Wärmelast-Spitzen genutzt werden. Mit flexiblen Beschattungseinrichtungen lässt sich der Gewinn von Tageslicht gut dosieren und übermässiger Wärmeeintrag vermeiden. Energieintensive Klimatisierungsmassnahmen mit den sattsam bekannten Begleiterscheinungen wie lästige Geräusche und Luftzug werden dadurch reduziert.

Tabelle 10:
Anforderungskategorien der thermischen Behaglichkeit (gemäss EN ISO 7730).

Zum guten Innenraumklima gehören aber auch schadstoffarme Ausbaumaterialien, ein gutes Tageslicht- und Farbdesign sowie ein guter Schallschutz und eine gute Raumakustik. Ausbaumaterialien haben einen wesentlichen Einfluss auf die notwendige Raumlüftung, die Tageslichtnutzung wirkt sich insofern auf die Kühlleistungen aus, als dass der Einsatz von elektrischer Beleuchtung die Wärmelasten erhöht.

Tabelle 11:
Angemessene Temperaturbereiche für konditionierte Wohnungen und Büros.

Für die Heizungs- und Klimaindustrie stellen gut wärmegedämmte Gebäude veränderte Anforderungen an die Konzepte für Heizung und Kühlung. Schnell reagierende und leistungsstarke Systeme sind kaum mehr notwendig. Die neue Strategie heisst «Sanfte Klimatechnik». Die Klimatechnik hat ausser der Aussenluftzufuhr und dem Abtransport von Feuchtigkeit und Gerüchen nur noch wenig zu einem komfortablen Innenraumklima beizutragen.

Tabelle 12: Werte für eine mittlere Luftqualität gemäss EN 13779

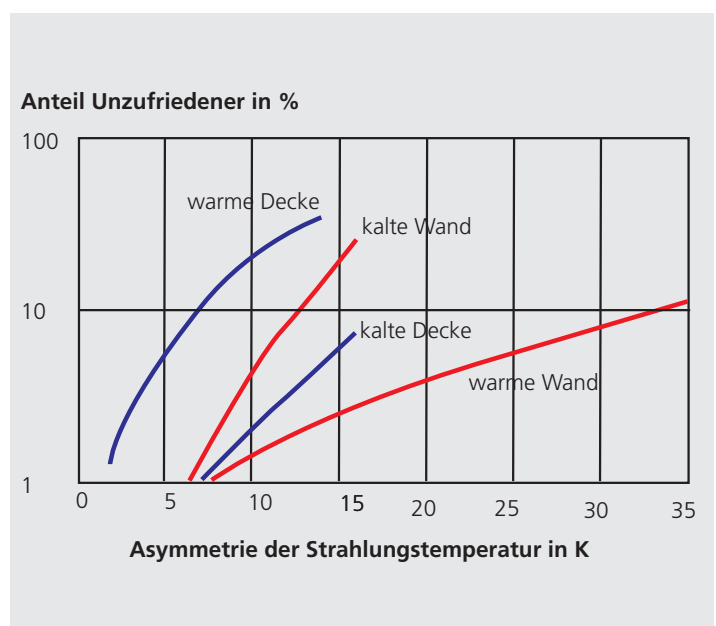
Kategorie (Anteil Unzufriedene)	Beschreibung
A: unter 6 %	Hohes Mass an Erwartungen an das Raumklima; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten.
B: unter 10 %	Normales Mass an Erwartungen
C: unter 15 %	Annehmbares, moderates Mass an Erwartungen

Kategorie	Raumtemperatur °C Sommer, Sommerbekleidung: 0,5 clo/1,2 met, Toleranzbereich	Raumtemperatur °C Winter, Winterbekleidung: 1,0 clo/1,2 met, Toleranzbereich
A	24,0°C – 26,0°C	20,0°C – 22,5°C
B	23,5°C – 26,5°C	19,0°C – 24,0°C
C	23,0°C – 27,0°C	18,0°C – 24,0°C

Raumluft mit mittlerer Luftqualität	Typische Wohn- und Büroräume
CO ₂ -Pegel 950 ppm bis 1350 ppm	Lufrate 22 m ³ /h · P bis 36 m ³ /h · P

Temperatur-Asymmetrie: Komfortmängel können auch aufgrund einer Temperaturasymmetrie entstehen, beispielsweise wegen unterschiedlichen Temperaturen von Raumumschliessungsflächen. Der Mensch reagiert gegenüber kalten Wänden wesentlich intoleranter als gegenüber warmen. Das heisst: Achtung vor kalten Aussenwand- und Fensterflächen! Beim Vergleich von warmen und kalten Decken sieht es umgekehrt aus: Während bei Decken eine Untertemperatur von 10 K toleriert wird, liegt die Grenze für warme Decken wesentlich näher, nämlich schon bei 5 K. Das heisst: Deckenheizungen eignen sich nur für sehr kleine Leistungen mit entsprechend tiefen Deckentemperaturen.

Abbildung 14: Zu erwartender Anteil Unzufriedener infolge Asymmetrie der Strahlungstemperatur. (Norm SIA 180)



1.5 Grundprinzipien der sanften Klimatechnik

Das wichtigste Grundprinzip ist denkbar einfach: Je weniger Wärme ein Gebäude bei kaltem Wetter verliert und je weniger Sonnenhitze und Feuchtigkeit im Sommer durch seine Fenster eindringt, desto geringer ist der Aufwand, um ein angenehmes Innenraumklima sicherzustellen. Das Kühlwasser wird oft noch mittels einer Klimakältemaschine erzeugt oder als «Abwärmequelle» einer reversiblen Wärmepumpe genutzt. Erneuerbare Energien, wie die Direktnutzung von Grundwasserkälte oder Erdsondenkälte, sind der motorischen Kälteerzeugung vorzuziehen.

Abbildung 15:
Wärmefluss Heizen/
Kühlen. Quelle: Ro-
bert Meierhans

Abbildung 16:
Schwache Däm-
mung erzwingt eine
hohe Heizleistung
bei hoher Heizflä-
chentemperatur
(links). Gute Däm-
mung ermöglicht
geringere Heizlei-
stung bei tieferer
Heizflächentempe-
ratur (rechts). Die
bessere Dämmung
erlaubt bei gleicher
Heizfläche eine tie-
ferere Oberflächen-
temperatur. Quelle:
Robert Meierhans

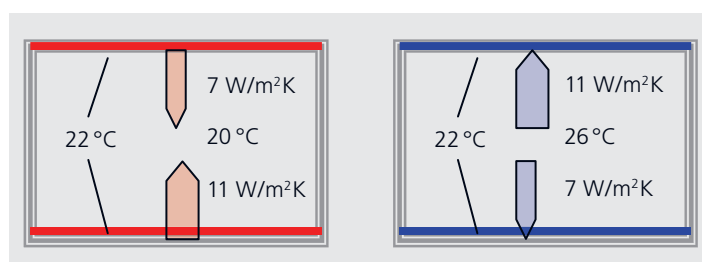
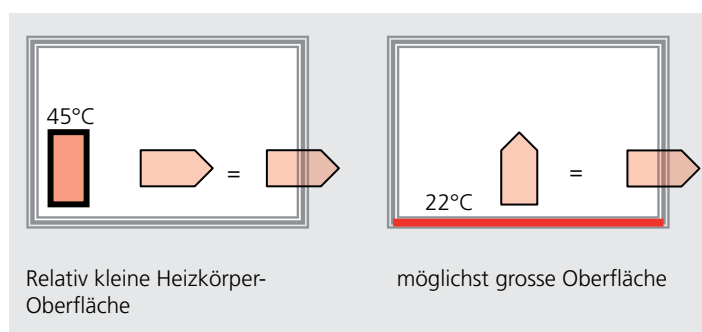
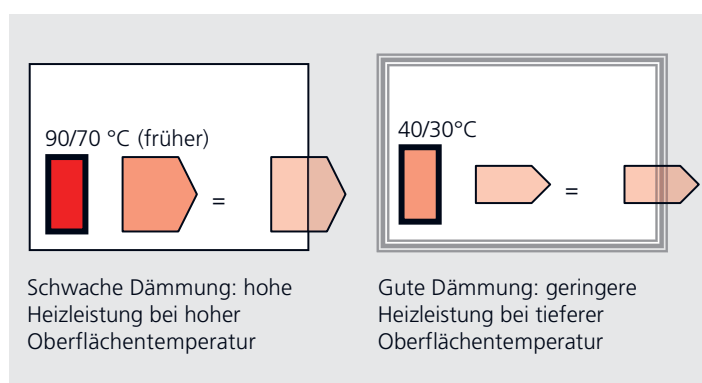
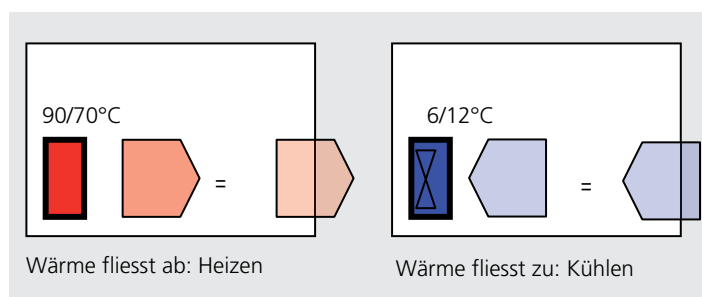
Nachtkühlung: Wenn die Nachtluft kühl genug ist, kann die Gebäudemasse durch natürliches Auskühlen auf den nächsten warmen Tag vorbereitet werden. Bei wärmeren Klimaverhältnissen kann dieser «Vorkühlung» mit einer Kältemaschine nachgeholfen werden. Mit dieser Strategie kann die Spitzenkühlleistung gekappt und ein Teil der Kühlarbeit in die Nachtstunden verschoben werden. Oft ergibt sich, dass mit freier Nachtkühlung auch ohne Klimakältemaschine genügend gekühlt werden kann.

Wärmeabgabe: Der Wärmetransfer ergibt sich proportional zur exponierten Oberfläche, zum Wärmedämmvermögen und zur Temperaturdifferenz zwischen aussen und innen. Der Heizeffekt der Wärmequelle richtet sich nach ihrer Oberfläche (Grösse und Beschaffenheit), ihrer Form und ihrer mittleren Oberflächentemperatur.

Abbildung 17:
Relativ kleine
Heizfläche (links),
möglichst grosse
Oberfläche (rechts).
Quelle: Robert
Meierhans

Die grosse Oberfläche der Fussboden-Heizung erlaubt tiefere Betriebstemperaturen. Im Idealfall liegen diese bei tiefster Aussentemperatur nur 2 K über der gewünschten minimalen Raumlufttemperatur. Das heisst, dass die Dämmung der Gebäudehülle so zu bemessen ist, dass der Raum mit einer Oberflächentemperatur von 22 °C auf 20 °C geheizt werden kann. Die maximale Oberflächentemperatur ergibt sich also – je nach kältester Aussentemperatur eines Ortes – aus der Wär-

Abbildung 18:
Heizen und kühlen
mit gewärmten
und gekühlten
Oberflächen.
Quelle: Robert
Meierhans



medämmung der Bauhülle. Diese Eigenschaft ist aus zwei Gründen günstig:

■ Die Heizung wird selbstregulierend, das heisst, dass sie bei Fremdwärmeanfall, wie z. B. bei Sonneneinstrahlung und dadurch ansteigender Raumlufttemperatur keine Wärme mehr abgibt, weil sich das Temperaturgefälle zwischen Heizfläche und Raumluft bis «Null Kelvin» reduziert.

■ In Abbildung 18 wird dargestellt, dass mit einem Fussboden, der sich für eine selbstregulierende Heizung eignet, auch im Sommer gekühlt werden kann. Dies gilt insbesondere bei mehrgeschossigen Bauten, in denen sich die Heiz- und Kühlleistung auf Fussböden und Decken verteilt.

Pro 1 Kelvin (Grad Celsius) Temperaturdifferenz zwischen Raumluft- und Deckenoberfläche können im Heizfall ca. 7 W/m^2 und im Kühlfall ca. 11 W/m^2 ausgetauscht werden. Zwischen Raumluft- und Fussboden-Oberflächentemperatur beträgt der entsprechende Wert im Heizfall 11 W/m^2 und im Kühlfall 7 W/m^2 . Im oben dargestellten Beispiel wird also mit 2-mal $18 \text{ W/m}^2 = 36 \text{ W/m}^2$ geheizt und mit 4-mal $18 \text{ W/m}^2 = 72 \text{ W/m}^2$ gekühlt.

Bei einer Klimaanlage, die die Raumluft 3- bis 6-mal pro Stunde umwälzt, müsste für die gleichen Leistungen mit 26°C bzw. mit 14°C eingeblasen werden. Dies führt tendenziell dazu, dass im Winter die warme Luft an der Decke hängen bleibt und dass die kalte Kühlluft im Sommer zu Zuglufterscheinungen führt. Wenn wir diese Grundsätze beachten, werden Bauten fehlertolerant und damit flexibler für Nutzungen verschiedenster Art bei unveränderter Gebäudetechnik.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen

- Gebäude mit kompakten Formen und sorgfältig bemessenem Glasanteil
- Abstimmung von Gebäudespeichermaßen und Raumoberflächen zur Einspeicherung von solaren Wärmeeinträgen
- Sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz

1.6 Energie und Gebäudetechnik

Die «Energiequelle» ist in einem abgeschlossenen System jenes Element, welches die Energie, meist durch Umwandlung aus einer anderen Energieform, zur Verfügung stellt, der «Energieträger» ist die mengenmässige bilanzierfähige Einheit, welche Energie enthält oder überträgt.

Als fossile Energieträger gelten Kohle, Erdgas, Erdöl und Methanhydrat. Allen fossilen Energieträgern ist gemeinsam, dass sie nur in begrenztem Mass vorhanden sind und ihre Verwendung mit mehr oder weniger hohen CO_2 -Emissionen verbunden ist. Nicht erneuerbare Energiequellen: Kohle (Steinkohle, Braunkohle), Torf, Erdöl, Ölsande und Ölschiefer, Erdgas, Gashydrat, Uran, Plutonium.

Erneuerbare Energiequellen: Biomasse, Geothermie, Solarenergie, Wasserkraft, Windenergie.

Definitionen und Begriffe: SIA 416/1, SIA-Merkblatt 2025, SIA-Merkblatt 2031, SIA-Merkblatt 2032

Primärenergie (Rohenergie): Unter Primärenergie versteht man Energieträger, die man in der Natur vorfindet und welche noch keiner Umwandlung oder Umformung unterworfen wurden, unabhängig davon, ob sie in dieser Rohform direkt verwendbar sind oder nicht; also Energie in jenem Ausgangszustand, wie er für die wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht. Z. B. Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Uran, Laufwasser, Brennholz und andere Biomasse, Sonneneinstrahlung, Wind, Umgebungswärme (Umweltenergie), Erdwärme. Die Primärenergie wird gewöhnlich unterteilt in die nicht erneuerbaren und die erneuerbaren (regenerativen) Energieträger.

Sekundärenergie: Energie, die durch Umwandlung aus Primärenergie oder aus anderer Sekundärenergie (unter Entstehung von Umwandlungsverlusten) ge-

wonnen wurde und für die weitere Umsetzung bzw. Nutzung zur Verfügung steht. Beispiele: Erdölprodukte (Heizöl, Benzin, Dieselöl, etc.), Flüssiggas, Koks, Biogas, Elektrizität, Fernwärme, Abwärme.

Endenergie: Energie, welche vom Endverbraucher (z.B. einem Industriebetrieb, einem Gebäude, einem Haushalt) zum Zwecke der weiteren Umwandlung und Nutzung bezogen bzw. eingekauft wird. Beispiele: Heizöl, Erdgas, Fernwärme (als Heisswasser oder Prozessdampf), die aus

dem Netz bezogene Elektrizität, die vom Betrieb energetisch genutzten Industrieabfälle.

Einsatzenergie: Die beim Verbraucher unmittelbar vor der letzten Umwandlungsstufe (der Umwandlung zu Nutzenergie) bereitgestellte Energie. Einsatzenergie ist also z.B. Strom, welcher der Klemme des Elektromotors oder der Glühlampe zugeführt wird, oder Heizwasser, welches in den Heizkörper strömt.

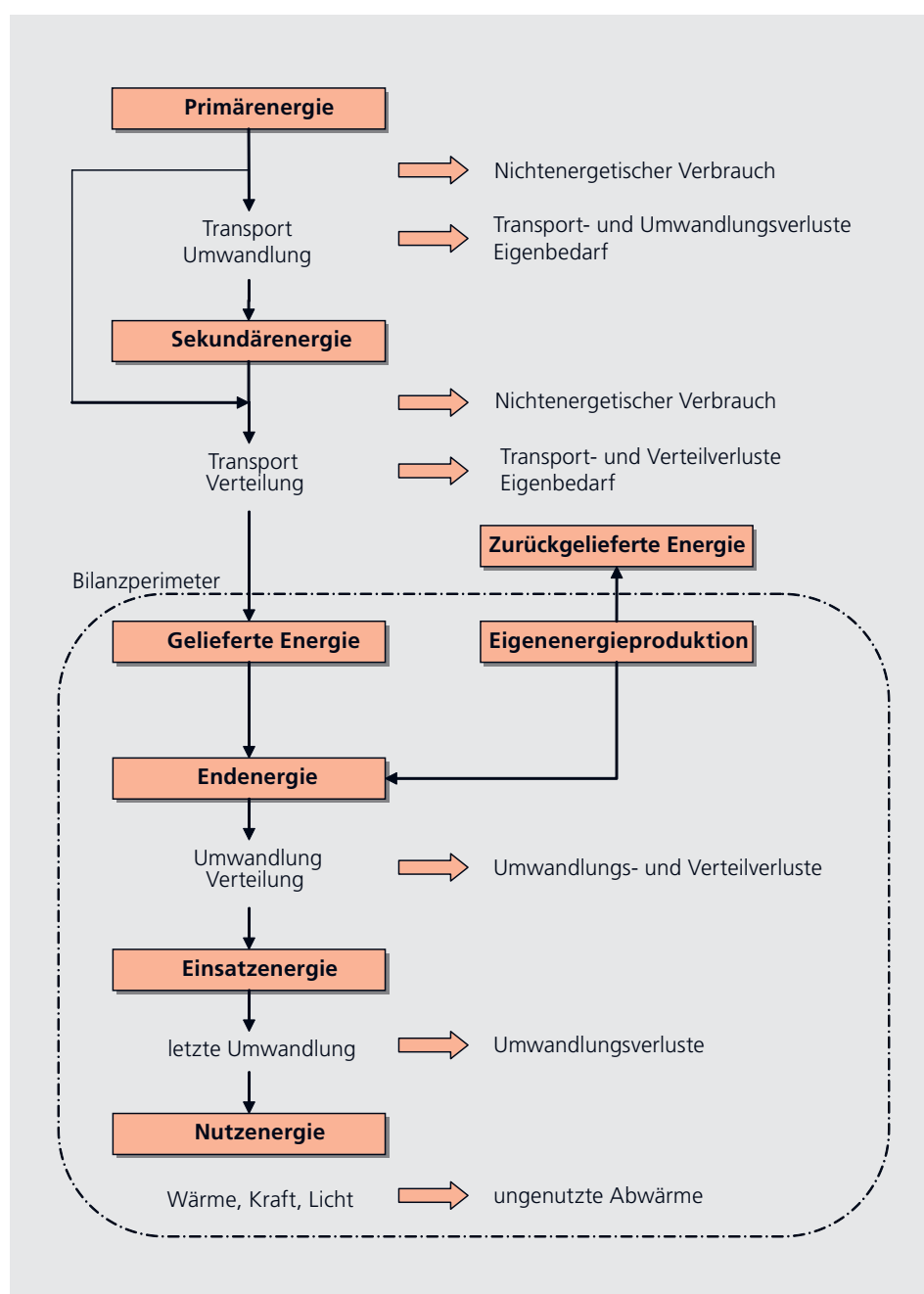


Abbildung 19:
Stufen der Energie-
umwandlung von
der Primärenergie
bis zur Nutzenergie,
schematisch. Quelle:
Norm SIA 410;
Vernehmlassung.

Nutzenergie: Energie, die dem Energieanwender nach der letzten Umwandlung (am Ausgang der energieverbrauchenden Geräte, z. B. an der Antriebswelle des Motors, am Heizkörper im Zimmer) in der für den jeweiligen Zweck benötigten technischen Form zur Verfügung steht.

Abwärme: Die in einem Prozess nicht nutzbare Wärme. Die Abwärme wird entweder an die Umgebung oder über Wärmerückgewinnungsanlagen einem anderen System zugeführt. Abwärmeträger sind z. B. Raumabluft, Kühlwasser, Abdämpfe, Abgase aus Öfen und Verbrennungsmotoren. Je nach Abwärmeträger und Temperaturniveau ergeben sich unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten.

Brennwert (oberer Heizwert): Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes frei wird, wenn der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf kondensiert.

Eigenenergieproduktion: Innerhalb des Bilanzperimeters aus erneuerbaren Energien (mit Sonnenkollektoren, Solarzellen usw.) produzierte Energie, die entweder innerhalb des Bilanzperimeters genutzt oder an den Handel zurückgeliefert wird. Die passive Nutzung von Sonnenenergie gilt nicht als Eigenenergieproduktion.

Eigenproduktion erneuerbarer Energien: Eigenenergieproduktion aus erneuerbaren Energien (mit Sonnenkollektoren, Solarzellen usw.). Die passive Nutzung von Sonnenenergie gilt nicht als Eigenenergieproduktion.

Heizwert (unterer Heizwert): Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes frei wird, wenn der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf nicht kondensiert.

Graue Energie: Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau

	Verwendungszweck	Raumwärme	Wassererwärmung
Nutzenergie	Energiedienstleistung	thermischer Komfort	Warmwasser
	thermische Nutzenergie	Heizwärmebedarf Heizwärmeleistung	Wärmebedarf für WW Wärmeleistung für WW
		↓	↓
Gebäudetechnik	gebäudetechnische Anlage	Heizungsanlage	Wassererwärmungsanlage
	gebäudetechnische Teilanlagen	Heizwärmeerzeuger Heizwärmespeicher Heizwärmeverteilung	Wärmeerzeuger für WW WW-Speicher WW-Verteilung
	Wärmeverlust	... der Heizungsanlage	... der Wassererwärmungsanlage
	Hilfsenergie	... der Heizungsanlage	... der Wassererwärmungsanlage
		↓	↓
Endenergie	netto gelieferte Energie	Heizenergie Heizleistung	Energie für WW Leistung für WW
		↓	↓
Gewichtete Energie		Gewichtungsfaktoren	Gewichtungsfaktoren
	netto gelieferte gewichtete Energie	Teilenergiekennzahl Heizung	Teilenergiekennzahl Warmwasser

Tabelle 13: Stufen der Energie in der Gebäudetechnik.
Merkblatt SIA 2025.

Raumkühlung/ Entfeuchtung	Lüftung	Befeuchtung	Beleuchtung	diverse Gebäude- technik	Betriebsein- richtungen	Elektrizitäts- produktion	Total
thermischer Komfort	Luft- austausch	Befeuchtung	Beleuchtung	Gebäude- managment, Transport ...	Kochen, Rechenlei- stung, usw.		
Klimakälte- bedarf Klimakälte- leistung	Energie auf Nutzebene nicht definiert						



Klimakälte- anlage	Lüftungs- anlage	Befeuchtungs- anlage	Beleuchtungs- anlage	div. Anlagen	div. Geräte	Photovoltaik- anlage, WKK
-----------------------	---------------------	-------------------------	-------------------------	--------------	-------------	------------------------------

Klimakälte- erzeuger Klimakälte- speicher Klimakälte- verteilung
... der Klimaanlage
... der Klimaanlage



Klimakälte- energie Klimakälte- leistung	Energie für Lüftung	Energie für Befeuchtung	Energie für Beleuchtung	Energie für diverse Gebäude- technik	Energie für Betriebs- einrichtungen	Elektrizität aus erneuerbaren Energien	Gesamt- energie
---	------------------------	----------------------------	----------------------------	---	---	--	--------------------



Gewichtungs- faktoren	Gewich- tungs- faktoren	Gewichtungs- faktoren	Gewichtungs- faktoren	Gewichtungs- faktoren	Gewichtungs- faktoren	Gewichtungs- faktoren	Gewich- tungs- faktoren
Teilenergie- kennzahl Raumkühlung/ Entfeuchtung	Teilenergie- kennzahl Lüftung	Teilenergie- kennzahl Befeuchtung	Teilenergie- kennzahl Beleuchtung	Teilenergie- kennzahl diverse Gebäude- technik	Teilenergie- kennzahl Betriebs- einrichtung	Teilenergie- kennzahl Elektrizität aus erneuerbaren Energien	Energie- kennzahl

Kennwerte von Energieträgern

Endenergieträger	Energie- Gewichtungs- faktor	Primärenergie- faktor	Anteil erneuerbarer Primärenergie	Treibhausgasemissionen spezifisch	
Referenz	EnDK	SIA 2031	SIA 2031	SIA 2031	
				g/MJ	g/kWh
Feste Brennstoffe					
Koks	1,0	1,66	0,7 %	120 g/MJ	432 g/kWh
Briketts	1,0	1,19	0,6 %	107 g/MJ	385 g/kWh
Stückholz	0,7	1,06	95,2 %	3 g/MJ	11 g/kWh
Holzschnitzel	0,7	1,14	94,6 %	3 g/MJ	11 g/kWh
Pellets	0,7	1,22	83,0 %	10 g/MJ	36 g/kWh
Flüssige Brennstoffe					
Heizöl	1,0	1,24	0,7 %	82 g/MJ	295 g/kWh
Propan	1,0	1,15	0,5 %	67 g/MJ	241 g/kWh
Butan	1,0	1,15	0,5 %	67 g/MJ	241 g/kWh
Gasförmige Brennstoffe					
Erdgas	1,0	1,15	0,5 %	67 g/MJ	241 g/kWh
Propan	1,0	1,15	0,5 %	67 g/MJ	241 g/kWh
Butan	1,0	1,15	0,5 %	67 g/MJ	241 g/kWh
Biogas (mit 40 % bis 75 % Methan)	0,7	0,48	8,2 %	38 g/MJ	137 g/kWh
Elektrizität					
Produktion Inland (Strom aus . . .)					
Verbrauchermix Schweiz	2,0	2,97	15 %	43 g/MJ	155 g/kWh
Wasserkraft (ohne Pumpspeicher)	2,0	1,22	97 %	3 g/MJ	11 g/kWh
Wasserkraft (Pumpspeicherung)	2,0	4,25	15 %	55 g/MJ	198 g/kWh
Photovoltaik	2,0	1,66	76 %	25 g/MJ	90 g/kWh
Windenergie	2,0	1,33	92 %	8 g/MJ	29 g/kWh
Biomasse (Holz)	2,0	3,80	96 %	32 g/MJ	115 g/kWh
Biogas	2,0	0,20	20 %	52 g/MJ	187 g/kWh
Kernenergie	2,0	4,08	0,1 %	5 g/MJ	18 g/kWh
Erdöl	2,0	3,36	2 %	277 g/MJ	997 g/kWh
Erdgas	2,0	3,30	1 %	205 g/MJ	738 g/kWh
Kehricht	2,0	0,02	0 %	2 g/MJ	7 g/kWh

Stromproduktion Ausland (Strom aus . . .)					
Wasserkraft (ohne Pumpspeicher)	2,0	1,23	97 %	3 g/MJ	11 g/kWh
Photovoltaik	2,0	1,74	74 %	25 g/MJ	90 g/kWh
Kernenergie	2,0	4,25	0 %	5 g/MJ	18 g/kWh
Erdöl	2,0	3,85	0 %	277 g/MJ	997 g/kWh
Erdgas	2,0	3,22	0 %	180 g/MJ	648 g/kWh
Kohle	2,0	3,92	2 %	344 g/MJ	1238 g/kWh
Nicht überprüfbare Quelle (UCTE*-Strommix)	2,0	3,53	6 %	165 g/MJ	594 g/kWh

* UCTE: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (Union für die Koordinierung des Transports von Elektrizität)

Tabelle 14:
Kennwerte von
Energieträgern.

über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet.

Hilfsenergie: Von den gebäudetechnischen Anlagen verbrauchte Elektrizität, um die gelieferte Energie in Nutzenergie umzuwandeln.

Energie-Gewichtungsfaktor: Von der Energiepolitik festgesetzter Bewertungsfaktor. Die Energie-Gewichtungsfaktoren werden auf der Homepage der Energiedirektorenkonferenz (www.endk.ch) publiziert.

Bilanzperimeter: Perimeter, der das Gebäude (oder die Gebäudeteile, für welche die Berechnung der Energiebilanz durchgeführt werden soll) inkl. der dazugehörigen Aussenanlagen vollständig umschliesst. Er definiert insbesondere die Abgrenzung gegen benachbarte Gebäude oder gegen Gebäudeteile, die nicht in die Berechnung einbezogen werden sollen.

Raumgruppe, Zone: Gruppe von Räumen, welche in Bezug auf die Betriebseinrichtungen bzw. die Beleuchtung bzw. für Lüftung und Klimatisierung gleichartige Voraussetzungen haben (gleiche Grenz- und Zielwerte). Die Gruppierung der

Räume kann je nach Verwendungszweck unterschiedlich sein.

Raumnutzung: Die Räume werden auf Grund ihrer vorherrschenden Nutzung einer von rund 40 Nutzungen gemäss Merkblatt SIA 2024 zugeteilt.

Standardnutzung: Nutzungsbedingungen, welche bei der Berechnung des Projektwertes eingesetzt werden müssen, wenn dieser mit den Grenz- und Zielwerten verglichen werden soll. Die Standardnutzungswerte der Raumnutzungen sind dem Merkblatt SIA 2024 entnommen.

Wärmerückgewinnung: Bei der Wärmerückgewinnung wird die bei einem Prozess oder in einer Anlage (z.B. raumlufttechnische Anlage) anfallende nutzbare Abwärme demselben System ohne Zeitverschiebung als Nutzwärme (Rückwärme) wieder zugeführt. Der Gesamtnutzungsgrad des Systems kann damit erheblich erhöht werden. Beispiele:

- Wärmerückgewinnung aus Fortluft einer mechanischen Lüftungs- und Klimaanlage
- Rückführung von Prozessabwärme in einem Waschprozess (z.B. Geschirrwäscher)
- Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser in einem Schwimmbad

Brenn- und Heizwerte von Energieträgern

Energieträger		Dichte	Heizwert		Brennwert		Verhältnis Heizwert zu Brennwert
		kg/l	MJ/kg	kWh/kg	MJ/kg	kWh/kg	
Erdölprodukte							
■ Heizöl extra leicht		0,84	42,6	11,8	45,0	12,5	0,94
■ Propan (flüssig)		0,51	46,3	12,9	50,3	14,0	0,92
■ Butan (flüssig)		0,58	45,7	12,7	49,5	13,8	0,92
■ Benzin		0,74	42,5	11,8	45,8	12,7	0,93
■ Diesel		0,84	42,8	11,9	45,7	12,7	0,94
■ Flugtriebstoffe		0,82	43,0	11,9	45,7	12,7	0,94
Kohle							
■ Steinkohle			28,1	7,8	29,3	8,1	0,96
■ Braunkohle			20,1	5,6	20,9	5,8	0,96
		kg/m ³	MJ/kg	kWh/kg	MJ/kg	kWh/kg	
Holz	Feuchtegehalt						
■ Stückholz (Weich-)	20 %	540	15,7	4,4	17,0	4,7	0,92
■ Stückholz (Hart-)	20 %	780	15,0	4,2	16,3	4,5	0,92
■ Holzschnitzel (Weich-)	50 %	675	12,4	3,4	13,6	3,8	0,91
■ Holzschnitzel (Hart-)	50 %	975	11,6	3,2	13,1	3,6	0,89
■ Holzkohle	5 % – 35 %	250	30,0	8,3	31,0	8,6	0,96
■ Pellets	8 % – 11 %	1200	16,7	4,6	18,3	5,1	0,91
Abfall							
■ Kehrlichtverbrennung			11,9	3,3			
		kg/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	
Gase							
■ Erdgas		0,76	36,3	10,1	40,3	11,2	0,90
■ Biogas (40% – 75% Methan)		1,01 – 1,46	14,4 – 27,0	4,0 – 7,5	15,9 – 29,9	4,4 – 8,3	0,90
■ Methan		0,72	35,9	10,0	39,8	11,1	0,90
■ Propan		2,01	93,1	25,9	101,2	28,1	0,92
■ Butan		2,70	117,8	32,7	125,9	35,0	0,94

Anmerkungen

Holz: Die Angaben kg/m³ beziehen sich auf Fest-Kubikmeter (Holzschnitzel: 1 Fest-Kubikmeter = 2,8 Schnitzel-Kubikmeter; Pellets: 1 Fest-Kubikmeter = 1,8 Schütt-Kubikmeter); Gase: Pro Norm-m³ (0 °C, 1013 mbar).

Tabelle 15: Brenn- und Heizwerte von Energieträgern

(Quellen: SIA 416/1; Gesamtenergiestatistik; Recknagel/Sprenger/Schramek; Holzenergie Schweiz; Erdölvereinigung; Ecoinvent; VDI-Wärmeatlas).

1.7 Beispielhafte integrale Gebäudetechnik

Konzeptüberlegungen: Alle Bauten sind mit einer Wärmepumpe ausgerüstet. Die beiden älteren (1970 und 1990) werden saniert, das 2010 Haus ist ein Neubau und als einziges mit einer Lüftungstechnischen Anlage ausgerüstet (Tabelle 16).

Wärmepumpe und Erdsonde: Je grösser der Energiebedarf des Gebäudes, desto leistungsfähiger die Wärmepumpe und desto mehr Erdsonden-Meter müssen gebohrt werden. Der Anteil der grauen Energie ist deutlich höher.

Zu den abweichenden Kosten: Einen Teil der abweichenden Kosten wird für die thermisch bessere Hülle (Dämmung, Fenster), für die mechanische Lüftung und die Photovoltaik-Anlage eingesetzt. Die Energieeffizienz steigt merklich und die Wärmepumpe kann aufgrund des geringeren Bedarfes mit solarem Strom betrieben werden.

Die Erkenntnis, dass der grösste Energieaufwand für die Wassererwärmung benötigt wird, sollte zu besseren Lösungen führen, insbesondere zur Nutzung geeigneter Energiequellen. Die beispielhaften Angaben zur Reduktion der Wärmeerzeugung

lassen sich auch auf andere Komponenten und Einrichtungen übertragen, z. B. Lagerplatz für das Brennholz. Die Daten zeigen, dass der Energiebedarf für die Bereitstellung des Warmwassers bei 3500 kWh/a liegt. Der Aufwand zur Deckung der Transmissionsverluste bei 1000 kWh/a und die Lüftungswärmeverluste bei 500 kWh/a liegen. Das Summenhäufigkeitsdiagramm der Aussentemperaturen in Abbildung 21 zeigt, dass etwa zwei Drittel aller Werte eines Jahres (Metodaten Zürich) über 5°C liegen und damit die Energiequelle Luft etwa dieselbe Temperatur aufweist wie eine übliche Erdsonde.

Die Erdsonden-WP wird eine JAZ von 3 bis 4 aufweisen und die Aussenluft-WP eine JAZ von ebenfalls 3 bis 4. Tendenziell wird diese jedoch besser abschneiden als die Erdsondenanlage, da die Wassererwärmung über das ganze Jahr erfolgt – auch in den warmen Sommertagen mit spürbar höheren Lufttemperaturen und die kritische Temperatur für den Vergleich der beiden WP-Arten bei rund 5°C liegt bzw. die übrigen 35 % der winterlichen Temperaturen die Erdsonde die Gesamtbetrachtung nicht verbessert (Abbildung 21).

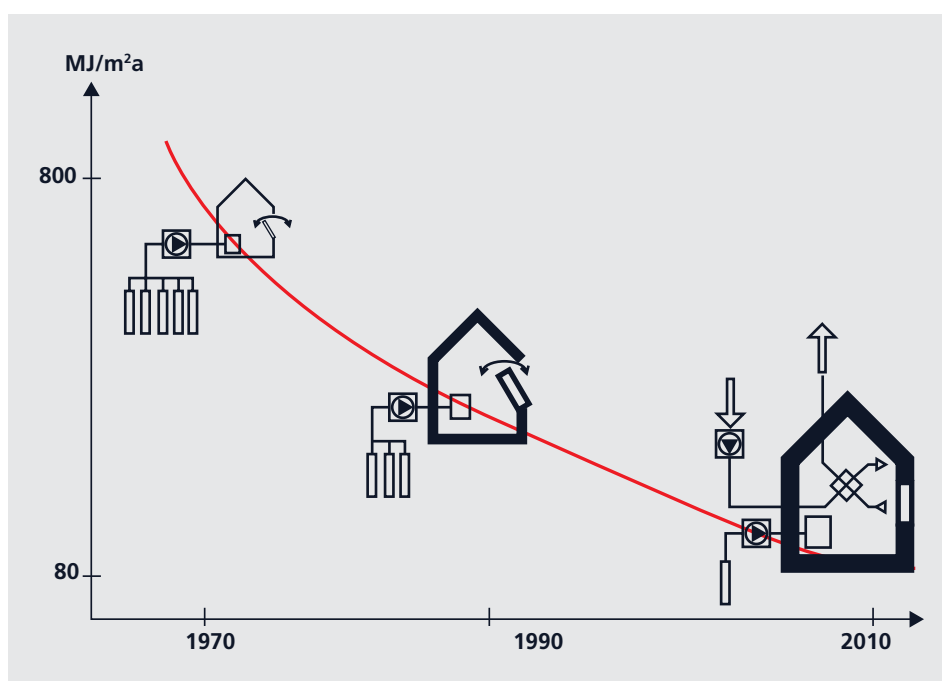


Abbildung 20. Integrale Konzepte und ihre technische Entwicklung: Entwicklung der Gebäudehülle und deren Auswirkung auf die Wärmeerzeugung (Beispiel Wärmepumpe). Für alle Gebäude Energiebezugsfläche EBF ca. 150 m².

Gebäude	1970	1990	2010
			
Eigenschaften	■ Schlechte Dämmung (4 cm) ■ Grosse thermische Verluste ■ Hohe Betriebstemperaturen (90 °C/70 °C) ■ Ungenügender Komfort	■ Verbesserte Dämmung (10 cm) ■ Weniger thermische Verluste ■ Tieferere Betriebstemperaturen (55 °C/45 °C) ■ Ungenügender Komfort	■ Gute Dämmung (über 20 cm, U-Werte der Aussenwand unter 0,12 W/m² K, des Fensters unter 1,0 W/m² K) ■ Kleine Verluste ■ Tiefe Betriebstemperaturen (30 °C/25 °C) ■ Erneuerbare Energien nutzen ■ Kontrollierte Lüftung (36 m³/h Person) ■ Guter Komfort
Transmissionswärmeverluste	24 000 kWh/a	10 000 kWh/a	1 000 kWh/a
Lüftungswärmeverluste	8 000 kWh/a	8 000 kWh/a	500 kWh/a
Energiebedarf Warmwasser	8 000 kWh/a	6 000 kWh/a	3 500 kWh/a
Total	40 000 kWh/a 960 MJ/m ² a 266 kWh/m ² a	24 000 kWh/a 576 MJ/m ² a 160 kWh/m ² a	5 000 kWh/a 120 MJ/m ² a 33 kWh/m ² a
Verhältnis Transmission, Lüftung und Warmwasser	60 % / 20 % / 20 %	40 % / 35 % / 25 %	20 % / 10 % / 70 %
Wärmeerzeugerleistung	18 kW	12 kW	3 kW
Elektrische Anschlussleistung	7 kW	5 kW	1,2 kW
Jahresarbeitszahl WP	3,5	3,5	2,5
Erdsondenlänge (40 W _{th} /m) Gesamtlänge	450 m	300 m	75 m
Kosten Erdsonde	36 000 Fr.	24 000 Fr.	6 000 Fr.
Kosten Wärmepumpe	20 000 Fr.	14 000 Fr.	5 000 Fr.
Total	56 000 Fr.	38 000 Fr.	11 000 Fr.
Abweichung	45 000 Fr.	27 000 Fr.	--
Kosten in %	100 %	68 %	20 %

Tabelle 16:
Vergleich von 3
Hauskonzepten
1970, 1990
und 2010 (Abbildung 20).
Annahmen:
Erdsonde pro Meter
80 Franken (ohne
Anschlüsse und
WP). Die Differenz
der kleineren Heizungsinfrastruktur
etc. wird vernachlässigt. Einheitlicher
Kostenstand (2010).
Die Vergleiche beziehen sich auf 150
m² EBF.

Fazit: Bessere Konzepte sind in der Summe «Gebäude als System» nicht teurer. Entgegen der häufigen Meinung, können solche Konzepte in grösseren Wohn- und Dienstleistungsbauten zu spürbar tieferen Investitionskosten und tieferen Betriebs-, Instandhaltungs- und Wartungskosten führen.

Erkenntnisse aus der Analyse der drei Beispiele 1970 bis 2010: Die Entwicklung zeigt, dass der thermische Energieaufwand zur Deckung der Transmissionsverluste dank der optimierten Gebäudehülle

sehr stark verbessert wird. Kaltluftabfall an den Fenstern und Diskomfort wegen kalten Wandoberflächen gehört der Vergangenheit an. Der Komfort und die Behaglichkeit steigen sofort merklich. Die Lüftungswärmeverluste nehmen rapide ab durch den Einsatz einer einfachen Lüftungsanlage. Dank der Wärmerückgewinnung (WRG-Anteil über 90 %) wird der thermische Energieaufwand für die Lufterneuerung schon fast vernachlässigbar klein. Eine gute lüftungstechnische Anlage ermöglicht einen elektrothermischen Verstärkungsfaktor von bis zu 30!

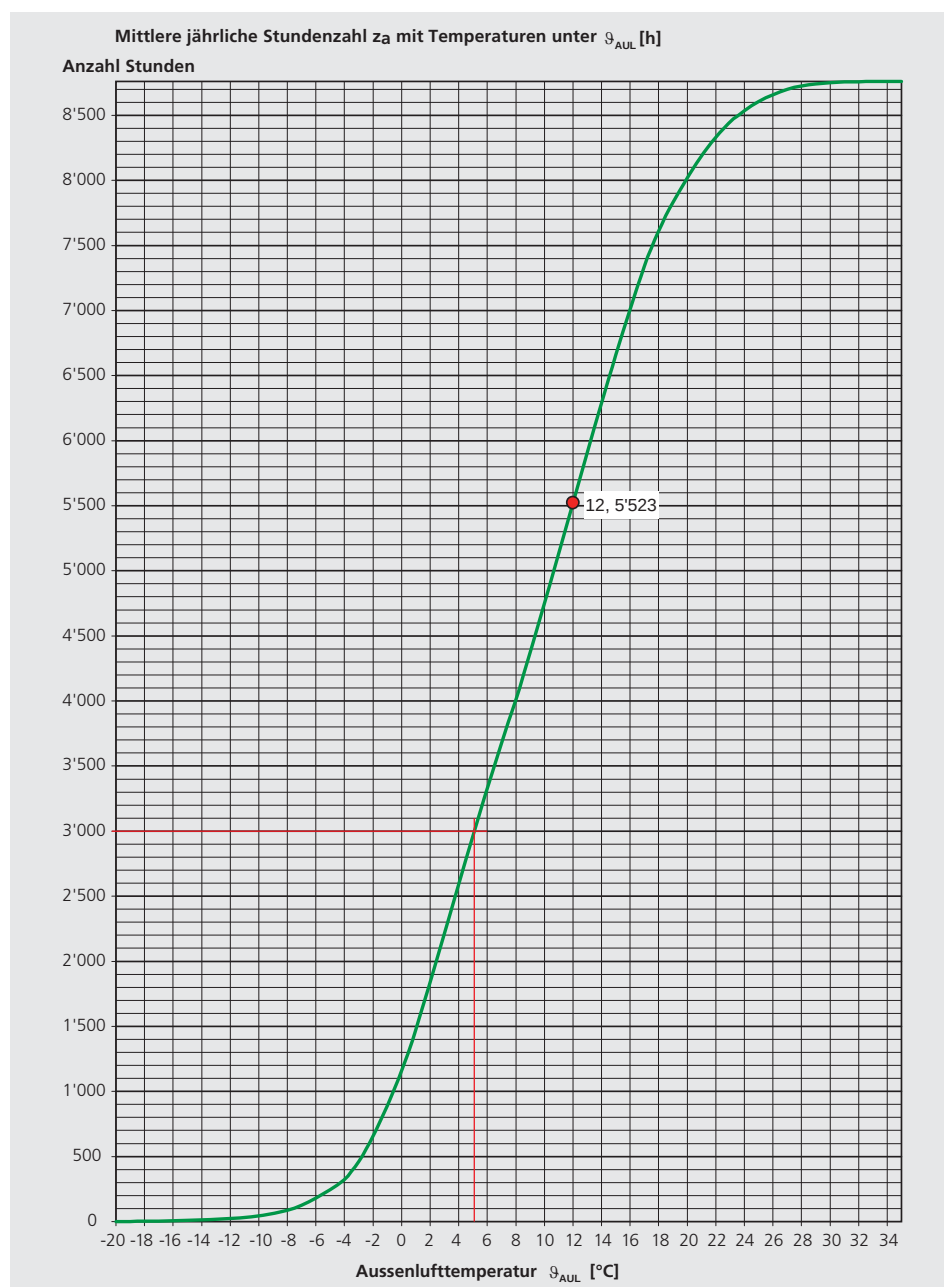


Abbildung 21: Summenhäufigkeit der Aussenlufttemperatur, über das ganze Jahr, 24-h-Betrieb, Standort Zürich, Quelle: SMA 1995

Das heisst: Um einen Faktor 7 besser als eine Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 4,3.

Schlussfolgerung

- Eine Lüftungsanlage, korrekt dimensioniert als Hygienelüftung, ist eine effektive Massnahme.
- Die Wärmepumpe übernimmt die Umwandlung von Umgebungswärme auf das notwendige Temperaturniveau, um den marginalen Anteil der Wärmeverluste durch die Hülle zu kompensieren.
- Die Luft-Wasser-Wärmepumpe erfährt auf Grund der minimierten Wärmeverluste «Hülle und Lüfterneuerung» ein Revival.
- Letztlich bleibt der grösste Aufwand für die Wassererwärmung. Die Gewohnheiten der Menschen in unserem Land sind diesbezüglich weitgehend unverändert.

Beispiel Medienhaus Marburg

Sanfte Klimatechnik, Energie- und Gebäudetechnik nach den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft

Die Organisation gibt vor, was gebraucht wird: Das Konzept ist eine Teamarbeit mit Ziel- und Projektdefinition. Die Bauherrschaft verlangte ein funktionales Medienhaus mit grosser Transparenz.

Die Anforderungen an die Architektur und Materialisierung wurden im interdisziplinären Planungsteam erarbeitet und definiert. Gefordert war eine Energie- und Gebäudetechnik nach den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft und eine Gebäudetechnik, die nicht als Störung empfunden wird.

Entwurfsphase mit permanenter Reflexion und Zielüberprüfung. Die Entwurfsphase entspricht einer Iteration von Architektur, Material, Tragwerk und Technikkonzepten. Begleitet von periodischen Überprüfungen durch thermische und Raumströmungssimulationen konnten die Risiken minimiert werden.

Das Gebäude als System. Die Hülle kompakt, gut gedämmt und trotzdem tages-

lichtoptimiert (mit einem grossen Oblicht) schafft die Voraussetzungen für eine optimale Gebäudetechnik. Als Energiequellen werden Solarstrahlung und Erdsreich genutzt. Im Sommer erfolgt ein Wärmeentzug (Kühlen direkt über die Erdsonden) und im Winter ein Wärmeeintrag (Heizen mittels Wärmepumpe). Die hygienisch notwendige Lüfterneuerung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit Feinstaubfilter und einer maximalen Wärmerückgewinnung, die eine Nachheizung der Luft mit der Wärmepumpe überflüssig macht. Die Räume werden mit einem thermoaktiven Bauteilsystem (Tabs) beheizt und gekühlt. Das Tabs ist in einem überdurchschnittlich dicken Estrich verlegt. Damit wird die Trennung zwischen Primär- und Sekundärsystem respektiert. Die Luftzufuhr erfolgt über eine impulsarme Verdrängungslüftung (Quelllüftung), integriert in den sekundären Innenausbau. Die Teamarbeit und konsequente Zielüberprüfung erbringen optimale Resultate. Simulationen während des Entwurfs und der Umsetzung sowie eine angemessene Gebäude- und Raumautomation tragen ebenfalls dazu bei.



Abbildung 22: Das Medienhaus in Marburg. Beteiligte: Architekten: Deon Architekten; Konzept Energie- und Gebäudetechnik: Kurt Hildebrand, Hochschule Luzern; Gebäudesimulationen: Iwan Plüss, Hochschule Luzern.

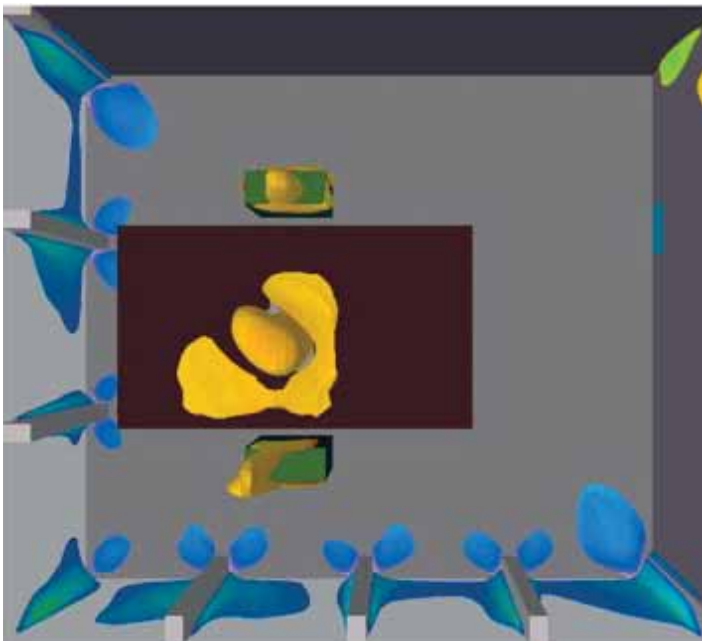


Abbildung 23: Luftströmung im Raum bei Aussentemperatur 0° C, U-Wert Verglasung 0,5 W/m²K.

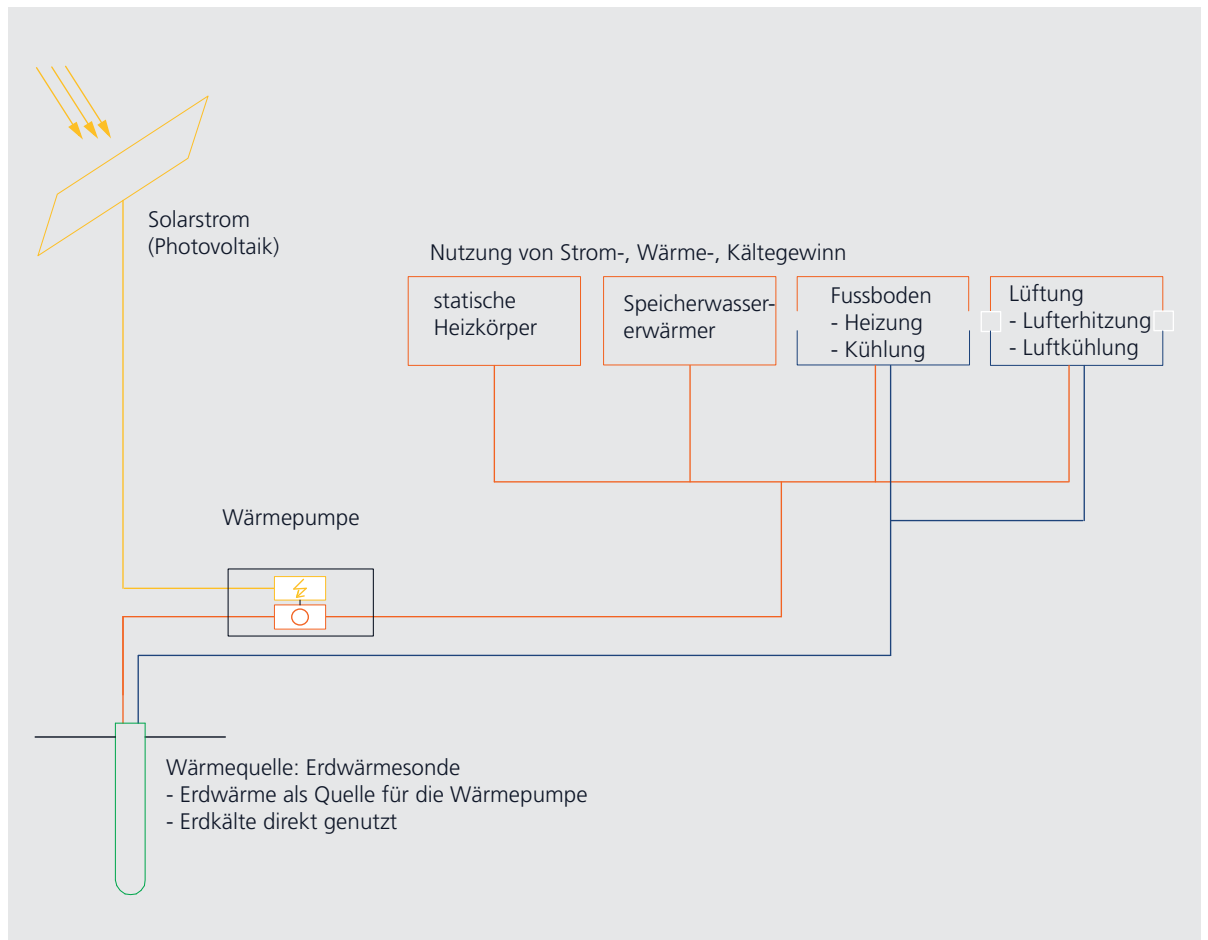


Abbildung 24:
Gebäudetechnik im
Medienhaus Mar-
burg, schematisch.

Abbildung 25:
Modula GT am Bei-
spiel des Medien-
hauses Marburg

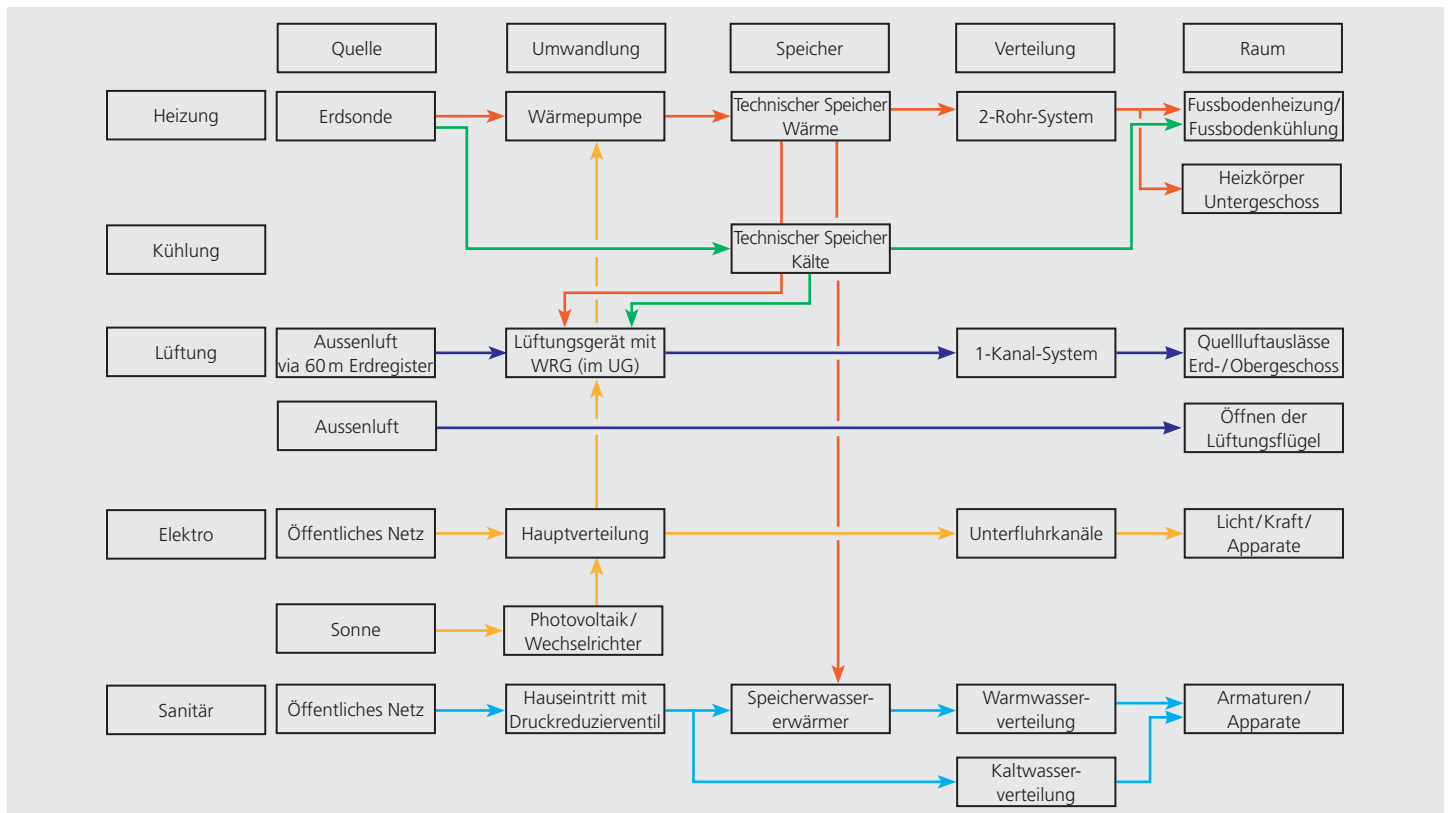




Abbildung 26: Das Medienhaus in der Abenddämmerung

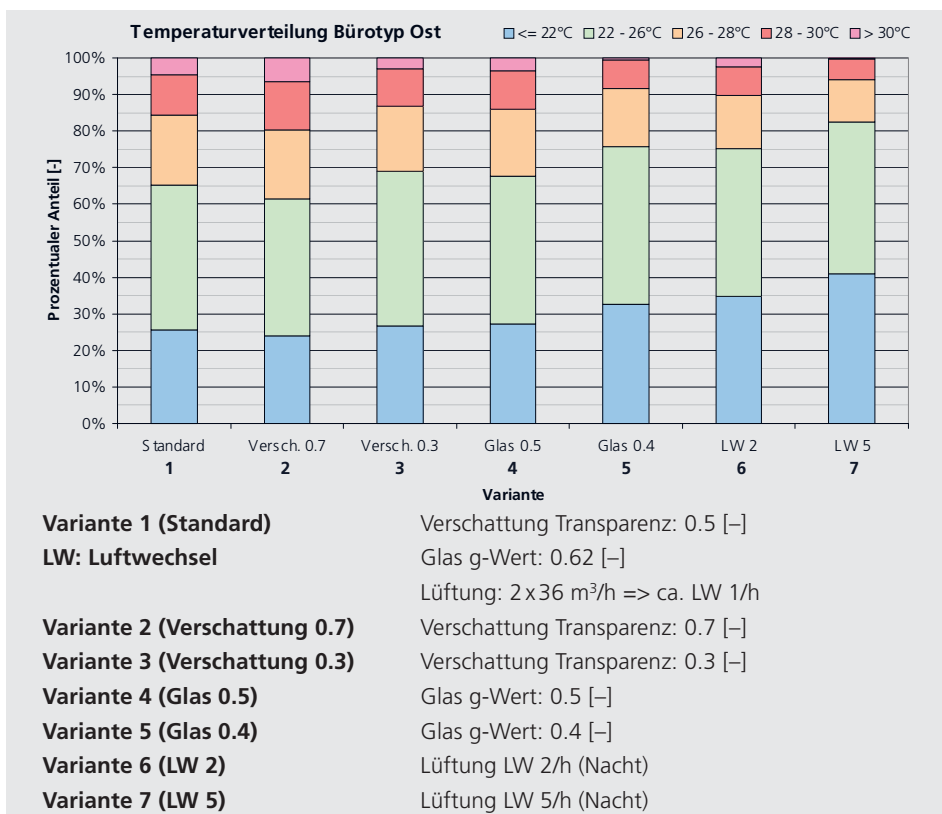


Abbildung 27: Thermische Simulation – Variantenübersicht. Anteile der Temperaturstufen an der gesamten Betriebszeit von 1215 Stunden (100 %) für 7 Varianten der Gebäudetechnik.

Heizungsanlagen

Reto von Euw 2.1 Komponenten einer Heizungsanlage

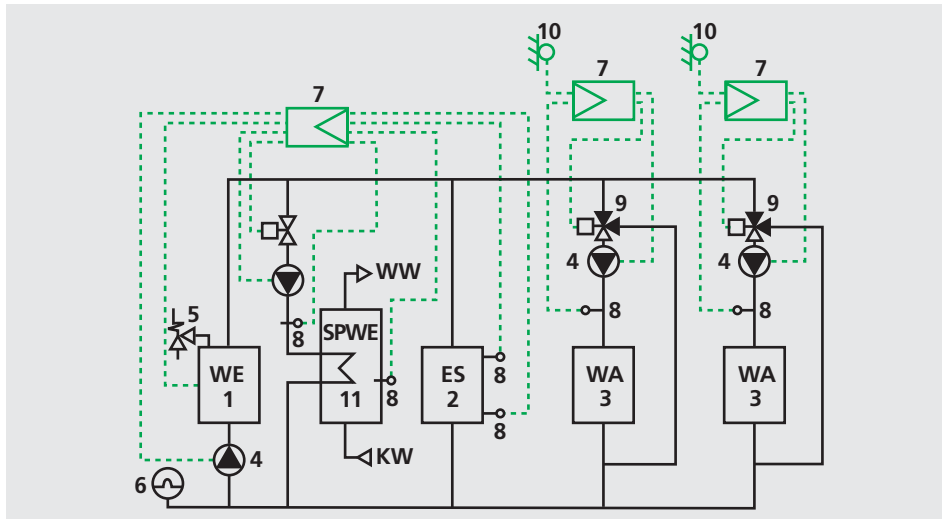


Abbildung 28:
Wesentliche
Komponenten einer
Heizungsanlage

- 1 Wärmeerzeuger (WE)** Ein Wärmeerzeuger formt Endenergie und allfällige weitere zugeführte Energien in direkt nutzbare Wärme um. Er überträgt die Wärme an ein Heizmedium.
- 2 Energiespeicher (ES)** Ein Energiespeicher sorgt mit seiner Wärmespeicherkapazität den zeitlichen Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf an Energie. Mit Energiespeichern werden unter anderem Sperrzeiten des Elektrizitätsversorgungsunternehmens überbrückt und kleine Schalthäufigkeiten des Wärmeerzeugers erreicht. Grundsätzlich unterscheidet man die Energiespeicher nach deren Funktionen:

 - Technischer Speicher: hydraulische Entkoppelung und Reduzierung der Schalthäufigkeit
 - Energie-Wärmespeicher: Speicherung von Wärmeenergie zur Spitzenabdeckung und Überbrückung von Sperrzeiten
- 3 Wärmeabgabe (WA)** Die Wärmeabgabe an einen Raum erfolgt meistens mit Heizkörpern, Fussbodenheizung (FBH) oder thermoaktive Bauteilsysteme (Tabs).
- 4 Umwälzpumpe (P)** (siehe Abschnitt «Hydraulik von Heizungsanlagen») Die Umwälzpumpe fördert das Heizungswasser durch einen definierten Kreislauf. Bei Heizungsumwälzpumpen wird zwischen unregelmässigen und geregelten Umwälzpumpen unterschieden.
- 5 Sicherheitsventil (SV)** Versagen die thermostatischen Regel- und Begrenzungseinrichtungen oder liegt ein Bedienungsfehler vor, kann ein gefährlicher Druckanstieg in einem hydraulischen Kreislauf resultieren. In diesem Fall öffnet das Sicherheitsventil.

- 6 Ausdehnungsgefäss** In Heizungsanlagen findet eine laufende Temperaturänderung statt und mit dieser eine Dichte- und Volumenänderung des Wassers. Das Ausdehnungsgefäss nimmt bei der Erwärmung des Wassers die Volumenzunahme auf und gibt diese bei einer Abkühlung wieder ans Netz ab.
- 7 Regler** Regler bewirken das Einhalten von vorgegebenen Soll-Werten (z. B. Raumtemperatur, Vorlauftemperatur). Messfühler erfassen den Ist-Wert und mittels Stellorganen (z. B. Ventile, Klappen) werden die zu regelnden Grössen eingestellt.
Grundsätzlich unterscheidet man in der Regelungstechnik zwischen Regelung und Steuerung. Bei der Regelung wird der Ist-Wert erfasst. Weicht der Ist-Wert vom Soll-Wert ab, reagiert das Regelorgan. Man spricht von einem geschlossenen Regelkreis (z. B. Raumtemperaturregelung).
Die Steuerung wirkt auf einen offenen Regelkreis. Dabei wird der Ist-Wert nicht mit dem Soll-Wert verglichen (z. B. Einfache Abluftanlage mit Nachlaufbetrieb).
- 8 Fühler (F)** Fühler erfassen den Ist-Wert und geben diesen dem Regelgerät weiter. Es wird zwischen Fühler und Thermostaten unterschieden. Bei Fühlern wird der Soll-Wert am Regelgerät eingestellt. Hingegen wird beim Thermostaten der Soll-Wert an Ort und Stelle direkt eingestellt.
- 9 Stellorgan** Stellorgane (z. B. Ventile, Klappen) bestehen aus dem Stellantrieb und dem Stellglied. Das Stellorgan stellt aufgrund des Eingangssignals eine Grösse (z. B. Hub) im Stellglied ein.
- 10 Aussentemperaturfühler, Witterungsfühler** Eine aussentemperaturgeführte Regelung ist die am häufigsten eingesetzte Art einer Heizungsregelung. Dabei wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur geregelt. Welche Vorlauftemperatur bei welcher Aussentemperatur notwendig ist, wird durch die Heizkurve definiert.
(siehe Abschnitt «Witterungsgeführte Vorlauf-temperaturregelung»)
- 11 Speicherwassererwärmung (SPWE)** Eine Speicherwassererwärmung (SPWE) ist eine Wassererwärmung in Form eines Behälters mit eingebauten Heizflächen, in denen das Kaltwasser erwärmt und gespeichert wird.
- Warmwasserspeicher (WWSP)** Ein Warmwasserspeicher (WWSP) ist ein Behälter zum Speichern von Warmwasser ohne eingebaute Heizflächen.

2.2 Hydraulik von Heizungsanlagen

Damit die notwendige Wärme in den Gebäuden bereitgestellt, verteilt und am richtigen Ort abgegeben wird, kommen in Gebäudetechnikanlagen hydraulische Netze zum Einsatz. In der Gebäudetechnik kennt man 6 Grundschaltungen derartiger Netze:

- Beimischschaltung
- Direktschaltung
- Drosselschaltung
- Umlenkschaltung (in der Schweiz für Neubauten nicht mehr zu verwenden)
- Einspritzschaltung mit 3-Weg-Stellorgan (in der Schweiz für Neubauten nicht mehr zu verwenden)
- Einspritzschaltung mit Durchgangs-Stellorgan

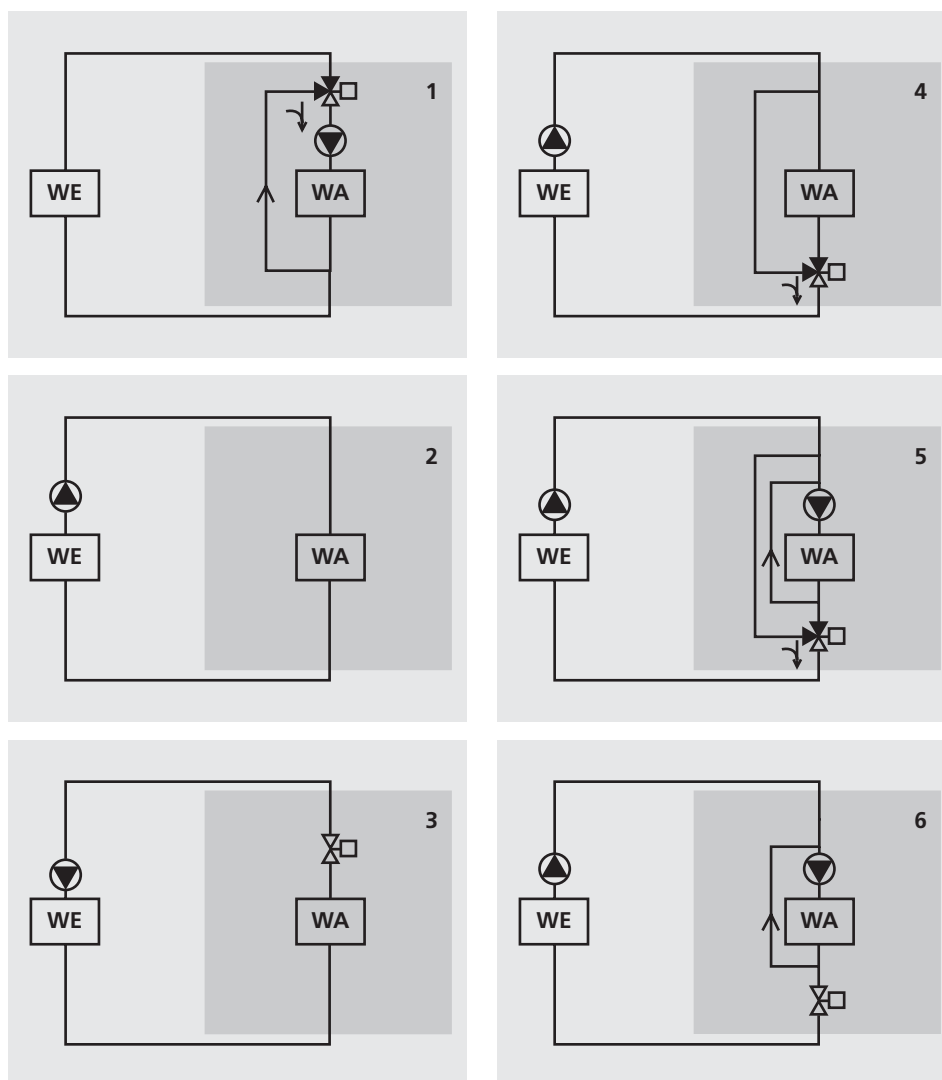


Abbildung 29:
Hydraulische
Grundschaltungen
(Quelle: Norm
SIA 384/1)

1 Beimischschaltung
2 Direktschaltung
3 Drosselschaltung
4 Umlenkschaltung
5 Einspritzschaltung
6 Einspritzschaltung
mit Durchgangs-
Stellorgan
WE Wärmeerzeuger
oder -übertrager
WA Wärmeabgabe
(z. B. Heizkörper,
Luftherhitzer)

In den folgenden Ausführungen werden nur auf die Beimischschaltung (Grundschtaltung 1) und die Einspritzschaltung mit Durchgangs-Stellorgan (Grundschtaltung 6) eingegangen. Diese sind die meist eingesetzten Schaltungen in der Gebäudetechnik.

Beimischschaltung

Funktionsweise

Bei der Beimischschaltung wird das Rücklaufwasser mit dem Vorlaufwasser auf die gewünschte Temperatur (VL-Temperatur der Heizgruppe) gemischt. Die gewünschte VL-Temperatur der Heizgruppe ist mit der Heizkurve definiert und ist abhängig von der Aussentemperatur.

Beim Einsatz von Thermostatventilen wird der Massenstrom im Wärmeabgabekreislauf variabel. In diesem Fall sollte eine geregelte Umwälzpumpe eingesetzt werden.

Beimischschaltung mit internem Bypass: Ist die vom Wärmeerzeuger erzeugte Vorlauftemperatur bei Auslegebedingungen (Volllast-Betrieb) höher als die Vorlauftemperatur in der Heizgruppe, muss bei der Beimischschaltung ein interner Bypass eingebaut werden. Durch das stetige Beimischen des abgekühlten Rücklaufwassers via Bypass sinkt die Vorlauftemperatur. Damit steht dem Stellorgan der komplette Hub für die Regulierung zur Verfügung. Dadurch wird die Regulierfähigkeit des Stellorgans optimal ausgenutzt.

Merkmale

- Tiefe Rücklauftemperatur bei kleiner Last (gut geeignet bei kondensierendem Wärmeerzeuger)
- Konstanter Massenstrom mit variabler Vorlauftemperatur im Verbraucherkreis, sofern keine Massenstromregler (z. B. Thermostatventile) bei der Wärmeabgabe eingesetzt sind
- Gleichmässige Temperaturverteilung über dem Heizkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei differenzdruckarmen Verteiler (kleine Anlagen) benötigt es keine Hauptpumpe. Dadurch wird der Massenstrom über dem Wärmeerzeuger variabel.

Einsatzgebiet

- Regelung von Heizkörper- und Fussbodenheizungen
- Lufterwärmer mit Einfriergefahr
- Anlagen mit Niedertemperatur-Wärmeerzeugern (kondensierende Wärmeerzeugung; Brennwertkessel) oder Wärmepumpen

Einspritzschaltung mit Durchgangsstellorgan

Funktionsweise

Je nach Stellung des Durchgangsventils (4), wird mehr oder weniger Vorlaufwasser des Wärmeerzeugers in den Heizkreis eingespritzt. Wie bei der Beimischschaltung ist auch bei der Einspritzschaltung die VL-

Abbildung 30:
Beimischschaltung
(Grundschtaltung 1)
1 Stellorgan,
2 Umwälzpumpe
3 Fühler
4 Abgleichdrossel
5 Aussenfühler
6 Regler
7 Sicherheitstemperaturbegrenzung bei FBH

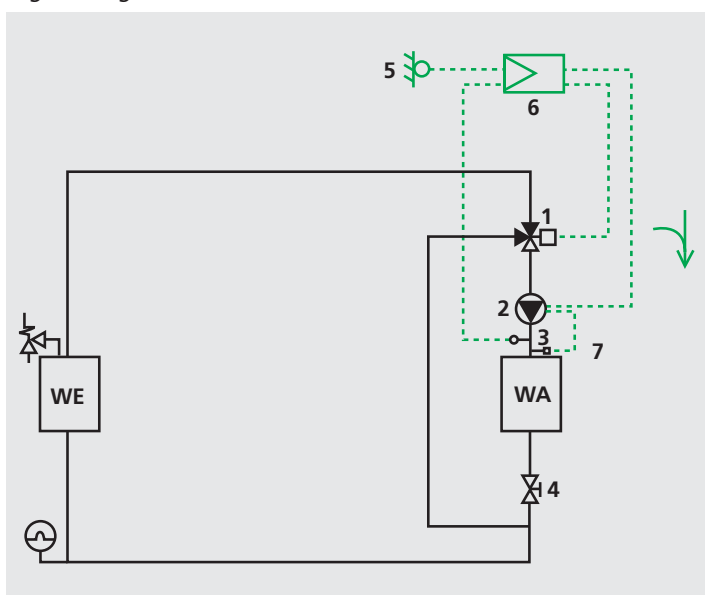
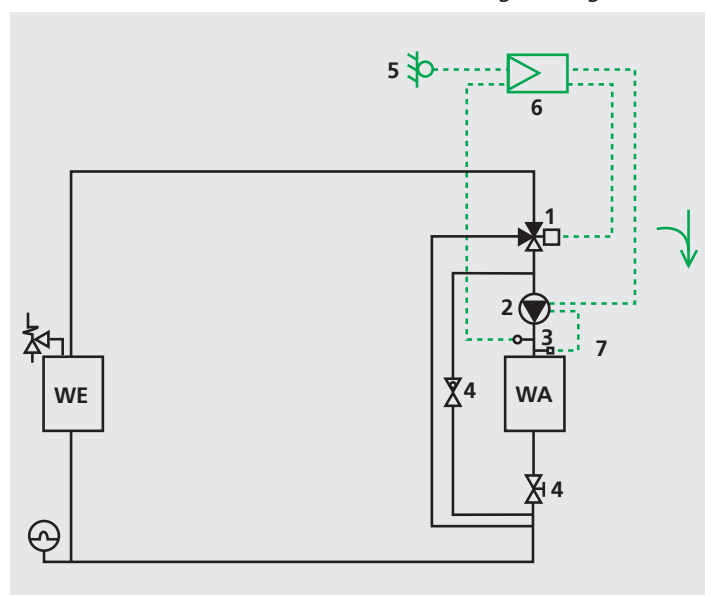


Abbildung 31:
Beimischschaltung
mit internem Bypass
1 Stellorgan,
2 Umwälzpumpe
3 Fühler
4 Abgleichdrossel
5 Aussenfühler
6 Regler
7 Sicherheitstemperaturbegrenzung bei FBH



Temperatur des Heizkreises von der definierten Heizkurve gegeben und ist abhängig von der Aussentemperatur. Kommen Thermostatventile zum Einsatz, so gelten die gleichen Aussagen, wie bei der Beimischschaltung.

Merkmale

- Tiefe Rücklauftemperatur
- Gleichmässige Temperaturverteilung über dem Heizkreis
- Geringe Einfriergefahr bei Lufterwärmern
- Bei Einspritzschaltungen mit Durchgangsstellorgan muss immer eine Hauptpumpe berücksichtigt werden.
- Massenstrom über dem Wärmeerzeuger ist variabel.

Einsatzgebiet

- Wärmepumpen und Brauchwarmwasserladung
- Anlagen mit Niedertemperatur-Wärmeerzeugern (kondensierende Wärmeerzeugung; Brennwertkessel oder Wärmepumpen)
- Direkte Fernheizungsanschlüsse
- Regelung von Heizkörper- und Fussbodenheizungen

Kesselrücklaufhochhaltung

In den Abgasen ist Feuchtigkeit (aus Brennstoff und Verbrennungsluft) in Form von Wasserdampf vorhanden. Will man diesen

Energieinhalt nutzen, muss die Abluft soweit heruntergekühlt werden, bis sich Wassertropfen (Kondensat) bilden. Heizkessel, welche die Kondensationswärme nutzen, bezeichnet man als Brennwertkessel (kondensierende Heizkessel). Dabei wird mit einer niedrigen Rücklauftemperatur die Kondensation ermöglicht und somit eine Nutzung des Brennwerteffekts.

Kommen Heizkessel zum Einsatz, welche die speziellen materialtechnischen Anforderungen an die Heizkesselkonstruktion nicht erfüllen und somit die Kondensationswärme nicht nutzen können, darf die Rücklauftemperatur in den Heizkesseln den Taupunkt des jeweiligen Brennstoffs nicht unterschreiten. Dies kann mit einer hydraulischen Schaltung, der Kesselrücklaufhochhaltung, garantiert werden.

Funktionsweise

Liegt die Rücklauftemperatur ($\theta_{K,RL,min.}$) unter dem Taupunkt des jeweiligen Brennstoffs, wird heisses Vorlaufwasser mittels 3-Weg-Ventil dem Rücklauf zugemischt. Haben Kesselkreis und Heizgruppen stark unterschiedliche Rücklauftemperaturen, so ist auf der Kesselseite ein konstanter interner Bypass vorzusehen.

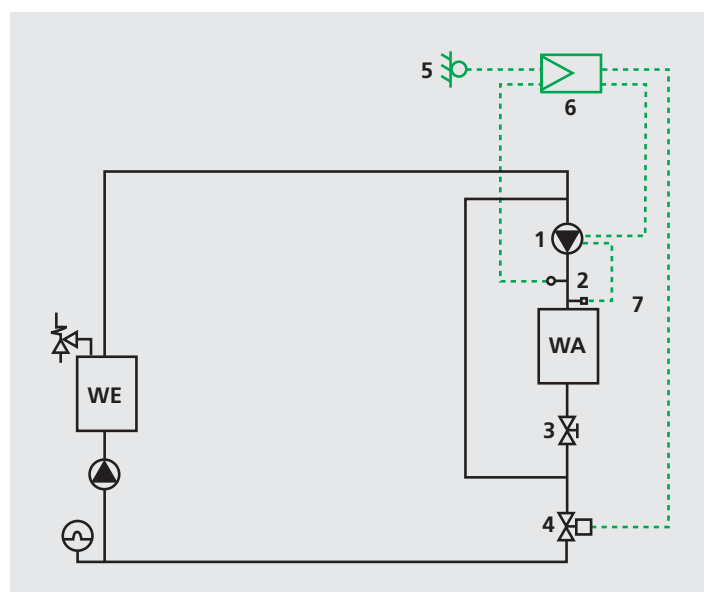


Abbildung 32:
Einspritzschaltung
1 Umwälzpumpe
2 Fühler
3 Abgleichdrossel
4 Stellorgan
5 Aussenfühler
6 Regler
7 Sicherheitstemperaturbegrenzung bei FBH

Merkmale

- Sichere Lösung
- Geeignet, wenn zwischen Wärmeerzeuger und Verbraucher grosse Distanzen liegen (z. B. Fernwärme).
- Stellglied kann gleichzeitig auch genutzt werden, um die Kesselvorlauftemperatur zu regeln.

Einsatzgebiet

- Bei nichtkondensierenden Heizkesseln (z. B. Holzheizkessel)
- Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE): Mit fossilen Brennstoffen (Gas, Öl) betriebene Heizkessel bei Neubauten und Kesslersatz muss die Kondensationswärme genutzt werden. Der Einsatz von Brennwertkessel ist deshalb unumgänglich.

Umwälzpumpen

Bei Heizungsumwälzpumpen wird zwischen unregelmässigen und geregelten Umwälzpumpen unterschieden. Bei geregelten Umwälzpumpen ist der Wirkungsgrad im Teillastbereich oft deutlich schlechter

als bei nicht geregelten Pumpen. Geregelte Umwälzpumpen eignen sich daher nur, wenn folgende Fälle eintreten:

- Der Durchfluss variiert um mehr als 1 zu 2.
- Keine unregelmässige Pumpe mit ausreichend flacher Pumpenkennlinie zu finden ist.
- Für grosse Heizungskreise mit Heizleistungen über 300 kW bis 400 kW.

Bei der Auslegung von Umwälzpumpen sollte darauf geachtet werden, dass sie während des Betriebs mit einem guten Wirkungsgrad läuft. Deshalb sollten bei der Auslegung auf folgende Punkte geachtet werden:

- Bei unregelmässigen Umwälzpumpen sollte der Auslegungsbetriebspunkt im mittleren Drittel der Pumpenkennlinie liegen.
- Bei geregelten Umwälzpumpen sollte der Auslegungsbetriebspunkt im hinteren Drittel der Pumpenkennlinie liegen. Somit wird ein grosser Regelbereich und im Teillastfall ein guter Wirkungsgrad erreicht. Wichtig ist, dass gewählte Umwälzpumpen immer der effizientesten Energieklasse entsprechen.

Abbildung 34:
Empfohlene Bereiche bei der Pumpenauslegung von unregelmässigen und geregelten Pumpen.

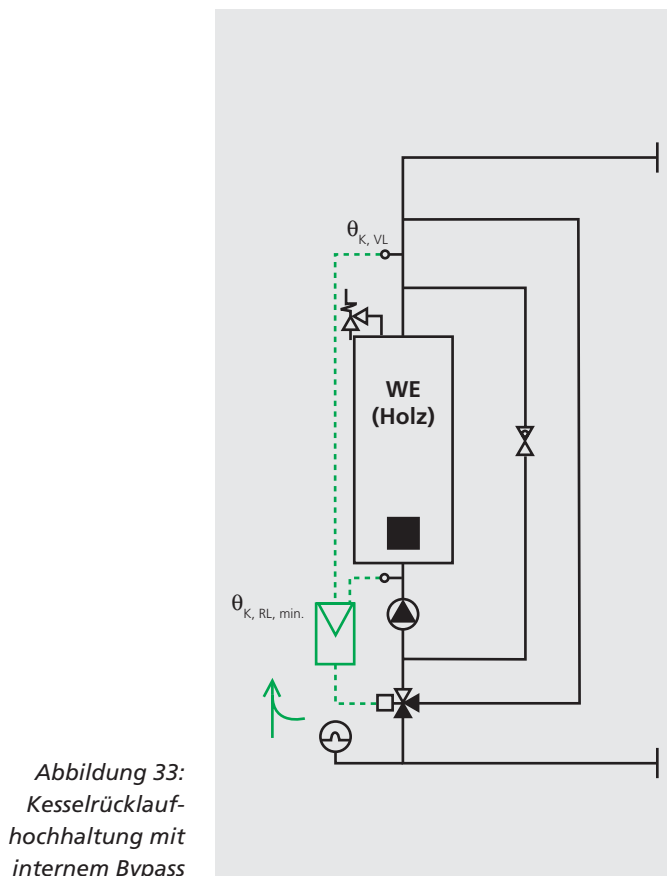
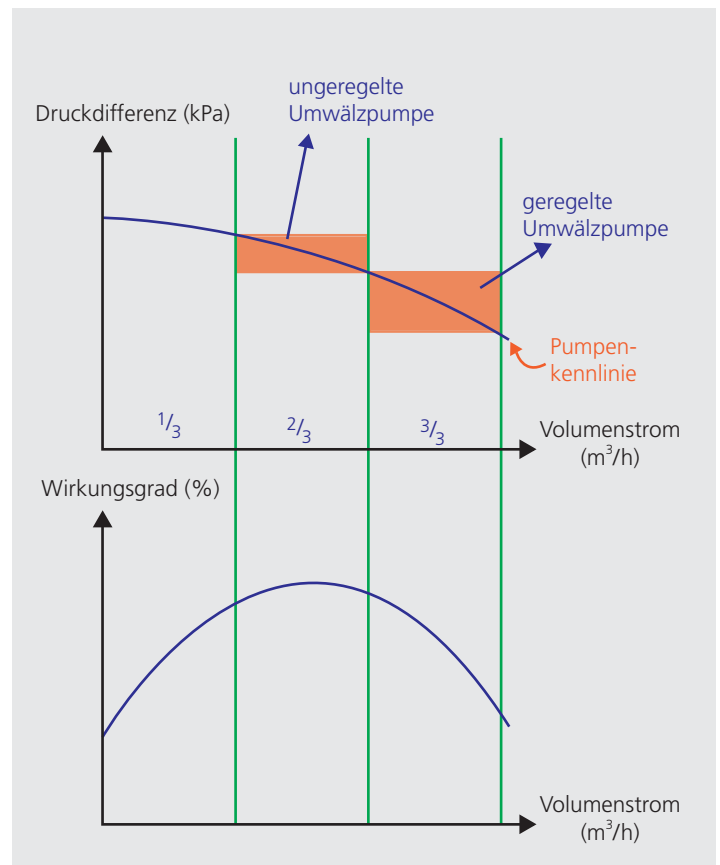


Abbildung 33:
Kesselrücklaufhochhaltung mit internem Bypass



Ungeregelte Umwälzpumpen

Bei unregulierten Umwälzpumpen befindet sich der Betriebspunkt immer auf der konstanten Pumpenkennlinie. D.h., der Volumenstrom und die Förderhöhe verändern sich nicht. Ungeregelte Umwälzpumpen werden eingesetzt, wenn die hydraulischen Daten während eines Ladevorgangs konstant bleiben (z.B. Warmwasserladung, Hauptpumpe bei differenzdruckloser Verteilung).

Geregelte Umwälzpumpen

Geregelte Umwälzpumpen passen die Förderhöhe bei ändernden Lastzuständen im Heizungskreis laufend an. Dabei können zwei verschiedene Betriebsarten gewählt werden:

■ **Regelung mit konstantem Betriebsdruck (CP):** Dabei bleibt der Differenzialdruck der Anlage bei änderndem Volumenstrom konstant. Diese Betriebsart kommt zum Einsatz bei kleineren Heizungsanlagen mit konstanten Druckverlusten im Voll- und Teillastbetrieb.

■ **Regelung mit proportionalem Betriebsdruck (PP):** Bei dieser Regelungsart sinkt der Differenzdruck mit abnehmendem Volumenstrom und steigt mit zunehmendem Volumenstrom. Dabei wird der Differenzdruck in der Pumpe gemessen und geregelt. Proportionaldruckgeregelter Pumpen kommen bei Anlagen mit variablen Druckverlusten im Teillastbetrieb zum Einsatz.

Abbildung 35:
Pumpendiagramm
einer unregulierten
Umwälzpumpe

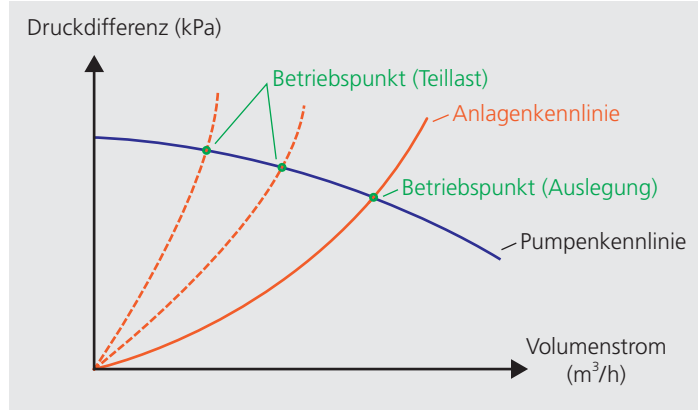
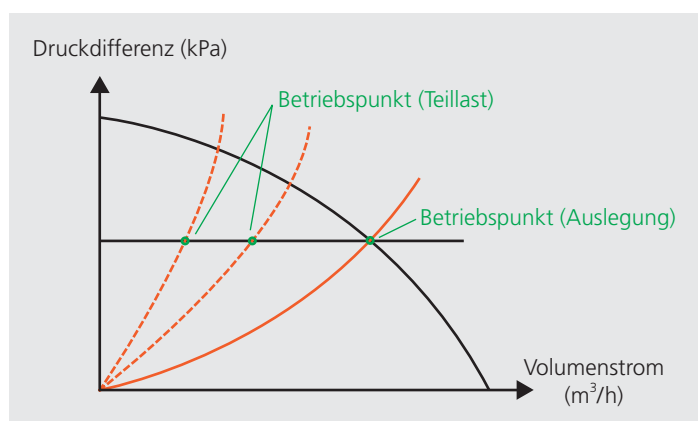


Abbildung 36:
Pumpendiagramm
einer geregelten
Umwälzpumpe mit
konstantem
Betriebsdruck (CP)



Witterungsgeführte

Vorlauftemperaturregelung

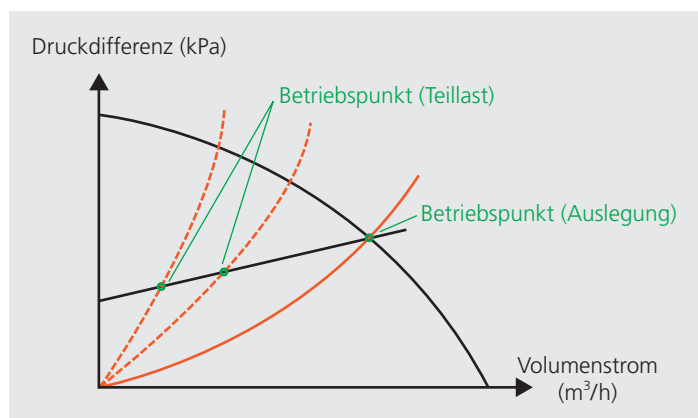
Die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung beeinflusst die Raumtemperatur. Dabei stellt sich bei schlechtem Wetter und tiefen Aussentemperaturen eine höhere Vorlauftemperatur ein, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. Mit der eingestellten Heizkurve können die intern und extern anfallenden Wärmelasten im Raum nicht erfasst werden.

Besonders bei gut gedämmten Gebäuden sinkt der Einfluss einer Aussentemperaturänderung auf die Raumtemperatur. Die nur aussentemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung kann mit dem Zuschalten von Wind- respektive Sonnenein-

flüssen verbessert werden. In diesem Fall spricht man von einer witterungsgeführten Vorlauftemperatur.

Auch kann der zusätzliche Wärmeanfall mit einer Raumtemperaturkompensation korrigiert werden. Dazu wird die Raumtemperatur in einem Referenzraum gemessen und bei einem zusätzlichen Wärmeeintrag wird die Heizkurve entsprechend der Raumtemperaturabweichung parallel nach unten verschoben. Voraussetzung für den Erfolg dieser Methode ist, dass die Störgrößen (interner und exter-

Abbildung 37:
Pumpendiagramm
einer geregelten
Umwälzpumpe mit
proportionalem
Betriebsdruck (PP)



ner Wärmeeintrag) auf alle Räume gleichmässig einwirken. Dies ist leider in der Regel nicht der Fall – Störgrössen treten vielmehr in einzelnen Räumen unterschiedlich auf. Hier helfen nur Thermostatventile in allen Räumen. Deshalb wird die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung heute oft mit Thermostatventilen kombiniert.

Platzierung von Aussenfühlern

- Nie direkter Sonneneinstrahlung aussetzen.
- Nie auf Fassaden mit grosser Auftriebswärme montieren.
- Nicht über Lüftungs-Austrittsöffnungen montieren.

Die früher allgemein gültige pauschale Regel «Immer Nordseite für den Aussenfühler» ist heute mit Sicherheit nicht mehr gültig, sondern sie ist zu differenzieren. Bei gut gedämmten Gebäuden mit massiven Bauteilen möchte man die Speicherfähigkeit der Masse nutzen. Dabei wird die anfallende Wärme in Bauteilen gespeichert und zeitverzögert an die sinkende Temperatur der Umgebungsluft wieder abgegeben. Fühler an der Ostfassade sollten in den Morgenstunden von einem Nadelbaum (Achtung: Laubbäume haben im Winter keine Blätter), Nachbargebäude oder Balkon beschattet sein. Ansonsten kann der Fühler von der Morgensonne zu fest aufgeheizt werden, sodass die Vorlauftemperatur zu niedrig ist.

Heizkurve

Die Heizkurve beschreibt die Zuordnung der Vorlauftemperatur zur Aussentemperatur. Im Regler wird die Heizkurve eingestellt; sie ist abhängig vom Gebäude und vom Wärmeabgabesystem.

Mit Vorlauftemperatur bezeichnet man die Temperatur des der Wärmeabgabe (Fussbodenheizung, Heizkörper) dienenden Heizungswassers. Sie liegt je nach Aussentemperatur und dem Wärmeabgabesystem zwischen 25 °C und 50 °C. Anlagen mit reinen Flächenheizungen (z. B. Fussbodenheizungen) kommen mit 25 °C bis 35 °C aus.

Die Heizkurve sollte nach der Inbetriebnahme überwacht und optimiert werden. Es empfiehlt sich, dass im Referenzraum (ungünstigster Raum) die Thermostatventile an kalten Tagen geöffnet bleiben und die Rückmeldungen vom Nutzer angefordert werden. Je nach Rückmeldung wird die Heizkurve nach unten oder oben korrigiert. Ist die Heizkurve korrekt eingestellt, so wird die gewünschte Raumtemperatur an kalten Wintertagen und ohne intensive Sonneneinstrahlung gerade noch erreicht. Mit Aufzeichnungen der Aussen- und der Raumtemperatur während einer Heizperiode können die korrekten Einstellungen an der Heizkurve einfacher und präziser vorgenommen werden.

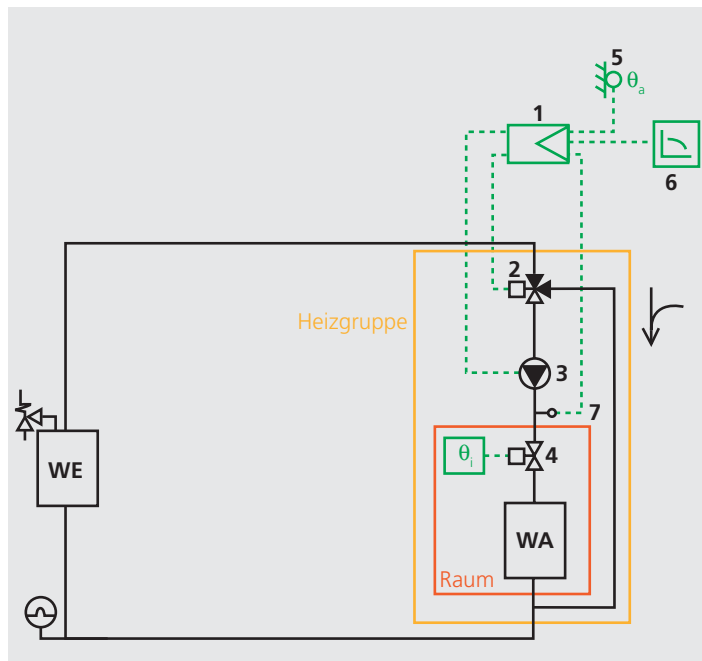


Abbildung 38: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung in Verbindung mit Thermostatventilen

- 1 Vorlauftemperatur-Regelung
- 2 Stellorgan
- 3 Heizgruppenpumpe
- 4 Thermostatventil
- 5 Aussentemperatur-Fühler
- 6 Heizkurve (VL-Sollwertgeber)
- 7 Vorlauftemperaturfühler
- θ_a = Aussentemperatur
- θ_i = Raumtemperatur

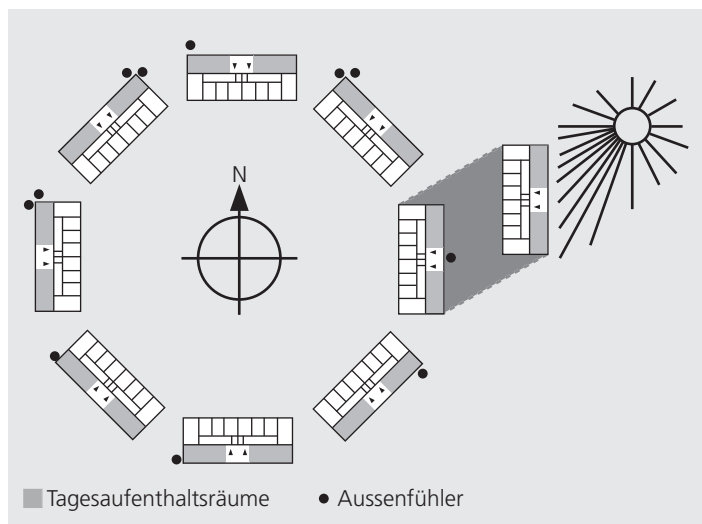


Abbildung 39: Platzierung von Witterungsfühlern

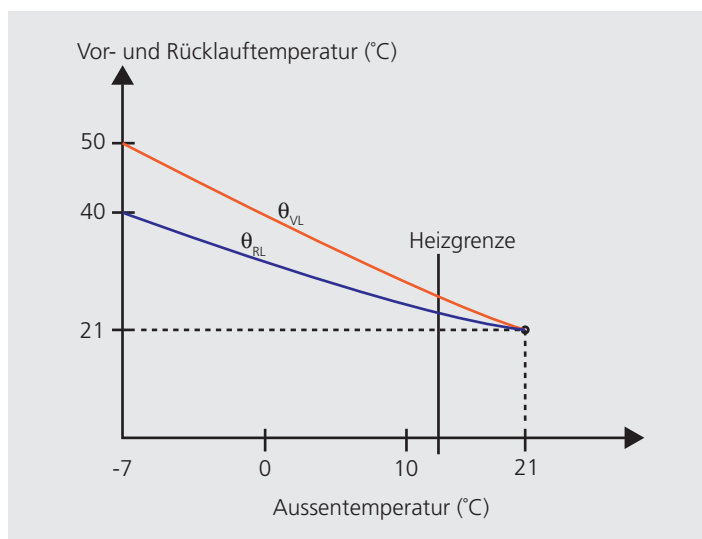


Abbildung 40: Beispiel einer Heizkurve (Wärmeabgabe über Heizkörper)

2.3 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe (WP) entspricht im technischen Aufbau einer Kältemaschine (KM). Im Gegensatz zur KM erwärmt die WP ein Wärmeträgermedium, das Heizungswasser. Die von der WP erzeugte Wärme stammt aus einem tieferen Ener-

giepotenzial, welche mit dem Verdampfer aus Abwärme oder aus der Umwelt entzogen wird. Nach dem Verdampfer ist das Kältemittel in einem gasförmigen Zustand und wird mittels Verdichter auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau gebracht.

Kältemittel	GWP _{100a} (CO ₂ = 1,0)	Praktischer Grenzwert (kg/m ³)	Angaben zur Sicherheit	Kritische Temperatur (°C)	Temperaturgleit bei 1 bar _a (K)	Siede-Tempe- ratur bei 1 bar _a (°C)
R-134a	1200	0,25	–	101	0	–26
R-407C	1520	0,31	–	87	7,4	–44
R-404A	3260	0,48	–	73	0,7	–47
R-410A	1720	0,44	–	72	< 0,2	–51
R-417A	1950	0,15	–	90	5,6	–43
R-507A	3300	0,52	–	70	0	–47
<i>R-290 (Propan)</i>	<i>3</i>	<i>0,008</i>	<i>brennbar</i>	<i>97</i>	<i>0</i>	<i>–42</i>
<i>R-717 (NH₃)</i>	<i>0</i>	<i>0,00035</i>	<i>giftig</i>	<i>133</i>	<i>0</i>	<i>–33</i>
<i>R-723 (NH₃ & DME)</i>	<i>8</i>	–	<i>giftig</i>	<i>131</i>	<i>0</i>	<i>–37</i>
<i>R-744 (CO₂)</i>	<i>1</i>	<i>0,07</i>	<i>hoher Druck</i>	<i>31</i>	<i>0</i>	<i>–57*</i>
<i>R-718 (H₂O)</i>	<i>0</i>	–	–	<i>374</i>	<i>0</i>	<i>100</i>

Tabelle 17: Kältemittelkennwerte
(siehe auch Tabelle
48 auf Seite 93)

Abbildung 41:
Prinzip eines
Kältekreislaufes

Abbildung 42:
Kältekreislauf im
h-log-p-Diagramm
dargestellt

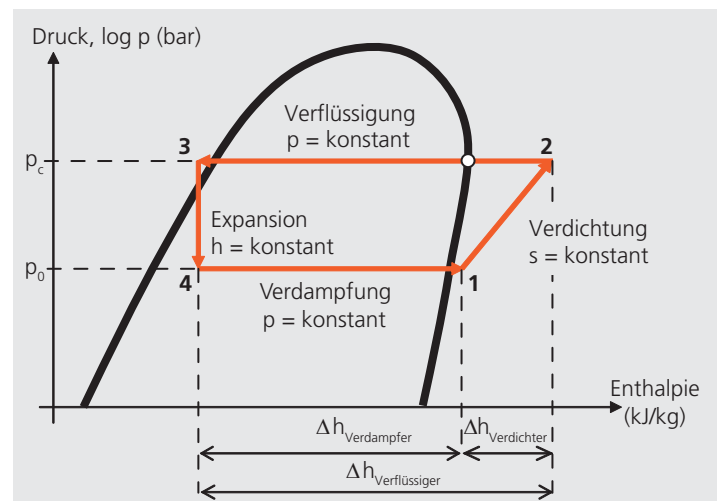
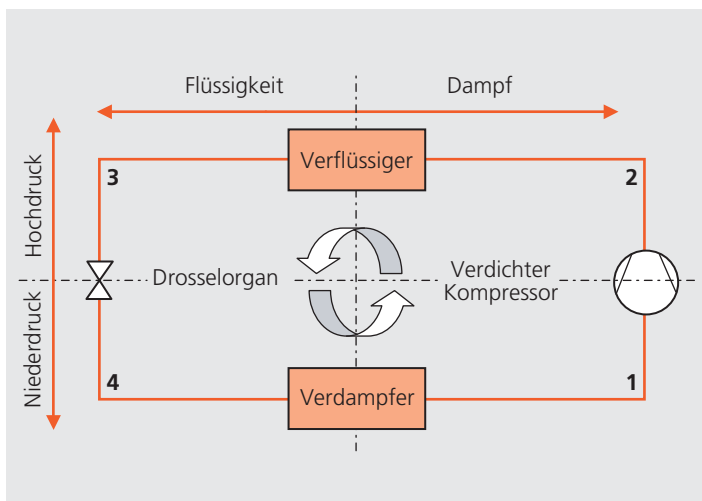
Kursiv: Natürliche Kältemittel

*CO₂ muss wegen Eisbildung über 5,3 bar betrieben werden (Tripelpunkt)

«GWP_{100a}» bezeichnet den Treibhauseffekt bezogen auf CO₂ = 1, der über einen Zeitraum von 100 Jahren verursacht wird. Der «Praktische Grenzwert» bezeichnet den maximal zulässigen Grenzwert des Kältemittels in der Luft. Darin sind Sicherheitsmargen für ungleichmässige Konzentrationen (Schichtung) bereits berücksichtigt.

Die «Kritische Temperatur» bezeichnet die Temperatur, oberhalb der es unmöglich ist, ein Gas unter Anwendung noch so hoher Drücke zu verflüssigen.

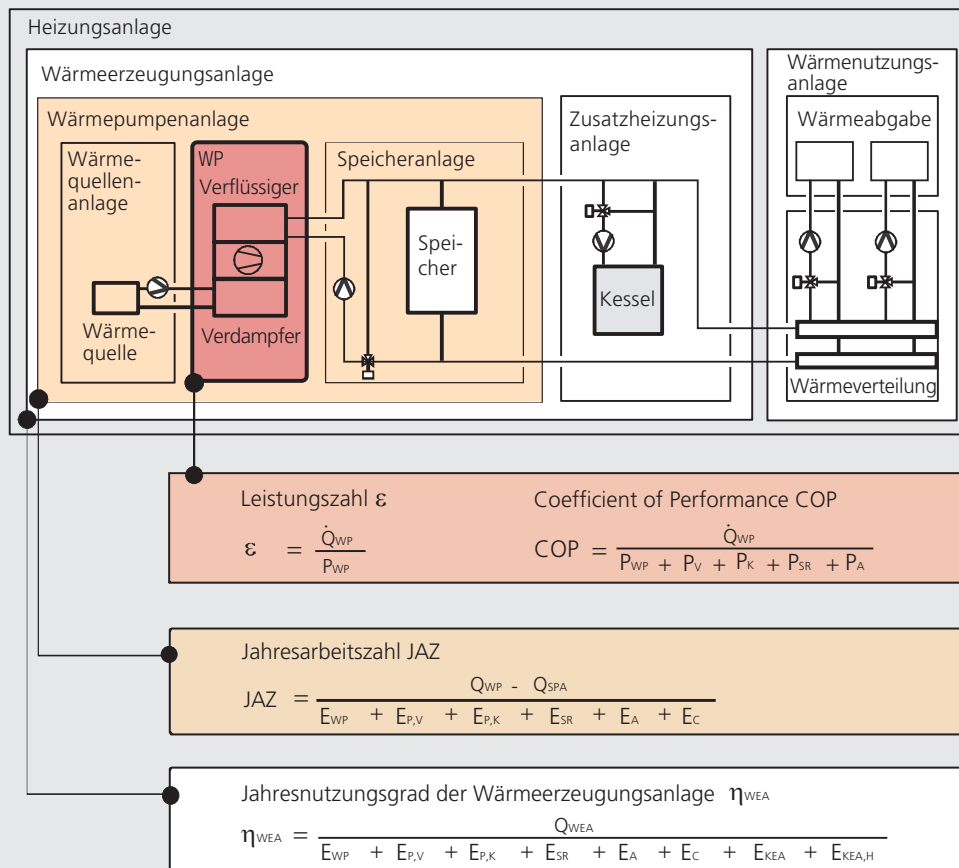
Die «Temperaturgleit» bezeichnet die Differenz zwischen Siede- und Taupunkttemperatur bei konstantem Druck.



Arten von Energiequellen

Wichtigste Voraussetzung, um mit einer Wärmepumpe eine gute Jahresarbeitszahl (JAZ) zu erreichen, ist eine geeignete Energiequelle. Ihre Temperatur sollte möglichst hoch und konstant sein und damit wird eine kleine Temperaturdifferenz zwischen Energiequelle und Verflüssigertemperatur

erreicht. Die JAZ beschreibt das Verhältnis des gesamten Jahreswärmebedarfs (Q) des zu erwärmenden Gebäudes zur gesamten aufgenommenen elektrischen Energie (E), einschliesslich aller elektrischen Geräte der Heizungsanlage (WP mit Regler, Primär- und Sekundärpumpe, etc.).



Die Leistungszahl einer Wärmepumpe wird als **COP «Coefficient of Performance»** bezeichnet. Der COP gibt an, wie viel nutzbare Wärmeleistung im Verhältnis zur aufgenommenen elektrischen Leistung eine Wärmepumpe bei einem genormten Betriebspunkt in Form von Wärme abgibt. Der COP darf nicht mit der Jahresarbeitszahl (JAZ) verwechselt werden.

Leistungen (Momentanwerte oder Mittelwerte über kurze Zeitdauer)

- $\dot{Q}_{WP}$ Heizleistung der Wärmepumpe
- P_{WP} Verdichter-Leistungsaufnahme der Wärmepumpe
- P_V Leistungsanteil zur Überwindung des Verdampferdruckabfalls
- P_K Leistungsanteil zur Überwindung des Verflüssigerdruckabfalls
- P_{SR} Leistungsaufnahme der Steuerung und Regelung innerhalb der Wärmepumpe
- P_A mittlere Leistungsaufnahme der Abtaueinrichtung

Energiemengen (Jahreswerte)

- Q_{WP} von der Wärmepumpe produzierte Wärmemenge
- Q_{SPA} Wärmeverluste der Speicheranlage
- Q_{WEA} von der ganzen Wärmeerzeugungsanlage produzierte Wärmemenge
- E_{WP} Verdichter-Energieverbrauch der Wärmepumpe
- $E_{P,V}$ Energieverbrauch der Verdampferpumpe (Anteil)
- $E_{P,K}$ Energieverbrauch der Verflüssigerpumpe (Anteil)
- E_{SR} Energieverbrauch der Steuerung und Regelung
- E_A Energieverbrauch der Abtaueinrichtung
- E_C Energieverbrauch der Carterheizung
- E_{KEA} Brennstoffverbrauch der Kesselanlage
- $E_{KEA,H}$ Hilfsenergieverbrauch der Kesselanlage

Abbildung 43:
Systemgrenzen von Wärmepumpenanlagen

Für die JAZ können folgende Zahlen als Richtgrößen angenommen werden (Quelle: Europäischer Wärmepumpenverband EHPA):

- Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen 4,5
- Direktverdampfer-Wärmepumpenanlagen 4,2
- Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen 4,0
- Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen 3,5

Für eine WP eignen sich folgende Energiequellen:

- Luft (Umgebungswärme aus Aussenluft und Fortluft)
- Wasser (Oberflächenwasser und unterirdisches Wasser, Abwasser)
- Geothermie (oberflächennahe und tiefe Geothermie)
- Abwärme (gewerbliche Kälte, Klimakälte oder Prozesskälte)

Luft-Wasser-WP

Die Luft-Wasser-WP entzieht Wärme der Aussenluft oder der Fortluft von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen). Diese Luftquellen stehen in unbeschränkten Mengen zur Verfügung. Nachteilig sind die saisonal tiefen Aussenlufttemperaturen und deren Luftfeuchte. So kann es sein, dass bei tiefen Aussenlufttemperaturen Reif und Eis am Verdampfer ansetzen. Mittels Abtaueinrichtung in der WP wird der vereiste Lamellenwärmeübertrager wieder abgetaut.

Wärmequelle: Aussenluft

Bei der Aussenluft-Wasser-WP unterscheidet man Kompaktgeräte und Splitgeräte. Wobei bei den Kompaktgeräten zwischen zwei Bauformen unterschieden wird: Innenaufstellung und Aussenaufstellung. Die Luft wird bei der Innenaufstellung aussen gefasst und mit einem Luftkanal zur WP geführt. Besteht im Gebäude Platzmangel, kann ein Kompaktgerät für Aussenaufstellung zum Einsatz kommen. Kann wegen grossen Luftvolumenströmen der Luftkanal nicht im Gebäude installiert werden, wird die WP in zwei Teile gesplittet. Ein Splitgerät besteht demzufolge aus zwei Teilen: einem Verdampfer (ausser-

aufgestellt) und einem Verflüssiger mit Verdichter (innen aufgestellt). Die beiden Teile sind mit Kältemittelleitungen verbunden.

Planungshinweise für Luft-Wasser-WP (Quelle: Handbuch Wärmepumpen)

■ **Elektroanschluss ist bewilligungspflichtig:** Die Nutzung von Aussenluft ist nicht bewilligungspflichtig. Hingegen muss der Elektroanschluss vom zuständigen Elektrizitätswerk bewilligt werden.

■ **Zeitweise eingeschränkte Heizsystemtemperaturen:** Aufgrund von saisonal tiefen Aussenlufttemperaturen kann unter Umständen die Heizsystemtemperatur nicht erreicht werden oder die Wärmepumpe wird mit einem schlechten COP betrieben.

■ **Automatische Abtauung des Verdampfers:** Bei Aussentemperaturen unter ca. 5°C und entsprechender Luftfeuchtigkeit kann der Verdampfer vereisen. Es ist eine automatische Abtauung notwendig.

■ **Kondenswasserbildung beim Verdampfer muss abgeführt werden:** Durch die Abkühlung unter den Taupunkt der Luft im Verdampfer entsteht Kondenswasser. Dieses muss gesammelt und in einer frostsicheren Leitung abgeführt werden.

■ **Keinen Kurzschluss von gefasster und abgekühlter Aussenluft:** Es ist zu beachten, dass die zum Verdampfer geführte Luft nicht abgekühlte Luft ansaugt



Abbildung 44:
Luft-Wasser-WP;
Kompaktgerät

und dadurch zu einem Kurzschluss kommen kann.

■ **Steigerung der Energieeffizienz durch idealen Luftfassungsstandort:**

Wird die Luft an «warmen» Standorten gefasst, z. B. in Autoeinstellhallen, Gebäudeabluftanlagen oder in Erdluftwärmetauschen, kann die Energieeffizienz der WP gesteigert werden.

■ **Aussenluftfassung ist zu schützen:**

Die Aussenluftfassung ist vor Beschädigung durch Personen sowie Schnee, Laub, Staubpartikeln und Kleintieren zu schützen.

■ **Bewilligung für Aussengeräte:** Eine Installation von Aussengeräten bedingt eine Baubewilligung.

■ **Kältetechnische Regeln bei der Planung von Split-Anlagen beachten.**

■ **Schallemissionen beachten.**

Wasser-Wasser-WP

Wasser-Wasser-WP beziehen Wärme aus Abwasser, Grundwasser oder Oberflächengewässern (Flüssen oder Seen). Wärmequellen aus Abwasser und Grundwasser haben gegenüber der Luft-Wasser-WP den grossen Vorteil, dass die Quelltemperatur das ganze Jahr hindurch fast konstant ist. Aufgrund des relativ hohen und konstanten Temperaturniveaus eignet sich Grundwasser als die beste Wärmequelle für WP. Aber auch Oberflächenwasser aus Seen und Flüssen können eingesetzt werden. Wasser-Wasser-WP sind immer bewil-

ligungspflichtig und die Art der Entnahme, die Rückgabe sowie die minimale Rückgabetemperatur des Wassers sind mit den zuständigen Amtsstellen abzuklären.

Wärmequelle: Grundwasser

Durch das Einsickern von Oberflächenwasser oder Niederschlagswasser sammelt sich das Wasser in Hohlräumen von tieferen Bodenzonen an. Die mittlere Jahrestemperatur des Grundwassers ist ziemlich konstant und liegt zwischen 9 °C und 11 °C.

Planungshinweise für Wasser-Wasser-WP

(Quelle: Handbuch Wärmepumpen)

■ Das Nutzen von Grundwasser und Oberflächenwasser ist bewilligungspflichtig.

■ Geologisches und Hydrologisches Gutachten: Planung und Umsetzung muss mit einer geologischen oder hydrologischen Beratung erfolgen.

■ Infiltration von Oberflächenwasser beachten: Bei Fassungen in der Nähe von Oberflächengewässern ist eine mögliche Infiltration durch diese zu beachten.

■ Grundwasserströmung bei der Wahl von der Entnahme- und Rückgabestelle berücksichtigen.

■ Wasseranalyse berücksichtigen. Folgende Grenzwerte sollten nicht überschritten werden:

■ pH-Wert über 7

■ Eisen (gelöst) unter 0,15 mg/l



Abbildung 45:
Luft-Wasser-WP;
Splitgerät



Abbildung 46:
Wasser-Wasser-WP;
Grundwasserfassung

- Mangan (gelöst) unter 0,1 mg/l
- Anlage auf den niedrigsten zu erwartenden Grundwasserstand auslegen: Die Leistung der Förderpumpe sollte auf diesen ausgelegt werden.
- Temperatur- und Stömungsüberwachung: Diese bietet Schutz vor Abkühlung des genutzten Wassers unter den Gefrierpunkt sowie vor Übernutzung.

Sole-Wasser-WP

Die Sole-Wasser-WP bezieht die Wärme über einen geschlossenen Solekreis der Erde. Hierfür kommen horizontale Register (Erdwärmeregister) oder vertikale Sonden (Erdwärmesonden) zum Einsatz. Da das Erdreich über das ganze Jahr eine nahezu konstante Temperaturkonstanz aufweist, ist die Erdwärme eine ideale Wärmequelle für die WP. Weitere Technologien kommen zum Einsatz:

- Energiepfähle
- Erdwärmekörbe
- Erdwärmegraben
- Schlitzwände

Wärmequelle: Erdwärmesonden (EWS)

Erdwärmesonden werden vertikal angesetzt und reichen zwischen 50 m bis 350 m tief in den Boden. Damit der Solekreis im Verdampfer der WP nicht einfriert, wird ein Frostschutz-Gemisch (Glykol-Wasser) als Wärmeträger verwendet. Für einen regulären WP-Betrieb kann ein Energiebezug zwischen 70 bis max.

100 Wh pro m Erdsonde (ohne sommerliche Regeneration) angenommen werden.

Planungshinweise für Erdwärmesonden-WP

(Quelle: Handbuch Wärmepumpen)

- **EWS-Anlagen sind bewilligungspflichtig.**
- **Regeneration des Erdreichs durch Free-Cooling-Betrieb:** EWS dienen während den Sommermonaten als direkte Kältequelle.
- **Keinen Einsatz für die Bauaustrocknung**
- **Sondenbohrungen durch zertifizierte Bohrfirma**
- **Sondenzuleitung unter der Frostschutztiefe verlegen:** Werden die Sondenzuleitungen über der Frostschutztiefe verlegt, sind diese zu dämmen.
- **Mindestabstand zwischen den Sonden beachten.**
- **EWS-Felder sind von Spezialisten zu berechnen.**

Wärmequelle: Erdwärmeregister

Erdwärmeregister bestehen aus horizontal verlegten Rohren, welche im Erdreich zwischen 1,2 m bis 1,5 m unter dem Terrain liegen. Ebenfalls sollte bei diesem Verfahren ein Frostschutzgemisch als Wärmeträger eingesetzt werden (Glykol-Wasser).

Planungshinweise für Erdregister-WP

(Quelle: Handbuch Wärmepumpen)

- Erdwärmeregister können bewilligungspflichtig sein.
- Maximale Entzugsleistung beachten (Tabelle 19).
- Sorgfältiges Eindecken des Erdregisters: Damit allfällige Schäden an den Rohren erkennbar sind, sollte das ganze System beim Eindecken unter Druck sein.
- Erdregister vor Wurzelwuchs schützen (Bepflanzung, Bäume).

Mögliche Störungen

Hochdruckstörung: Kann die Kondensationswärme nicht abgeführt werden, entsteht im Kältemittelkreis einen zu hoher Druck und die WP geht auf Hochdruckstörung. Ein Überschreiten der Betriebsgrenze



Abbildung 47:
Sole-Wasser-WP;
Wärmequelle:
Erdwärmesonden

des Kondensationsdruckes wird durch den Hochdruck-Sicherheitspressostat verhindert. Er schaltet den Verdichter aus und die Wärmepumpe geht ausser Betrieb. Dies kann unter anderem eintreten, wenn die Verflüssigereintrittstemperatur des Heizwassers zu hoch oder der Volumenstrom über dem Verflüssiger zu klein ist.

Niederdruckstörung: Durch einen massiven und raschen Temperaturabfall beim Eintritt des Verflüssigers, kann der Kältemitteldruck beim Verflüssiger so stark absinken, dass die WP auf Niederdruckstö-

rung gehen kann. Dabei schaltet der Niederdruck-Sicherheitspressostat den Verdichter aus. Ein rasches Umstellen von Wassererwärmung auf Heizbetrieb kann eine Niederdruckstörung auslösen.

Hydraulische Einbindung

Grundsätzlich sollte in jedes WP-Heizsystem ein Energiespeicher eingebaut werden. So werden lange WP-Laufzeiten erreicht und somit kein unzulässiges Takten. Dies ist für die Lebensdauer der WP von grösster Bedeutung. Mit einem Energiespeicher können auch Sperrzeiten über-

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung q_E in W/m
Allgemeine Richtwerte	
Schlechter Untergrund (trockenes Sediment) ($\lambda < 1,5$ W/mK)	20
Normaler Festgesteinsuntergrund und wassergesättigtes Sediment ($1,5 \leq \lambda \leq 3,0$ W/mK)	50
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($\lambda > 3,0$ W/mK)	70
Einzelne Gesteine	
Kies, Sand (trocken)	< 20
Kies, Sand (wasserführend)	55 – 65
Ton, Lehm (feucht)	30 – 40
Kalkstein (massiv)	45 – 60
Sandstein	55 – 65
Saure Magmatite (z. B. Granit)	55 – 70
Basische Magmatite (z. B. Basalt)	35 – 55
Gneis	60 – 70

Tabelle 18: Mögliche spezifische Entzugsleistungen q_E für Erdwärmesonden mit Doppel-U-Rohrsonden nach VDI 4640 Blatt 2 (Quelle: Planungsanleitung KWT)

Erdwärmeregister (Die spezifische Entzugsleistung der oberen Erdschichten ist abhängig von der Beschaffenheit des Erdreichs und deren Wasserinhalt.)	Spezifische Entzugsleistung q_E in W/m ²
Trockener sandiger Boden	10 – 15
Feuchter sandiger Boden	20 – 25
Trockener lehmiger Boden	20 – 25
Feuchter lehmiger Boden	25 – 30
Grundwasserführender Boden	30 – 35

Tabelle 19: Mögliche spezifische Entzugsleistungen q_E für Erdwärmeregister (Quelle: Planungsanleitung KWT)

brückt und Tag-Nacht-Tarife berücksichtigt werden. Weiter kann bei sinkender Heizlast (Teillastbetrieb) mit einem Energiespeicher eine hydraulische Entkoppelung erreicht werden. Grundsätzlich ist ein Energiespeicher notwendig:

■ wenn mehrere Heizkreise geregelt sind (hydraulische Entkoppelung notwendig, da die Heizkreise je nach Bedarf gedrosselt werden).

■ wenn die Heizungsanlage einen grösseren Thermostatventil-Anteil als 40 % der Heizfläche hat (hydraulische Entkoppelung notwendig, da die Thermostatventile je nach Bedarf schliessen und so den Volumenstrom drosseln).

■ wenn die Aussenluft-WP mit Abtauvorgang über Heizwasser funktioniert (Heizungswasservolumen notwendig für Abtauphase).

■ bei Heizungsanlagen mit geringem Heizungswasservolumen (Heizungswasservolumen notwendig für unzulässiges Takten).

■ wenn Sperrzeiten der WP zu überbrücken sind.

Abbildung 48:
Monovalente
Betriebsweise

Beim Wärmeabgabesystem Fussbodenheizung oder Tabs dient die speicherwirksame Gebäudemasse ebenfalls als Energiespeicher. So kann beim Einhalten des Mindest-Volumenstroms des Heizwassers auf einen Energiespeicher verzichtet werden. Der notwendige Mindest-Volumenstrom muss dabei mit einer hydraulischen Entkoppelung erreicht werden. Dies kann mittels Bypass, hydraulischer Weiche oder eines Überströmventils erfolgen. Weiter kann unter Umständen auf einen Energiespeicher verzichtet werden, wenn eine modulierende WP zum Einsatz kommt (Sperrzeiten beachten).

Abbildung 49:
Bivalent-alternative
Betriebsweise

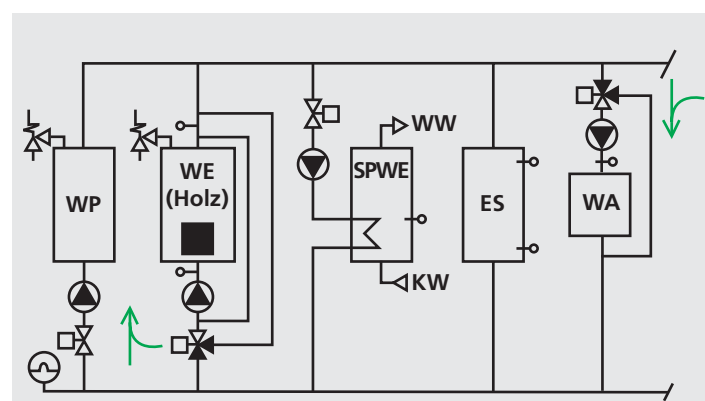
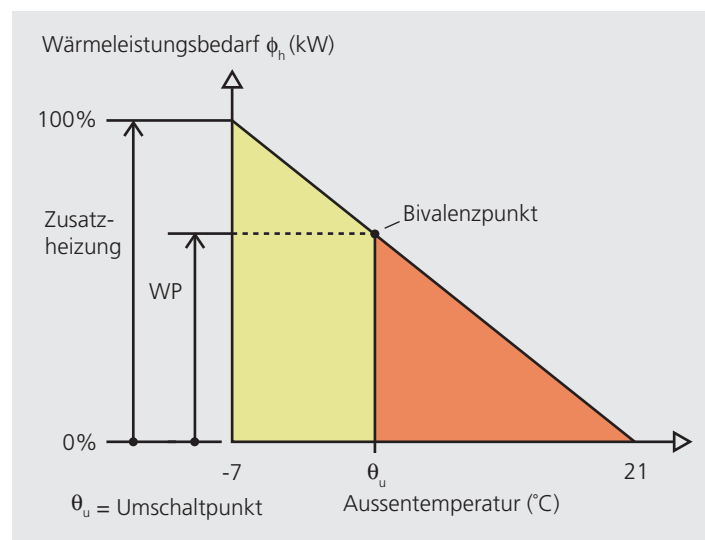
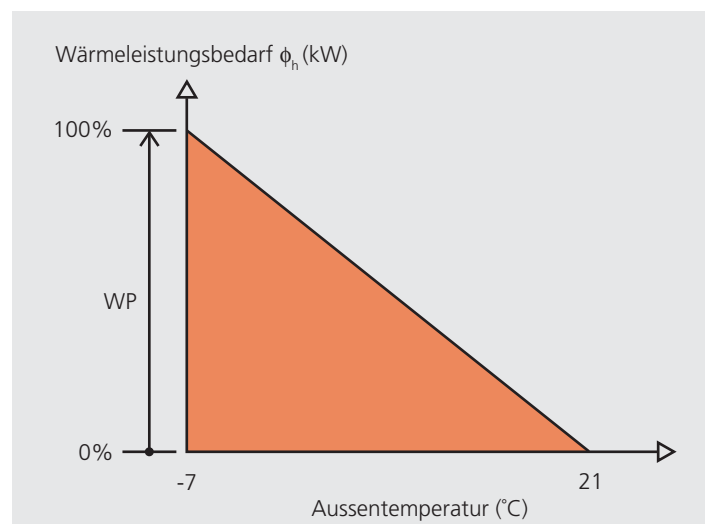
Monovalenter Betrieb

Bei monovalenten Anlagen stellt die Wärmepumpe in allen möglichen Betriebszuständen den erforderlichen Wärmeleistungsbedarf bereit. Die Wärmepumpe wird auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes sowie für die maximal notwendige VL-Temperatur ausgelegt.

Abbildung 50:
Beispiel eines syn-
optischen Schemas
für eine bivalent-
alternative Betriebs-
weise

Bivalent-alternativer Betrieb

Die Wärmepumpe erzeugt bis zu einer bestimmten Aussentemperatur – den sogenannten Bivalenzpunkt – die gesamte Wärmeleistung. Wird dieser Bivalenzpunkt unterschritten, übernimmt der zweite Wärmeerzeuger die Deckung des Wärme-



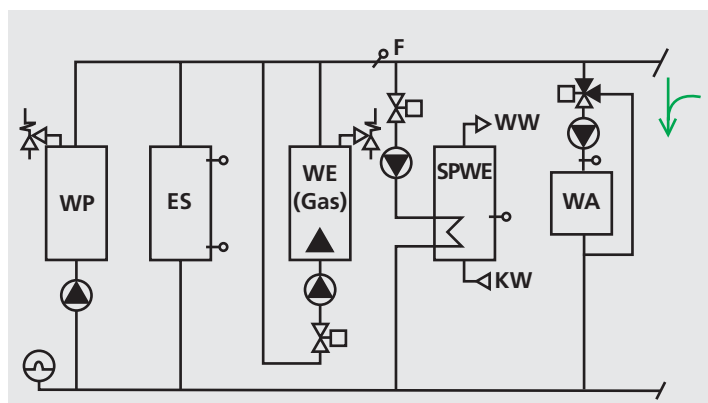
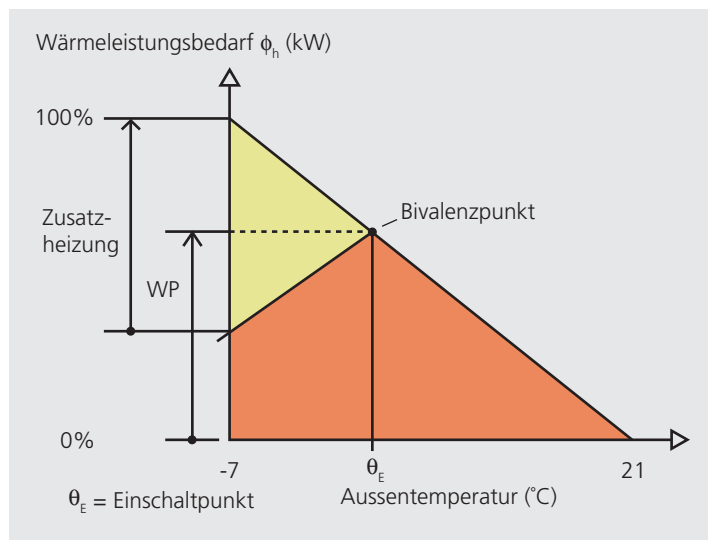
leistungsbedarfs. Der zweite Wärmeerzeuger muss somit auf den maximalen Wärmeleistungsbedarfs des Gebäudes sowie für die maximal notwendige Vorlauftemperatur ausgelegt werden. Die WP kann auf einen kleinen Wärmeleistungsbedarf ausgelegt werden.

Bivalent-paralleler Betrieb

Die Wärmepumpe liefert bis zu einer bestimmten Aussentemperatur – den sogenannten Bivalenzpunkt – die gesamte Wärmeleistung. Wird dieser Bivalenzpunkt unterschritten, schaltet der zweite Wärmeerzeuger zu. Somit arbeiten an Tagen mit tiefen Aussentemperaturen beide Wärmeerzeuger und ergänzen sich in der Wärmeproduktion. Der zugeschaltete Wärmeerzeuger muss nicht auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes ausgelegt werden. Hingegen ist es wichtig, dass die maximal notwendige Vorlauftemperatur erreicht werden kann.

Abbildung 51:
Bivalent-
teilparallele
Betriebsweise

Abbildung 52:
Beispiel eines
synoptischen
Schemas für eine
bivalent-
teilparallele
Betriebsweise



Bivalent-teilparalleler Betrieb

Ein bivalent-teilparalleler Betrieb stellt eine Zwischenlösung zwischen Alternativ- und Parallelbetrieb dar. Die Wärmepumpe wird wie im alternativen Betrieb ausgelegt. Diese deckt den gesamten Wärmeleistungsbedarf bis zum Bivalenzpunkt – den Einschaltpunkt des zweiten Wärmeerzeugers. Dabei wird bei tieferen Aussentemperaturen der zweite Wärmeerzeuger zugeschaltet und arbeitet mit der WP im parallelen Betrieb. Fällt die Aussentemperatur noch tiefer bis zum definierten Umschaltpunkt, geht die WP ausser Betrieb und der zweite Wärmeerzeuger deckt den gesamten Wärmeleistungsbedarf bis zur tiefsten Aussentemperatur alleine. Der zweite Wärmeerzeuger muss somit auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes ausgelegt werden. Dabei ist es wichtig, dass die maximal notwendige Vorlauftemperatur erreicht werden kann.

Abbildung 53:
Bivalent-parallele
Betriebsweise (z. B.
Luft-Wasser-WP und
Zusatzheizung)

2.4 Praxisbeispiele zu Wärmepumpen

Beispiel 1: Wärmepumpe ohne Energiespeicher (MuKE-Standardlösung Nr. 6 und 7, MuKE steht für Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, 2008).

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Die Wärmeabgabe (WA) erfolgt mit einer Fussbodenheizung. Je nach Wärmebedarf des Raumes, sinkt respektive steigt die RL-Temperatur (θ_{RL}). Dementsprechend erfolgt der Temperaturanstieg beim Verflüssigeraustritt (VL-Temperatur). Überschreitet die RL-Temperatur (θ_{RL}) den Soll-Wert gemäss der Heizkurve, schaltet die WP ab. Der Soll-Wert der RL-Temperatur ist abhängig von der Aussentemperatur und der eingestellten Heizkurve.

Ladung des SPWE (Speicherwassererwärmers)

Die SPWE-Ladung kann als Vorrangschaltung konzipiert werden. Dabei würde beim Bedarf der SPWE-Ladung (θ_{WW}) der Heizungskreis unterbrochen und die WP fährt auf das notwendige Temperaturniveau hoch. Da die WP am Verflüssiger einen konstanten Temperaturhub (zwischen 5 K und 10 K) hat, erfolgt die SPWE-Ladung in Stufen, bis die gewünschte VL-Temperatur am Fühler ($\theta_{VL,1}$) gemessen wird.

Diese Ladevariante ist zeitintensiv und sollte somit während der Nacht freigegeben werden. Da während dieser Zeit keine Wärmeabgabe an den Raum erfolgt, kann es zu einer Absenkung der Raumtemperatur kommen.

Kritische Elemente

- Keine hydraulische Entkoppelung zwischen WP und Heizkreis

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Umweltwärme / Abwärme	–
Umwandlung	Wärmepumpe	■ Indirekte Wassererwärmung ■ Zusatzheizung elektrisch möglich
Speicherung	–	■ SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung) ■ Variante: SPWE mit aussenliegendem Wärmeübertrager (Schichtladung)
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb ■ Ohne Energiespeicher ■ Witterungsgeführte RL-Temperatur (θ_{RL}) ■ Temperaturhub über Verflüssiger zwischen 5 K und 10 K ■ Ungeregelte Heizgruppe	■ Vorerwärmung SPWE mittels WP und Nacherwärmung mittels Elektro-Heizeinsatz möglich. ■ Erwärmung sollte in der Nacht erfolgen.
MuKE 2008	Standardlösung 6 ■ WP mit Erdsonde oder Wasser für Heizung und Warmwasser ganzjährig ■ Bei Elektro-Heizeinsatz für Nacherwärmung, wird ein rechnerischer Nachweis notwendig.	Standardlösung 7 ■ WP mit Aussenluft für Heizung und Warmwasser ganzjährig ■ Max. VL-Temperatur von 35 °C für Heizung ■ Bei Elektro-Heizeinsatz für Nacherwärmung wird ein rechnerischer Nachweis notwendig.

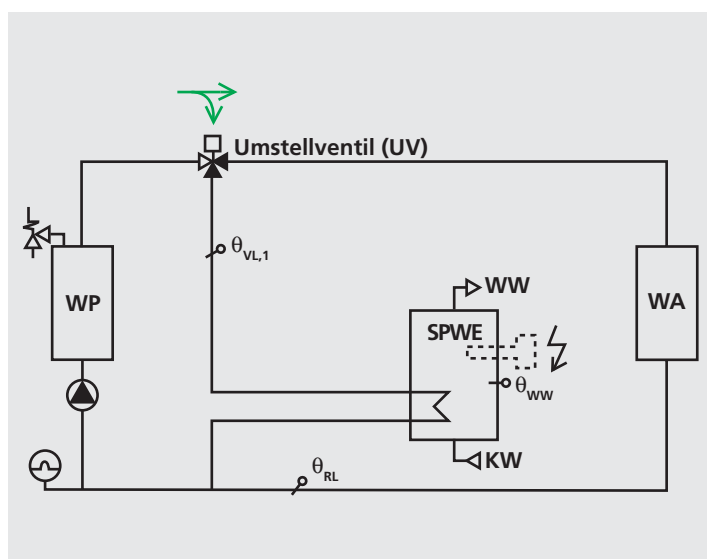
SPWE: Speicherwassererwärmer

Tabelle 20:
Spezifikationen zu
Beispiel 1.

- Minimaler Volumenstrom über dem Verflüssiger
- Umwälzpumpe mit mindestens 2 Betriebspunkten – Betriebspunkt für Heizbetrieb und einer für Warmwasserladung oder der Einsatz von zwei Umwälzpumpen (je eine Pumpe in SPWE-Ladekreis und im Heizkreis)
- Notwendiges Heizungswasservolumen und genügend speicherfähige Masse
- Thermostatventile können hydraulische Probleme ergeben (bei Thermostatventilanteil grösser als 40 % muss eine hydraulische Entkoppelung eingebaut werden).
- Abtauung des Verdampfers mit Heizungswasser nicht möglich.
- Speicherfähigkeit des Gebäudes bei einer SPWE-Vorrangschaltung und Nachtabsenkung beachten.

Abbildung 55: WP mit monovalentem Betrieb; ohne Energiespeicher und einer Heizgruppe

Abbildung 56. Beispiel Regelfunktion: Verlauf der Heiztemperatur mit einer witterungsgeführten Rücklauf-temperatur und konstantem Temperaturhub



- Hochdruck- und Niederdruckstörung (Erhöhung der Verflüssigereintrittstemperatur beim Ende der SPWE-Ladung respektive beim schnellen Umschalten von der SPWE-Ladung auf Heizbetrieb)
- Jahresarbeitszahl sinkt, falls eine SPWE-Temperatur von 60°C erreicht werden muss.
- Wird die SPWE-Temperatur von 60°C mit der WP nicht erreicht, muss eine Zusatzheizung vorgesehen werden.
- SPWE-Ladung erfolgt in Stufen, somit zeitintensiv.
- Unterbrechung des Wärmeabgabesystems während SPWE-Ladung

Einsatz

- Für EFH und kleine MFH mit einer Heizgruppe

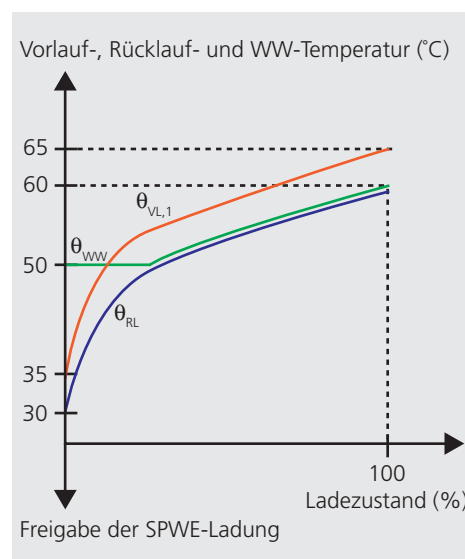


Abbildung 57. Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstantem Temperaturhub

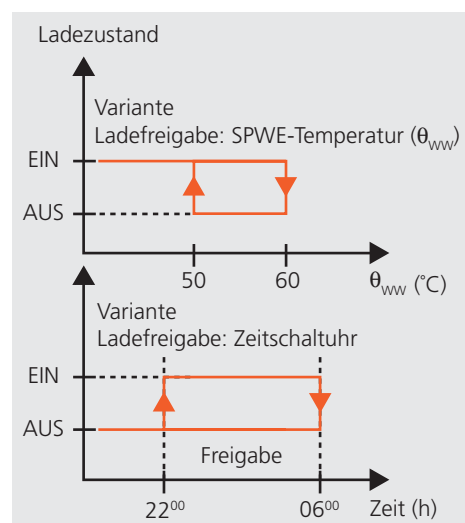
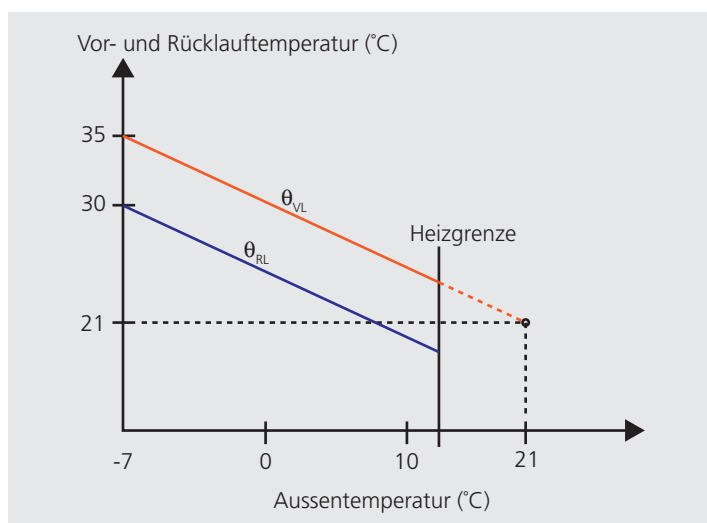


Abbildung 58. Beispiel Regelfunktion: Freigabe für SPWE-Ladung (temperaturgesteuert oder zeitgesteuert)

Beispiel 2: Wärmepumpe mit Energiespeicher (MuKEN-Standardlösung Nr. 6 und 7)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Erreicht der Energiespeichertemperaturfühler (θ_1) nicht den geforderten Soll-Wert, geht die Wärmepumpe und die Umwälzpumpe (P_1) in Betrieb. Der Soll-Wert der Energiespeichertemperatur ist abhängig von der Aussentemperatur und der definierten Heizkurve. Die Wärmeerzeuger-Vorlauftemperatur entspricht der höchsten Vorlauftemperatur ($\theta_{VL,x}$) der Heizgruppe. Die Umwälzpumpe (P_1) fördert das Heizungswasser über das 3-Weg-Ventil (Stellung Durchgang) zum Energiespeicher bis der Energiespeichertemperaturfühler (θ_2) dem Soll-Wert entspricht. Die Vorlauftemperaturen ($\theta_{VL,x}$) von den Heizgruppen werden witterungsgeführt geregelt.

Ladung des SPWE

(Speicherwassererwärmer)

Die SPWE-Ladung kann als Vorrangschaltung konzipiert werden. Dabei würde beim Bedarf der SPWE-Ladung (θ_{WW}) der Heizkreis unterbrochen (Stellung 3-Weg-Ventil: Abzweig) und die WP fährt auf das notwendige Temperaturniveau hoch, bis die geforderte VL-Temperatur ($\theta_{VL,1}$) erreicht ist.

Gemäss SIA 385/1 muss die Warmwasserversorgung so ausgelegt sein, dass beim Austritt des Wasserwärmers 60 °C erreicht werden kann. Erreicht somit die SPWE-Ladung mit der WP eine Speichertemperatur von 60 °C nicht, muss mit einem Elektro-Heizensatz die Temperatur auf 60 °C erhöht werden können.

Kritische Elemente

- Minimaler Volumenstrom über dem Verflüssiger
- Umwälzpumpe (P_1) mit mindestens 2 Betriebspunkten – Betriebspunkt für Heizbetrieb und für Warmwasserladung oder der Einsatz von zwei Umwälzpumpen (je eine Pumpe im SPWE-Ladekreis und im Heizkreis)

■ Speicherfähigkeit des Gebäudes bei einer SPWE-Vorrangschaltung und Nachtabsenkung beachten.

■ SPWE-Ladung erfolgt in Stufen, somit zeitintensiv.

■ Wird die SPWE-Temperatur von 60 °C mit der WP nicht erreicht, sollte eine Zusatzheizung vorgesehen werden.

■ Jahresarbeitszahl sinkt, falls eine SPWE-Temperatur von 60 °C erreicht werden muss.

■ Hochdruck- und Niederdruckstörung (Erhöhung der Verflüssigereintrittstemperatur beim Ende der SPWE-Ladung respektive beim schnellen Umschalten von der SPWE-Ladung auf Heizbetrieb).

Einsatz

■ Für EFH und MFH

■ Kleine Gewerbebauten mit maximal zwei unterschiedlichen Nutzerverhalten

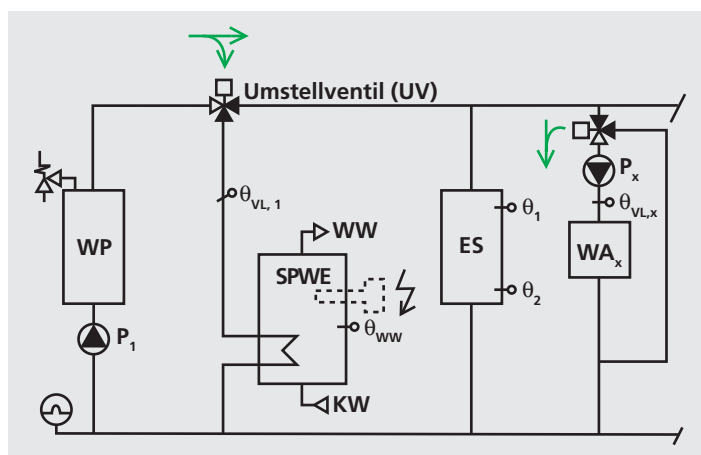


Abbildung 59: WP mit monovalentem Betrieb, Energiespeicher und mehreren Heizkreisen (HK)

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Umweltwärme respektive Abwärme	–
Umwandlung	Wärmepumpe	■ Heizung indirekt ■ Zusatzheizung elektrisch möglich
Speicherung	Energiespeicher	■ SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung) ■ Variante: SPWE mit aussenliegendem Wärmeübertrager (Schichtladung)
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb ■ Witterungsgeführte VL-Temperaturregelung des Primärkreises und der Heizgruppe	■ Vorerwärmung SPWE mittels WP und Nacherwärmung mittels Elektro-Heizeinsatz möglich.
SPWE: Speicherwassererwärmer		

Tabelle 21:
Spezifikationen zu
Beispiel 2.

Beispiel 3: Wärmepumpe mit dezentraler Wassererwärmung (MuKE-Standardslösung Nr. 6 und 7)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Der Heizbetrieb funktioniert konventionell (Beispiel Nr. 2) mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregulierung. In den Heizkreisen werden die Vorlauftemperaturen ($\theta_{VL,1}$) durch witterungsgeführte VL-Temperaturen geregelt.

Ladung aller dezentralen SPWE (Speicherwassererwärmer)

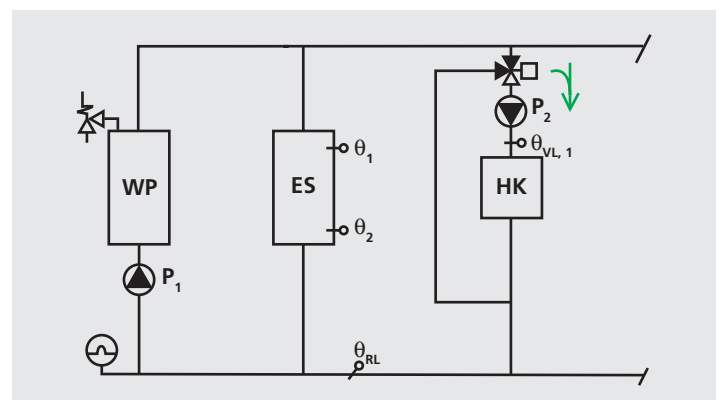
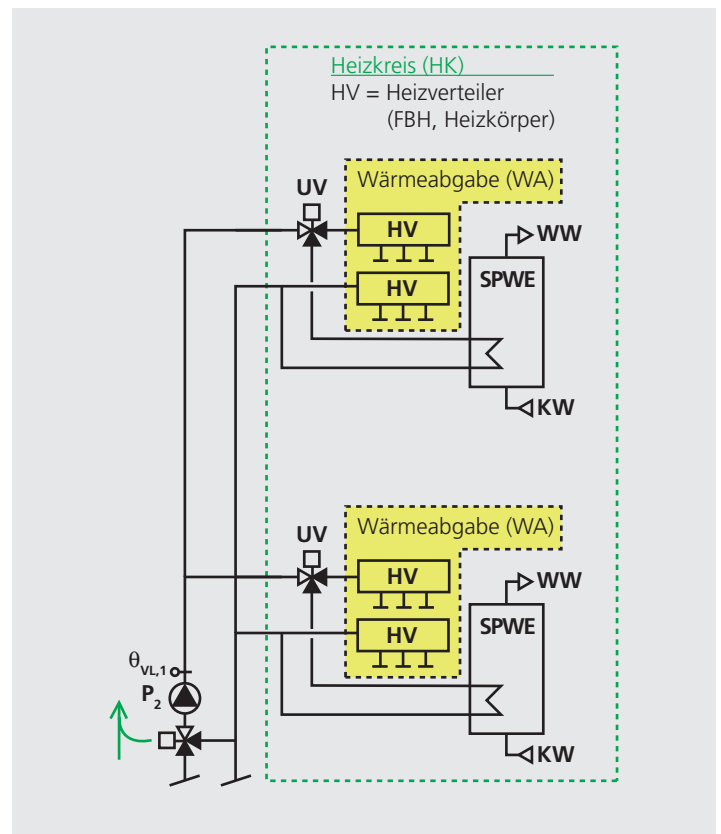
Sämtliche dezentralen Speicherwassererwärmer werden gleichzeitig geladen. Dies kann einmal am Tag respektive während der Nacht erfolgen. Dabei gibt die programmierte Zeitschaltuhr die Warmwasserladung frei. Das Umstellventil (UV) stellt vom Heizbetrieb auf Warmwasserladung um. Weiter fährt die WP auf das notwendige Temperaturniveau hoch, bis die Rücklauftemperatur (Fühler θ_{RL}) den Soll-Wert erreicht hat. Danach wird von Warmwasserladung auf Heizbetrieb umgestellt. Wird ein anderer Wärmeerzeuger (z.B. Holz- oder Gaskessel) eingesetzt, kann während der Warmwasserladung auf eine konstante VL-Temperatur (z.B. 65 °C) gefahren werden.

Abbildung 60: Heizkreis (HK) mit der Heizungsverteilung und der Speicherwassererwärmung (dezentrale Wassererwärmung)

Kritische Elemente

- Umwälzpumpe (P_2) mit mindestens 2 Betriebspunkten; Betriebspunkt für Heizbetrieb und einer für Warmwasserladung
- Hohe VL-Temperaturen auf die FBH nach der Warmwasserladung
- Mehrere dezentrale SPWE-Ladungen an einem gemeinsamen Heizkreis
- Wahl der Freigabe für die Warmwasserladung und Unterbrechung der Wärmeabgabe ist abhängig von der speicherwirksamen Gebäudemasse.

Abbildung 61: WP mit monovalentem Betrieb und mit Energiespeicher; Speicherwassererwärmung erfolgt dezentral in den Heizkreisen.



	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Umweltwärme / Abwärme	–
Umwandlung	Wärmepumpe	■ Heizung indirekt, ■ Zusatzheizung elektrisch möglich
Speicherung	Energiespeicher	■ SPWE mit innenliegendem Wärmetauscher (Stufenladung)
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb ■ Bivalenter Betrieb möglich ■ Sonnenenergienutzung in ES möglich ■ Witterungsgeführte VL-Temperaturregelung des Primärkreises und der Heizgruppe	■ Nacherwärmung mittels Elektro-Heizeinsatz möglich ■ Ungeregelte SPWE-Ladung ■ Warmwasserladung wird fix freigegeben.

SPWE: Speicherwassererwärmer

Tabelle 22:
Spezifikationen zu
Beispiel 3.

Abbildung 62.
Beispiel Regelfunk-
tion: SPWE-Ladever-
lauf mit konstan-
tem Temperaturhub
über dem Verflüssi-
ger

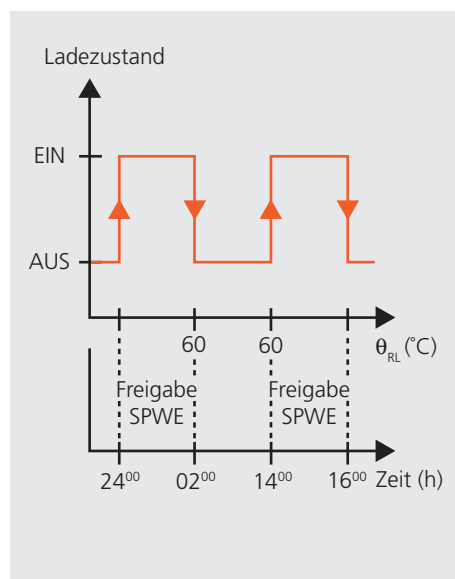
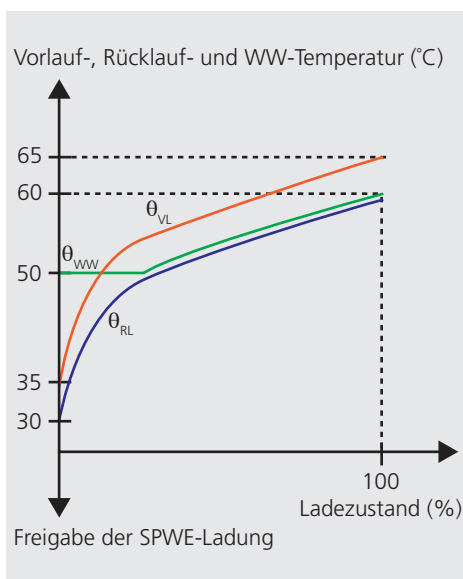


Abbildung 63.
Beispiel Regelfunk-
tion: Freigabe der
SPWE-Ladung

Beispiel 4: Wärmepumpe mit Kombispeicher (MuKE-Standardlösung Nr. 6 und 7)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Erreicht der Fühler im Kombispeicher (θ_1) nicht den geforderten Soll-Wert, schalten die Wärmepumpe und die Umwälzpumpe (P_1) ein und der untere Teil des Kombispeichers wird geladen. Bei zwei getrennten Stufenladungen ist das Umstellventil (UV) auf der Stellung Durchgang. Der Soll-Wert der Energiespeichertemperatur ist abhängig von der Aussentemperatur und der definierten Heizkurve. Die Wärmeerzeuger-Vorlauftemperatur entspricht der höchsten Vorlauftemperatur ($\theta_{VL,x}$) der Heizgruppen. Der Kombispeicher wird solange geladen, bis der Fühler (θ_2) den Soll-Wert erreicht hat.

Ladung des oberen Speicherbereichs via getrennter Stufenladung (Abbildung 64): Sobald die Warmwasserladung anspricht (θ_{WW}), fährt die WP auf das notwendige Temperaturniveau in Stufen hoch. Dabei schaltet die Umwälzpumpe (P_2) ein und das Umstellventil (UV) schaltet auf Umlenkung. Der obere Speicherbereich wird geladen, bis die Soll-VL-Temperatur ($\theta_{VL,1}$) erreicht ist.

Ladung des oberen Speicherbereichs via gemeinsamer Stufenladung (Abbildung 65): Muss die Warmwassertemperatur erreicht werden, erwärmt die WP mittels VL-Temperaturhochhaltung das Heizungswasser auf eine konstante VL-Temperatur ($\theta_{K,VL}$). Das warme Heizungswasser tritt im mittleren Bereich des Kombispeichers ein. Durch den Dichteunterschied ergibt sich eine natürliche Konvektion und der obere Kombispeicherbereich wird kontinuierlich erwärmt. Diese Ladung erfolgt solange, bis die Soll-Temperatur (θ_{WW}) erreicht ist.

Kritische Elemente

- Minimaler Volumenstrom über dem Verflüssiger
- Wird die Warmwassertemperatur von 60°C mit der WP nicht erreicht, muss eine Zusatzheizung (z. B. Elektro-Heizeinsatz) vorgesehen werden.
- Jahresarbeitszahl sinkt, falls eine SPWE-Temperatur von 60°C erreicht werden muss.
- Hochdruck- und Niederdruckstörung (Erhöhung der Verflüssigereintrittstemperatur beim Ende der Warmwasser-Ladung respektive beim schnellen Umschalten von der Warmwasser-Ladung auf Heizbetrieb).

Einsatz

- EFH, MFH

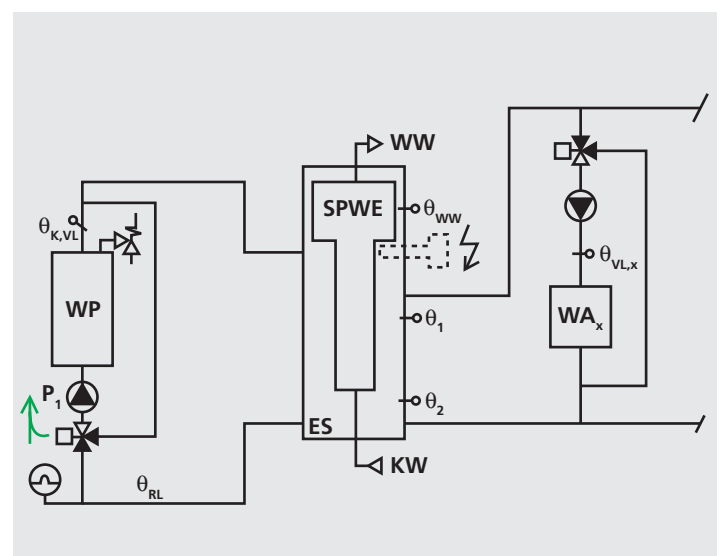
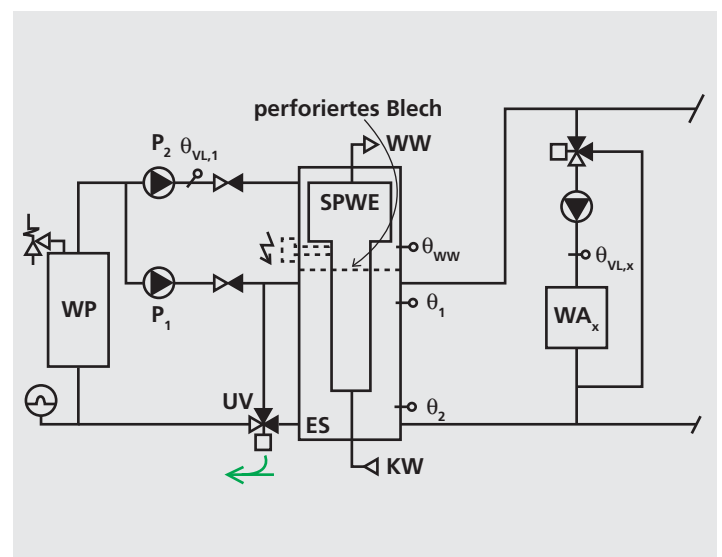


Abbildung 64: WP im monovalenten Betrieb und mit Kombispeicher welcher mit zwei getrennten Stufenladungen geladen wird.

Abbildung 65: WP im monovalenten Betrieb und mit Kombispeicher welcher mit einer gemeinsamen Stufenladung geladen wird.

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Umweltwärme respektive Abwärme ■ Sonnenenergienutzung ist möglich	–
Umwandlung	Wärmepumpe	Heizung indirekt, Zusatzheizung elektrisch möglich.
Speicherung	Kombispeicher	Im Kombispeicher liegender Warmwasserspeicher
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb. ■ Wird der Kombispeicher mit zwei getrennten Stufenladungen geladen, so sollte im Kombispeicher ein Lochblech eingeschweisst werden.	■ Bei der gemeinsamen Stufenladung wird während der Warmwasserladung die Vorlauftemperatur hochgehalten.

Tabelle 23:
Spezifikationen zu
Beispiel 4.

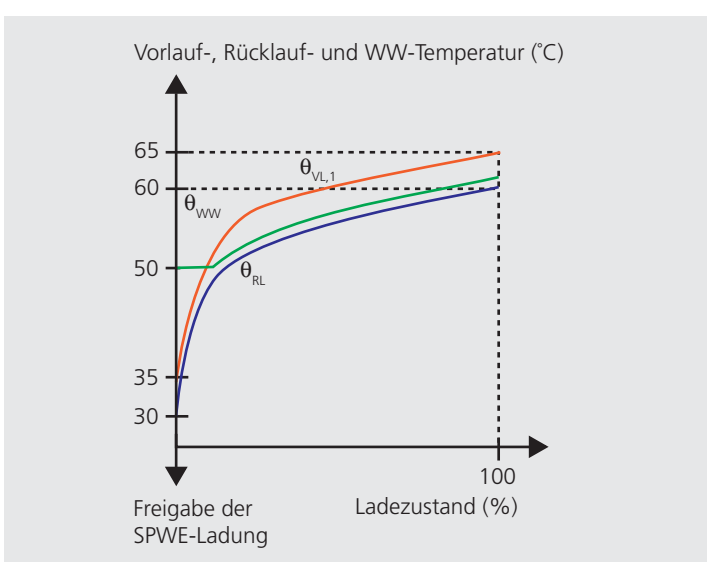


Abbildung 66.
Beispiel Regelfunktion: Ladeverlauf
des oberen Kombi-
speicherbereichs
(Abbildung 64)

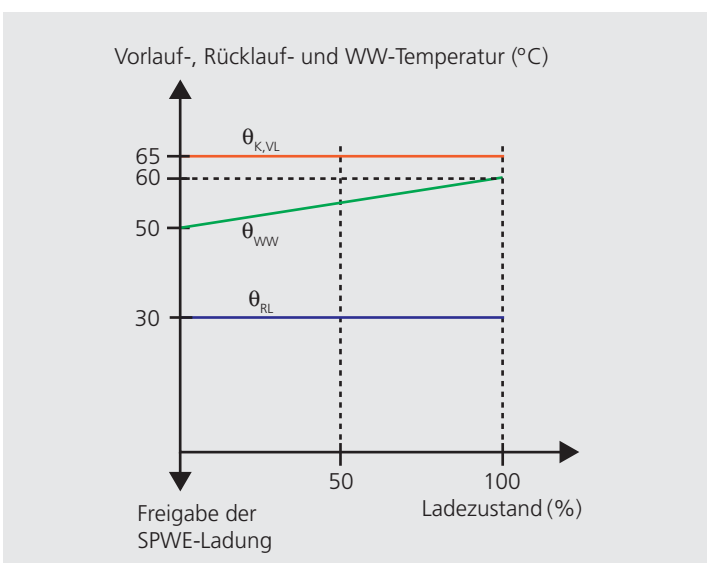


Abbildung 67.
Beispiel Regelfunktion: Ladeverlauf
des oberen Kombi-
speicherbereichs
mit VL-Temperatur-
hochschaltung (Ab-
bildung 65)

Beispiel 5: Wärmepumpe und Zusatzheizung (keine MuKE-Standardlösung)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb (Abbildung 68 und Abbildung 69)

Bis zum Bivalenzpunkt deckt die WP den notwendigen Wärmeleistungsbedarf (dito Beispiel Nr. 1). Wird durch das Sinken der Aussentemperatur der Bivalenzpunkt unterschritten, schaltet die WP aus und die Zusatzheizung (z. B. Biomassekessel oder Gas-Brennwertkessel) deckt den notwendigen Wärmeleistungsbedarf. Somit ist die WP nur bei mildem und durchschnittlichem kaltem Wetter in Betrieb.

Die Regelung der WP erfolgt mit einer witterungsgeführten VL-Temperaturregelung. Wird mit dem Unterschreiten des Bivalenzpunktes auf den Gas-Brennwertkessel umgeschaltet, wird ebenfalls die VL-Temperatur witterungsgeführt geregelt. Wird hingegen auf den Heizkessel umgeschaltet, wird die VL-Temperatur unabhängig von den Aussenbedingungen auf einen konstanten Wert hochgefahren.

erreicht man bei bivalent-alternativen Anlagen nur mit der Zusatzheizung. Somit schaltet bei der Freigabe der SPWE-Ladung die WP ab und die Zusatzheizung geht in Betrieb.

Kritische Elemente

- Auslegung der Zusatzheizung auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf
- Heizkessel mit Rücklaufhochhaltung – da tiefe RL-Temperaturen möglich sind und somit eine Kondensation im Heizkessel vermieden werden kann.
- Temperatur- und Leistungsbetrachtung für Umschaltzeitpunkt

Einsatz

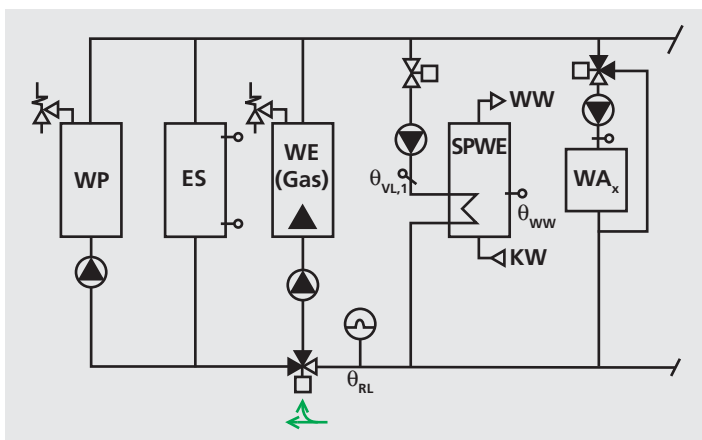
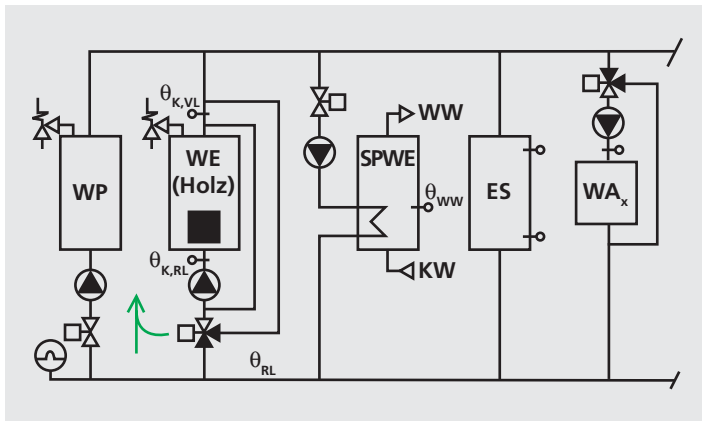
- MFH
- Gewerbe- und Industriebauten

Ladung des SPWE (Speicherwassererwärmer)

Für die SPWE-Ladung müssen hohe VL-Temperaturen erzeugt werden. Diese

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Umweltwärme respektive Abwärme ■ Fester Brennstoff (Biomasse) ■ Alternative: Gasförmiger Brennstoff	–
Umwandlung	■ Wärmepumpe ■ Heizkessel	Heizung indirekt
Speicherung	Energiespeicher	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung)
Bemerkungen	■ Bivalent-alternativer Betrieb ■ Energiespeicher vor Gasheizkessel ■ Energiespeicher nach Heizkessel ■ Rücklaufhochhaltung beim Heizkessel	Nacherwärmung mittels Elektro-Heizeinsatz nicht nötig.

Tabelle 24:
Spezifikationen zu
Beispiel 5.



Vorlauf-, Rücklauf- und WW-Temperatur (°C)

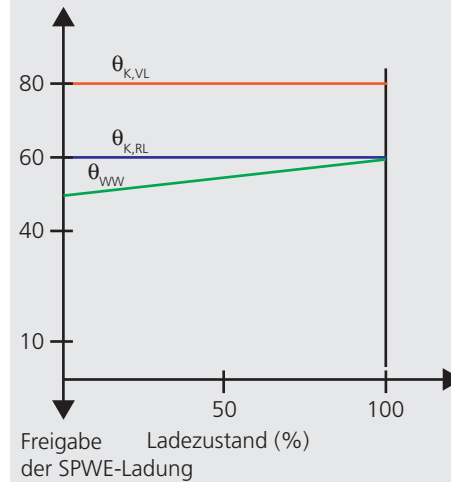


Abbildung 71.
Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstanter VL-Temperatur (Abbildung 68)

Vorlauf-, Rücklauf- und WW-Temperatur (°C)

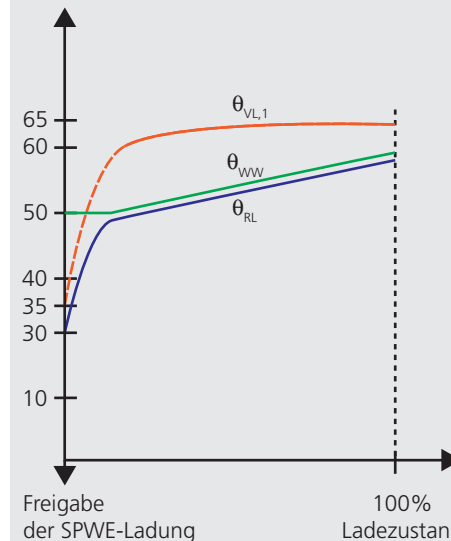


Abbildung 72.
Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstanter VL-Temperatur (Abbildung 69)

Ladezustand

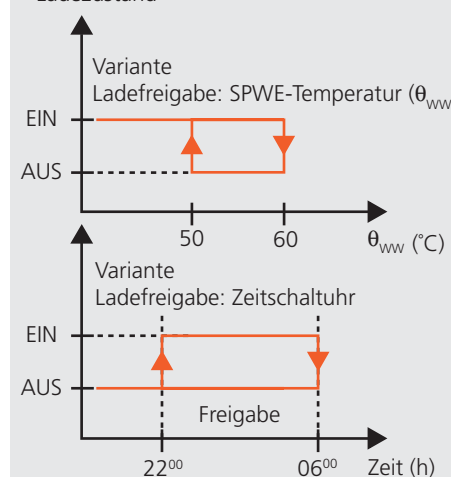


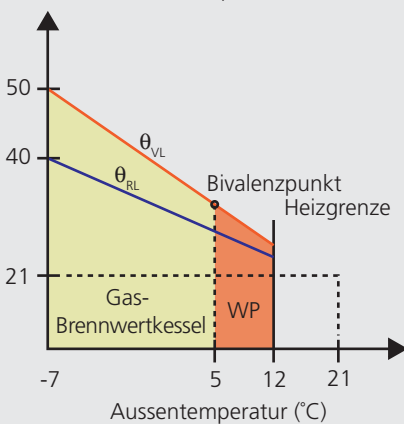
Abbildung 73.
Beispiel Regelfunktion: Freigabe für SPWE-Ladung

Abbildung 68:
Wärmepumpe mit Holzheizkessel und Energiespeicher im bivalent-alternativen Betrieb

Abbildung 69:
Wärmepumpe mit Gas-Brennwertkessel und Energiespeicher im bivalent-alternativen Betrieb

Abbildung 70.
Beispiel Regelfunktion: Bivalent-alternativer Betrieb mit WP oder Gas-Brennwertkessel während Heizbetrieb

Vor- und Rücklaftemperatur (°C)



Beispiel 6: Wärmepumpe und Gasheizkessel

(Keine MuKE-Standardlösung)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb (Abbildung 74)

Im Heizbetrieb deckt die WP bis zum Bivalenzpunkt den notwendigen Wärmeleistungsbedarf im monovalenten Betrieb ab (dito Beispiel Nr. 2). Wird mit tiefer Aussentemperatur der Bivalenzpunkt unterschritten, deckt die WP zusammen mit der Zusatzheizung den notwendigen Wärmeleistungsbedarf. Da die WP und die Zusatzheizung hydraulisch in Serie geschaltet sind, erhöht die Zusatzheizung die Verflüssiger-Austrittstemperatur von der WP auf die notwendige VL-Temperatur (θ_{VL}).

Heizbetrieb (Abbildung 75)

Bei Luft-Wasser-WP sollte im bivalent-teilparallelen Betrieb gefahren werden. In diesem Fall schaltet die WP ab einer bestimmten Aussentemperatur ganz ab und der notwendige Wärmeleistungsbedarf wird von der Zusatzheizung vollständig gedeckt. Dabei ist garantiert, dass die WP immer effizient betrieben werden kann.

Ladung des SPWE

Für die SPWE-Ladung müssen hohe VL-Temperaturen erzeugt werden. Diese erreicht man bei bivalenten Anlagen mit WP nur mit der Zusatzheizung. Somit schaltet

bei der Freigabe der SPWE-Ladung die WP ab und die Zusatzheizung geht in Betrieb. Im bivalent-parallel Betrieb öffnet das Durchgangsventil (V_2), so dass das RL-Heizungswasser direkt dem Wärmeerzeuger zugeführt werden kann.

Kritische Elemente

- Maximale zulässige Kondensator-Eintrittstemperatur der WP – maximaler Kondensationsdruck für den Normalbetrieb
- Bei bivalent-teilparallelem Betrieb deckt die Zusatzheizung den gesamten maximalen Wärmeleistungsbedarf.
- Bei Gas-Brennwertkessel muss die Kondensator-Austrittstemperatur der WP unter der Kondensationstemperatur von Erdgas liegen.
- Leistungsgeregelte (modulierende) Gas-Brennwertkessel

Einsatz

- MFH
- Gewerbe- und Industriebauten

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Umweltwärme respektive Abwärme ■ Gasförmiger Brennstoff (Erdgas)	–
Umwandlung	■ Wärmepumpe ■ Heizkessel	Heizung indirekt
Speicherung	Energiespeicher	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung)
Bemerkungen	■ Bivalent-teilparalleler Betrieb bei Luft-Wasser-WP ■ Bivalent-paralleler Betrieb bei anderen WP	■ Nacherwärmung mittels Elektro-Heizeinsatz nicht nötig.

Tabelle 25:
Spezifikationen zu
Beispiel 6.

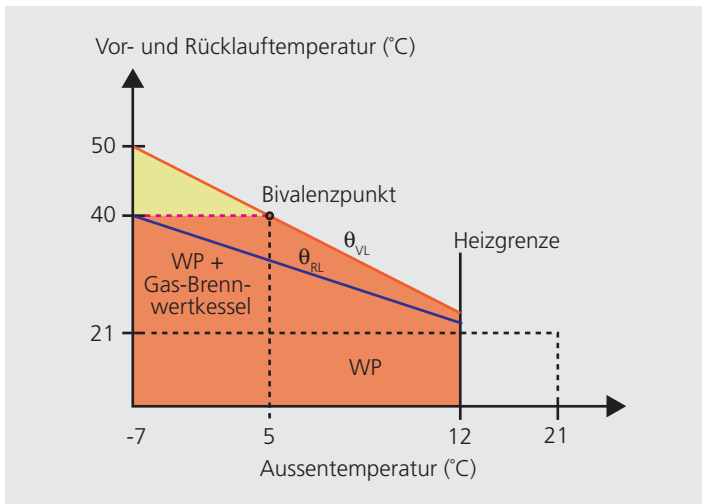
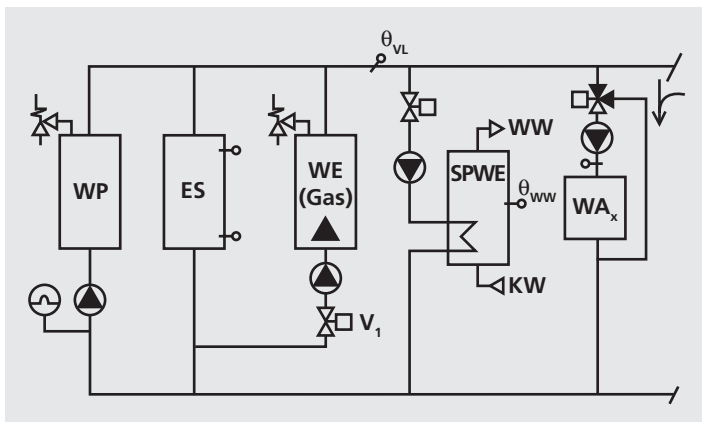
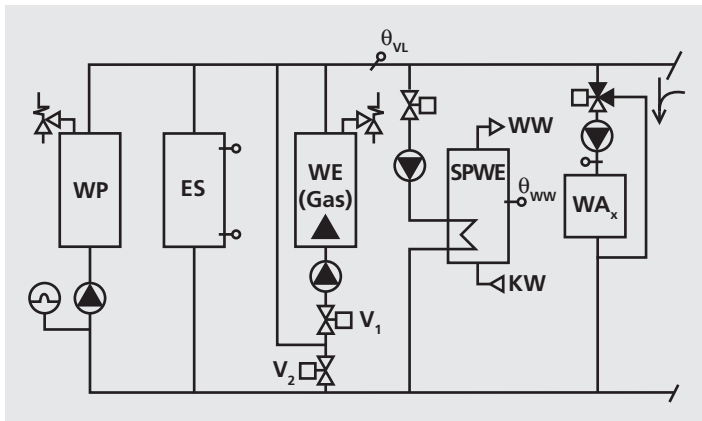


Abbildung 74: Wärmepumpe mit Gas-Brennwertkessel und Energiespeicher im bivalent-parallelen Betrieb

Abbildung 75: Wärmepumpe mit Gas-Brennwertkessel und Energiespeicher im bivalent-teilparallelen Betrieb (z. B. bei Luft-Wasser-WP)

Abbildung 76: Wärmepumpe mit Beispiel Regelfunktion: Bivalent-paralleler Betrieb mit WP und Brennwertkessel

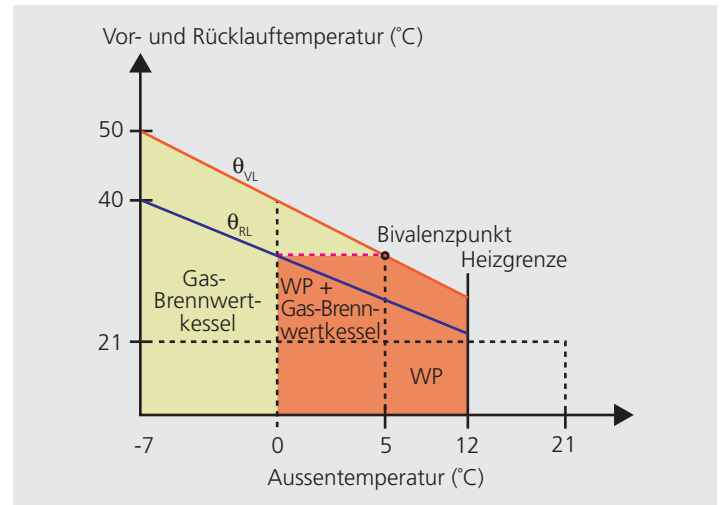


Abbildung 77.
Beispiel Regelfunktion: Bivalent-teilparalleler Betrieb mit WP und Brennwertkessel

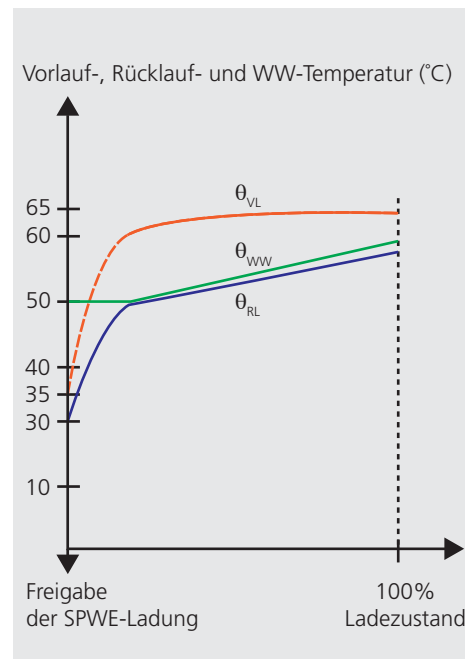
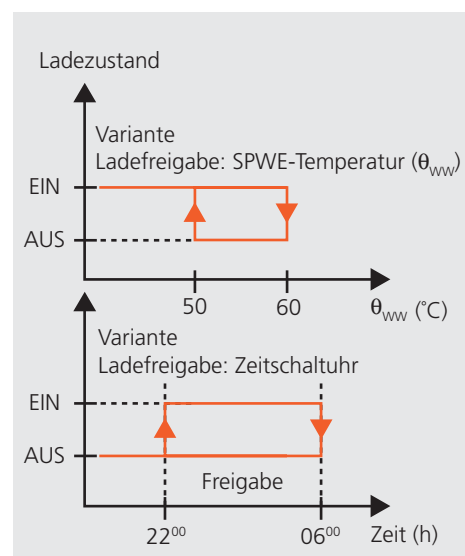


Abbildung 78.
Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstanter VL-Temperatur (Abbildung 74 und Abbildung 75)

Abbildung 79.
Beispiel Regelfunktion: Freigabe für SPWE-Ladung



2.5 Feste Brennstoffe

Allgemeines

Bei der Verbrennung von Holz, spricht man auch von einer CO₂-neutralen Verbrennung. Weshalb CO₂-neutral, wenn die Holzverbrennung mit einem CO₂-Ausstoss belastet ist?

Die Bäume nehmen aus der Luft Kohlendioxid (CO₂) und aus dem Boden Wasser (H₂O) auf und wandeln diese mit Hilfe der Photosynthese in Sauerstoff (O₂) und Traubenzucker (Clycose: C₆H₁₂O₆) um. Somit kann bei einer Verbrennung von Holz nur so viel CO₂ frei gesetzt werden, wie für das Wachstum des Holzes an CO₂ aufgenommen wurde. Holz ist somit eine erneuerbare Energiequelle und deren Verbrennung ist CO₂-neutral. (Quelle: Holzenergie Schweiz)

Stückholz

Stückholz ist nach wie vor ein gebräuchlicher Holzbrennstoff. Wer sich für Stückholz entscheidet, verfügt über genügend Platz zur Lagerung des Brennstoffes und hat meistens eine enge Beziehung zu Wald und Holz. Stückholz ist in Form von Rugeln und Spälten in Längen von 100 cm, 50 cm, 33 cm oder 25 cm in Freizeitmärkten oder beim örtlichen Forstbetrieb erhältlich.

Schnitzel

Automatische Holzsnitzelfeuerungen werden für die Beheizung von grossen Gebäuden und Industriebetrieben sowie für

den Betrieb von Nahwärmverbünden seit Jahren mit Erfolg eingesetzt. Dank enormer technischer Entwicklungen stehen Schnitzelheizungen aber auch für Objekte mit kleinem Wärmebedarf zur Verfügung. Die kleinsten Kesseltypen verfügen über eine regelbare Wärmeleistung ab 5 kW.

Pellet

Zur Herstellung der kleinen, 5 mm bis 45 mm langen und zylinderförmigen Pellets werden Sägemehl und Hobelspäne aus der Holzverarbeitenden Industrie unter hohem Druck durch ein Sieb gepresst, vergleichbar der Produktion von Vermicelle. Dank der homogenen Eigenschaft des Brennstoffs wird in den vollautomatisch betriebenen Pelletheizungen eine sehr effiziente und gleichmässige Verbrennung erreicht, bei der nur wenig Asche anfällt. Die Dichte von Pellets ist je nach Holzart 1,5- bis 2-mal höher als diejenige von Stückholz. 2 kg Pellets ersetzen 1 Liter Heizöl und benötigen für die Lagerung nur etwa doppelt soviel Platz.

Im Gegensatz zu anderen automatischen Holzzentralheizungen sind Pellet-Heizkessel bereits ab einer regulierbaren Leistung von 3 kW erhältlich. Dadurch eignen sie sich besonders für den Einsatz in Einfamilienhäusern, welche einen geringen Energiebedarf aufweisen (z. B. Minergie-Häuser).

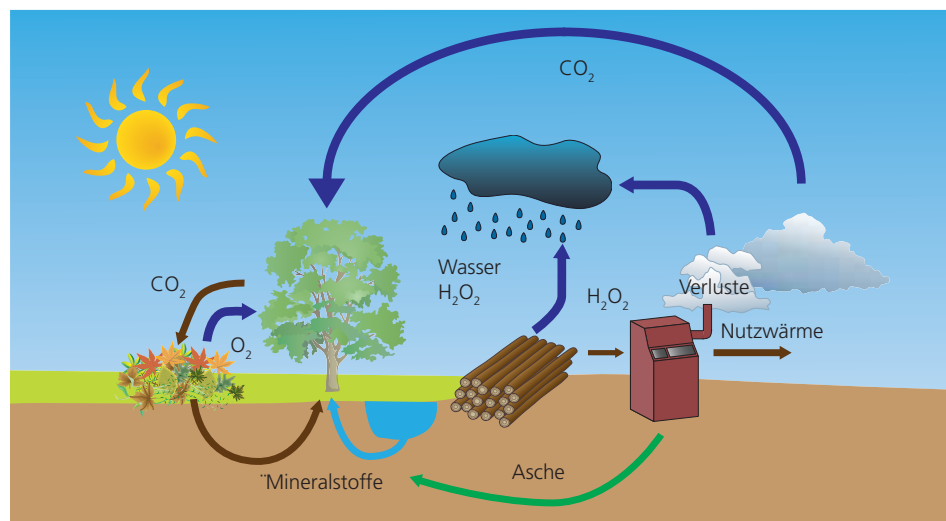


Abbildung 80:
Kreislauf der
Biomasse

Holzbriketts

Unter Holzbriketts versteht man Presslinge unterschiedlicher Form und Grösse, die aus trockenen, unbehandelten Holzresten, wie beispielsweise Hobel- und Sägespänen, unter hohem Druck zu gleichmässig grossen und harten Briketts verpresst werden. Je nach Ausgangsmaterial der Briketts, haben diese unterschiedliches Brandverhalten. So brennen die einen wie ein Scheitholzstück, die anderen glimmen mehr, als dass sie eine Flamme bilden. Im Schnitt kann man sagen, dass durch die hohe Verdichtung beim Brikettieren das Naturprodukt Holz in etwa das Brennverhalten von Braunkohle hat. Im Unterschied zur Braunkohle produzieren Holzbriketts beim Abbrand jedoch weniger Russ, Asche und Schwefel, sind also umweltfreundlicher und sauberer. Zudem bleibt die CO₂-Bilanz ausgeglichen, da die Briketts aus einem nachwachsenden Rohstoff, nämlich Holz, hergestellt werden.

Briketts weisen gegenüber dem klassischen Brennholz einige Vorteile auf. Sie haben z.B. auf das Volumen bezogen einen vielfach höheren Heizwert. Dies bedeutet für den Kunden, dass er für die Lagerung des Holzbrennstoffes viel weniger Platz benötigt. Man kann sagen, dass abhängig von der Qualität des Briketts, 1 Tonne Holzbriketts (die klassische Liefermenge) etwa 3 bis 5 Raummeter trockenes Buchenbrennholz ersetzen. Dabei nimmt die Tonne Holzbriketts lediglich den Platz von ca. 1,5 Raummeter ein. Ein weiterer Vorteil ist die praktische Verpackung, denn die meisten Briketts kommen in handlichen Paketen zu etwa 10 kg, die auf eine Palette gesetzt sind.



Abbildung 81:
Stückholz



Abbildung 82:
Schnitzel



Abbildung 83:
Pellets



Abbildung 84:
Holzbriketts

Holzfeuerungs-systeme

In Holzfeuerungs-systemen findet der Verbrennungsprozess statt und die freigesetzte Energie kann genutzt werden. Damit dieser Energieinhalt von Holz genutzt werden kann, muss es verbrannt werden. Die Verbrennung von Holz erfolgt in drei Phasen.

Trocknungsphase: Bei der Trocknungsphase wird das im Holz enthaltene Wasser bei Temperaturen bis zu 150 °C verdampft.

Phase der thermischen Zersetzung (Pyrolyse): Mit der Pyrolyse werden die gasförmigen Verbindungen im Holz freigesetzt. Diese Entgasung erfolgt bei Temperaturen zwischen 150 °C und 600 °C. Nach dieser Phase bleibt die Holzkohle zurück.

Verbrennungsphase: Mit der Zugabe von Luft (Sauerstoff) und einer Temperatur von 400 °C bis 1300 °C findet die Verbrennung statt. Bei der letzten Phase verbrennen die Holzkohle und die freigesetzten Gase in einem Holzfeuerungs-system.

Hydraulische Einbindung

Mit einem Energiespeicher kann bei geringer Heizlast der Taktbetrieb verhindert werden. Dies ist bei einer Holzfeuerung eminent wichtig, da ein Takten eine unvollständige Verbrennung und somit höhere Emissionen zur Folge hat. Somit kann die Holzfeuerung bei geringer Wärmenachfrage in einem emissionsgünstigen

Lastbereich betrieben werden, da die nicht abgenommene Wärme im Energiespeicher zwischengelagert wird. Verzichtet man auf einen Energiespeicher, wird die Hydraulik und die Regelung wesentlich anspruchsvoller. Ist die Wassermenge im Kesselkreis und der temperaturmässige Spielraum klein, sollte nie auf einen Energiespeicher verzichtet werden.

Darauf ist beim Kauf zu achten

■ Qualitätssiegel von Holzenergie

Schweiz: Das Qualitätssiegel gewährleistet, dass die Feuerungen bei korrektem Betrieb einen hohen Wirkungsgrad erzielen und tiefe Emissionen aufweisen.

■ **Automatische Holzfeuerungen:** Diese verringern die Gefahr des unsachgemässen Betriebs wesentlich. Kleinere Nahwärmenetze mit automatischen Holzfeuerungen sind deshalb eine sinnvolle Alternative zu Einzelheizungen.

■ **Korrektter Betrieb:** Vorgaben des Feuerungsherstellers müssen im Betrieb überprüft und eingehalten werden.

■ Verbrennung von naturbelassenem Holz:

In Holzheizkesseln, Öfen und Cheminées darf nur naturbelassenes Holz verbrannt werden. Wer Restholz, Altholz, Abfälle etc. verbrennt, handelt nicht nur widerrechtlich, sondern beschädigt die Feuerung, emittiert unzulässig grosse Schadstoffmengen und beeinträchtigt damit die Gesundheit von Mensch und Tier.

■ Optimales Anfeuern und Holznachlegen:

Zum Anfeuern wird nur wenig und feines Holz verwendet, das am besten auf etwas gröberes Holz gelegt und so angezündet wird, dass das Feuer von oben die darunter liegenden Scheiter entfacht. Sobald das Holz voll brennt oder spätestens, wenn noch Glut und etwas Flammen vorhanden sind, sollten immer nur kleine Mengen trockenes Holz nachgelegt werden.

Zu vermeiden ist ein Überfüllen des Feuerraums

und zwar sowohl beim Anfeuern als auch beim Nachlegen: Das Anzünden eines grossen Brennstoffstapels mit darunter liegendem Anzündmaterial führt zu starker Rauchentwicklung, ebenso aber auch das Nachlegen von zu viel Holz. Ganz

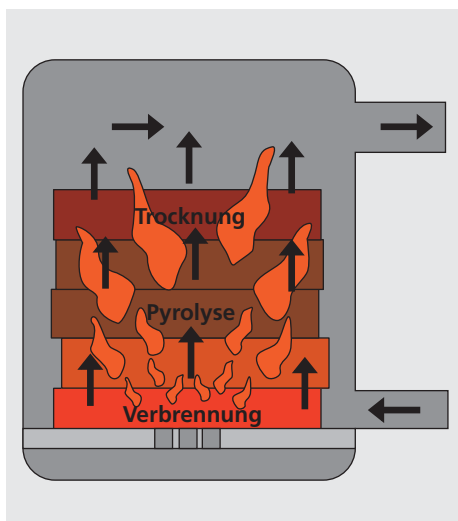


Abbildung 85:
Phasen der
Holzverbrennung in
einem Holzfeuerungs-system

zu vermeiden ist ein vollständiges Schliessen der Luftklappen, so lange noch unter Flammenbildung abbrennendes Holz im Ofen ist, da dies einen Schwelbrand mit sehr hohen Russemissionen verursacht.

■ **Nur geprüfte Qualitätspellets verwenden**

■ **Bei Grossanlagen nur Holz mit geeigneten Abmessungen und Wasserge-**

halt verwenden: Bei grösseren automatischen Holzheizungen sollte der Betreiber sicherstellen, dass nur Brennstoff mit geeigneten Abmessungen und Wassergehalt verwendet und kein Altholz eingesetzt wird. Mindestens einmal pro Jahr sowie bei einem Wechsel des Brennstoffsortiments sollte die Anlage neu einreguliert werden.

*Tabelle 26:
Holzheizungen im
Wohnbereich
(Quelle: Holzener-
gie Schweiz)*

	Beschreibung	Feuerraum	Verbrennungs- technik	Wirkungs- grad*)	Wärme- speicherung	Trümpfe
Geschlossenes Cheminée (alle Varianten)	eingebaut, mit geschlossenem Feuerraum, häufig mit Warmluftkanälen, z.T. Beheizung eines Speicherkörpers, Strahlungswände	aus Metall oder Schamottier, relativ gross, Scheiter 25 bis 33 cm	moderne Modelle mit wirksamer Nachverbrennung	um 75 %	ohne Speichermasse gering, bei Beheizung eines Speicherkörpers mehrere Stunden	hoher dekorativer Wert, schnelle Raum- erwärmung
Cheminéeofen	freistehend, verkleidet mit Metall, Schamottsteinen, Kacheln oder Speckstein	gross, wird er ganz ausgenützt, entsteht schnell grosse Hitze	moderne Geräte mit einfacher Nachverbrennung	60 bis 80 %	0 bis 2 Stunden	hoher dekorativer Wert, preiswert, einfache Installation, schnelle Raum- erwärmung
Pelletofen	freistehend, automatischer Betrieb, Anschluss an Zentralheizungssystem möglich	klein	ausgereift	um 90 %	0 bis 2 Stunden	automatische Zündung, wenig Asche, geringe Emissionen, kleineres Brennstofflager
Holzkochherd	mit verlängerter Zugführung, beheizbare Sitzbank möglich	klein, meist für Scheiter 25 bis 33 cm	bei fachgerechtem Betrieb gut	50 bis 70 %, mit Sitzbank bis 80 %	1 bis 2 Stunden im Herd, 3 bis 6 Stunden in Sitzbank, je nach Grösse	
Speicherofen	fest aufgebaut, mit Kacheln, Speckstein oder Verputz verkleidet, viel Strahlungswärme	Anlage und Brennstoff angepasst, Scheiter 25 bis 50 cm	gut bis sehr gut	75 bis 90 %	18 bis 36 Stunden, je nach Speichervolumen	hoher dekorativer Wert, wenig Holz nachlegen, gute Wärmespeicherung, gemütlich

*) Wirkungsgrad wird auf Heizwert (unterer Heizwert) bezogen.

2.6 Praxisbeispiel zu Holzfeuerung

Beispiel 1: Heizkessel mit festem Brennstoff (MuKE-Standardlösung Nr. 5)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Der Temperaturfühler (θ_1) ist abhängig von der Heizkurve. Unterschreitet die Temperatur (θ_1) die VL-Temperatur des Heizkreises ($\theta_{VL,1}$), geht der Holzheizkessel und die Umwälzpumpe (P_1) in Betrieb. Der gesamte Energiespeicher wird mit heissem Heizungswasser geladen, bis die VL-Temperatur am Temperaturfühler (θ_2) erreicht ist. Die Heizkreispumpe (P_3) fördert den notwendigen Volumenstrom vom Energiespeicher durch die Heizgruppe. Die Vorlauftemperaturen ($\theta_{VL,x}$) der Heizkreise werden witterungsgeführt geregelt.

Ladung des SPWE (Speicherwassererwärmung)

Wird im SPWE die Soll-Temperatur (θ_{WW}) unterschritten, öffnet das Durchgangsventil (V_2 hat keine Regelfunktion) und die Umwälzpumpe (P_2) im SPWE-Ladekreis schaltet ein. Das Heizungswasser fließt durch den innenliegenden Rohrbündelwärmetauscher und das Brauchwarmwasser wird auf die gewünschte Temperatur (θ_{WW}) erwärmt.

Kritische Elemente

- Kondensatbildung im Holzheizkessel bei nicht kondensierenden Heizkesseln; Kessel-Rücklaufhochhaltung von mindestens 60°C vorsehen.
- Abführung der Überschussenergie des Heizkessels; Energiespeicher vorsehen.

Einsatz

- EFH; MFH; Überbauungen
- Gewerbebauten

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Fester Brennstoff	–
Umwandlung	Heizkessel	Heizung indirekt
Speicherung	Energiespeicher	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb, ■ Sonnenenergienutzung im Energiespeicher möglich	Sonnenenergienutzung im SPWE möglich
MuKE	Standardlösung 5: Automatische Holzfeuerung für Heizung und Warmwasser ganzjährig	

Tabelle 27:
Spezifikationen zu
Beispiel 1.

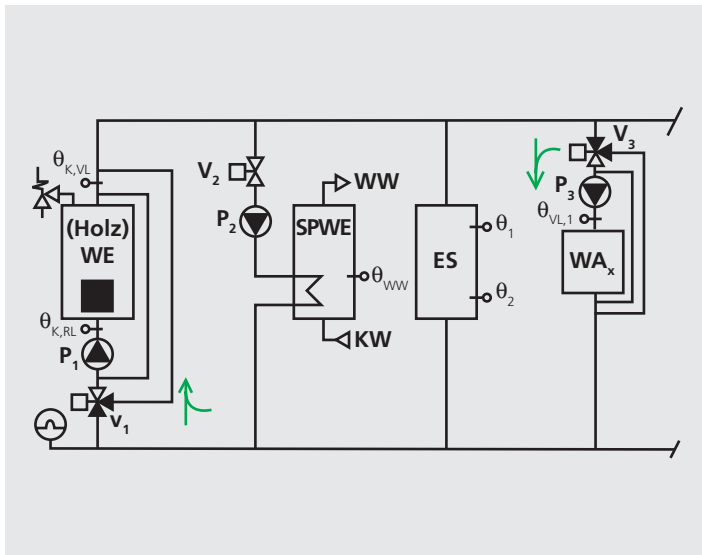


Abbildung 86:
Holzheizkessel mit
Energiespeicher

Abbildung 87.
Beispiel Regelfunk-
tion: Verlauf der
Heiztemperatur
über dem Holzheiz-
kessel während der
Ladung des Ener-
giespeichers

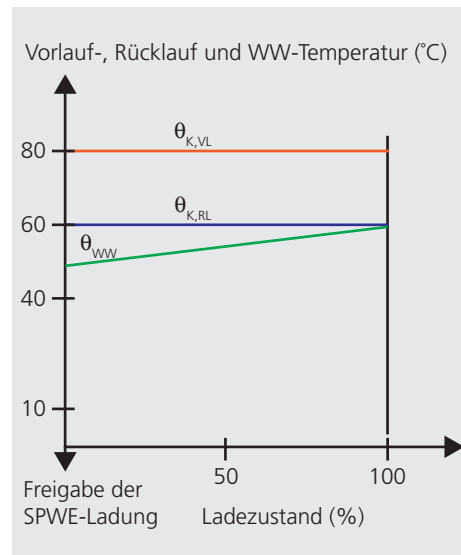
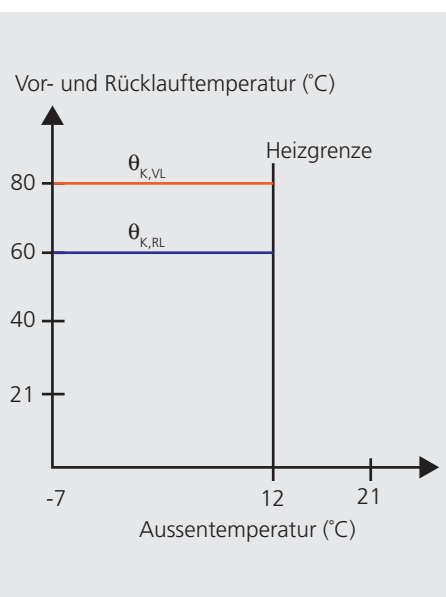


Abbildung 88.
Beispiel Regelfunk-
tion: SPWE-Ladever-
lauf mit konstanter
VL-Temperatur

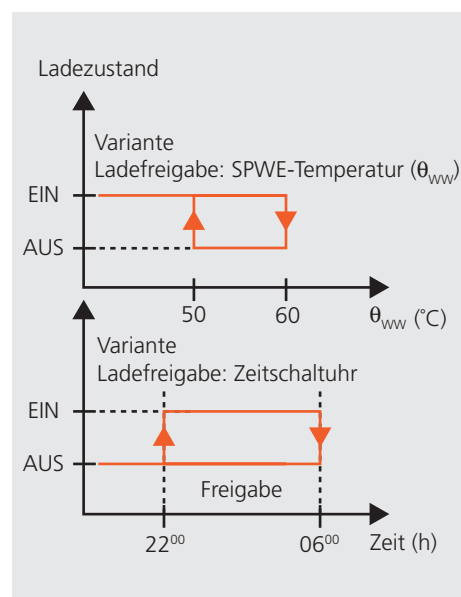


Abbildung 89.
Beispiel Regelfunk-
tion: Freigabe für
SPWE-Ladung

2.7 Fernwärme

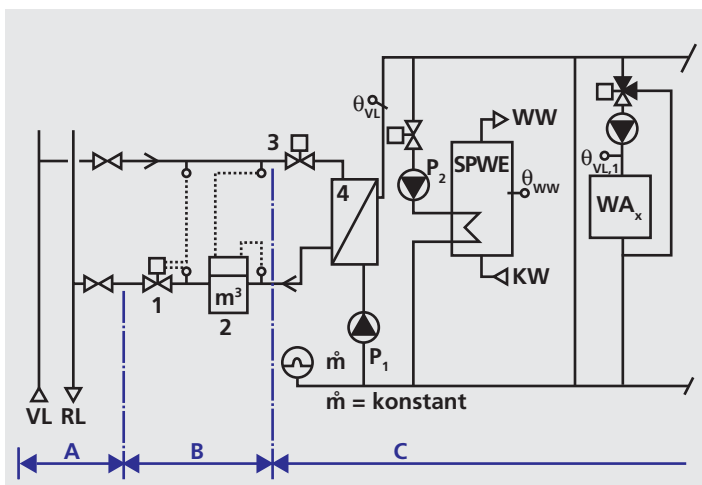
Fernwärme bedeutet, dass die Wärmezeugung nicht unmittelbar am Ort des Verbrauchs erfolgt und die vom Endkunden genutzte Wärme angeliefert wird.

Fernwärme wird in einer zentralen Anlage – zum Beispiel einer Kehrcht-, Holzschnitzel-, Verbrennungs- oder Kläranlage oder einem Heizkraftwerk – erzeugt und über ein Rohrleitungsnetz den Kunden zum Heizen und zur Wassererwärmung zugeleitet. Bildlich ausgedrückt funktioniert die Fernwärme wie eine grosse Zentralheizung, die Gemeinden, Quartiere, Städte und Regionen mit Wärme von einem oder mehreren grossen Wärmequellen versorgt. Als Wärmequellen kommen in Frage: Kehrcht, Abwärme aus thermischen Kraftwerken und industriellen Prozessen, Holzschnitzel, Kläranlagen, Geothermie sowie Umweltwärme.

Die Fernwärme wird über ein gut isoliertes Verteilnetz in Form von heissem Wasser (80 °C bis 130 °C) zum Endverbraucher zugeleitet. Das in den Heizungen abgekühlte Wasser (rund 50 °C oder tiefer) fliesst über ein zweites Rohr in die Fernwärmezentrale zurück, womit der Kreislauf geschlossen ist.

Abbildung 90:
Fernwärmean-
schluss mit System-
trennung und kon-
stantem Massen-
strom

- A Fernwärmenetz
- B Übergabestation
- C Hausinterner Ver-
braucherkreis
- 1 Druckdifferenz-
Regler
- 2 Wärmezähler
- 3 Sekundär-VL-
Regelung
- 4 Wärmeübertrager



2.8 Praxisbeispiele Fern- wärmenutzung

**Beispiel 1: Fernwärme mit konstan-
tem Massenstrom sekundärseitig**
(MuKE-Standardlösungen Nr. 10 und 11)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Bei Wärmebedarf, schaltet die Umwälzpumpe (P_1) im Verbraucherkreis ein. Die VL-Temperatur (θ_{VL}) ist witterungsgeführt und wird mit dem Durchgangsventil (3) auf die von der Heizkurve vorgegebene Temperatur geregelt. Da eine unregelte Umwälzpumpe (P_1) zum Einsatz kommt, wird im Teillastbetrieb ein Teil des Heizungswassers durch den Bypass gefördert.

Ladung des SPWE (Speicherwasser- erwärmers)

Unterschreitet die Ist-Temperatur die Soll-Temperatur am SPWE-Tempersensor (θ_{WW}), schalten die Umwälzpumpe (P_1) und die SPWE-Pumpe (P_2) ein und das Durchgangsventil öffnet (besitzt keine Regelfunktion). Die VL-Temperatur (θ_{VL}) wird hochgefahren und konstant gehalten.

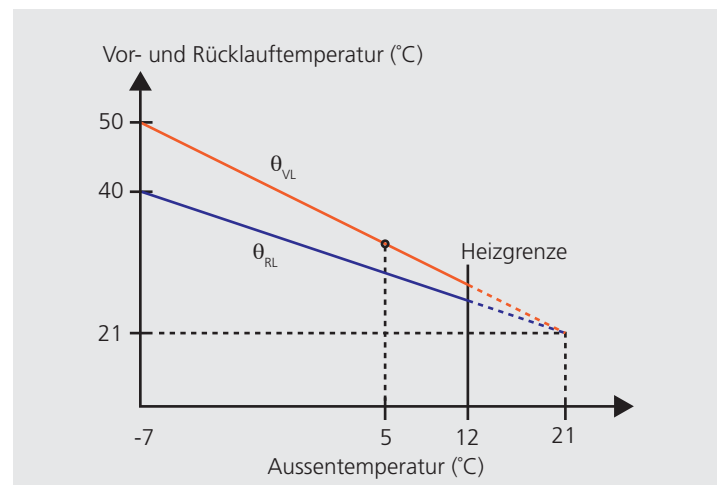
Kritische Elemente

- RL-Temperaturen in der Übergabestation und im hausinternen Verbraucherkreis können im Teillastbereich hoch sein.
- Druckloser Verteiler im Verbraucherkreis

Einsatz

- MFH und Gewerbebauten

Abbildung 91: Vor-
und Rücklauf-
temperatur in
Abhängigkeit der
Aussentemperatur



	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Fernwärme	–
Umwandlung	Wärmeübertrager	Heizung indirekt
Speicherung	–	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung)
Bemerkungen	■ Mit einem Bypass wird ein konstanter Massenstrom auf der Sekundärseite erreicht. ■ Witterungsgeführte VL-Temperatur ■ Konstante VL-Temperatur möglich.	–
MuKEn	Standardlösung 10: ■ Abwärmenutzung für Heizung und Warmwasser ganzjährig ■ z. B. Abwärme aus Fernwärme (KVA, ARA, etc.) oder Industrie	Standardlösung 11: ■ Wärme aus Wärmekraftkopplung (WKK) ■ Elektrischer Wirkungsgrad mindestens 30 % ■ Abdeckung des Wärmebedarfs von Heizung und WW von mindestens 70 %

Tabelle 28:
Spezifikationen zu
Beispiel 1.

Abbildung 92.
Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstanter VL-Temperatur (Beispiel: SPWE-Ladung vom Heizbetrieb 35 °C/30 °C ausgehend)

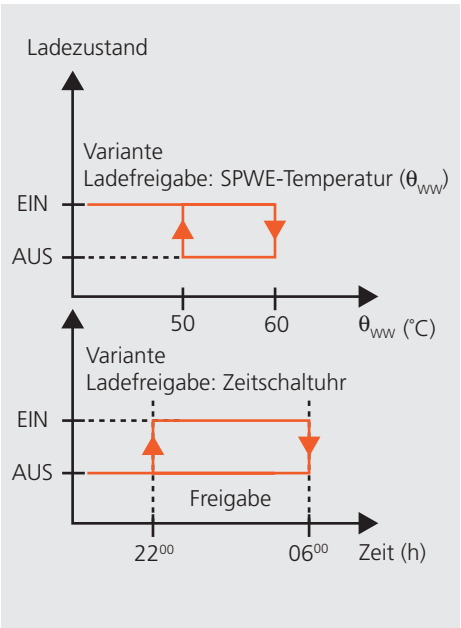
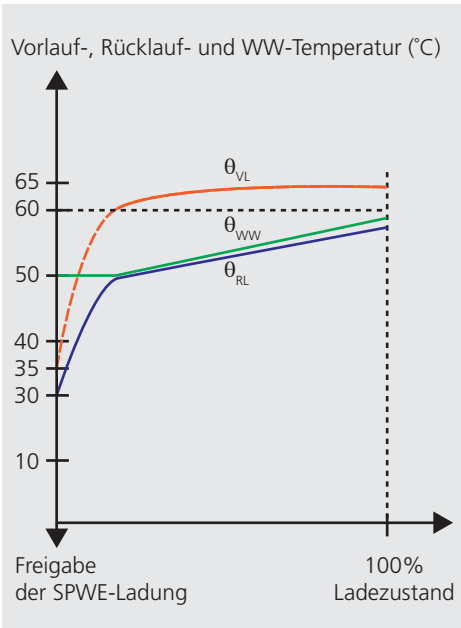


Abbildung 93.
Beispiel Regelfunktion: Freigabe für
SPWE-Ladung

Beispiel 2: Fernwärme mit variablem Massenstrom sekundärseitig (MuKE-Standardlösungen Nr. 10 und 11)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Bei Wärmebedarf schaltet die Umwälzpumpe (P_1) im Verbraucherkreis ein. Die VL-Temperatur (θ_{VL}) ist witterungsgeführt und wird mit dem Durchgangsventil (3) auf die von der Heizkurve vorgegebene Temperatur geregelt. Im Teillastbetrieb regelt die drehzahlregulierte Umwälzpumpe (P_1) den Massenstrom.

Ladung des SPWE (Speicherwassererwärmer)

Unterschreitet die Ist-Temperatur die Soll-Temperatur am SPWE-Temperatursensor (θ_{WW}), schalten die Umwälzpumpe (P_1) und die SPWE-Pumpe (P_2) ein und das Durchgangsventil (5) öffnet (besitzt keine Regel-

funktion). Die VL-Temperatur (θ_{VL}) wird hochgefahren und konstant gehalten.

Kritische Elemente

- Minimaler Volumenstrom auch im Teillastbereich beachten
- Hydraulischer Abgleich der Heizgruppen
- Drehzahlregulierte Umwälzpumpe

Einsatz

- EFH und MFH

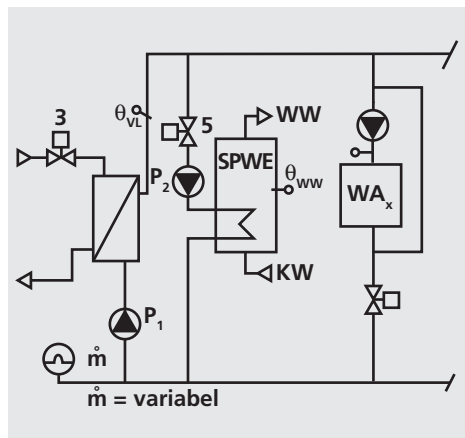


Abbildung 94: Fernwärmeanschluss mit Systemtrennung und variablem Massenstrom

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Fernwärme	–
Umwandlung	Wärmeübertrager	Heizung indirekt
Speicherung	–	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung)
Bemerkungen	■ Keinen Bypass (Massenstrom variabel), ■ Witterungsgeführte VL-Temperatur, ■ Konstante VL-Temperatur möglich. ■ Geregelter Umwälzpumpe (P_1)	–

Tabelle 29: Spezifikationen zu Beispiel 2.

2.9 Wärmekraftkopplung

Eine Wärmekraftkopplung (WKK) produziert neben der Wärme auch noch Strom. Der Verbraucher wird so mit den beiden wichtigsten Energiearten, Strom und Wärme, versorgt. Die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme wird hierbei sinnvoll zur Bereitstellung von Heizwasser, Dampf oder Trocknungswärme verwendet. Der Brennstoff wird somit zu 90 % bis 95 % genutzt. WKK-Anlagen gehen in Betrieb, sobald Wärme benötigt wird; sie sind somit wärmegeführt.

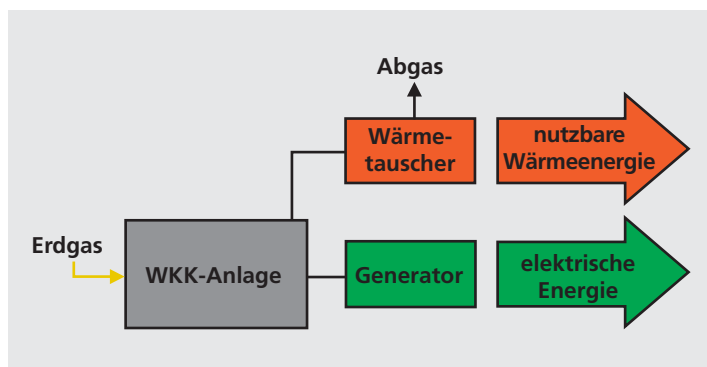
Die Mikro-Wärmekraftkopplung (Mikro-WKK) steht für eine Klasse von WKK-Anlagen, die das unterste Leistungssegment der WKK abdeckt (ca. 1 kW_e bis 15 kW_e und 3 kW_{th} bis 70 kW_{th}). Die Mini-Wärmekraftkopplung (Mini-WKK) umfasst im Vergleich zur Mikro-WKK den Bereich der WKK-Anlagen von 3 kW_e bis 50 kW_e.

Blockheizkraftwerke (BHKW)

Wärmekraftkopplungsanlagen sind meist Blockheizkraftwerke (BHKW), die aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator bestehen. Als Treibstoff kommt vorwiegend Gas zum Einsatz. Das Leistungsspektrum dieser Technologie liegt zwischen 15 kW_e und 1000 kW_e. Ein BHKW ist eine modular aufgebaute Anlage, die vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben wird, die aber auch Nutzwärme in ein Nahwärmenetz einspeisen kann.

Abbildung 95:
Produzierte Energien aus einer Gas-Wärmekraftkopplung

Abbildung 96:
Ansicht eines BHKW



2.10 Praxisbeispiele zu Wärmekraftkopplungen (WKK)

Beispiel 1: BHKW und Heizkessel mit gasförmigem Brennstoff (MuKE-Standardslösungen Nr. 11)

Funktionsbeschreibung

Heizbetrieb

Mit dem Energiespeicher werden lange Laufzeiten des BHKW erreicht. Bis zu einer definierten Aussentemperatur (dem Bivalenzpunkt) erfolgt die Erwärmung des Heizungswassers über das BHKW. Wird dieser Punkt unterschritten, wird die zu erreichende VL-Temperatur (θ_{VL}) mit der Zusatzheizung garantiert.

Ladung des SPWE (Speicherwassererwärmer)

Unterschreitet die Ist-Temperatur die Soll-Temperatur am SPWE-Temperatursensor ($\theta_{WW,1}$), schaltet der Primärkreis ein. Werden aus dem Energiespeicher die notwendigen VL-Temperaturen erreicht, bezieht die Temperaturhochhalteladung das Wasser aus dem Energiespeicher. Ansonsten wird die Wärme mit dem Spitzenheizkessel bereitgestellt.

Dabei wird das Heizungswasser über den aussenliegenden Wärmetauscher gefördert. Das zu erwärmende Trinkwasser wird solange über den Bypass geführt, bis die Warmwasserladetemperatur (θ_1) erreicht ist. Ist diese Temperatur erreicht, wird der

SPWE durch das Umschalten des 3-Weg-Ventils (1) geladen. Durch die Temperaturhochhaltung erfolgt eine konsequente Temperaturschichtung im SPWE.

Kritische Elemente

- Tiefe RL-Temperaturen im BHKW nicht erwünscht; somit Rücklaufemperaturhochhaltung vorsehen.
- Tiefe RL-Temperaturen bei Brennwertkessel erwünscht.
- Drehzahlregulierte Umwälzpumpe bei Gaskessel
- Lange Ladezeit mittels BHKW erwünscht
- Energiemanagement des Energiespeichers

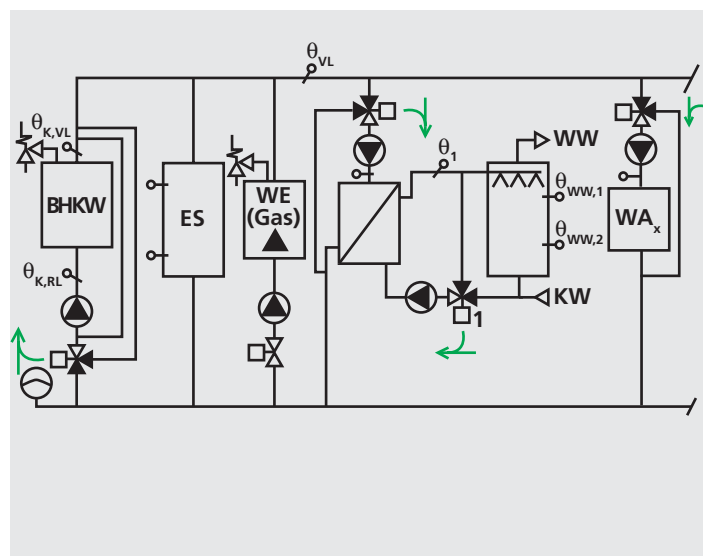
Einsatz

- MFH
- Wärmeverbund von mehreren MFH
- Gebäude mit grossem Warmwasserbedarf (Spitäler, Altersheime, Sportanlagen)

Tabelle 30:
Spezifikationen zu
Beispiel 1.

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	Gasförmiger Brennstoff (Erdgas)	–
Umwandlung	■ WKK ■ Heizkessel	Heizung indirekt
Speicherung	Energiespeicher	SPWE mit aussenliegendem Wärmeübertrager (Schichtladung)
Bemerkungen	■ Blockheizkraftwerk (BHKW), ■ Varianten: Bivalent-alternativer oder bivalent-teilparalleler Betrieb	–

Abbildung 97:
BHKW und Gas-Brennwertkessel im bivalent-parallel Betrieb



Beispiel 2: BHKW und WP mit Frischwassermodule (MuKEN-Standardlösungen Nr. 6, 7 und 11)

Funktionsbeschreibung

Ladung der Energiespeicher

Der Energiespeicher ist mittels Lochblech in zwei unterschiedliche Temperaturzonen eingeteilt. Mit dem oberen Speicherbereich wird das Frischwassermodule geladen. Der untere Speicherbereich speichert die Energie für die Heizgruppen (Niedertemperatur). Spricht der obere Energiespeichertemperatursensor (θ_1) an, gehen die Wärmepumpe und das BHKW in Betrieb. Dabei erwärmt die WP das RL-Wasser auf den Niedertemperaturbereich. Das BHKW erwärmt das vorgewärmte Heizungswasser in etwa auf die Soll-Temperatur (θ_{VL}) und leitet dieses in den oberen Energiespeicherbereich ein. Dieser wird von oben bis zum Temperaturfühler (θ_2) geschichtet geladen. Spricht der untere Niedertemperaturbereich (θ_3) an, wird die notwendige Wärme nur von der WP bereitgestellt.

Kritische Elemente

- Lange Laufzeit des BHKWs erwünscht
- Lademanagement des Energiespeichers
- Tiefe VL-Temperaturen für WP (Steigerung der Effizienz)
- Hydraulische Einbindung des BHKW
- Nieder- und Hochtemperatur-Massenströme Grund für gegenseitige Störung
- Unterschiedlicher Bedarf an Warmwasser

Tabelle 31:
Spezifikationen zu
Beispiel 2.

	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Gasförmiger Brennstoff (Erdgas), ■ Umweltwärme	–
Umwandlung	■ WKK (BHKW), ■ WP	Heizung indirekt mittels Frischwassermodule
Speicherung	■ Energiespeicher ■ Auch Kombispeicher möglich	–
Bemerkungen	■ Bivalent-teilparalleler Betrieb	Elektrische Nacherwärmung möglich

sertemperaturen (z. B. Spültische, Duschen)

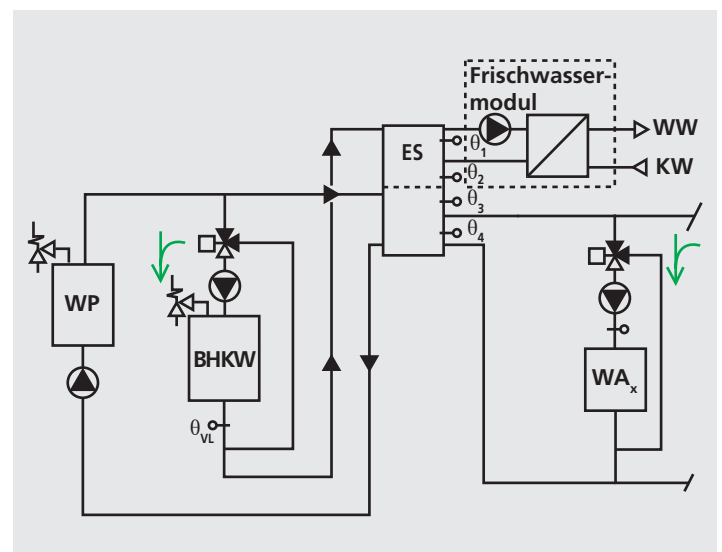
- Ausstosszeiten des Warmwassers – Zirkulation, somit Legionellenschaltung vorsehen.

- Notwendiger Energieinhalt für das Frischwassermodule
- Kalkausscheidung im Wärmeübertrager des Frischwassermoduls

Einsatz

- MFH
- Gebäude mit grossem Warmwasserbedarf (z. B. Sportanlagen; Legionellenproblematik beachten).

Abbildung 98:
BHKW und WP im
bivalent-teilparallelen
Betrieb und mit
Frischwassermodule



2.11 Thermische Solarwärmenutzung

Thermische Solaranlagen nutzen solare Wärme zur Unterstützung bzw. Deckung des häuslichen Warmwasserbedarfs und der Wohnungsheizung. Zentrales Bauteil thermischer Solaranlagen ist der Sonnenkollektor. Das «Herz» des Kollektors sind die Absorber. Das sind schwarze Metallflächen, in denen in einem System von kleinen Röhren eine Flüssigkeit zirkuliert, die durch die Wirkung der Sonnenstrahlung erwärmt wird. Die im Absorber erwärmte Flüssigkeit gibt Wärme über einen Wärmetauscher an das Warmwasser- und Heizungssystem des Hauses ab. Die solare Wärme steht den Nutzern z. B. am Warmwasserhahn, am Heizkörper/Fussbodenheizung und im Schwimmbecken zur Verfügung. Die direkt von der Sonne gewonnene Wärme reicht häufig für den aktuellen Nutzwärmebedarf eines Hauses nicht aus, wenn z. B. Wolken die Sonnenkollektoren beschatten. Dann übernimmt eine weitere Wärmequelle, die Zusatzheizung, die Erwärmung des Speicherinhalts.

Das Strahlungsangebot auf der Erdoberfläche

Sonnenstrahlen sind elektromagnetische Wellen, deren Energieinhalt sich nach dem Eintritt in die Erdatmosphäre durch Reflexion und Absorption an Bestandteilen der Luft (z. B. Wasserdampf, Ozon, etc.) reduziert. So liegt die Gesamtleistung der Sonneneinstrahlung an der Aussenhülle der Erdatmosphäre bei 1355 kW/m^2 (Solar-konstante), wovon im Maximum ca. 1000 W/m^2 (Globalstrahlung) auf den Erdboden auftreten. Die Globalstrahlung besteht aus:

- direkten Strahlungen (Sonnenlicht, das bei klarem Himmel direkt auf den Erdboden trifft) und
- indirekten Strahlungen (Diffusstrahlung, Sonnenlicht, das durch Wolken gestreut (abgelenkt) auf den Erdboden trifft).

können auf Gestellen aufgeständert bzw. auf Dächern über der Dachhaut installiert (Aufbaukollektoren) oder ins Hausdach oder in die Fassade integriert werden (Einbaukollektoren). Ebenfalls zählen die unverglasten Kollektoren zu den Flachkollektoren. Diese kommen im unteren Temperaturbereich (z. B. für Erwärmung von Freibadanlagen) zum Einsatz.

Auf welche technische Details ist bei der Wahl eines Flachkollektors zu achten?

■ **Zertifizierung:** Das Institut für Solartechnik SPF an der Hochschule Rapperswil testet Sonnenkollektoren auf Ertrag und

Abbildung 99:
Aufbau einer thermischen Solaranlage

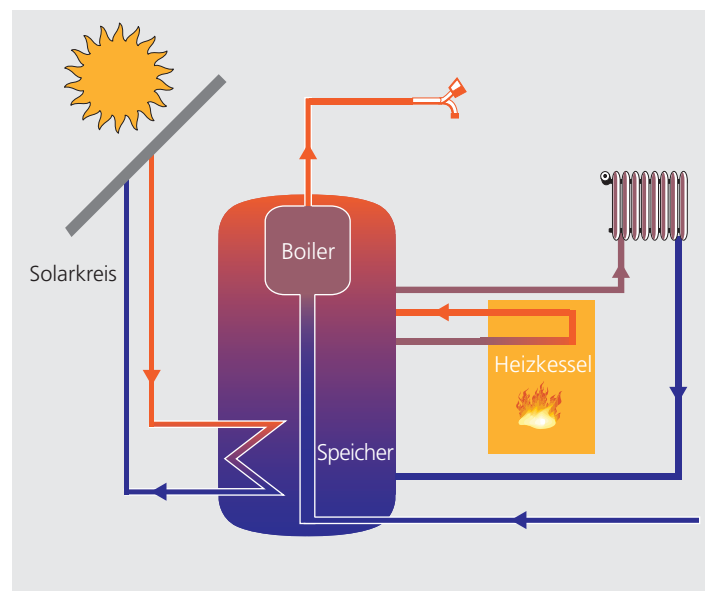
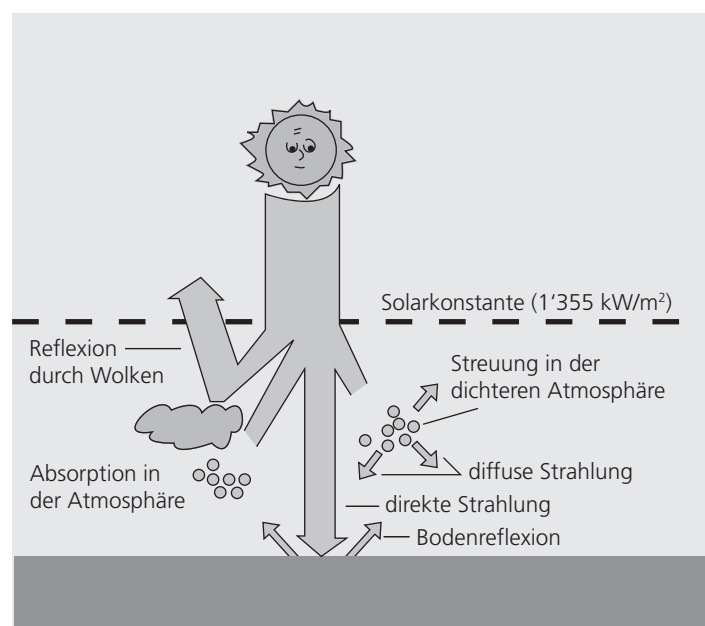


Abbildung 100:
Begriffe der Sonnenstrahlung

Flachkollektoren

Flachkollektoren sind die meistverbreitete Bauart von Kollektoren. Flachkollektoren

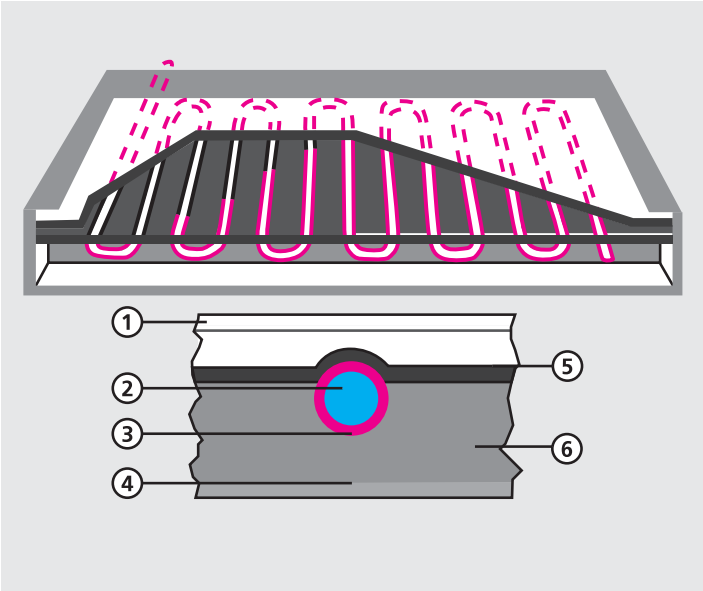


Kollektorbauarten	Einsatzbereich	Stagnations-temperatur *)	Typische Anwendung
Unverglaste Flachkollektoren aus Kunststoff	20 °C bis 40 °C	ca. 80 °C	Freibadanlagen für private und kommunale Bäder
Verglaste Flachkollektoren mit spektralselektiver Beschichtung	30 °C bis 100 °C	160 °C bis 220 °C	Wassererwärmung und Raumheizung
Vakuümrohrenkollektoren mit Metallabsorber	50 °C bis 150 °C	250 °C bis 350 °C	Wassererwärmung und Raumheizung, Prozesswärme

*) Stagnationstemperatur gelten bei 30 °C Umgebungstemperatur und einer Einstrahlung in die Kollektorebene von 1 000 W/m²

Tabelle 32: Einsatzbereich von Flachkollektoren (weitere Infos: Leitfaden Solarthermie, Swissolar)

Tabelle 33: Einsatzbereich von Vakuümrohrenkollektoren (weitere Infos: Leitfaden Solarthermie, Swissolar)



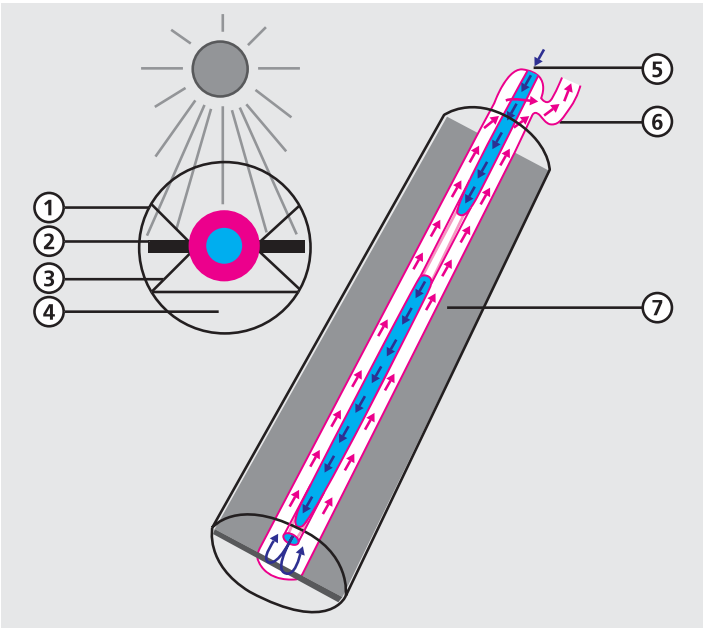
andere Kriterien. Die Resultate sind unter www.solarenergy.ch verfügbar.

■ **Absorberbeschichtung:** Der Absorber muss entweder schwarz eingefärbt oder mit einer speziellen Beschichtung versehen sein, die selektiv wirkt (selektive Absorberbeschichtung). D.h., die von aussen kommende kürzerwellige Sonnenenergie möglichst gut aufnimmt und die längerwellige Wärmeenergie des Absorbers nur schlecht abgibt.

■ **Grossflächenkollektor:** Dieser hat Vorteile im Vergleich zu mehreren Einzelmodulen.

■ **Dämmung:** Der Kollektor muss gegen Wärmeverluste mit mineralischem Dämmstoff gut gedämmt sein.

Abbildung 101: Flachkollektor
1 Glas
2 Wärmeträgermedium
3 Kupferrohr
4 Aluminiumwanne
5 Absorber, schwarz oder selektiv beschichtet
6 Wärmedämmung



Vakuümrohrenkollektoren
Vakuüm ist ein besonders guter thermischer Isolator. Dadurch weisen Vakuümrohrenkollektoren einen wesentlich kleineren Wärmeverlust auf als Flachkollektoren. Vakuümrohrenkollektoren sind besonders leistungsstarke Kollektoren, welche für die Bereitstellung von Prozesswärme im Bereich von 100 °C bis 150 °C eingesetzt werden.

Abbildung 102: Vakuümrohrenkollektor
1 Glas
2 Wärmeträgermedium
3 Distanzhalter
4 Wärmedämmung (Vakuüm)
5 Einlauf
6 Auslauf
7 Absorber, schwarz selektiv beschichtet

Planungshinweise für thermische Solarnutzung (weitere Infos: Leitfaden Solarthermie, Swissolar)

■ **Vereinbarungen mit dem Nutzer schriftlich festhalten:** Anlagedaten schriftlich fixieren, welche für die Planung verbindlich sein sollten (z. B. Platzierung der Kollektoren, allgemeine Platzverhältnisse, solarer Deckungsgrad, Anlagedaten, Lieferfristen von Kollektoren, Anwendungen der Sonnenenergie, Wärme- und Warmwasserbedarf, Investitionslimiten, Randbedingungen der konventionellen Haustechnik, etc.)

■ **In den meisten Kantonen ist die Installation einer Sonnenkollektoranlage bewilligungspflichtig:** Ansprechpartner für das Bewilligungsverfahren ist das Bauamt der Gemeinde, in der die Anlage realisiert werden soll.

■ **Einreichung von allfälligen Förderanträgen**

■ **Genügend Raum- und Platzbedarf für Kollektoren, Speicher und Rohrleitungstrasse vorsehen.**

■ **Unterschiedliche Offerten von Kollektoren oder ganzen Solaranlagen anfordern und vergleichen:** Es lohnt sich Offertvergleiche bezüglich Fabrikate, Systeme, Qualität, Quantität, Preise, Rabatte, Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit, Termine, Organisation, etc. vorzunehmen.

■ **Kompromiss zwischen Wärmekosten und solaren Deckungsanteil:** Der solare Deckungsgrad für Heizung und Warmwasser liegt bei EFH im Minergiestandard bei 30 % bis 50 % (gilt für Mittelland).

In EFH und MFH stellen Kompaktanlagen zur Brauchwassererwärmung mit einem solaren Deckungsgrad von 50 % bis 70 % das wirtschaftliche Optimum dar.

■ **Warmwasserbedarf richtig abschätzen:** Für die Dimensionierung von Anlagen zur Wassererwärmung sollten Bedarfsprofile erhoben werden. Als Standardverbrauchsweite gelten bei EFH 40 Liter Warmwasser zu 60 °C pro Person und Tag, bei MFH sind es 35 Liter.

■ **Ausrichtung von Flachkollektoren für Wassererwärmung.** Der Neigungswinkel sollte zwischen 20° und 50° liegen.

Neigungswinkel unter 20° führen zu mangelhafter Belüftung und somit zu Kondensationsniederschlägen an der Innenseite des Kollektors. Zudem rutscht der Schnee schlecht ab. Orientierung: Weicht die optimale Orientierung von Süden ab, ist dies mit einer Vergrößerung der Kollektorfläche zu kompensieren. Südabweichung von $\pm 90^\circ$ sind für Neigungswinkel bis zu 50° mit einer Vergrößerung der Kollektorfläche um 50 % bis 75 % zu kompensieren. Bei Neigungswinkel von bis zu 75° wird eine Einschränkung der Orientierung auf $\pm 45^\circ$ empfohlen.

■ **Ausrichtung von Flachkollektoren für Heizungsunterstützung.** Der Neigungswinkel sollte zwischen 30° und 70° liegen. Anlagen mit hohem Neigungswinkel haben den Vorteil, dass im Sommer kaum überschüssige Wärme anfällt und im Winter auch grosse Schneemengen kein Problem darstellen. Orientierung: Südabweichung von $\pm 45^\circ$ sind für Neigungswinkel bis zu 75° mit einer Vergrößerung der Kollektorfläche von etwa 20 % zu kompensieren. Bei höheren Neigungswinkeln empfiehlt sich eine Einschränkung der Orientierung auf $\pm 45^\circ$.

■ **Zusatzheizung:** Die Wahl der Zusatzheizung hat einen grossen Einfluss auf die Ökologie des gesamten Systems. Holzheizungen und Wärmepumpen sind dafür besonders geeignet.

■ **Überhitzungsschutz:** Ist das Sonnenenergieangebot grösser als der Wärmebedarf, besteht Gefahr einer Speicherüberhitzung oder einer Verdampfung des Wasser-Glykol-Gemischs im Kollektor. Es sind Überhitzungsschutz-Massnahmen (Hydraulik, Regulierung) einzuplanen.

■ **Volumenströme durch Kollektoren:** Für optimale Energiegewinnung eignet sich die High-flow-Anlage mit einem Volumenstrom zwischen 30 l und 50 l pro Stunde und m² Kollektorfläche. Low-flow-Anlage mit einem Volumenstrom zwischen 10 l und 20 l pro Stunde und m² Kollektorfläche eignen sich für die Erzeugung von hohen Temperaturen.

Einsatzgebiet	Unverglaster Flachkollektor	Verglaster Flachkollektor	Vakuumröhrenkollektor
Schwimmbad Sommerbetrieb	++	--	--
Hallenbad mit Sommerbetrieb	--	++	+
Brauchwassererwärmung im EFH	--	++	+
Brauchwassererwärmung und Schwimmbad im EFH	--	++	+
Brauchwasservorerwärmung im MFH	--	++	--
Brauchwassererwärmung im MFH	-	++	++
Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung im EFH und MFH	--	++	++
Gewerbliche Anwendung für die Vorerwärmung bis 50°C (Hotels, Kantinen, Campingplätze, etc.)	--	++	+
Gewerbliche Anwendung für die Wärmenutzung bis 80°C (Wäschereien, Auto-waschstrassen, etc.)	--	++	++
Gewerbliche Anwendung für Prozesswärme bis 150°C (Nahrungsmittelindustrie, etc.)	-	-	++

Tabelle 34:
Auswahl von geeigneten Kollektoren
(weitere Infos: Leit-faden Solarthermie, Swissolar)

Legende:
++ gut geeignet
+ geeignet
- nicht empfehlenswert
-- vermeiden

Richtwerte für den Bau von thermischen Solaranlagen (Projektphase)

Bei der Ermittlung von Investitionskosten für Solaranlage müssen auch die Abzüge von möglichen Förderbeiträgen und steuerlichen Vergünstigungen berücksichtigt werden.

Für eine genaue Auslegung einer Solaranlage sollte man die Berechnungen mit Hilfe eines Simulationsprogrammes (z. B. Polysun), allenfalls in mehreren Varianten, am Computer ausführen.

Wohngebäude	Belegung	Anlagen zur Wassererwärmung		Kombianlagen ²⁾	
		Flachkollektorfläche ¹⁾ m ² /Person	Vorwärmvolumen ¹⁾³⁾ l/m ²	Flachkollektorfläche ¹⁾ m ² /(MWh·a)	Vorwärmvolumen ¹⁾³⁾ l/ m ²
kleine Gebäude	bis 20 Personen	1,2	50	1	120
mittlere Gebäude	bis 20 Personen	0,8	40	0,8	90
grosse Gebäude	über 100 Personen	0,5	30	0,8	60

1) Bezugsfläche: Absorberfläche

2) Wassererwärmung und Heizungsunterstützung

3) Das Totalvolumen (VT) des Speicher-Wassererwärmers ist die Summe des Vorwärmvolumens (VV), des Bereitschaftsvolumens (VZ) und des Totvolumens. Das Bereitschaftsvolumen (VZ) ist abhängig von der Verfügbarkeit der Zusatzenergie und beträgt maximal einen Tageswarmwasserbedarf, (inkl. Zirkulation).

Ausrichtung	Vergrösserung bei Wassererwärmung		Vergrösserung bei Kombianlagen	
	Neigung	Korrektur der Kollektorfläche	Neigung	Korrektur der Kollektorfläche
Süd, Südwest (+45°), Südost (-45°)	20° bis 50°	keine Korrektur	30° bis 50°	keine Korrektur
	60°	+15 %	75°	+20 %
	75°	+50 %	> 75°	Korrektur berechnen
	> 75°	Korrektur berechnen		
West (+90°), Ost (-90°)	20 bis 50°	+5 %	20° bis 45°	keine Korrektur
	50°	+10 %	50°	+10 %
	> 50°	Korrektur berechnen	> 50°	Korrektur berechnen

Tabelle 35: Grobe Richtwerte für die benötigte Kollektorenfläche mit optimaler Ausrichtung (Quelle: Solarordner und Merkblatt «Sonnenenergie: Kosten und Kennzahlen» des BFE)

Tabelle 36: Vergrösserung der Kollektorfläche bei nicht idealer Ausrichtung (weitere Infos: Leitfaden Solarthermie, Swissolar)



2.12 Praxisbeispiele zur Solarwärmenutzung

Beispiel 1: Thermische Sonnenenergienutzung zur Wassererwärmung (MuKEn-Standardlösungen Nr. 3 und 4)

Funktionsbeschreibung

Warmwasserladung mittels

High-flow-Solaranlage (Abbildung 103)

Ist die Kollektorfeldtemperatur (θ_1) 3 K bis 5 K wärmer als die Temperatur im SPWE (θ_{WW}), schaltet die Solarpumpe ein. Die Speicherladung erfolgt von unten nach oben durch die induzierten Konvektionsströmungen. Sobald der Temperaturunterschied zwischen Kollektorfeld und SPWE ($\theta_1 - \theta_{WW}$) kleiner als 3 K respektive 5 K ist, schaltet die Solaranlage wieder ab.

Kann die SPWE-Ladung nicht mittels Kollektoren erwärmt werden, erwärmt der Elektroheizeinsatz (andere Wärmequelle möglich) das obere Speichervolumen (meistens Stundenspitze) nach.

Warmwasserladung mittels Low-flow-Solaranlage (Abbildung 104)

Die Temperaturfühler ($\theta_{WW,1}$ und $\theta_{WW,2}$) im SPWE geben den Solarladekreis frei, sobald eine der beiden Temperaturen kleiner ist als die Temperatur im Kollektorfeld (θ_1). Wird im oberen Bereich ($\theta_{WW,1}$) eine Temperaturdifferenz zum Kollektorfeld (θ_1) von 3 K bis 5 K festgestellt, schaltet das 3-Weg-Ventil auf Umlenkung und der obere SPWE-Bereich wird geladen. Die Restwärme im Solarkreis wird mit dem zweiten Wärmeübertrager dem unteren SPWE-Bereich zugeführt. Ist die Temperatur im oberen Bereich ($\theta_{WW,1}$) höher als die Kollektorfeldtemperatur (θ_1), kann nur die anfallende Wärme mittels dem unteren Wärmeübertrager dem Trinkwasser abgegeben werden. Es erfolgt eine Vorerwärmung des Trinkwassers. Der Elektroheizeinsatz (andere Wärmequellen möglich) wärmt das obere Speichervolumen nach (meistens Stundenspitze).

Kritische Elemente

■ Überhitzungsproblematik Solar- und WW-Kreis

■ Innenliegende Wärmeübertrager können zur Vermischung der Temperaturschichten führen.

■ Schichtladung ist mit High-flow-Betrieb nicht möglich.

■ Fließgeschwindigkeit im Solarkreislauf

■ Druckhaltung im Solarkreis

Einsatz

■ EFH und MFH

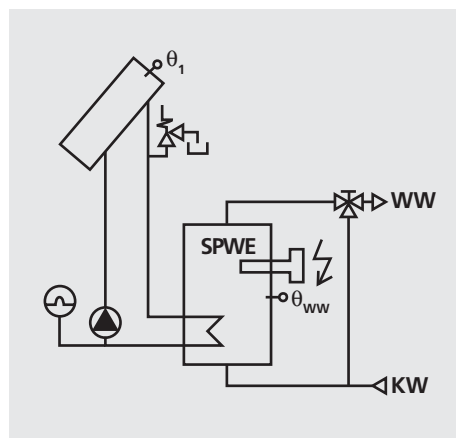


Abbildung 103:
High-flow-Solaranlage für indirekte Wassererwärmung mit elektrischer Zusatzheizung

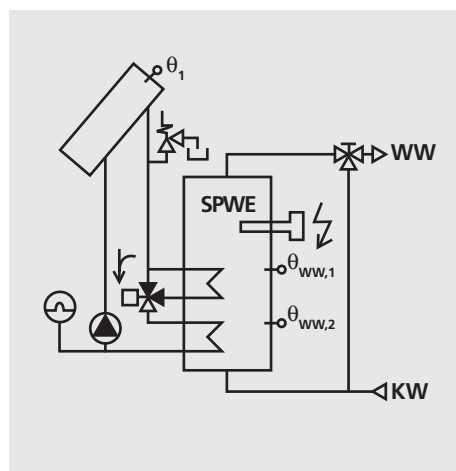


Abbildung 104:
Low-flow-Solaranlage für indirekte Wassererwärmung mit elektrischer Zusatzheizung

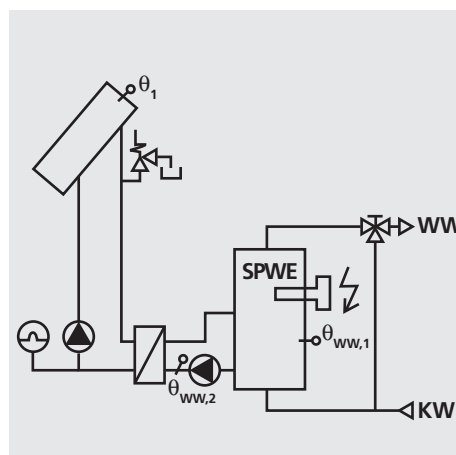


Abbildung 105:
Thermische Solaranlage mit aussenliegendem Wärmetauscher für indirekte Wassererwärmung mit elektrischer Zusatzheizung

Beispiel 2: Thermische Sonnenenergienutzung mit aussenliegendem Wärmetauscher für Wassererwärmung

(MuKEN-Standardlösungen Nr. 3 und 4, Abbildung 105)

Funktionsbeschreibung

Sobald die Speichertemperaturen ($\theta_{\text{WW},1}$) tiefer liegen als im Kollektorfeld (θ_1), gehen der Primär- und Sekundärkreis in Betrieb; der SPWE wird geladen bis der Temperaturfühler ($\theta_{\text{WW},2}$) die Temperaturdifferenz zum Kollektorfeld (θ_1) unterschreitet.

Kritische Elemente

- Kalkausscheidung im Wärmeübertrager
- Verluste im Wärmeübertrager

- Überhitzungsproblematik im Solar- und WW-Kreis

- Kleine Eintrittsgeschwindigkeiten in den SPWE notwendig (Zerstörung der Temperaturschichtung)

- Im EFH ist der Wärmeeintrag in den SPWE mittels freier Konvektion möglich (ohne Umwälzpumpe).

- Druckhaltung im Solarkreis

Einsatz

- Nachrüstung im EFH und MFH
- Grosse Solaranlagen

Beispiel 1	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	–	■ Sonnenenergie ■ Elektrizität
Umwandlung	–	Sonnenkollektoren
Speicherung	–	SPWE mit innenliegendem Wärmeübertrager (Stufenladung)
Bemerkungen	–	Zusatzheizung mit anderen Quellen möglich.
MuKEN	Standardlösung 3: ■ Solaranlage zur Wassererwärmung ■ Kollektorenfläche mindestens 2 % der Energiebezugsfläche ■ Verbesserte Wärmedämmung der Gebäudehülle	Standardlösung 4: ■ Holzfeuerung für Heizung und Solaranlage zur Wassererwärmung ■ Kollektorenfläche mindestens 2 % der Energiebezugsfläche

*Tabelle 37:
Spezifikationen zu
Beispiel 1.*

Beispiel 2	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	–	■ Sonnenenergie ■ Elektrizität
Umwandlung	–	Sonnenkollektoren
Speicherung	–	SPWE mit aussenliegendem Wärmeübertrager (Schichtladung) für thermische Solarnutzung und direkte Wassererwärmung mit Elektroheizeinsatz für Zusatzheizung
Bemerkungen	–	Zusatzheizung mit anderen Quellen möglich, High-flow-System für Sonnenkollektoren

*Tabelle 38:
Spezifikationen zu
Beispiel 2.*

Beispiel 3: Vorerwärmung mit thermischer Sonnenenergienutzung
(MuKEn-Standardlösungen Nr. 3 und 4, Abbildung 106)

Funktionsbeschreibung

Die thermische Sonnenenergienutzung erfolgt nach Beispiel Nr. 1 (Warmwasserladung mittels High-flow-Solaranlage). Sobald die Temperatur ($\theta_{\text{WW},2}$) im Vorwärm-speicher (1) wärmer ist als die Temperatur ($\theta_{\text{WW},1}$) im Nachwärm-speicher 2, geht die Umwälzpumpe (P_1) in Betrieb. Damit werden die beiden Speicher umgeschichtet respektive umgeladen, bis die Temperatur ($\theta_{\text{WW},2}$) kleiner ist als die Temperatur ($\theta_{\text{WW},1}$)

Kritische Elemente

- Überhitzungsproblematik im Solar- und WW-Kreis
- Kleine Eintrittsgeschwindigkeiten in den Vorwärme- und Nachwärmespeicher (Zerstörung der Temperaturschichtung)

Einsatz

- Grosse Wassererwärmungsanlagen

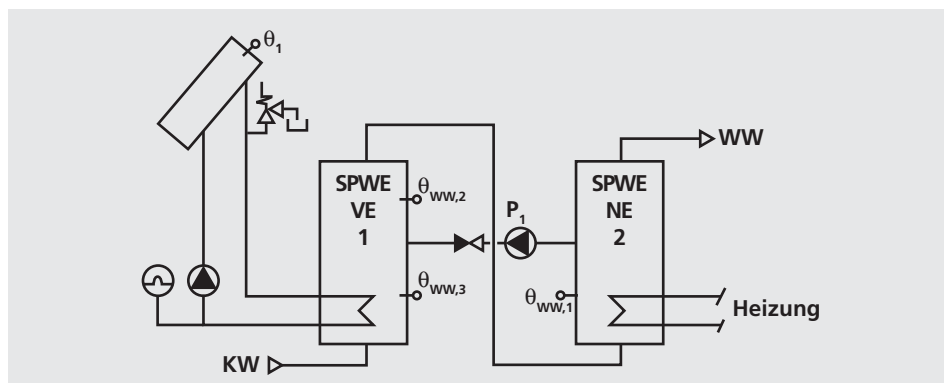
Beispiel 4: Thermische Sonnen-energienutzung für Wassererwär-mung und Heizungsunterstützung
(MuKEn-Standardlösungen Nr. 8 und 9, Abbildung 107)

Funktionsbeschreibung

Ladung des Energiespeichers über thermische Sonnenenergienutzung

Der Einschaltpunkt des Solarkreises wird durch die Einschalttemperaturdifferenz (θ_2 und θ_3) definiert. Diese ergibt sich aus den Temperaturmessungen (θ_2) im Energie-speicher und im Kollektorfeld (θ_3). Ist die Temperatur im Kollektorfeld 3 K bis 5 K höher als im Energiespeicher, schaltet die Solarladepumpe ein, das Umstellventil (UV) steht auf Durchgang und der Energiespei-cher wird im unteren Bereich geladen.

Abbildung 106: Vor-
erwärmung mit
Umschichtung und
mit Zusatzheizung



Beispiel 3	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	–	■ Sonnenenergie ■ Zusatzheizung elektrisch oder mittels Heizungsanlage
Umwandlung	–	■ Sonnenkollektoren ■ Heizung indirekt
Speicherung	–	Sonnenenergie für Vorerwärmung mit innenliegendem Wärmetauscher (Stufenladung) und Nacherwärmung mit Zusatzheizung
Bemerkungen	–	Zusatzheizung mit Heizungsanlage; elektrische Zusatzheizung möglich High-flow-System für Sonnenkollektoren, Umschichtung von Vorwärmespeicher in Nachwärmespeicher

Tabelle 39:
Spezifikationen zu
Beispiel 3.

Ladung des SPWE via thermischer Sonnenenergienutzung

Die thermische Sonnenenergienutzung erfolgt nach Beispiel Nr. 1 (Warmwasserladung mittels High-flow-Solaranlage). Die SPWE-Wassererwärmung erfolgt bei ausreichendem Sonnenenergieangebot mittels Sonnenkollektoren. Wird die Ist-Temperatur im SPWE nicht erreicht, kann mit der WP das Temperaturniveau auf dieses angehoben werden. Bei ausreichender Sonneneinstrahlung heizt die Solaranlage den unteren SPWE-Bereich auf.

Kritische Elemente

- Wird die SPWE-Temperatur von 60 °C mit der WP nicht erreicht, muss eine Zusatzheizung vorgesehen werden.
- Überhitzungsproblematik im Solar- und WW-Kreis

■ Innenliegende Wärmetauscher können zur Vermischung der Temperaturschichten führen.

- Überhitzungsschutz im WW-Kreis
- Richtige Platzierung des Temperaturfühlers im Kollektorfeld
- Mit der SPWE-Ladung via Temperaturhochhaltung wird eine Schichtladung erzwungen – Wärmeeintrag durch innenliegenden Solar-Wärmetauscher darf nicht zu gross sein, da ansonsten die Temperaturschichtung durchbrochen würde.

Einsatz

- MFH
- Gewerbebauten

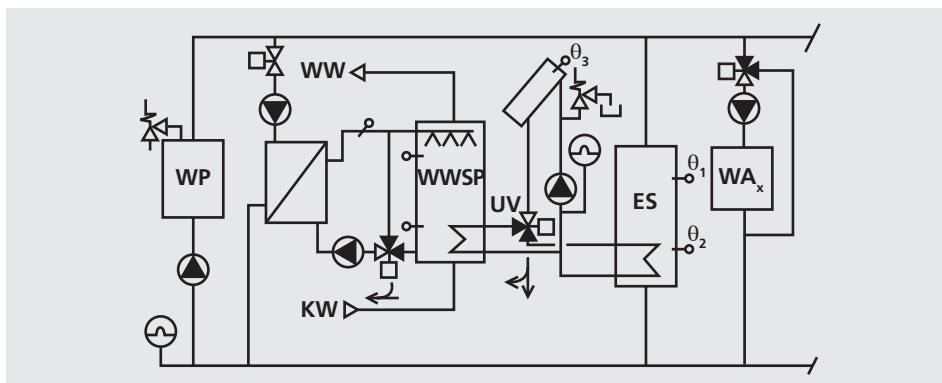


Abbildung 107: WP mit monovalentem Betrieb und solarer Unterstützung

Beispiel 4	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Umweltwärme und Abwärme ■ Sonnenenergie	–
Umwandlung	■ Wärmepumpe ■ Sonnenkollektoren	■ Heizung indirekt ■ Sonnenkollektoren
Speicherung	Energiespeicher	■ SPWE mit aussenliegendem Wärmeübertrager (Schichtladung) ■ Indirekte Wassererwärmung
Bemerkungen	Monovalenter Betrieb mit WP, Holzfeuerung und Gas möglich	Elektrische Zusatzheizung möglich
MuKen	Standardlösung 8: ■ Komfortlüftung ■ Solaranlage für Heizung und Warmwasseraufbereitung ■ Kollektorfläche mindestens 5 % der EBF ■ Bei Elektro-Heizeinsatz wird ein rechnerischer Nachweis notwendig.	Standardlösung 9: ■ Solaranlage für Heizung und Wassererwärmung ■ Kollektorfläche mindestens 7 % der EBF ■ Bei Elektro-Heizeinsatz wird ein rechnerischer Nachweis notwendig.

Tabelle 40: Spezifikationen zu Beispiel 4.

Beispiel 5: Holzfeuerung und thermische Solaranlage mit Kombispeicher
(MuKE-Standardlösung Nr. 4, Abbildung 108)

Funktionsbeschreibung

Wegen der Problematik der Kondensatbildung im Holzheizkessel, wird mit der Kessel-Rücklaufhochhaltung der Kessel-RL ($\theta_{K,RL}$) angehoben. Die Ladung des Kombispeichers erfolgt durch die Dichtedifferenz des einströmenden Heizungswassers. Die Heizgruppen werden witterungsgeführt geregelt.

Warmwasserladung mit Holzheizkessel

Spricht der Fühler im Kombispeicher (θ_{WW}) an, geht der Holzheizkessel und die Um-

wälzpumpe (P_1) in Betrieb. Der obere Teil des Kombispeichers wird mit heissem Heizungswasser geladen, bis am Temperaturfühler (θ_{WW}) der Sollwert wieder erreicht ist.

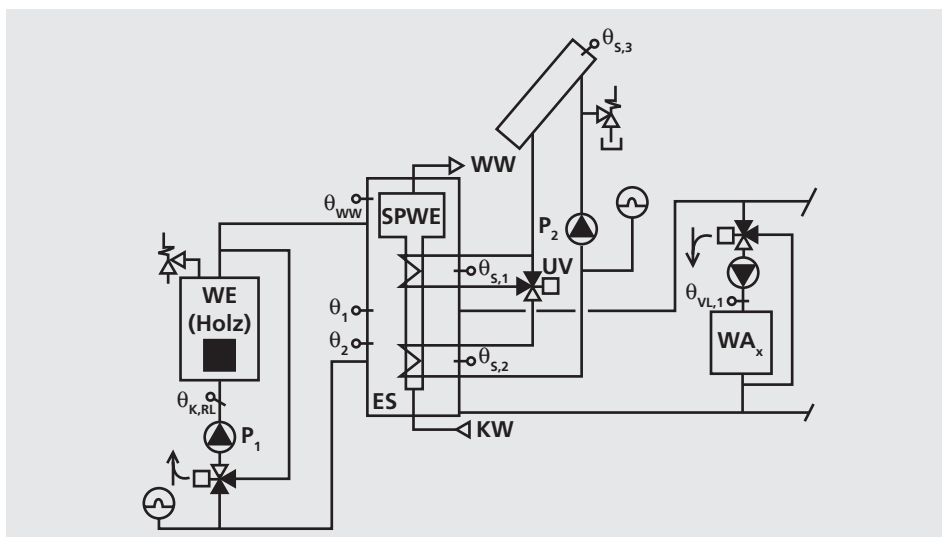
Heizbetrieb mit Holzheizkessel

Der VL-Temperaturfühler ($\theta_{VL,1}$) ist abhängig von der Heizkurve. Fällt die Energiespeicher-Temperatur (θ_1) unter die VL-Temperatur der Heizgruppe ($\theta_{VL,1}$), geht der Holzheizkessel und die Umwälzpumpe (P_1) in Betrieb. Der untere Kombispeicherbereich wird mit Heizungswasser geladen, bis am Temperaturfühler (θ_2) der Sollwert erreicht ist.

Warmwasserladung mit Solaranlage

Ist die Kollektorfeldtemperatur ($\theta_{s,3}$) 3 K bis 5 K wärmer als die Temperatur im Kombi-

Abbildung 108:
Holzfeuerung und
Thermische
Solaranlage mit
Kombispeicher



Beispiel 5	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	- Fester Brennstoff - Sonnenenergie	–
Umwandlung	- Heizkessel - Sonnenkollektoren	Heizung indirekt
Speicherung	Kombispeicher	Im Kombispeicher liegender SPWE
Bemerkungen	Thermische Sonnenenergienutzung mit Schichtladung (Low-flow-System)	–
MuKE	Standardlösung 4: - Holzfeuerung für Heizung und Solaranlage für Warmwasseraufbereitung - Kollektorfläche mindestens 2 % von der Energiebezugsfläche	

Tabelle 41:
Spezifikationen zu
Beispiel 5.

speicher ($\theta_{s,1}$), schaltet die Solarpumpe (P_2) ein und das Umstellventil (UV) geht auf Umlenkung. So erfolgt der Wärmeeintrag im oberen Bereich. Sobald der Temperaturunterschied zwischen Kollektorfeld ($\theta_{s,3}$) und Kombispeicher ($\theta_{s,1}$) kleiner als 3 K respektive 5 K ist, schaltet die Solaranlage ab.

Heizbetrieb mit Solaranlage

Ist die Kollektorfeldtemperatur ($\theta_{s,3}$) 3 K bis 5 K wärmer als die Temperatur im Kombispeicher ($\theta_{s,2}$), schaltet die Solarpumpe (P_2) ein und das Umstellventil (UV) geht auf Durchgang. So erfolgt der Wärmeeintrag im unteren Bereich. Sobald der Temperaturunterschied zwischen Kollektorfeld ($\theta_{s,3}$) und Kombispeicher ($\theta_{s,2}$) kleiner als 3 K respektive 5 K ist, schaltet die Solaranlage ab.

Kritische Elemente

- Kondensatbildung im Holzheizkessel bei nicht kondensierenden Heizkesseln; Kessel-Rücklaufhochhaltung von mindestens 60°C vorsehen.
- Überhitzungsproblematik im Solar- und WW-kreis
- Verdampfung Wasser-Glykol-Gemisch
- Fließgeschwindigkeiten im Solarladekreis
- Erhöhte Wärmeverluste durch den größeren Kombispeicher
- Kleine Fließgeschwindigkeiten beim Eintritt in den Energiespeicher
- Überhitzungsschutz im WW-Kreis

Einsatz

- EFH und MFH

Beispiel 6: WP und thermische Sonnenenergienutzung mit Kombispeicher (MuKEN-Standardlösungen Nr. 8 und 9, Abbildung 109)

Funktionsbeschreibung

Warmwasserladung und Heizbetrieb mit Solaranlage

Die solare Energienutzung im Kombispeicher ist dito Beispiel Nr. 5.

Warmwasserladung und Heizbetrieb mit Wärmepumpe

Muss die Warmwassertemperatur erreicht werden, erwärmt die WP mittels VL-Temperaturhochhaltung das Heizungswasser auf eine konstante VL-Temperatur ($\theta_{K,VL}$). Das warme Heizungswasser wird im oberen Bereich des Kombispeichers eingeleitet. Dabei schaltet das Umstellventil (UV) auf Durchgang.

Erreicht im Heizbetrieb der Fühler im Kombispeicher (θ_1) nicht den geforderten Soll-Wert, schalten die WP und die Umwälzpumpe (P_1) ein und der untere Teil des Kombispeichers wird geladen. Dabei geht das Umstellventil (UV) auf Umlenkung.

Kritische Elemente

- Überhitzungsschutz im Solar- und WW-kreis
- Grosser Temperaturhub der WP bei der Ladung des oberen Speicherbereichs
- Verdampfung Wasser-Glykol-Gemisch
- Fließgeschwindigkeiten im Solarladekreis
- Erhöhte Wärmeverluste durch den grösseren Kombispeicher
- Umwälzpumpe (P_1) mit mindestens 2 Betriebspunkten; Betriebspunkte für obere Speicherladung und untere Speicherladung

Einsatz

- EFH und MFH

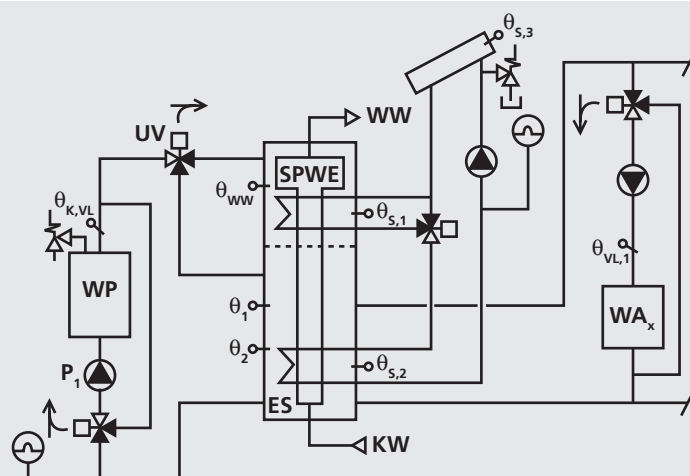


Abbildung 109:
Wärmepumpe im
monovalenten
Betrieb mit thermi-
scher Solaranlage
und Kombispeicher

Beispiel 6	Heizung	Wassererwärmung
Quelle	■ Umweltwärme und Abwärme ■ Sonnenenergie	--
Umwandlung	■ Wärmepumpe ■ Sonnenkollektoren	■ Heizung indirekt via Kombispeicher
Speicherung	■ Kombispeicher	■ Kombispeicher ■ Indirekte Wassererwärmung
Bemerkungen	■ Monovalenter Betrieb mit WP ■ Solaranlage mit Low-flow-Betrieb	■ Elektrische Nachwärmung möglich

Tabelle 42:
Spezifikationen zu
Beispiel 6.

2.13 Wärmeverteilung und Wärmeabgabe

Wärmeabgabe

Bei neuen wie bei alten Anlagen sollen innerhalb eines Heizkreises oder Heizgruppen oder Zonen nur Wärmeabgabekomponenten (Heizkörper, Flächenheizungen, Luftherhitzer usw.) mit gleicher Auslegungstemperatur eingesetzt werden. Ist dies nicht möglich, müssen neue Heizkreise gebildet werden.

Anordnung der Wärmeabgabekomponenten und thermische Behaglichkeit: Die Anordnung sowie die Art und Grösse der Heizflächen im Raum beeinflussen in Kombination mit den Eigenschaften des Raumes die Raumtemperatur (operative Temperatur), die Strahlungsasymmetrie sowie die Raumluftgeschwindigkeit. In kritischen Lagen soll zusammen mit der Auftraggeberschaft festgelegt werden, für welche Räume die Berechnung der thermischen Behaglichkeit, z. B. Asymmetrie der Strahlungstemperatur, durchgeführt wird. Massgebend ist der Aufenthaltsbereich. Die Vorlauftemperaturen von Heizflächen (auch Luftherhitzer) sind gemäss den Grenz- und Zielwerten gemäss Tabelle 44 auszulegen.

Leistung von Heizflächen

Heizflächen müssen auf Grundlage der raumweise ermittelten Norm-Heizlast nach SIA 384.201 ausgelegt werden, wobei andere Wärmeabgaben (z. B. Rohrnetz, Öfen) zu berücksichtigen sind. Die Planung muss alle Faktoren einbeziehen, welche die Leistung der Heizflächen nennenswert beeinflussen können, z. B. Verkleidungen, Anschlüsse, Durchflüsse, Abdeckungen, Anstriche, Fussbodenbeläge, Teppiche, Vorhänge. Bei präzise dimensionierten Wärmeabgabesystemen kann die garantierte Raumtemperatur nicht eingehalten werden, wenn

- die durchschnittliche Aussentemperatur unterhalb der Norm-Aussentemperatur liegt.
- benachbarte Räume gegenüber der Annahme reduziert beheizt werden.

■ interne Wärmequellen oder die Belegung mit Personen von den Projektgrundlagen abweichen.

■ die Nutzung gegenüber den Projektgrundlagen abweicht.

Wärmeverteilung mit mechanischer Lüftung

Lüftungsanlagen sollen nur dann zur Wärmeverteilung eingesetzt werden, wenn dadurch der Aussenluftvolumenstrom nicht über dem hygienisch notwendigen Wert liegt. Im Heizfall ist insbesondere das Risiko von zu geringer Raumluftfeuchte zu berücksichtigen. Bei Dienstleistungs- und Wohnbauten soll die Heizwärme nicht über Lüftungsanlagen verteilt werden, wenn die spezifische Norm-Heizlast über 10 W/m^2 liegt (bezogen auf die Energiebezugsfläche). Dies ist in der Regel nur bei neuen Gebäuden mit einer aussergewöhnlich guten Wärmedämmung, wie z. B. Minergie-P-Gebäuden, erfüllt.

Art der Wärmeabgabe	Grenzwert	Zielwert
Wärmeabgabe allgemein, ohne Fussbodenheizung	50 °C	40 °C
Fussbodenheizung (bis Raumtemperaturen von 22 °C)	35 °C	30 °C

Tabelle 43: Vorlauftemperaturen bei Dimensionierungsbedingungen (SIA 384/1).

System	Maximale Leistung Heizung	Maximale Vorlauf- oder Zulufttemperatur	Maximale Leistung Kühlung		Minimale Vorlauf- oder Zulufttemperatur	Medium	Bemerkungen
	W/m ² NGF	°C	W/m ² NGF	W/ Person	°C		
Heizkörper	50	50				Wasser	
Deckenheizung	40	30				Wasser	
Fussbodenheizung	40	35	20		19	Wasser	
Tab's	40	30	40		19	Wasser	
Kühldecke			80		17	Wasser	
Luftheizung		50				Luft	bei 36 m ³ /h P
Mischlüftung				120	16	Luft	bei 36 m ³ /h P
Quelllüftung				70	20	Luft	bei 36 m ³ /h P
Umluftkühler			≥ 100		16	Luft	

Tabelle 44: Leistungsgrenzen und Temperaturniveaus von Heiz- und Kühlsystemen. Bei den Werten handelt es sich um Richtwerte. Im Einzelfall können diese je nach konkreter Lösung abweichen. Insbesondere sind die Abgrenzungen zwischen den einzelnen Systemen nicht immer eindeutig. NGF: Nettogeschossfläche (Quelle: SIA 382/2)

Klimakälte

Zoran Alimpic 3.1 Bedeutung, Begriffe

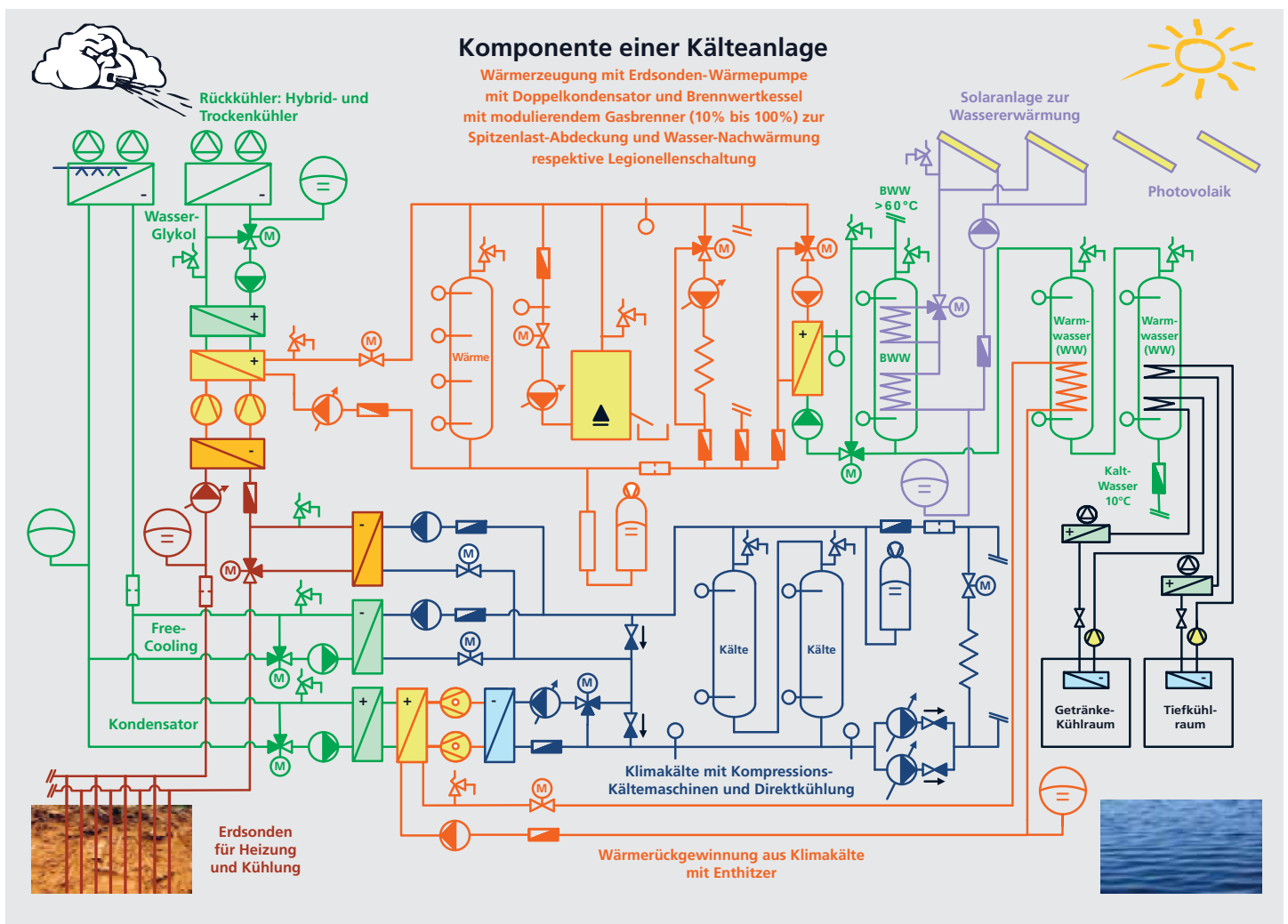
Im Zentrum steht die Beschreibung von Kälteanlagen im Temperaturbereich zwischen ca. 0°C bis ca. 20°C. Dazu gehören insbesondere die Komfortklima-Anlagen. Alle anderen industriellen und verfahrenstechnischen Tiefkühlanlagen, beispielsweise Gefriertrocknung, Gas-Verflüssigungen, Vakuumtechnik und Supraleitung, sind nicht Gegenstand dieses Buches.

Stellenwert: Kältetechnik hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Einerseits sind die Komfortansprüche der Nutzer gestiegen, andererseits sind die internen Abwärmen durch den höheren Technisierungsgrad angestiegen.

Hydraulische Grundschtaltung

Bei einer Grundschtaltung gemäss Abbildung 110 ist es wichtig, dass jeweils die einzelnen Kreisläufe wie Rückkühlung, Kälteerzeugung und Kälteverteilung sorgfältig ausgelegt werden. Dabei gilt zu beachten, dass der Erzeugerkreis (Primär-Kreislauf) mittels Kältespeicherung hydraulisch vom Verbraucherkreis (Sekundär-Kreislauf) abgekoppelt ist. Damit wird gewährleistet, dass die Primärkreispumpe (Verdampferpumpe) die beiden Kältespeicher ohne Beeinträchtigung der beiden Sekundärkreisumpen (Hauptpumpen) laden kann. Diese wiederum entladen die Speicher ohne den Kältemaschinen-Primärkreis zu beeinflussen.

Abbildung 110:
Komponenten einer Kälteanlage

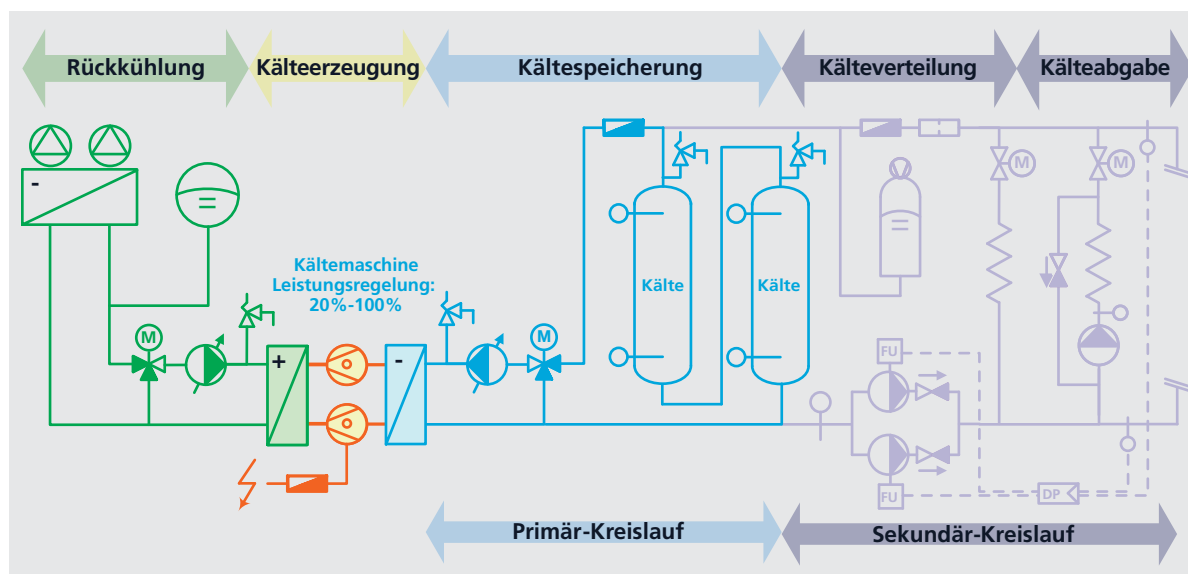


Symbole in der Kältetechnik

Symbol	Bedeutung nach SIA 410	Symbol	Bedeutung nach SIA 410
	Verdunstungsverflüssiger und Verdunstungskühler oder hybrider Rückkühler		Geschlossenes Membran-Ausdehnungsgefäss mit Luftkompressor
	Verdichter: Allgemeines Sinnbild		Geschlossenes Membran-Ausdehnungsgefäss
	Kolben-Verdichter, 2-stufig, offene Bauweise		Platten-Wärmetauscher
	Kolben-Verdichter, 1-stufig, halbhermetisch		Wärmezähler mit elektro- nischem Zählwerk
	Kolben-Verdichter, 1-stufig, hermetische Bau- weise		Dreiweg-Mischventil mit Antrieb
	Rotations-Kolben- Verdichter		Durchgangs-Regelventil mit Antrieb
	Turbo-Verdichter, 1-stufig		Sicherheitsventil mit Feder
	Schrauben-Verdichter		Rückflussverhinderer, Rückschlagventil
	Umwälzpumpe		Filter, Schmutzfänger
	Ventilator		Messfühler, Sonde: Temperatur

Tabelle 45: Symbole der Kältetechnik
(Quelle: SIA 410 und EN 1861)

Abbildung 111:
Hydraulische
Grundschialtung
einer grösseren
Kälteanlage



Frequenz-Umformer: In grösseren Anlagen wird empfohlen, die Differenzdruckmessung am Ende des Leitungsnetzes, beispielsweise beim ungünstigsten Verbraucher, zu installieren. Damit resultiert eine erhebliche Einsparung von Pumpenstrom bei den beiden Inline-Hauptpumpen (Trockenläufern).

Schnittstellen zu anderen Fachbereichen

Die Kältetechnik darf nie isoliert betrachtet werden, weil es immer mit anderen Fachgewerken verknüpft ist. Deshalb sind die Schnittstellen ein wichtiges Thema (Tabelle 46).

*Tabelle 46:
Schnittstellen in der
Kältetechnik*

Fachgewerk, Spezialist	Wichtigste Schnittstellen mit der Klimakälte
Architektur Kunst am Bau	Ästhetik des Rückkühlers auf dem Flachdach, Farb- und Materialkonzept, Abklärungen mit Denkmalpflege, Mithilfe bei Baueingabe, Transportwege und Einbringöffnungen, Berücksichtigung längerer Bewilligungsverfahren und Lieferzeiten, Prüfen von Dachsanierungen, Schallschutzwänden und örtliche Trennung von Maschinenräumen.
Akustik	Schallschutz, insbesondere von Kompressoren und drehzahlgeregelten Ventilatoren und Umwälzpumpen, Unterscheidung von Tages- und Nachtbetrieb.
Bauphysik	Anbringung schalldämmender Materialien an Wänden und Decken.
Baustatik, Festigkeit	Gewicht der Kältemaschine, des Rückkühlers und der Energiespeicher, Aussparungen und Sockel für alle Apparate.
Elektroanlagen	Anschlüsse aller Elektromotoren, insbesondere der Kompressoren, Rückkühlventilatoren und Hauptpumpen.
Heizungsanlagen	Einbindung der Abwärmenutzung in die Hydraulik der Wärmeerzeugung, Doppelnutzung der Wärmepumpe auch als Kältemaschine, Direktkühlung mittels Energiequellen wie Erdsonden und Grundwasser.
Gewerbliche Kälte	WRG-Nutzung für andere Prozesse, insbesondere die Wassererwärmung. Prüfung eines gemeinsamen Rückkühlers.
Lüftungs- und Klimaanlage	Bestimmung von möglichst hohen Betriebstemperaturen zur Luftkühlung und zur Entfeuchtung, Berücksichtigung von Revisionsöffnungen bei Monoblocs, korrekte Dimensionierung von Siphons für Kondensatabscheidung.
Sanitäranlagen	Einbindung der Abwärmenutzung in die Hydraulik der Brauchwarmwasser-Erzeugung, Montage korrekter Schwitzwasser-Siphons, Wasseraufbereitung für besprühte Rückkühler, respektive Nasskühler.
Steuerung und Regelung	Definition der minimalen Laufzeiten pro Kompressorstufe, Analyse des Teillastverhaltens, hydraulische Abkoppelung von Energieerzeugung und Energieverteilung, optimale Kaskadenregelung aller Energieerzeuger.
Sicherheit	Füllen aller Wasserrohre im Freien mit einem Frostschutzgemisch, Korrosionsschutz der Leitungen mit 2-Komponenten-Anstrich, Auswahl der vorgeschriebenen Dämmungen im Bereich von Brandabschnitten, Fernüberwachung durch Fachspezialisten, Sturmlüftung in Technikzentralen für Absaugung von Kältemitteln im Störfall, Vermeidung von Temperaturstaus durch Minimallüftung der Technikzentralen, Anbringung von Geländern und Schutzabsperungen respektive Verschalungen von aussen aufgestellten Apparaten, Instruktion der Nutzer und Anlagebetreiber.
Energie	Gewährleistung von maximalen COP und EER unter Berücksichtigung des Teillastverhaltens, Messung und Auswertung aller relevanten Energieströme, Reduktion der Energieverluste und Vermeidung von Kondensat durch optimale Dämmung, Prüfung von Optionen wie Enthitzern, Doppelkondensatoren und Free-Cooling.

3.2 Kältemittel

- R290: Propan, R600a: Isobutan, R717: NH₃, Ammoniak, R718: H₂O, Wasser (bei Pilotprojekten schon eingesetzt).
- FCKW/CFC: Vollhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe (Chlor Fluor Carbone)
- FKW/HFC: Fluor-Kohlen-Wasserstoffe (Hydro Fluor Carbone)
- H-FCKW/HCFC: Teilhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe
- HFKW: Teilhalogenierte Fluor-Kohlen-Wasserstoffe

- Halogeniert: Kohlenwasserstoff-Verbindungen mit Halonen. Halone sind: Brom, Fluor, Jod und Chlor.
- Teil-halogeniert: Bei diesen Verbindungen sind die Wasserstoffatome nur teilweise durch Chlor- oder Fluoratome ersetzt.
- ODP: Wert für Ozonabbau-Potenzial (Ozon Depletion Potential)
- GWP: Wert für das Erwärmungspotenzial oder Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)
- Blends: Kältemittel aus mehreren verschiedenen Kältemitteln.

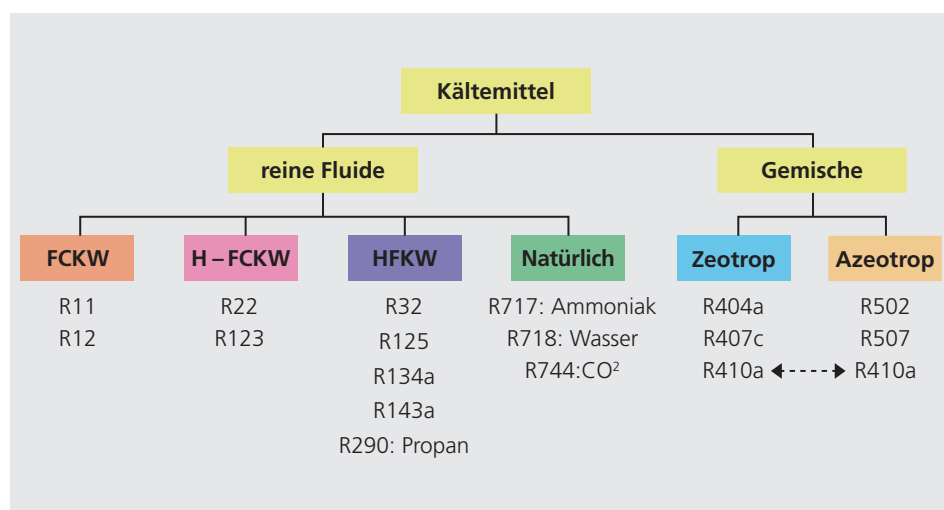


Abbildung 112:
Gängige Kältemittel, wie sie zur Produktion von Klimakälte eingesetzt werden.

Verbotene Kältemittel: Es gilt zu beachten, dass die Kältemittel R11, R12, R22 und R502 verboten sind. Diese sollten gemäss der untenstehenden Tabelle durch chlorfreie Kältemittel ersetzt werden.

Kältemittel	Mittel- und langfristige (chlorfreie) Alternativen			
	HFKW	HFKW Blends	Zusammensetzung	Halogenfreie Stoffe
R11	R134a, R243c			
R12	R134a, R152a		R134a, R152a	R290, R600a
R22	R134a, R32	R407c (AC9000, Klea66, HX3)	R32, R125, R134a	R717, R290
R22	R134a, R32	R410a (AZ20); FX220	R32/125: R32/23/ 134a	R717, R290
R502	R32	R404a (HP62, FX70) R507 (AZ50)	R134a/125/ 134a R134a/125	R290, R717
R502	R125	FX40; HX4	R134a/125/ 32 R143a/125/32/134a	R290, R717
R502	R143	R407a(KLEA60); R407b (KLEA61)	R32/125/ R134a	R290, R717

Tabelle 47: Ersatz FCKW

Grundsätze

■ FCKW (vollhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe) respektive CFC (Chlor Fluor Carbone) dürfen nicht mehr eingesetzt werden. Dies gilt auch grösstenteils für H-FCKW (teilhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe) respektive CFC (Chlor Fluor Carbone) wie beispielsweise das R22.

■ Können natürliche Kältemittel aus sicherheitstechnischen, prozessbedingten oder wirtschaftlichen Gründen nicht eingesetzt werden, so können HFKW (teilhalogenierte Fluor-Kohlen-Wasserstoffe) verwendet werden.

■ Als Alternative zu den HFKW bieten sich zeotrope Gemische wie beispielsweise das R407c an. Diese haben das Merkmal, dass beim Phasenwechsel zwischen Flüssigkeit und Dampf die unterschiedliche Zusammensetzung sichtbar wird. Dementsprechend verlaufen Verdampfung und Kondensation zwar bei konstantem Druck ab, nicht aber bei konstanter Temperatur (Temperaturgleit).

■ Azeotrope sind zwar Gemische wie beispielsweise das Kältemittel R410a, die sich aber wie Einstoff-Kältemittel verhalten.

Typ	Einsatz	Hinweis	ODP R11=1,0	GWP CO ₂ =1,0	Toxizität in ppm
R11	Klimabereich	verbotenes Kältemittel	1.0	3 500	0
R12	Klima- und Normalbereich	verbotenes Kältemittel	1,0	1 700	1 000
R502	Normal- und Tiefkühlbereich	verbotenes Kältemittel	0,23	4 300	1 000
R22	Klima- und Normalbereich	Übergangs-Kältemittel	0,05	1 600	1 000
R410a	Klima- und Normalbereich	Retrofit Blends mit R22	0,03	1 025	800
R401b	Tiefkühlbereich	Retrofit Blends mit R22	0,035	1 120	840
R409a	Normalbereich	Retrofit Blends mit R22	0,05	1 340	0
R134a	Klima- und Normalbereich	langfristige Alternative	0	1 200	1 000
R404a	Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative; Blends	0	3 520	1 000
R407a	Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative; Blends	0	1 960	1 000
R407b	Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative; Blends	0	2 680	1 000
R407c	Klima- und Normalbereich	langfristige Alternative; Blends	0	1 600	1 000
R507	Klima- und Normalbereich	langfristige Alternative; Blends	0	3 600	1 000
R290	Klima- und Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative (natürliches Kältemittel)	0	0	1 000
R600a	Klima- und Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative (natürliches Kältemittel)	0	0	1 000
R717 (NH ₃)	Klima- und Normal- und Tiefkühlbereich	langfristige Alternative (natürliches Kältemittel)	0	0	50

*Tabelle 48:
Kältemittel (KM,
siehe auch Tabelle
17 auf Seite 42)*

In Abbildung 113 sind Kältemittel zu Gruppen zusammengefasst:

■ Die (rot-markierten) Kältemittel wie das R11, R12, R22 und R502 sind aufgrund des hohen Ozonabbau-Potenzials (ODR: Ozon Depletion Potential) verboten.

■ Die (grün-markierten) natürlichen Kältemittel wie das R290, R717, R718 und R744 können bedenkenlos eingesetzt werden. Diese haben weder ein Ozonabbau- noch ein Treibhauseffekt-Potenzial.

■ Alle übrigen chlorfreien Kältemittel sind ebenfalls erlaubt, tragen aber zum Erwärmen der Atmosphäre bei (GWP: Wert für das Erwärmungspotenzial oder Treibhauspotenzial, respektive Global Warming Potential).

TEWI kann wie folgt berechnet werden:

Berechnungsverfahren für TEWI

TEWI = Total Equivalent Warming Impact

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \cdot L \cdot n) + (\text{GWP} \cdot m [1 - \alpha_{\text{recovery}}] + (n \cdot E_{\text{annual}} \cdot \beta))$$

| ←Leckage→ | ←Rückgewinnungsverluste→ | ←Energiebedarf→ |
| ← direkter Treibhauseffekt → | ← indirekter → |
Treibhauseffekt

GWP_{100a}	= Treibhauspotenzial als CO_2 -Äquivalent pro kg Kältemittel (kg_{KM})
L	= Leckrate pro Jahr in $\text{kg}_{\text{KM}}/\text{a}$
n	= Betriebszeit der Anlage in Jahren
m	= Anlagefüllmasse in kg Kältemittel
$\alpha_{\text{Rückgewinnung}}$	= dimensionslos
E_{Jahr}	= Energiebedarf pro Jahr in kWh_{el} gemäss Stom-mix [CO_2 -Äquivalent/ kWh_{el}]

Treibhauseffekt und TEWI-Kennwert:

Mit der Berechnung des Kennwertes TEWI (Total Equivalent Warming Impact) kann die Abschätzung der globalen Erwärmung vorgenommen werden. Diese erfolgt durch die Erfassung sowohl des direkten Beitrags der Kältemittlemissionen in die Atmosphäre als auch des indirekten Beitrags der Kohlendioxidemissionen, verursacht durch die Erzeugung der für den Betrieb der Kälteanlage benötigten Energie während ihrer technischen Lebensdauer.

Nutzen des TEWI-Kennwertes:

■ Bei einer gegebenen Anlage umfasst der TEWI einerseits die direkte Auswirkung auf den Treibhauseffekt durch Kältemittelverlust unter bestimmten Bedingungen, andererseits die indirekte Auswirkung auf den Treibhauseffekt durch das CO_2 (CO_2 wird bei der Erzeugung der zum Betrieb der Anlage erforderlichen Energie freigesetzt).

■ Es ist möglich, durch den TEWI die wirkungsvollsten Massnahmen zur Abschwächung des tatsächlichen Einflusses einer Kälteanlage auf den Treibhauseffekt zu bewerten.

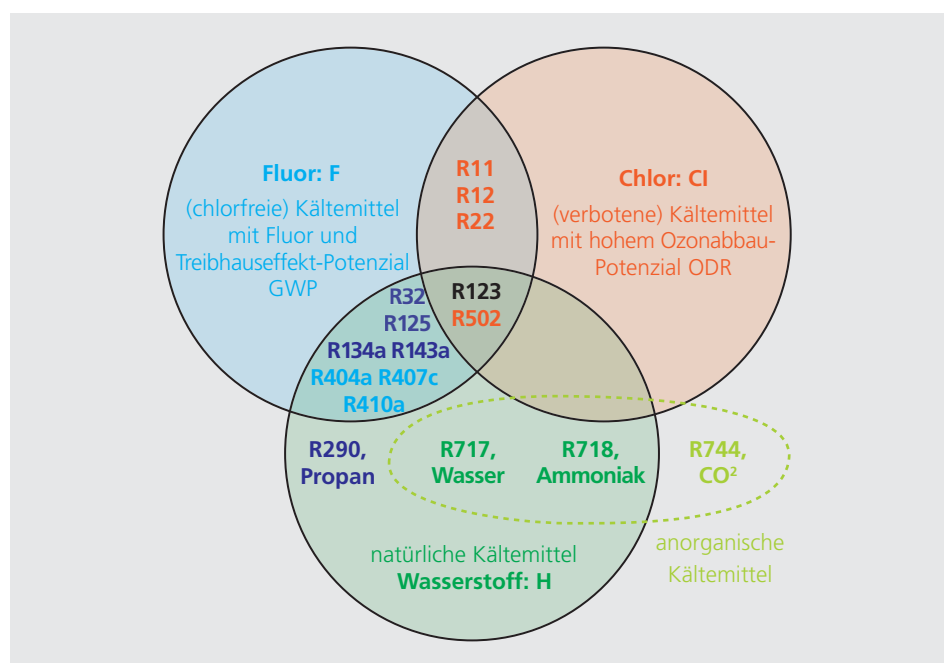


Abbildung 113:
Eigenschaften der
Kältemittel

■ Der TEWI könnte stark reduziert werden, wenn die Kältemaschine mit Ökostrom betrieben würde, der vollständig aus erneuerbaren Energiequellen stammt.

■ Der TEWI hat einen Einfluss auf die Betriebskosten.

Zurzeit werden bei Neuanlagen der Klimakälte oftmals folgende Kältemittel eingesetzt, welche auch einen guten TEWI-Wert liefern: R290 (Propan), R717 (Ammoniak), R718 (Wasser), R744 (CO₂) und R134a (CF₃CH₂F).

Kreisprozess

Der Kreisprozess erfolgt grundsätzlich in vier Phasen (Abbildung 114): Die Strecke 4 – 1 entspricht der Kühlleistung und ist die Nutzleistung der Kälteanlage. Die Strecke 1 – 2 ist die über den Verdichter aufgewendete Antriebsleistung. Die Strecke 2 – 3 entspricht der über den Verflüssiger abgegebenen Wärmeleistung. Es ist die Abwärme der Kälteanlage. Aus dem Verhältnis von Nutzleistung zu Antriebsleistung lässt sich die Leistungszahl COP (Coefficient of Performance) bestimmen. COP wird bei WP verwendet.

EER (Energy Efficiency Ratio)

EER ist das Verhältnis von erzeugter Kühlleistung (Q_{Ktot}) zur Energiezufuhr (P_e). (Häufig wird statt EER der Wert COP verwendet. EER und COP sind gleichwertig; EER wird bei Kälteanlagen verwendet.)

$$EER = \frac{Q_{Ktot}}{P_e}$$

P_e = Leistungsaufnahme von Verdichter, Verdampferpumpe, Verflüssigerpumpe, sowie Regel-, Steuer- und Sicherheitseinrichtungen

Gesetzliche Vorschriften und Normen

■ Empfehlung SIA 382/2: Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf, 2011

■ Norm SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, 2011

■ Merkblatt SIA 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, 2006

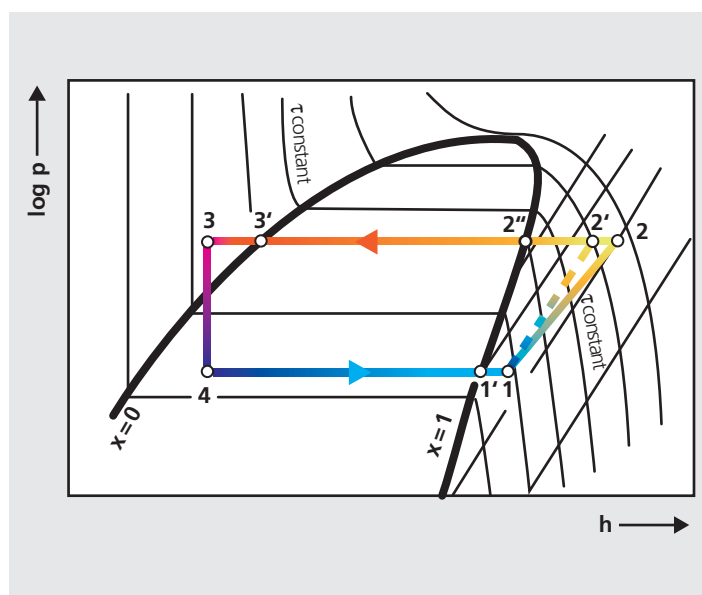


Abbildung 114:
Kälte-Kreisprozess
im Druck-Enthalpie-
Diagramm (respek-
tive log-p/h-Dia-
gramm) dargestellt.

■ Merkblatt SIA 2044: Klimatisierte Gebäude – Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf, 2011

■ EnergieSchweiz: Hocheffiziente Kühlsysteme für Gebäudesanierungen; Kühlung Serverräume, 2010.

■ EnDK, Konferenz Kantonaler Energiedirektoren: Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE); Ausgabe 2008.

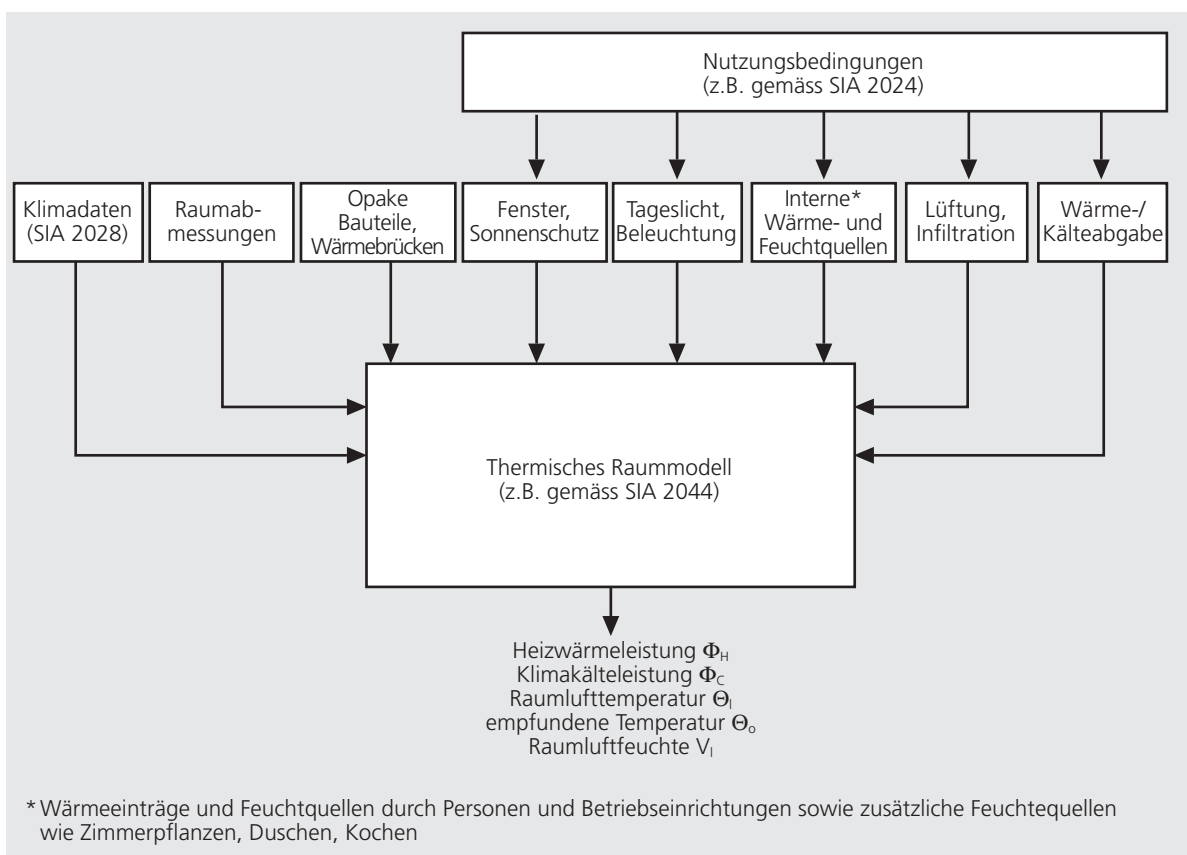
	Mittlere Tagessumme der Gesamtwärmelast (solare und interne Wärmelasten) Q_{total} in Wh/m ² d			
	150	250	350	450
System für Lüftung und Kühlung	Risikobeurteilung des thermischen Komforts und Beurteilung der Systemwahl			
[0] Nur Fensterlüftung** ■ Komfort Fensterlüftung tags ■ Wahl Haustechnik-System	evtl. genügend evtl. genügend	ungenügend ungenügend	unzumutbar ungenügend	unzumutbar ungenügend
[1] Mechanische Lüftung und Nachtlüftung Luftwechselrate 2,0/h ■ Komfort ohne Fensterlüftung tags ■ Komfort mit Fensterlüftung tags** ■ Wahl Haustechnik-System	28°C bis 29°C evtl. genügend genügend angemessen	29°C bis 31°C ungenügend evtl. genügend evtl. genügend	30°C bis 32°C unzumutbar ungenügend ungenügend	31°C bis 34°C unzumutbar unzumutbar ungenügend
[2] Wie 1 und Primärluftkühlung ■ Komfort ohne Fensterlüftung tags ■ Komfort mit Fensterlüftung tags** ■ Wahl Haustechnik-System	26°C bis 27°C gut sehr gut optimal	27°C bis 29°C genügend gut angemessen	28°C bis 31°C ungenügend evtl. genügend evtl. genügend	29°C bis 33°C unzumutbar ungenügend ungenügend
[3] Wie 2 und Zusatzkühlung tags mit 20 W/m ² ■ Komfort ohne Fensterlüftung tags ■ Komfort mit Fensterlüftung tags** ■ Wahl Haustechnik-System	<< 26°C gut gut überdimensioniert	< 26°C gut sehr gut optimal	26°C bis 27°C genügend* gut angemessen	27° bis 28°C ungenügend* evtl. genügend* evtl. genügend*

Anmerkungen:

* Bei hohen Gesamtlasten muss die Zusatzkühlung (Leistung respektive Laufzeit) entsprechend erhöht werden, um den gewünschten thermischen Komfort zu erreichen.

** Die unterstützende Fensterlüftung tagsüber muss am gegebenen Standort (Lärmbelastung) machbar sein: Die Angaben setzen eine angemessene manuelle Bedienung durch die Benutzer voraus. Zudem muss die zu öffnende Fensterfläche eine minimale Abmessung (d.h. mehr als 3% EBF) aufweisen.

**Tabelle 49: Risiko-
beurteilung bezüg-
lich des thermischen
Komforts und Beur-
teilung der System-
wahl. Quelle: Merk-
blatt SIA 2021.**



**Abbildung 115:
Thermisches Raum-
modell nach SIA
382/2 (Beschrieb in
SIA 2044)**

3.3 Kühllasten

Anforderungen und Quantifizierung

Grundsätzlich sind Gebäude baulich (mit Sonnenschutz) so zu konzipieren, dass bei normaler Nutzung nicht mechanisch gekühlt werden muss. Dazu kann eine Risiko- beurteilung des thermischen Komforts im Sommer gemäss Merkblatt SIA 2021 gemacht werden (Tabelle 49).

Als mittlere Tagessumme der Gesamtwärmelast können beispielsweise die Standardwerte aus SIA 2024 eingesetzt werden. Ist eine Fensterlüftung nicht möglich, beispielsweise aufgrund schalltechnischer, architektonischer oder wärmetechnischer Gegebenheiten, so müssen aufgrund der Flussdiagramme nach SIA 382/1 und SIA 382/2 die technischen Anforderungen an eine Kälteanlage geprüft werden.

Falls Kühlung notwendig ist

Sollte aufgrund dieser ersten Abschätzung eine mechanische Kühlung notwendig sein, soll diese möglichst energieeffizient erfolgen. Beispiele dafür sind:

- Nutzung kühler Aussenluft in der Nacht (Nachtabsenkung)
- Direktkühlung mit Erdsonden, Erdregistern, Grundwasser- oder Oberflächenwasser (Free-Cooling)
- Kühlung mittels Absorptionskühlung mit Abwärme, Fernwärme aus KVA, thermische Solarenergie, etc.

Um einen Kälteerzeuger richtig zu dimensionieren, muss zuerst die Klimakälteleistung nach SIA 382/2 berechnet werden. Als erster Schritt dienen jeweils die Standardnutzungen nach SIA 2024. Diese lie-

fern Stammdaten, welche in der Praxis bestätigt wurden.

Die Berechnung der notwendigen Kälteleistung ist sehr detailliert und muss durch den Gebäudetechnikingenieur gemacht werden. Deshalb ist es für Planer wichtig, in einer frühen Projektphase die Wärmelast abzuschätzen. Beispiele: Mittlere und maximale Personenbelegung, Laufzeit und Einschaltdauer von internen Lasten und gewünschte oder vorgeschriebene Raumzustände im Raum.

Fazit: Es ist wichtig, dass alle Annahmen aufgelistet und mit dem Nutzer respektive Bauherrschaft oder dem Betreiber besprochen werden. Erst nach einer Einigung sollte die Anlagen-Dimensionierung ausgeführt werden. Eine Kühlung ist nach SIA 382/2 notwendig, wenn die Wärmeeinträge den Werten in Tabelle 50 entsprechen.

Wärmelasten im Raum

Die in einem Raum anfallenden Wärmelasten teilen sich in externe und interne Lasten auf. Die externe Wärmelast (Transmission und Strahlung) ist hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängig:

- Geographische Lage des Gebäudes: Himmelsrichtung, Standort, Höhe über Meer, Sonneneinstrahlung (direkte und diffuse Strahlung).
- Beschattung des Gebäudes, äusserer und beweglicher Sonnenschutz vor lichtdurchlässigen Bauteilen, korrekte Bedienung des Sonnenschutzes, Wahl des Vorplatzes des Gebäudes, Gewährleistung einer energieeffizienten Nachtauskühlung.

Interne Wärmeeinträge pro Tag in Wh/m²d			Kühlung
mit Fensterlüftung Tag und Nacht	mit Fensterlüftung nur am Tag	ohne Fenster- lüftung	
> 240	> 200	> 160	notwendig
160 – 240	120 – 200	80 – 160	erwünscht*
< 160	< 120	< 80	nicht notwendig
* Es ist nur eine minimale Kühlung erlaubt: 7 W/m² (Nettogeschossfläche). Bei bestehenden Anlagen oder Sanierungen sind sogar 12 W/m² erlaubt (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE), Ausgabe 2008).			

Tabelle 50: Abschätzung der Notwendigkeit respektive der Wünschbarkeit einer Kühlung gemäss SIA 382/2.

■ Wahl der optimalen Speichermasse des Gebäudes mit Speicheraktivierung für ein ausgeglichenes Raumklima. Bei lichtdurchlässigen Bauteilen wie Fenster und Oblichter gelangt Wärme sofort ins Gebäude. Bei opaken Bauteilen trifft zwar die Strahlung sofort auf, die Wärme strömt aber durch die Massenträgheit erst Stunden später in die Räume.

Die interne Wärmelast ist hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängig:

■ **Betriebseinrichtungen:** Geräte, Standby-Verlust und Volllaststunden in h/d. Beispiele: In einem Einzel- oder Gruppenbüro betragen nach SIA 2024 die Abwärmen von Arbeitshilfen wie beispielsweise Computer, Bildschirm, Drucker, Kühlschrank, Büro- und Haushaltgeräte ca. 3 W/m² bis 15 W/m². Bei hochinstallierten, modernen Rechenzentren oder Produktionsküchen beträgt der innere Wärmeanfall heute schon teilweise über 2 000 W/m².

■ **Lüftung:** Spezifische elektrische Ventilatorleistung und Volllaststunden. Beispiel: In einem Einzel- oder Gruppenbüro betragen nach SIA 2024 die Abwärmen des Lüftungsventilators im Raum ca. 0,5 W/m² bis 1,1 W/m².

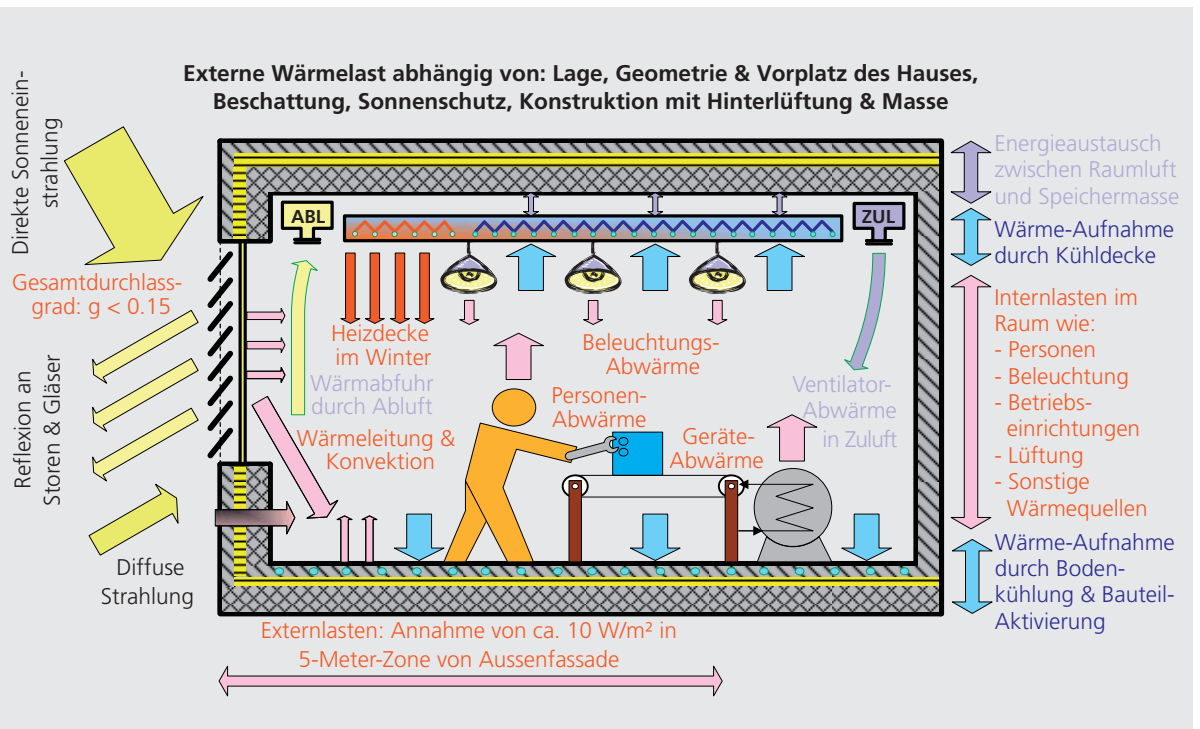


Abbildung 116:
Thermische Ein-
flüsse auf einen
Raum.

so steigt der Energieverbrauch an. Deshalb sollten nur spezielle Räume wie beispielsweise Operationssäle, Intensivpflegestationen und Radiologien befeuchtet werden.

Fazit: Aus Tabelle 51 geht klar hervor, dass Fenster mit hellen Aussenlamellenstoren die tiefsten Werte aufweisen. Deshalb sollten diese, wenn immer möglich, in gekühlten und klimatisierten Räumen eingesetzt werden (g-Wert unter 0,15). Quelle: SIA 380/1, EN 13363-1/2

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung mit Sonnenschutz (g-Wert) bezeichnet das Verhältnis von der im Raum ankommenden zur aussen senkrecht auftreffenden Strahlungsenergie.

Mit Aussenlamellenstoren reduziert sich demnach die Sonnenstrahlung durch die Fenster so stark, dass hauptsächlich die internen Lasten für die Berechnung der erforderlichen Kälteleistung massgebend sind. Deshalb gelten für Räume mit hohen internen Wärmelasten folgende Grundsätze:

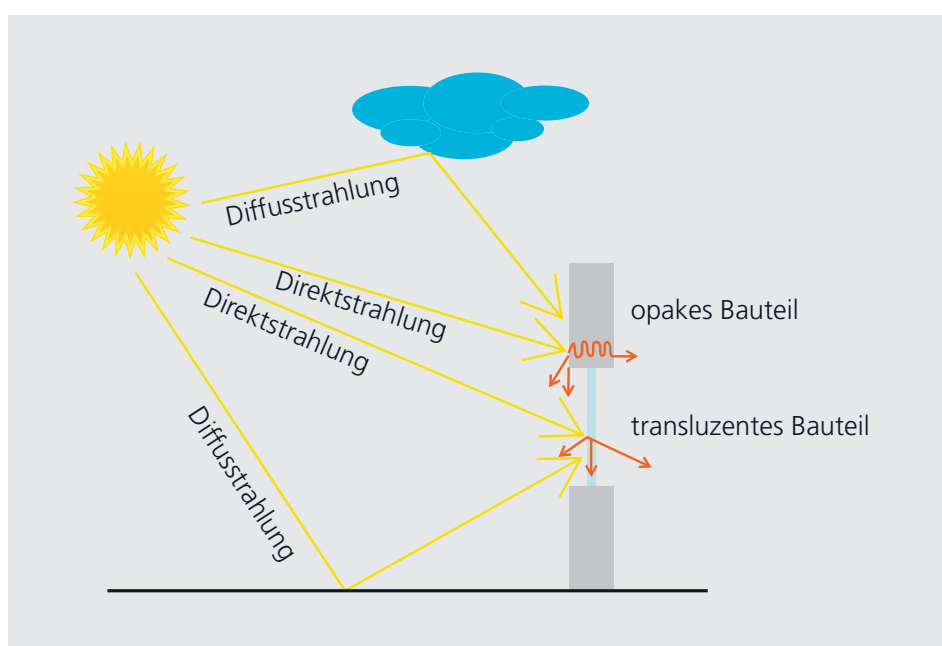


Abbildung 117:
Sonneneinstrahlung
auf das Gebäude

Art der Verglasung	Beschrieb der Kombination: Verglasung mit Sonnenschutzeinrichtung	Gesamtenergie- Durchlassgrad g
2-IV	Klarglas	0,75
	Klarglas + Aussenlamellenstoren hell	0,15
	Klarglas + Innenlamellen hell	0,45
2-IV-IR	Wärmeschutzglas	0,55
	Wärmeschutzglas + Aussenlamellenstoren hell	0,12
	Wärmeschutzglas + Innenlamellen hell	0,47
2-IV	Reflexionsglas	0,26
3-IV	Klarglas	0,70
	Klarglas + Aussenlamellenstoren hell	0,13
	Klarglas + Innenlamellen hell	0,43
3-IV-IR	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen	0,45
	Wärmeschutzglas + Aussenlamellenstoren hell	0,11
	Wärmeschutzglas + Innenlamellen hell	0,42
3-IV	Reflexionsglas	0,23

Tabelle 51: Beispiele
für Gesamtenergie-
durchlassgrade von
Verglasungen
(g-Wert). Siehe
auch Abbildung 180
auf Seite 167.

■ Bei einem optimalen Sonnenschutz dringt genügend Tageslicht in die Räume ein. Deshalb muss die Beleuchtung nur in Geschossflächen eingeschaltet werden, welche mehr als 5 m Abstand zu den Fenstern aufweisen.

■ Dabei werden die externen Lasten wie folgt berücksichtigt: In dieser nicht künstlich beleuchteten Randzone von 5 m wird mit einer Raumbelastung von 10 W/m² gerechnet.

Interne Wärmelasten

Die interne Wärmelast ist hauptsächlich von folgenden Abwärmequellen abhängig, deren Werte der Standardnutzung nach SIA 2024 entnommen werden können:

1. Personen: Belegung, Aktivität, Bekleidung und Volllaststunden in h/d.
2. Betriebseinrichtungen: Geräte, Standby-Verlust und Volllaststunden in h/d. Beispiele: Abwärmen von Arbeitshilfen wie Computer, Bildschirm, Drucker, Kühlschrank, Büro- und Haushaltgeräte, Medizinalgeräte, etc.
3. Beleuchtung: Spezifische elektrische Leistung, Korrekturfaktoren für Präsenzmelder, Dimmung und Volllaststunden in h/d.
4. Lüftung: Spezifische elektrische Ventilatorleistung und Volllaststunden.

Diese vier Abwärmequellen sind im folgenden detailliert beschrieben.

Wärmeabgabe von Personen

In Tabelle 52 ist die Wärmeabgabe von Personen, bei verschiedenen Raumtemperaturen (relative Raumfeuchte: 30 % bis 70 %), aufgelistet.

Wärmeabgabe von Betriebseinrichtungen

Die Wärmeabgaben von Betriebseinrichtungen sind gemäss SIA 2024 eher bescheiden. Ganz anders sieht es in hoch technisierten Räumen aus. Beispiele für solche Räume sind:

- Rechenzentren, Serverräume
- ICT Kommunikationsräume, EDV-Leitzentralen
- Küchen, Produktionsküchen

Rechenzentren: Bei hochinstallierten Rechenzentren beträgt der innere Wärmeeinfall bis zu 2 000 W/m², Tendenz steigend. Hierbei müssen leistungsfähige Umluftkühler oder direktgekühlte Apparate eingesetzt werden.

Küchen: Bei Produktionsküchen sind die elektrischen Anschlusswerte meistens sehr hoch mit Werten über 2 000 W/m². In solchen Fällen ist es sehr wichtig, mit Spezialisten die Gleichzeitigkeiten festzulegen und Absaugvorrichtungen wie Ablufthäuben unmittelbar bei den Apparaten vorzusehen.

Wärmeabgabe von Beleuchtungen: In Tabelle 53 ist eine Auswahl von typischen Grenz- und Zielwerten für den jährlichen Energiebedarf Beleuchtung E'_{Li} aufgelistet. Diese basieren auf Standardnutzungen gemäss SIA 2024.

Kat.	Tätigkeit	Anwendungs-Bereich	Sensible respektive fühlbare (q_s) und latente (q_i) Wärmeabgabe in Watt pro Person, in Abhängigkeit der Raumluft-Temperatur							
			26 °C		24 °C		22 °C		20 °C	
			q_s	q_i	q_s	q_i	q_s	q_i	q_s	q_i
1	ruhig sitzend	Theater, Primarschule	61	41	68	34	74	28	79	23
1	sitzend, sehr leichte Arbeit	Sekundarschule	62	54	70	46	77	39	80	36
1	Büroarbeit	Büro, Hotel, Hochschule	63	68	71	60	80	51	86	45
2	stehend, langsam gehend	Kaufhaus, Laden, Bank (Schalter)	64	83	75	72	82	65	87	60
2	sitzend	Restaurant	71	91	83	79	91	71	96	66
2	leichte Werkbankarbeit	Fabrik, leichte Arbeit	72	148	86	134	100	120	115	105
3	tanzend	Tanzsaal	80	169	95	154	109	140	124	125
3	gehend	Fabrik, ziemlich schwere Arbeit	97	196	112	181	127	166	143	150
3	schwere Arbeit	Bowlingbahn, Fabrik	142	284	154	272	167	259	184	242

Tabelle 52: Wärmeabgabe von Personen in Watt (siehe auch Tabelle 8 auf Seite 13)

Nr.	Raumnutzung	Lichtstärke lx	Spezifische Leistung P_{Li} in W/m ²		Volllaststunden t_{Li} in h/a		Spezifischer Strombedarf E'_{Li} in kWh/m ²	
			Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert
2.1	Hotelzimmer	200 (50)	3,0	2,0	1 270	1 170	4	2
3.1	Einzel-, Gruppenbüro	500	16,0	11,5	1 500	580	24	7
6.1	Restaurant	200	7,0	4,5	2 410	1 600	17	7
6.3	Küche zu Restaurant	500	16,0	11,5	2 400	1 810	38	21
8.1	Bettzimmer	200 (100)	4,5	3,0	3 800	2 640	17	8

Tabelle 53: Grenz- und Zielwerte für den jährlichen Energiebedarf der Beleuchtung

3.4 Kälteerzeugung

Nach der Berechnung der maximalen Kühllast folgt die Auslegung der Kältemaschine mit der entsprechenden Rückkühlung. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

■ **Verdampfer:** Die Kaltwassertemperaturen beim Verdampfer sollten so hoch wie möglich sein. Für Klimakälte sollten die Betriebstemperaturen von 8°/ 16°C nicht unterschritten werden. Bei Bodenkühlung, Kühldecken und Bauteilkühlung (Tabs) kann die Temperatur sogar auf mindestens 16°/ 19°C angehoben werden.

■ **Kondensator:** Die Rückkühltemperaturen am Kondensator respektive Enthitzer sollten so tief wie möglich sein (ca. 28°/34°C). Bei einem allfälligen WRG-Betrieb (Wärmerückgewinnung) sollten die Betriebstemperaturen (ca. 44°/50°C) nur kurzzeitig erhöht werden.

■ **Wärmerückgewinnung (WRG):** Die Rentabilität einer WRG aus einem Kälteprozess muss immer geprüft werden. Die erste Möglichkeit ist der Einbau eines Enthitzer-Kondensators zur Nutzung von max. 15 % der Abwärme auf höherem Temperaturniveau (Heissgas-Kühlung, ca.

60°C). Der Vorteil dieser Lösung ist, dass die Kältemaschine nicht auf einen höheren Kondensationsdruck heraufgefahren werden muss. Dadurch resultieren höhere Leistungszahlen (EER) und eine längere technische Lebensdauer der Kältemaschine. Die zweite Möglichkeit ist die Nutzung der gesamten Kondensatorwärme für Niedertemperatur-Verbraucher wie Bodenheizung oder Tabs. Sind höhere Betriebstemperaturen (über ca. 50°C) gefordert, so muss die Kondensationstemperatur und damit der kältemittelseitige Druck erhöht werden. Der Vorteil dieser Lösung

Abbildung 118:
COP-Vergleich von Kompressor-Bauarten mit einer Verdampferleistung von ca. 400 kW.

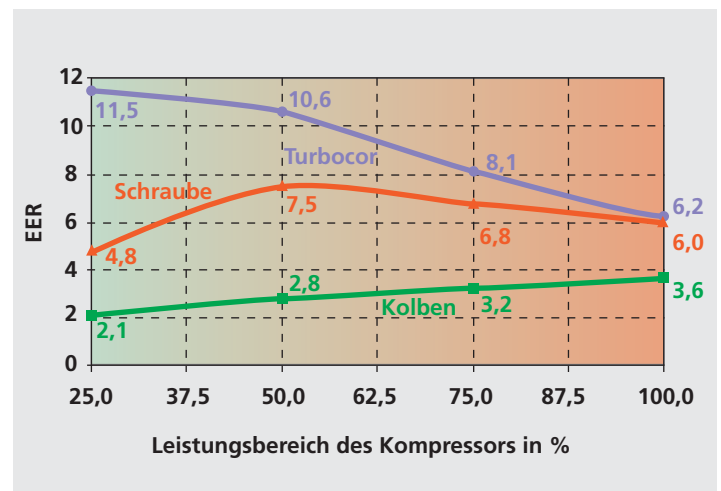


Tabelle 54: Technologien zur Produktion von Kälte

Übersicht über Kälteanlagen-Technologien

	Kompressions-kälteanlage	Absorptions-kälteanlage	Adsorptions-kälteanlage	DEC ¹ -Anlage
physikalischer Kühlungs-Effekt	Verdampfen des Kältemittels (Kaltdampfprozess)			Verdunstung des Kältemittels
Verdichtungsprinzip	mechanische Verdichtung	thermisch, Absorptions-lösungskreislauf	thermisch, Adsorption von Wasserdampf	sorptive Entfeuchtung
Antriebsenergie	Elektroenergie	Wärmeenergie 85 °C bis 180 °C	Wärmeenergie 55 °C bis 95 °C	Wärmeenergie 50 °C bis 100 °C
Kältemittel	chlorierte oder chlorfreie Kohlenwasser-stoffe	Wasser mit LiBr oder NH ₃ als Absorptions-mittel	Wasser mit Feststoff als Adsorptionsmittel (Silica-Gel)	Wasser
spezifischer Primär-energieverbrauch²	1,3 bis 1,65	0,6 bis 1,0	0,4 bis 0,6	0,3

¹ Dessicative and Evaporative Cooling

² Der spezifische Primärenergieverbrauch errechnet sich aus dem Verhältnis der produzierten Kältemenge zur eingesetzten elektrischen bzw. thermischen Energie. Eine Zahl von 0,6 bis 1,0 (Absorptionskälteanlage) bedeutet, dass je eingesetzter Kilowattstunde Wärme 0,6 bis 1,0 Kilowattstunden Kälte bereitgestellt werden.

ist, dass in diesem Fall ein Grossteil der Abwärme genutzt werden kann.

■ **Druckverlust:** Zur Vermeidung von Störungen sollten die Durchflüsse am Kondensator und am Verdampfer möglichst konstant sein, mit minimalem Druckverlust von maximal 0,3 bar.

■ **Kältespeicher:** Zur Gewährleistung einer Minimallaufzeit muss ein Speicher vorgesehen werden, damit die Kältemaschine auf der untersten Stufe eine Mindestlaufzeit von 20 Minuten aufweisen kann.

■ **Rückkühler:** Ein maximaler Free-Cooling-Betrieb des Rückkühlers sollte vor allem im Winter, in der Übergangszeit und in den Sommernächten gewährleistet sein.

Zur Kälteerzeugung stehen hauptsächlich drei Technologien zur Auswahl (Tabelle 54). Der EER ist in diesem Fall der spezifische Primärenergieverbrauch, welcher sich aus dem Verhältnis der produzierten Kältemenge zur eingesetzten elektrischen bzw. thermischen Energie errechnet.

Kompressionskältemaschinen

Für die Erzeugung von Klimakälte werden am häufigsten strombetriebene Kompressions-Kältemaschinen eingesetzt. Für

kleinere Leistungen werden eher Hubkolben- und Scroll-Verdichter, für mittlere bis grössere Leistungen eher Schrauben- und Turbomaschinen eingesetzt.

In den letzten Jahren sind sogenannte «Turbocor»-Kältemaschinen im Leistungsbereich von 300 kW bis 800 kW aufgetaucht. Diese neuartigen ölfreien Aggregate basieren auf magnetisch gelagerten Verdichtern mit Frequenzregelung (Inverter), welche eine extrem hohe Drehzahl erlauben (bis zu 40 000 U/min) und dadurch besonders im Teillastbereich beste Energieeffizienzwerte erzielen. Der integrierte Sanftanlasser erlaubt dem Verdichter, einen progressiven Start mit extrem niedrigen Anlaufströmen. Weil das Aggregat ohne Öl funktioniert, ist ein Tandembetrieb von mehreren Verdichtern im Parallelbetrieb möglich, was wiederum ein Optimum an Energieeffizienz und besten Teillastwerten mit sehr guten COP ergeben. Die Energieeffizienz wird weiter gesteigert durch die Anwendung eines «überfluteten Verdampfers», ohne die Probleme der Ölrückführung, weil im kompletten Kältekreis kein Öl enthalten ist.

*Tabelle 55: Verdichter-Bauarten.
Quelle: Wärmepumpen*

Verdichterbauart	Hubkolben	Spiralkolben (Scroll)	Schraube	Turbo
Arbeitsprinzip	Verdränger	Verdränger	Verdränger	Strömungsmaschine
Verdichtung	statisch	statisch	statisch	dynamisch
Hubvolumen	geometrisch	geometrisch	geometrisch	abhängig vom Gegendruck
Förderung	pulsierend	stetig	stetig	stetig
Volumenstrom (Bereich)	bis 1000 m³/h	bis 500 m³/h	100 bis 10000 m³/h	100 bis 50000 m³/h
Heizleistung (Bereich bei B0/W35)	bis 800 kW	bis 400 kW	80 bis 8000 kW	80 bis 40000 kW
Druckverhältnis im Regelfall (einstufig)	bis 10	bis 10	bis 30	bis 5
Regelbarkeit bei konstanter Drehzahl	Stufen	schwierig	stufenlos	stufenlos
Drehzahlregelung	möglich	möglich	möglich	möglich
Empfindlichkeit gegen Flüssigkeitsschläge	hoch	gering	gering	gering
verursacht Erschütterungen	ja	nein	nein	nein

Teillastverhalten: Eine Kältemaschine für die Klimakälte wird meistens im Teillastbereich (ca. 25 % bis 60 %) betrieben, zur Versorgung der Umluftkühler (Abbildung 118). Nur im Hochsommer, in den Monaten Juli und August, wird die volle Leistung des Kompressors für die Komfortklimaanlagen benötigt. Deshalb ist es wichtig, bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung das Teillastverhalten zu berücksichtigen. Gemäss der Graphik weisen die Turbocor-Kältemaschinen im Teillastbereich gegenüber den Kolben- und Schraubenkompressoren einen wesentlich höheren COP (blaue Kurve) auf.

Fazit: Beim Einsatz von Turbocor-Kompressoren ist es wichtig, diesen stets im unteren Leistungsbereich zwischen 25 % bis 60 % zu betreiben. Nur damit resultieren hohe COP und dementsprechend ein tiefer Stromverbrauch. Es gilt zudem zu beachten, dass im Idealfall ein hybrider Rückkühler mit tieferer Betriebstemperatur kondensatorseitig eingesetzt wird.

Absorptionskältemaschinen

Das Funktionsprinzip des Absorbers beruht auf der Tatsache, dass Wasser bei einem Luftdruck nahe dem Vakuum auch bei niedrigen Temperaturen (um 5°C) verdampft. Um den Verdampfungsprozess

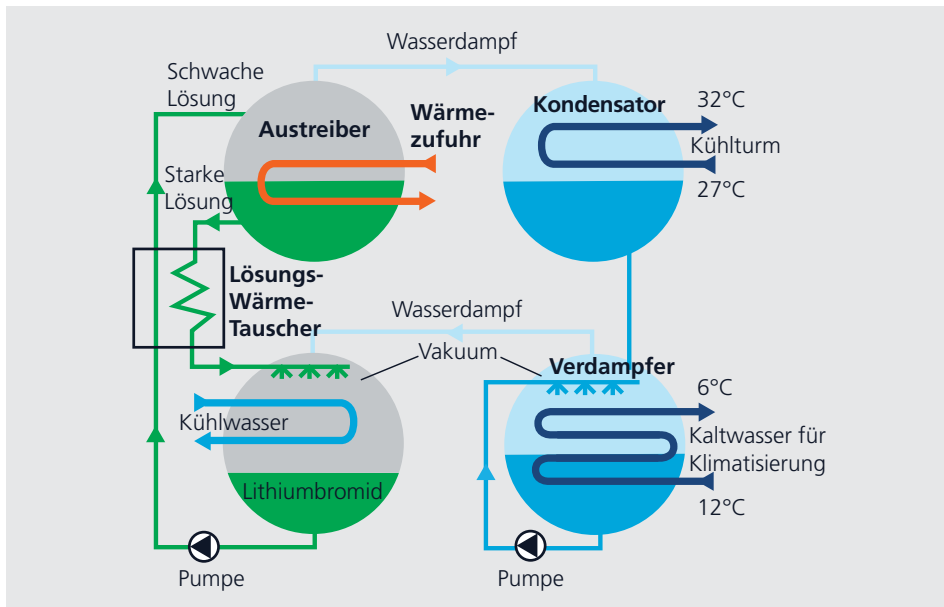


Abbildung 119:
Prinzip der Kälte-
erzeugung mittels
Absorption

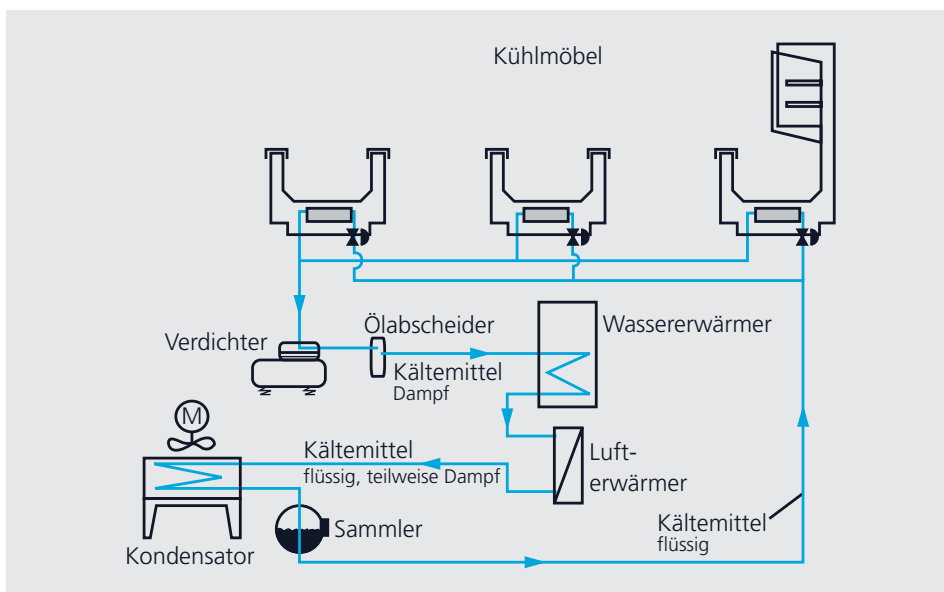


Abbildung 120:
Produktion gewerb-
licher Kälte mit
Kühlmöbel

aufrechtzuerhalten, wird der Wasserdampf mit Hilfe einer Lithiumbromid- oder Zeolith-Lösung kontinuierlich abgesaugt. Die durch diesen Vorgang verdünnte Salzlösung muss durch Verdampfen des Wassers eingedickt werden. Dies geschieht im Austreiber mit Hilfe von hochwertiger Wärme. Der dadurch entstehende Wasserdampf wird im Rückkühler kondensiert und das Kondenswasser wieder dem Verdampfer zugeleitet. Damit schliesst sich der Absorberkreislauf.

Weil Absorptionskälteaggregate ohne mechanisch bewegte Teile arbeiten, sind sie nahezu wartungsfrei. Während die Nutzungsdauer einer Kompressionskältemaschine mit mindestens 15 Jahren angegeben wird, erreichen Absorptionskälteanlagen mindestens 20 Jahre. Im Gegensatz zur Kompressionskältemaschine benötigt der Absorber fast keine elektrische Energie und enthält keine klimaschäd-

gende Kohlenwasserstoffe als Kältemittel. Der Platzbedarf für eine Absorptionskälteanlage und für die Rückkühlung ist jedoch deutlich grösser als für eine Kompressionskältemaschine.

Absorptionskältemaschinen sind interessant, wenn die eingekaufte Wärme sehr günstig ist respektive aus erneuerbaren Quellen stammt.

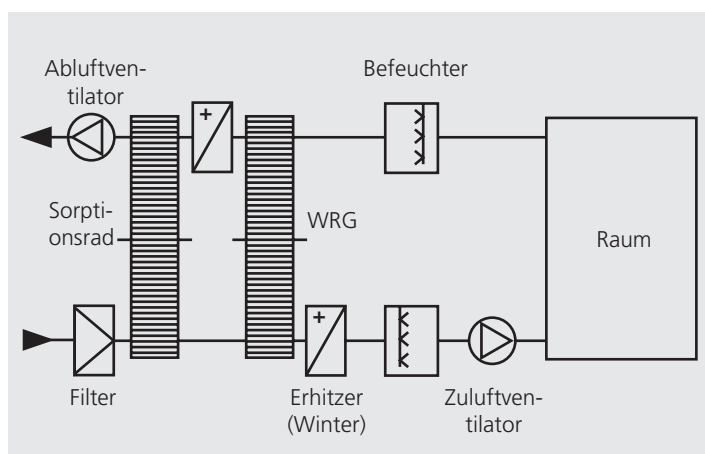
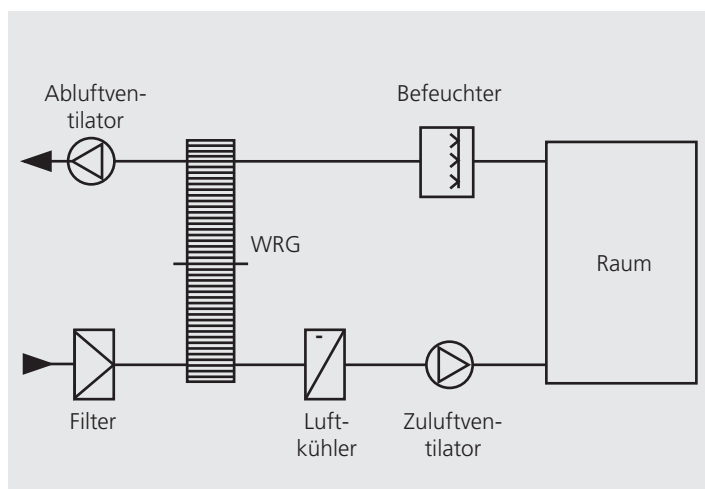
Gewerbliche Kälte

Gewerbliche Kälte dient dazu, die Kühlräume und Kühlmöbel der Küche auf die gewünschte Temperatur herunterzukühlen. Bei allen Kälteprozessen muss die aufgenommene Wärme wieder abgeführt werden. Dabei kann ein Grossteil beispielsweise für die Vorwärmung des Warmwassers genutzt werden, mit relativ kurzen Pay-back-Zeiten (weniger als 5 Jahre). Die restliche Wärme muss zwangsläufig mittels Rückkühler respektive Kondensator abgeführt werden.

Verdunstungskühlung

Eine Alternative zu Kältemaschinen ist die Verdunstungskühlung. Dieses Verfahren ist in der Industrie schon länger bekannt. Im Komfortklima-Bereich konnte sich dieses System erst in den letzten 15 Jahren unter der Bezeichnung adiabatische Kühlung respektive adiabatische Fortluftbefeuchtung durchsetzen. Eine weitere Möglichkeit ist die Sorptionskühlung. Die adiabatische Fortluftbefeuchtung wird oftmals in der Komfortlüftung eingesetzt und erfolgt nach dem Prinzip in Abbildung 121.

Abbildung 121:
Adiabatische
Befeuchtung der
Fortluft



Die direkte Befeuchtungskühlung im Aussen- bzw. Zuluftstrom führt wegen des Anstiegs der relativen Luftfeuchte der Zuluft in der Regel zu Reklamationen. Bei hoher Luftfeuchtigkeit wird die Wärmeabfuhr des menschlichen Körpers mittels Verdunstung erschwert. Der Schweiß verbleibt als Wasserfilm auf der Haut, sodass sich der Mensch unbehaglich fühlt. Dieses Verfahren ist dementsprechend nur für begrenzte Anwendungen einsetzbar. Die Sorptionskühlung ist eine Weiterentwicklung der Verdunstungskühlung, zur Errei-

Abbildung 122:
Prinzip der Sorptionskühlung

chung höherer Kälteleistungen (Abbildung 122). Sorptionskühlung: Bei diesem physikalischen Verfahren wird in einer ersten Stufe die zu kühlende Luft entfeuchtet. Dabei wird mit einem Sorptionsmaterial wie beispielsweise Silikagel Feuchte der Luft entnommen, mit dem Resultat, dass sich die Luft erwärmt. In einer zweiten Phase kann die Luft durch Energierückgewinnung, durch Luftkühler respektive adiabatischer Befeuchtung mehrstufig gekühlt werden. Die im Silikagel aufgenommene Flüssigkeit muss mit Wärme ausgetrieben werden (Desorption).

Rückkühler und Free Cooling

Zum Abführen von Kondensationswärme eines Kälteerzeugers werden Rückkühler

(RK) eingesetzt. Diese unterteilen sich in zwei Hauptgruppen:

■ Offene oder nasse Rückkühler: Bei diesen Anlagen wird das im Kondensator der Kältemaschine erwärmte Kühlwasser in direktem Kontakt mit Aussenluft gebracht. Vorteile: Geringer Platzbedarf, höhere Leistungszahl der Kältemaschine. Nachteile: Hohe Betriebs- und Wartungskosten, Wasser-Aufbereitung und Verlust durch Verdunstung und Abschlammung, Frostgefahr, Nebelschwaden-Bildung, Verunreinigung des Kühlwassers mit möglicher Korrosion, Algen- und Legionellenbildung.

■ Geschlossene oder trockene Rückkühler: Bei diesen Anlagen ist das Kühlwasser von der Aussenluft getrennt und mit einem Expansionsgefäß abgesichert. Vorteile:

Abbildung 123:
Temperatur-
Bereiche von
Rückkühlern

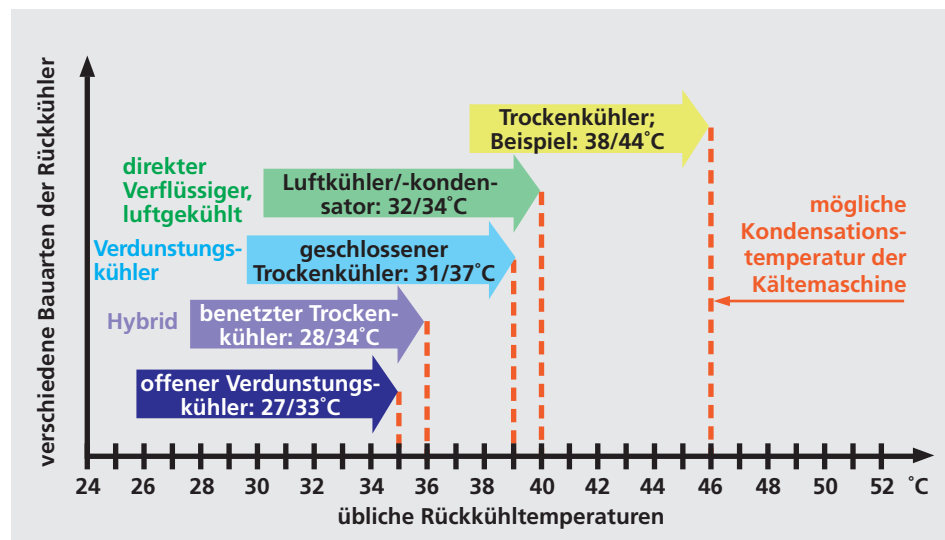
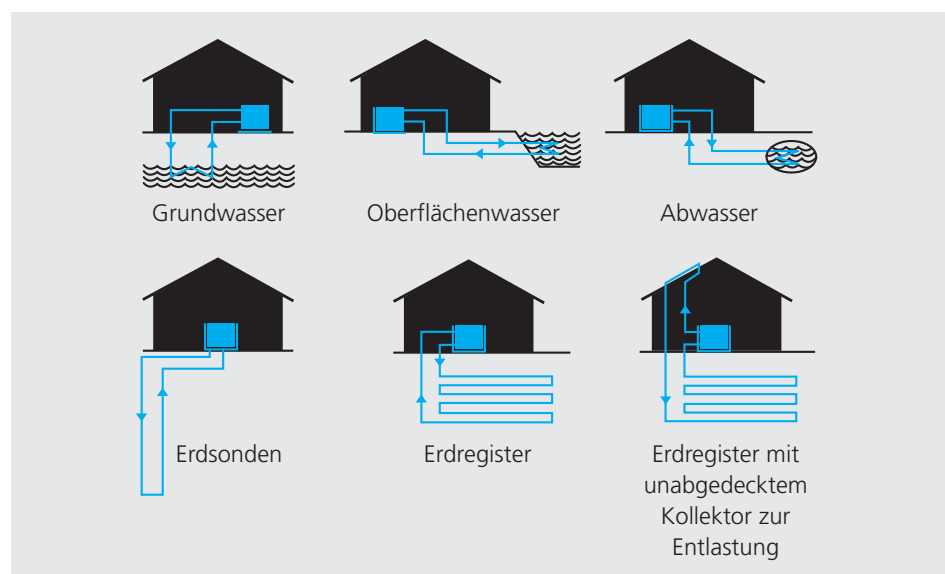


Abbildung 124:
Energiequellen zur
direkten oder indi-
rekten Nutzung für
die Kühlung



Kein Wasserverbrauch, kleinere Investition, Wartungs- und Unterhaltskosten. Nachteile: Grosser Platzbedarf und kleinere Leistungszahl der Kältemaschine.

■ Als Kompromisslösung bieten sich auch hybride Rückkühler an.

Diese hybriden Rückkühler arbeiten meistens als konventionelle Trockenkühler bei tieferen Aussentemperaturen. Bei höheren Temperaturen wird eine wohl dosierte Menge von entmineralisiertem Wasser auf die Kühloberfläche gesprüht, welches grösstenteils auf der Oberfläche verdampft (zwischen 70 % bis 100 %). Dadurch wird die Rückkühlleistung drastisch erhöht. Vorteile: Geringerer Platzbedarf, höhere Leistungszahl der Kältemaschine, minimale Energie- und Wasserkosten, keine Nebelschwaden, kein zirkulierendes Wasser und damit keine Algen- und Legionellenbildung. Die wichtigsten Nachteile dieser Systeme sind: Höhere Investition und notwendige Wasseraufbereitung, oftmals mit Gegenosmose.

Eine optimale Lösung, insbesondere punkto Energie- und Platzbedarf, bieten die hybride Rückkühler mit Rückkühltemperaturen von 28°/34°C. Wenn die Inves-

titionskosten im Vordergrund stehen, so empfiehlt sich der Einsatz von betriebssicheren und hygienisch unbedenklichen Trockenkühlern.

Free Cooling: Das System der freien Kühlung nutzt in der Winterperiode die tiefen Aussentemperaturen, um Kaltwasser zu erzeugen. Dabei muss ein zusätzlicher Wärmetauscher installiert werden. Vor allem bei Wärmeabgabesystemen mit hohen Wassertemperaturen (Kühldecken, Tabs, Bodenkühlung) ist das Free Cooling empfehlenswert. In der Schweiz erlauben die durchschnittlichen Aussenklimata, meistens bei Temperaturen unter 8°C, diese kostengünstige Energie zu nutzen. Damit reduzieren sich die Betriebskosten um bis zu 35 % pro Jahr.

Wärmerückgewinnung

Zur Wärmerückgewinnung von Kondensatorwärme stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

Einbau eines Enthitzer-Kondensators zur Nutzung von Abwärme auf höherem Niveau (Heissgas-Kühlung). Der Vorteil dieser Lösung ist, dass die Kältemaschine nicht auf einen höheren Kondensationsdruck heraufgefahren werden muss. Da-

Abbildung 125:
Nutzung von Erd-
wärme (Übersicht)

Oberflächennahe Geothermie (etwa 8 °C–25 °C)			Tiefe Geothermie (etwa 20 °C–200 °C)		
Erdwärmesonde	Kollektoren Körbe Energiepfähle	Grundwasserbrunnen mit Wiederversickerung	Hydrogeothermie		Enhanced Geothermal Systems (EGS)
einige 10 m bis 400 m tief	wenige 10 m tief	meist < 50 m tief	einige 100 m bis > 5000 m tief		bis 5000 m tief
Hydrogeothermische Singlet/Dublette		Thermalwassergewinnung			
Geschlossenes System		Offenes System	Offenes System		
Nutzung durch Einsatz von Wärmepumpen			Nutzung mit Wärmeübertrager und direkte Warmwassernutzung		
Wärmeerzeugung Kühlung			Stromerzeugung mit ORC- oder Kalina-Anlagen Wärmenutzung und Thermalwassernutzung		Direkte Nutzung des heissen Wassers
			Stromerzeugung und Abwärmenutzung		

durch wird eine lange technische Lebensdauer der Kältemaschine gewährleistet. Leider können nur ca. 10 % der gesamten Kondensatorwärme auf höherem Temperaturniveau genutzt werden.

Zur vollen Wärmerückgewinnung der Kondensatorwärme muss die Betriebstemperatur der Verbraucher tief gewählt werden (Bodenheizung, Tabs, Niedertemperatur-Heizkörper, BWV-Vorwärmung, usw.). Sind höhere Betriebstemperaturen (über ca. 55 °C) gefordert, so muss die Kondensationstemperatur erhöht werden. Der Vorteil dieser Lösung ist, dass in diesem Fall ein Grossteil der Abwärme genutzt werden kann. Der Nachteil liegt beim höheren Betriebsdruck und schlechterer Leistungszahl der Kältemaschine.

Energiequellen

Mit natürlichen Energiequellen ist es möglich, Räume und Anlagen direkt zu kühlen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, solche Quellen indirekt, beispielsweise für die Rückkühlung, zu nutzen.

Die in Abbildung 124 dargestellten Energiequellen können in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

■ Offene Systeme mit Grund- und Oberflächenwasser aus oberflächennahen Geothermie. Die Betriebstemperaturen betragen 8° bis 25 °C. Bei der Abwassernutzung treten teilweise auch höhere Temperaturen auf.

■ Geschlossene Systeme mit einem Wasser-Frostschutz-Gemisch, welche sich deshalb auch mit einer Solaranlage kombinieren lassen. Die Betriebstemperaturen betragen 0° bis 18 °C.

Gemäss SIA 384/6 sind dabei folgende Nutzungen sinnvoll (Abbildung 125). Die drei oberflächennahen Energiequellen Erdwärmesonden, Energiepfähle und Grundwasserbrunnen können auch zu Kühlzwecken genutzt werden.

3.5 Kälteabgabe im Raum

Zur Kälteabgabe in Räumen stehen ganz unterschiedliche Systeme zur Verfügung (Tabelle 56). Gebäude können mit zentralen Lüftungs- und Klimaanlage gekühlt werden. Für einzelne Räume mit höheren Internlasten sind zwei Methoden möglich:

■ Mittels Tabs und Kühldecken respektive statischen Kühlflächen unterhalb der Decke ist es möglich, Wärme lautlos, zugsfrei und energetisch günstig dem Raum zu entziehen. Daher wird diese Art auch als «stille Kühlung» bezeichnet.

■ Umluftkühler werden in Räumen mit hohen internen Wärmelasten eingesetzt. Beispiele: Rechenzentren, Serverräume, OP-Räume, Sterilisation, Radiologie, Grossraumbüros, etc. Die Umluftkühler dienen lediglich dazu, interne Wärme abzuführen. Der hygienische Luftwechsel muss durch die Lüftungsanlage sichergestellt werden.

Wenn immer möglich, sollten keine Umluftkühler in stark frequentierten Personenräumen installiert werden. Diese sind laut, brauchen einen Kondensatabschei-

der und benötigen Antriebsstrom fürs Gebläse (zusätzliche Wartung). Sie sind auch aus hygienischen Gründen nicht ganz unproblematisch.

Stadtwasserkühlungen sind grundsätzlich verboten. In Ausnahmefällen wie beispielsweise Notstromdiesel-Kühlung und MRI-Serverkühlung sind solche Notkühlungen zugelassen.

Sowohl Bauteilkühlung (z. B. Tabs) als auch Kühldecken können dort eingesetzt werden, wo sensible, fühlbare Wärme abgeführt werden muss. Diese beiden Systeme nutzen die Speichermasse des Raumes und sind deshalb sehr energieeffizient.

Bauteilkühlung (Tabs)

Thermoaktive Bauteilsysteme (Tabs), auch Betonkern- oder Thermokernkühlung genannt, nutzen die Gebäudespeichermasse für die Raumkühlung. Dadurch müssen die im Raum anfallenden Wärmelasten von Personen, Geräten und Besonnung nicht sofort abgeführt werden, sondern können in der Bauteilmasse zwischengespeichert werden. In den kühleren Nachtstunden

Tabelle 56: Systeme zur Kälteabgabe sowie deren Arbeitstemperaturen und Leistungsgrenzen. Quelle SIA 382/2 NGF: Nettogeschossfläche

System	Maximale Leistung Heizen		Maximale Vorlauf- oder Zuluft-Temperatur °C	Maximale Leistung Kühlen		Minimale Vorlauf- oder Zuluft-Temperatur °C	Medium	Bemerkungen
	W/m ² NGF	W/P		W/m ² NGF	W/P			
Heizkörper	50		50				Wasser	
Deckenheizung	40		30				Wasser	
Fussbodenheizung	40		35	20		19	Wasser	
Thermoaktive Bauteilsysteme (Tabs)	40		30	40		19	Wasser	
Kühldecke				80		17	Wasser	
Luftheizung		360	50				Luft	Bei 36 m ³ /h P
Mischlüftung					120	16	Luft	Bei 36 m ³ /h P
Quelllüftung					70	20	Luft	Bei 36 m ³ /h P
Umluftkühler				≥100		16	Luft	

kann diese Wärme dem Gebäude entnommen werden. Günstige Kälteerzeuger-Varianten sind:

- Direktkühlung mittels Erdsonden
- Free-Cooling mittels Hybrid-Rückkühler
- Kühlung mit Kältemaschine, inkl. Abwärmenutzung für Warmwasser, mit günstigerem Niedertarif-Strom und kleineren Rückkühlleistungen.

Tabs sind effizienter, wenn der Strahlungsanteil der Wärmequellen im Raum hoch ist. In Tabelle 57 werden die Strahlungs- und Konvektionsanteile aufgezeigt.

Aus Tabelle 56 ist klar erkennbar, dass die Bauteilkühlung die Abwärmen mit grossem Strahlungsanteil wie Beleuchtung, Personen und Externlasten effizient abführen kann. Für Räume mit grossem Anteil von Bürogeräten muss eine andere Lösung gesucht werden. Beispiele: Rechenzent-

ren, Händlerarbeitsplätze in Banken, usw. Das Gesamtkonzept der Bauteilkühlung basiert auf folgenden fünf wesentlichen Elementen:

1. Hochwärmegedämmte Gebäudehülle, welche die externen thermischen Lasten niedrig hält und auch einen guten Sonnenschutz gewährleistet (g-Wert unter 0,15, Beispiel: helle Aussenlamellenstoren).
2. Maximale interne Wärmelasten bis 150 Wh/m²d
3. Kontrollierte Hygiene-Lüftung mit WRG
4. Unverkleidete Betondecke (Akustik!) mit eingelegten Kühl- und Heizrohren
5. Kühlmöglichkeit mittels Rückkühler, Erdsonden, Kältemaschine, usw.

Kühldecken

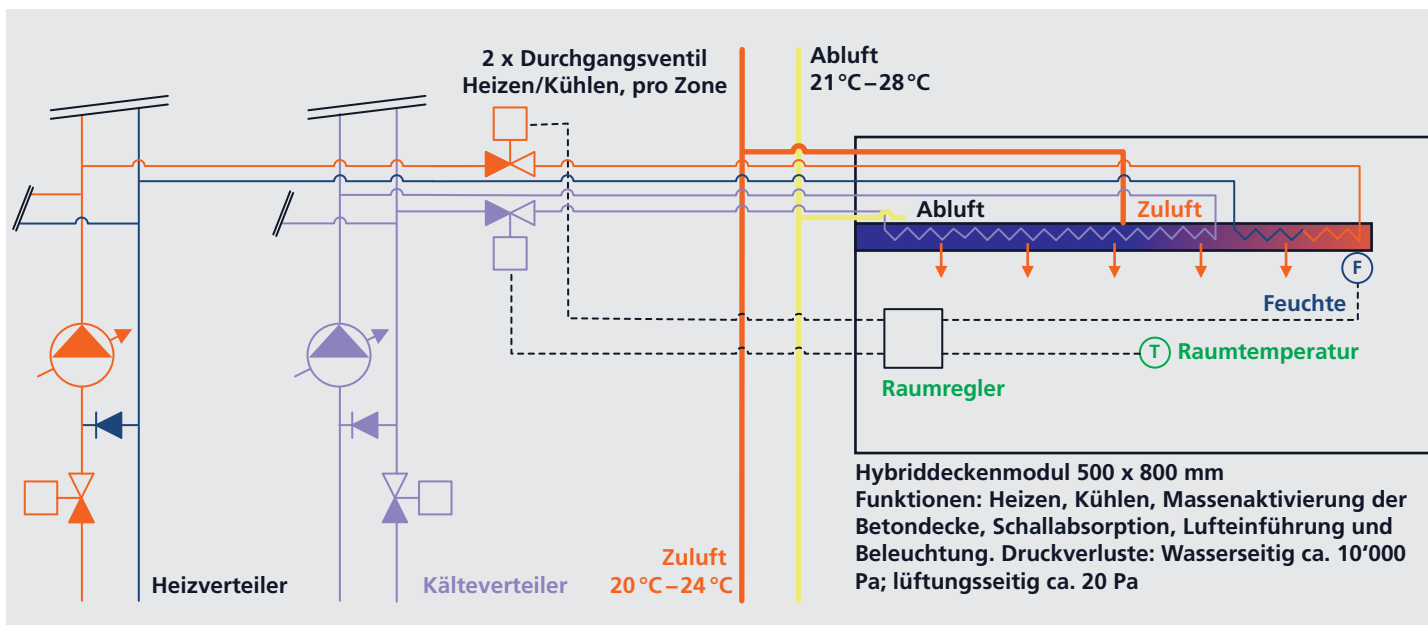
Mittels Kühldecken respektive statischen Kühlflächen unterhalb der Decke, ist es möglich, die Wärme lautlos, zugsfrei und energieeffizient dem Raum zu entziehen. Daher wird diese Art auch als «stille Kühlung» bezeichnet.

Kühldecken entsprechen von der Funktion her Heizwänden, müssen jedoch aus physikalischen Gründen an der Decke montiert werden. Die warme Luft im Raum steigt zur Decke hoch und wird unterhalb der Decke abgekühlt. Danach fällt die Luft wieder in den Aufenthaltsbereich nahezu zugfrei ab. Kühldecken haben nur zwei

Abbildung 126:
Prinzip einer Kühlung mittels Kühldecke, die auch Heizfunktionen übernehmen kann.

Tabelle 57: Wärmequellen

Quellen	Strahlungsanteil	Konvektionsanteil
Bürogeräte und Server, mit Ventilator	10 %	90 %
Bürogeräte und Server, ohne Ventilator	20 %	80 %
Beleuchtung	50 %	50 %
Personen	70 %	30 %
Solarstrahlung	90 %	10 %



Nachteile: Hohe Investition und Empfindlichkeit auf hohe Raumluftfeuchten (Kondensationsbildung).

In Abbildung 126 ist eine Kühldecke dargestellt, mit 4-Leiter-Anschluss und der Möglichkeit für die gleichzeitige Heizung und Kühlung innerhalb derselben Zone.

In Abbildung 126 ist ersichtlich, dass die heutigen Kühldecken auch mit anderen Anwendungen wie Lüftung, Beleuchtung und Schallabsorption kombiniert werden können. Somit fallen etliche Schnittstellen weg.

Mit Kühldecken können auch Räume beheizt werden. Der Vorteil bei der Lösung gemäss Abbildung 126 ist, dass nur der Fassadenbereich beheizt wird. Also nur dieser Teil des Raumes, in dem die grössten Wärmeverluste auftreten. Dies erhöht den Raumkomfort und die Energieeffizienz, weil nicht die gesamte Deckenmasse erwärmt werden muss. In jedem Fall ist es wichtig, dass die Gebäudehülle sehr gut gedämmt und dicht ist, damit keine Zugerscheinungen auftreten.

Zur Auslegung einer Kühldecke ist Spezialwissen notwendig. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Oberflächentemperatur der Kühldecke

darf nie den Taupunkt im Raum unterschreiten. Absicherung mittels Kondensatfühler.

- Kühldecken müssen 100 % diffusionsdicht (Sauerstoff) ausgeführt werden, ansonsten ist eine Netztrennung erforderlich.

■ Die Regulierung muss zusammen mit der Lüftung erfolgen. Wird der Sollwert im Raum erreicht, muss der Durchfluss durch die betreffenden Kühldecken-Elemente unterbrochen werden.

- Einzelne Kühldeckenelemente müssen separat absperren- und entleerbar ausgeführt werden.

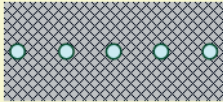
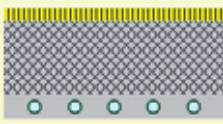
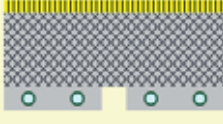
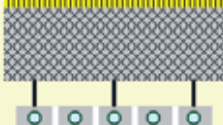
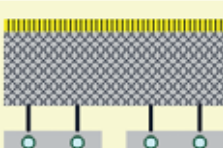
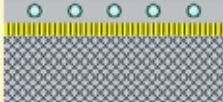
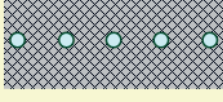
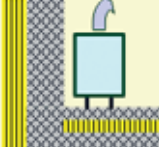
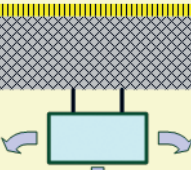
■ Es empfiehlt sich, besonders in kritischen Räumen, bei der Inbetriebnahme jedes Kühldeckenelement mittels Thermografie zu prüfen.

- Zur Aktivierung der Betondecke sollte der freie Querschnitt der Doppeldecke mindestens 50 % betragen. Es empfiehlt sich aus diesem Grund, die Kühldecken als «Segel» im Raum auszuführen.

Kurzbeschreibung	Kühlfall	Heizfall
Spezifische Leistung ■ Strahlungsdecken mit Taupunktüberwachung ■ Konvektionsdecken mit Luftgeschwindigkeiten unter 0,15 m/s	■ 70 W/m²–100 W/m² ■ 100 W/m²–50 W/m²	■ bis 200 W/m² ■ bis 300 W/m²
Leistungsabgabe zur Raumtemperatur-Einhaltung	Sehr genau möglich	Problematisch wegen Temperatur-Schichtung
Behaglichkeitskriterien ■ Temperaturschichtung ■ Strahlungsasymmetrie ■ Raumluftgeschwindigkeiten	■ praktisch keine ■ angenehmes Empfinden ■ unter 0,15 m/s	■ lastabhängig, ca. 2 K/m ■ bis 54 W/m² behaglich ■ evtl. Kaltluftabfall
Anforderung an Glasfassade	kein Einfluss	U-Wert unter 1,3 W/m ² K

Tabelle 58: Typologie der Kühldecken sowie dazugehörige Leistungswerte

Tabelle 59: Die wichtigsten Kälteabgabesysteme, welche in der Klimakälte eingesetzt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass im Raum die Feuchte nicht eingehalten werden muss.

Nr.	Kälteangabe mit Kaltwasser	Funktion	Skizze	Vorteile	Nachteile
1	Thermoaktive Bauteilsysteme Tabs	Bauteilkühlung mit Masseaktivierung		Kostengünstige, stille Kühlung nach oben und nach unten bis 40 W/m ²	Teilweise unkontrollierte Kühlung; Integration im Betonbauteil
2	Kühldecke, mit Decke verbunden	Geschlossen, minimale Masseaktivierung		Kostengünstige, stille Kühlung; platzsparend, im Raum kaum sichtbar	Keine direkte Masseaktivierung möglich
3	Kühlmodul	Einbindung der Deckenmasse		Kostengünstige, stille Kühlung; Aktivierung der Speichermasse	Schwierige Montage bei heruntergehängter Doppeldecke
4	Kühldecke unterhalb der Decke	Offen, mit Bauteilaktivierung; konvektive Decke		Stille Kühlung; teilweise Aktivierung der Speichermasse je nach freiem Querschnitt	Schwierige Reinigung; geringere lichte Raumhöhe
5	Kühlsegel unterhalb der Decke	Freie Strömung im Raum mit Bauteilaktivierung		Stille Kühlung, thermisch aktive Lösung mit hoher Leistung	Schwierigere Reinigung; partiell geringere lichte Raumhöhe
6	Bodenkühlung	Changeover mit Bodenheizung		Kostengünstige, stille Kühlung, mit Masseaktivierung	Kälteleistung mit 18°/21 °C max. 15 W/m ²
7	Kühlbalken; Kühlbaffel	Kühlpanel mit Primärluft		Grössere Leistung auf kleinstem Raum; nur teilweise Deckenbelegung	Partiell geringere lichte Raumhöhe; Zugerscheinungen möglich; Servicekosten
8	Brüstungsgerät	Induktionsgerät mit Primärluft		Grössere Leistung auf kleinstem Raum; ein Element für Beheizung, Kühlung und Lüftung	Teilweise Zugerscheinungen, Schallemission, energetisch aufwändiger; Brüstung muss geplant werden, Servicekosten
9	Umluftkühler	Ventilator-Konvektor mit oder ohne Kondensatabscheider		Mit Kondensatablauf grosse Leistung; kostengünstige Lösung	Schallemission im Raum; Trockenkühlung mit begrenzter Leistung; Servicekosten

3.6 Trends in der Kältetechnik

In welche Richtung wird sich die Kältetechnik entwickeln? Auf der einen Seite wird dichter gebaut. Es steigen sowohl die Komfortansprüche der Menschen als auch der Technisierungsgrad. Zudem steigen auch die mittleren Aussenlufttemperaturen. Diese Entwicklung führt zwangsläufig zu höheren Kälteleistungen und damit zu höherem Stromverbrauch für die Kompressoren, Ventilatoren und Umwälzpumpen. Auf der anderen Seite möchte man ernsthaft den Energiebedarf senken, vermehrt erneuerbare Energiequellen und

Abwärmen nutzen und somit die Umwelt nachhaltig entlasten. Aus diesem Grund zeichnen sich heute schon gewisse Trends ab. Zukünftig werden vermehrt erneuerbare Energiequellen eingesetzt, sowohl für die Wärme- als auch für die Stromproduktion. Zudem werden die Wirkungsgrade aller Energieumformer stark verbessert und die Energiespeicherung über einen längeren Zeitraum gewährleistet. Daraus könnte eine optimale WRG-Nutzung aus allen Prozessen und somit eine längerfristige Energieeinsparung resultieren – trotz höherer Komfortansprüche!

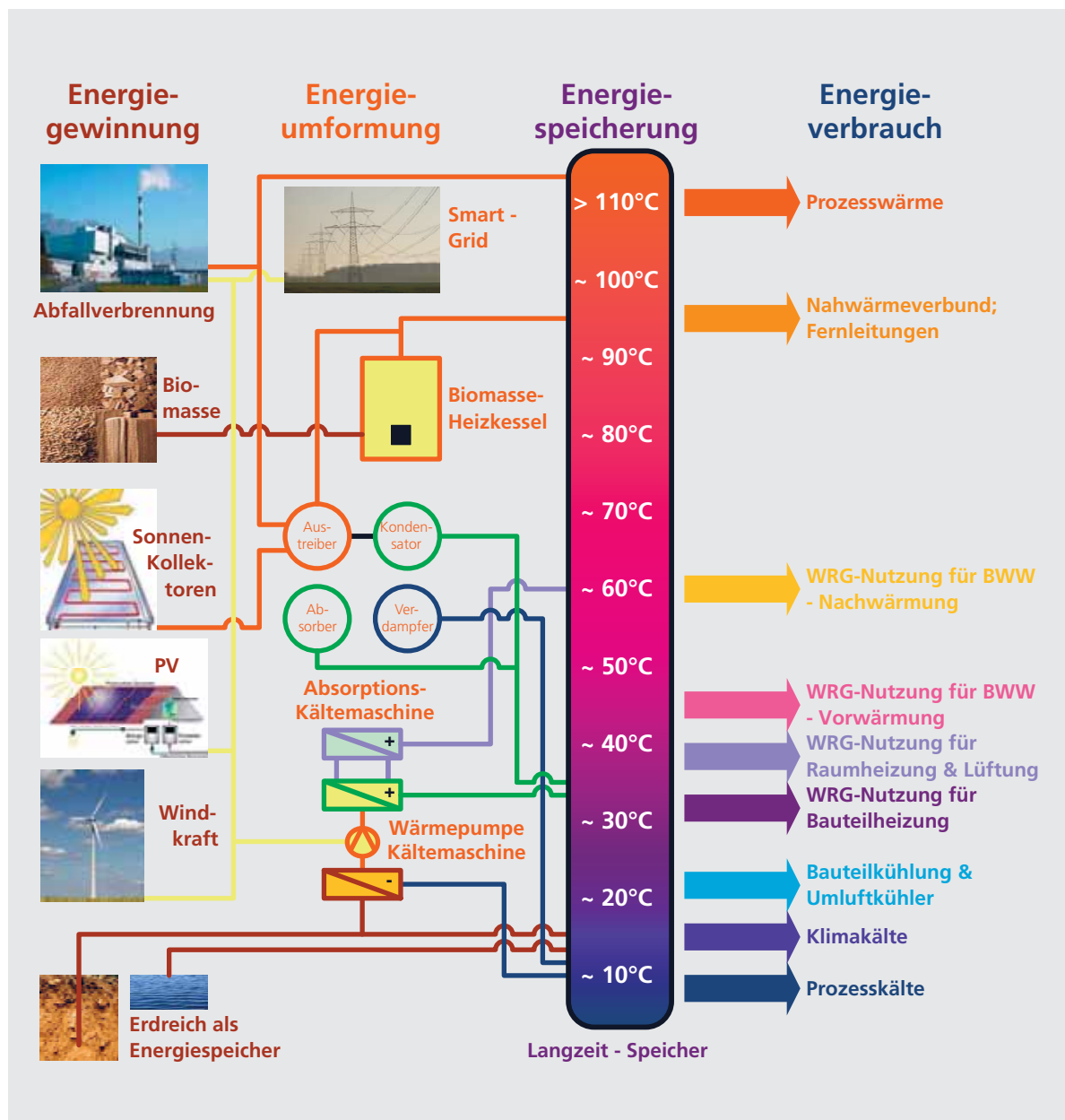


Abbildung 127:
Trends in der Kältetechnik

Lufterneuerung

Kurt Hildebrand 4.1 Typologie der Lüftungsanlagen

Anlagentypen von Lüftungs- und Klimaanlage nach Funktionen										
Anlagentyp		Zuluftförderung	Abluftförderung	WRG und AWN	Filterung der Zuluft	Heizen	Kühlen	Befeuchten	Enfeuchten	Farbcode der Zuluft
Einfache Zuluftanlage		x	–	–	x	–	–	–	–	grün
Zuluftanlage mit Lufterwärmung		x	–	–	x	x	–	–	–	rot
Einfache Abluftanlage		–	x	–	–	–	–	–	–	–
Abluftanlage mit Abwärmenutzung		–	x	x	–	–	–	–	–	–
Lüftungsanlage	Einfache Lüftungsanlage	x	x	x	x	–	–	–	–	grün*
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	x	x	x	x	x	–	–	–	rot
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und -befeuchtung	x	x	x	x	x	–	x	–	blau
Klimaanlage	Einfache Klimaanlage	x	x	x	x	x	x	–	(x)	blau
	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	x	x	x	x	x	x	x	(x)	blau
	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und -entfeuchtung	x	x	x	x	x	x	x	x	violett
* Wenn mit der WRG die Zulufttemperatur auf über 17 °C gehalten werden kann, kann der Farbcode rot verwendet werden. – Nicht beeinflusst durch das System bzw. nicht möglich oder nicht vorhanden. x Durch das System kontrolliert und Einhaltung entsprechender Garantiewerte im Raum. (x) Durch das System beeinflusst, aber ohne Garantiewerte im Raum.										

Tabelle 60: Anlagentypen von Lüftungs- und Klimaanlage nach Funktionen (SIA 382/1). Bei Lüftungs- und Klimaanlage ist sie abhängig von der Möglichkeit zur Kontrolle der Temperatur und des Feuchtegehaltes der Raumluft.

Die wichtigsten Komponenten

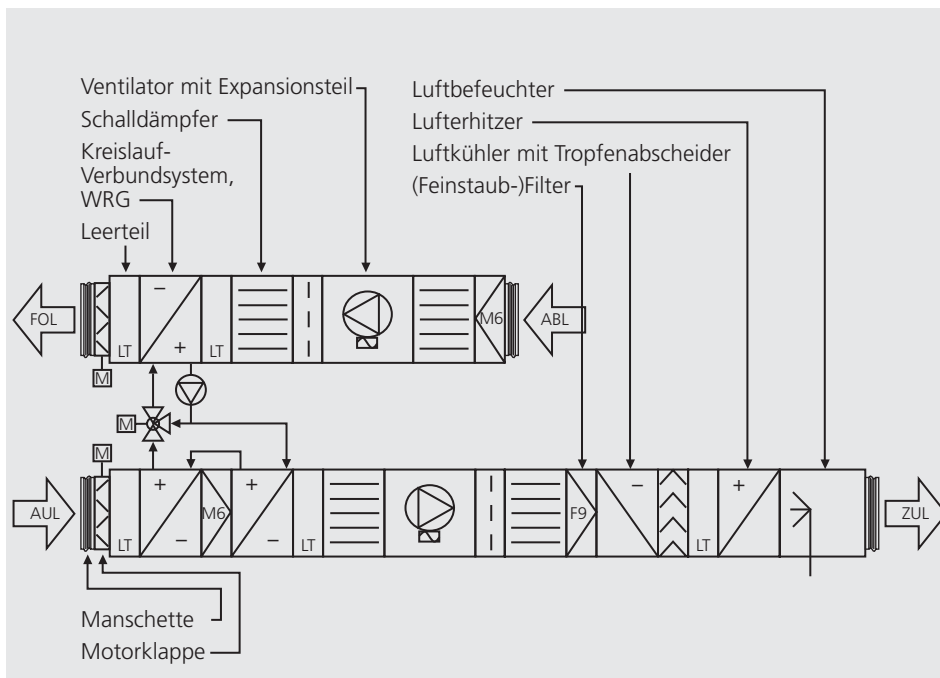


Abbildung 128:
Komponenten von
Lüftungsanlagen

Funktionsbeschriebe

Anmerkungen zu den Funktionen der dargestellten Anlagen.

Ventilatorüberwachung: Die Funktion des Ventilators wird meist mittels einer Drehzahlüberwachung an der Laufradachse oder Luftgeschwindigkeitsmessung am Ventilatorsaugstutzen überwacht und mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen.

Filterüberwachung: Die Filter werden manuell mit einer Druckanzeige am RLT-Gerät überwacht. Eine elektronisch-automatische Überwachung ist möglich aber bei kleineren Anlagen nicht üblich.

Klappen: Aussenluft- und Fortluftklappen müssen bei Anlagestillstand und Stromausfall schliessen. Die Klappenmotoren sollen stromlos die Klappen selbsttätig schliessen. Die Klappen schliessen zeitverzögert zur Ventilatoren Abschaltung und öffnen vor dem Start der Anlagen.

Aussenluftfassung und Fortluftaustritt: Die Aussenluft sollte möglichst auf einer beschatteten Gebäudeseite gefasst werden und so konstruiert sein, dass keine

Fremdstoffe wie Laub, Staub, etc eindringen kann. Möglicher Vandalismus muss berücksichtigt werden. Die Norm (SIA 382/1) besagt, dass Aussenluft mindestens drei Meter über dem Erdboden gefasst werden soll. Lüftungsanlagen für Wohnbauten können davon abweichen. Fortluft soll über Dach geführt werden, damit keine Irritationen durch kontaminierte und geschmacklich angereicherte Luft entsteht.

Brandfall: Im Regelfall werden Lüftungs- und climatechnische Anlagen im Brandfall ausgeschaltet. Eine Entrauchungsschaltung wird nicht vorgesehen und die Klappen werden zugefahren.

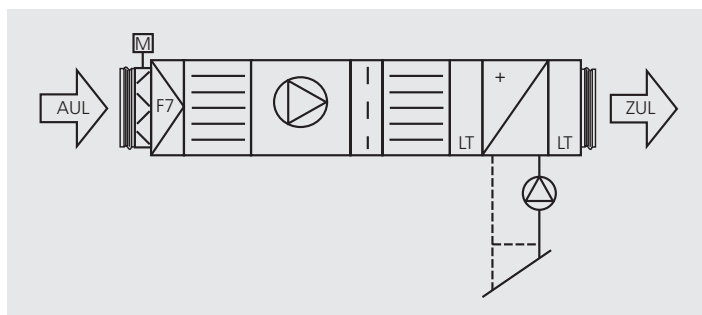
Notstromberechtigung: Im Regelfall sind Lüftungs- und climatechnische Anlagen nicht für den Bezug von Notstrom berechtigt.

Gebäudeautomation: Selbstverständlich können Anlagen mit ihren Regeltechnischen-, Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen immer soweit ausgebaut und automatisiert werden, dass sie mittels Gebäudeautomation ihren Betrieb aufrechterhalten. Die Notwendigkeit und Angemessenheit ist zu prüfen.

Einfache Zuluftanlage und Zuluftanlage mit Lufterwärmung

Aufgabe: Die Anlage versorgt Räume mit der nötigen Zuluft. Oft sind dies Räume, die nicht oft genutzt oder schnell einer starken Belastung von Personen oder Prozessen ausgesetzt sind. Die Abluft entweicht über kontrollierte Öffnungen. Die Zuluft wird je nach Notwendigkeit erwärmt.

Abbildung 129:
Einfache Zuluftanlage, wahlweise mit Zulufterwärmung

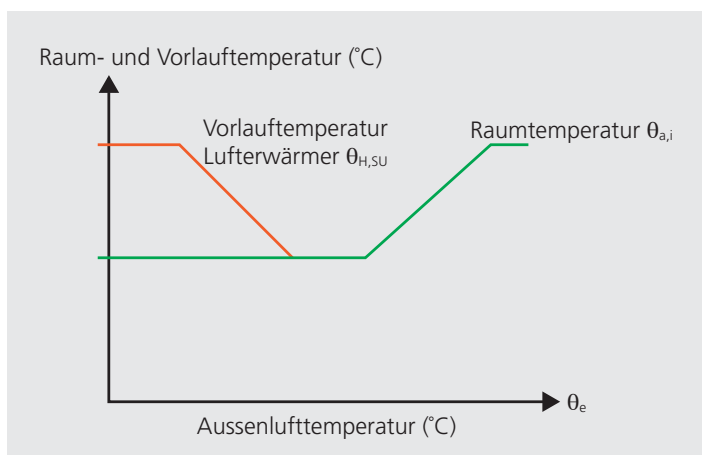


Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp wird meist einstufig betrieben (Stufe 0 –I).

Sollwertregelung: Die Anlage wird von Hand oder einer Schaltuhr ein- oder ausgeschaltet.

Im Anlagentyp 2 kann die ZUL geregelt werden – meist auf eine konstante ZUL-Temperatur.

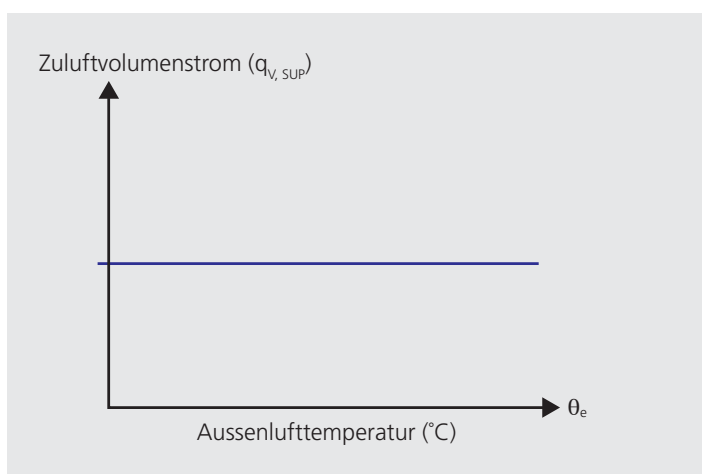
Abbildung 130:
Vorlauf- und Raumtemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur



Besonders zu beachten

- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Eventuell Defroster über Erdreich-Wärmeübertrager führen.
- Gebäudeautomation: meist keine
- Bei sehr guter WRG erübrigt sich oft der Lufterhitzer.
- Die Abluftführung aus dem Gebäude muss sorgfältig realisiert werden. Entweder sind Abluftanlagen mit gleich grossen Luftvolumenströmen und gleichen Betriebszeiten zu planen oder es sind gezielt Abluftdurchlässe einzusetzen.

Abbildung 131:
Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur



Einsatz

- Kleinere Bürobauten
- Kleinere Gewerbebauten

		Nach SIA 382/1
Quelle	Aussenluft	Klassierung der Aussenluft
Umwandlung	Lüftungsanlage mit: ■ Zuluft-Ventilator ■ Filtern der Zuluft ■ Heizen	
Speicherung	■ Entsprechend den bauphysikalischen Gegebenheiten und Konstruktionen im Baukörper selbst	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalsystem mit konstantem oder variablem Volumenstrom	
Raum	Lufteinbringung: ■ Komfortbereich oft nach dem Quellluftprinzip ■ Mischlüftung	Klassierung der Raumluft bzw. Zuluft
Bemerkungen	■ Einkanalsystem entspricht einem Zuluftkanal und einem Abluftkanal. ■ Bei reinen Zuluftanlagen sind die Druckverhältnisse im Gebäude genau zu betrachten (ausgeglichene Luftbilanzen).	

*Tabelle 61:
Spezifikationen zur
einfachen Zuluftan-
lage und zur Zuluft-
anlage mit Lufter-
wärmung.*

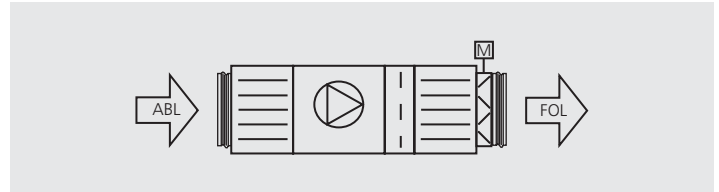


*Abbildung 132:
Kompaktes
Lüftungsgerät mit
Kreuzstrom-Wärme-
tauscher inkl.
Lufterhitzer.
(Bild: Seven Air)*

Einfache Abluftanlage

Aufgabe: Die Anlage entlüftet geruchlich belastete Räume wie z.B Toilettenanlagen, kleinere Gewerbebetriebe mit entsprechenden Fertigungs-Einrichtungen. Oft sind diese Räume nicht permanent genutzt oder schnell einer starken Belastung von Personen oder Prozessen ausgesetzt. Es muss sichergestellt werden, dass die Ersatzluft über kontrollierte Öffnungen nachströmen kann.

Abbildung 133:
Einfache
Abluftanlage



Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp wird meist einstufig betrieben (Stufe 0 –I).

Sollwertregelung: Die Anlage wird von Hand oder mittels einer Schaltuhr ein- oder ausgeschaltet.

Abbildung 134:
Abluftvolumen-
strom in
Abhängigkeit
der Aussenluft-
temperatur

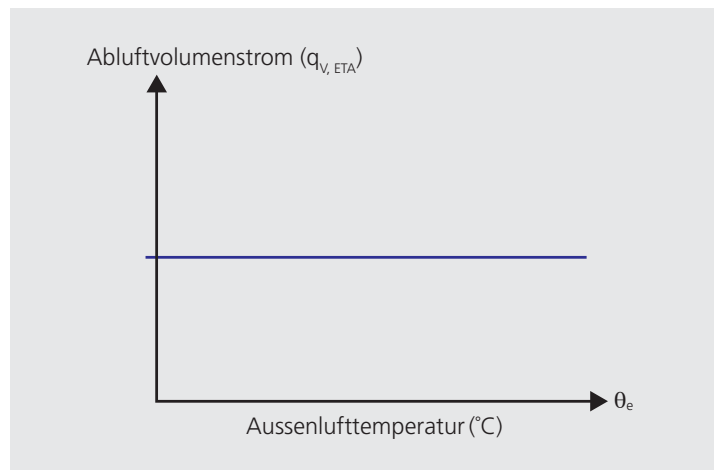
Besonders zu beachten

- Meist keine Gebäudeautomation
- Die Aussenluft-Zufuhr muss sorgfältig umgesetzt werden. Entweder sind Zuluftanlagen mit gleich grossen Luftvolumenströmen und gleichen Betriebszeiten zu planen oder es sind kontrollierbare Aussenluft-Durchlässe zu realisieren.
- Leckagen in der Gebäudehülle können dazu führen, dass Aussenluft über hygienisch problematische oder unerwünschte Weg nachströmt. Reine Abluftanlagen sollen daher nur bei Gebäuden mit hoher Luftdichtigkeit und definierten Nachströmöffnungen eingesetzt werden.
- Der Unterdruck im Gebäude ist zu beachten. Wenn sich in den versorgten Räumen Feuerungen wie Cheminées, Öfen, Gasthermen, etc. befinden, soll keine einfache Abluftanlage eingesetzt werden.
- Bei mittlerem und erhöhtem Radonrisiko ist der Einsatz von einfachen Abluftanlagen kritisch zu prüfen.

Einsatz

- Kleinere Bürobauten
- Wohnbauten

Tabelle 62:
Spezifikationen zur
einfachen Abluftan-
lage.



		Nach SIA 382/1
Quelle	Abluft	Klassierung der Abluft
Umwandlung	Anlage mit: ■ ABL-Ventilator	
Speicherung	■ keine	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalssystem	
Raum	■ Abluftabführung	Klassierung der Raumluft bzw. Zuluft
Bemerkungen	■ Bei der Abluftanlage muss die Nachströmung der Ersatzluft beachtet und definiert werden. ■ Bei reinen Abluftanlagen sind die Druckverhältnisse im Gebäude genau zu betrachten (ausgeglichene Luftbilanzen).	

Abluftanlage mit Abwärmenutzung Varianten

Fortluft als Quelle einer Luft-Wasser-Wärmepumpe oder FOL-Wärmetauscher als Quelle der Sole-Wasser-Wärmepumpe

Aufgabe: Die Anlage entlüftet geruchlich belastete Räume wie z.B. Toilettenanlagen, Gewerbebetriebe mit entsprechenden Fertigungseinrichtungen. Oft sind diese Räume gut genutzt und benötigen deshalb eine beachtliche Luftleistung. Damit wird die AWN mittels einer Wärmepumpe wirtschaftlich. Dieser Aussage steht die Anwendung im Kleinstbereich, nämlich von Lüftungen in Wohnbauten, entgegen. Hier kann es sein, dass die FOL verwendet wird, um eine WW-Erwärmung mittels einer Kleinst-WP zu ermöglichen («All in One»-Systeme).

Anwendung findet dieser Anlagentyp auch in Bereichen mit dezentralen ZUL-Einheiten wie z. B. Luftboxen.

Es muss sichergestellt werden, dass die Ersatzluft über kontrollierte Öffnungen nachströmen kann.

Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp kann ein- oder mehrstufig betrieben werden (Stufe 0 – I – II, eventuell Drehzahlreguliert in Abhängigkeit der WP).

Sollwertregelung: Die Anlage wird von Hand oder entsprechend definierter Regelparameter aufgrund des Luftbedarfes oder des WP-Bedarfs betrieben.

Besonders zu beachten

- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Wärmepumpen zur Wärmerückgewinnung (WRG) kann praktisch überall eingesetzt werden.
- Keine Gebäudeautomation
- Die Aussenluft-Zufuhr muss sorgfältig umgesetzt werden. Entweder sind Zuluftanlagen mit gleich grossen Luftvolumenströmen und gleichen Betriebszeiten zu planen oder es sind Aussenluft-Durchlässe zu realisieren.
- Leckagen in der Gebäudehülle können dazu führen, dass Aussenluft über hygie-

nisch problematische oder unerwünschte Weg nachströmt. Reine Abluftanlagen sollen daher nur bei Gebäuden mit hoher Luftdichtigkeit und definierten Nachströmöffnungen eingesetzt werden.

■ Der Unterdruck im Gebäude ist zu beachten. Wenn sich in den versorgten Räumen Feuerungen wie Cheminées, Öfen, Gasthermen, etc. befinden, soll keine einfache Lüftungsanlage eingesetzt werden.

■ Bei mittlerem und erhöhtem Radonrisiko ist der Einsatz von einfachen Abluftanlagen kritisch zu prüfen.

Einsatz

- Bürobauten
- Wohnbauten
- Produktionsstätten

Abbildung 135:
FOL als Quelle einer
Luft-Wasser-
Wärmepumpe

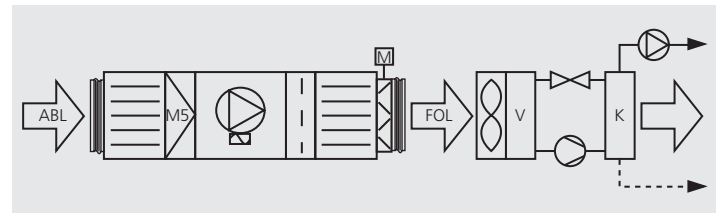


Abbildung 136:
FOL-Wärmetauscher
als Quelle einer
Sole-Wasser-
Wärmepumpe

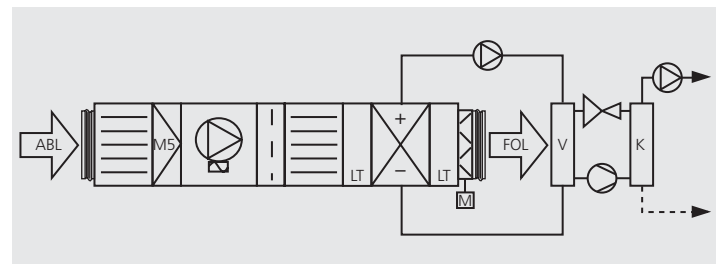
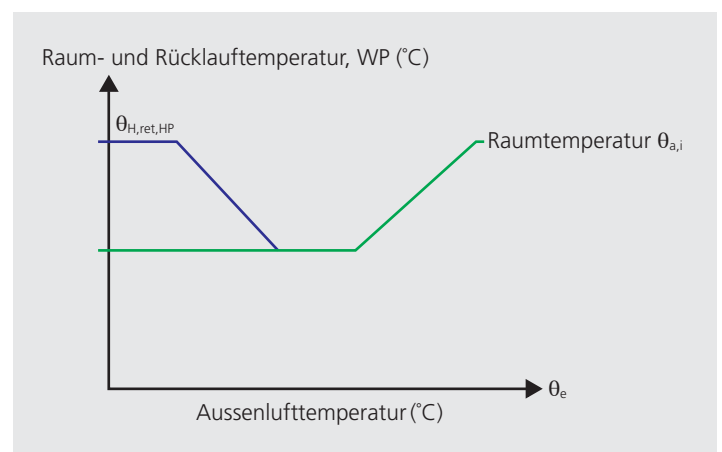


Abbildung 137:
Fortluftvolumen-
strom in
Abhängigkeit der
WP-Wärmeleistung
respektive der
Aussentemperatur



ABL	Abluft
AUL	Aussenluft
FOL	Fortluft
ZUL	Zuluft
RAL	Raumluft
AWN	Abwärmenutzung
WRG	Wärmerückgewinnung
WP	Wärmepumpe
WW	Warmwasser
GA	Gebäudeautomation

		Nach SIA 382/1
Quelle	Abluft	Klassierung der Abluft
Umwandlung	Anlage mit: ■ ABL-Ventilator ■ WRG respektive Abwärmenutzung (AWN)	
Speicherung	■ keine	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalssystem	
Raum	■ Abluftabführung	Klassierung der Raumlufte bzw. Zuluft
Bemerkungen	Fortluft als Quelle einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ■ Die Fortluft (FOL) dient als Energiequelle und wird direkt in die Luft-Wasser-Wärmepumpe geleitet, wo ihr die Wärme entzogen wird. Fortluft-Wärmetauscher als Quelle der Sole-Wasser-Wärmepumpe ■ Die Fortluft gibt die Wärme an einen Wärmeübertrager ab. Die Wärme aus der Fortluft wird mit einem Wassersystem an die Sole-Wasser-Wärmepumpe abgegeben. ■ Bei der Abluftanlage muss die Nachströmung der Ersatzluft beachtet und definiert werden. ■ Bei reinen Abluftanlagen sind die Druckverhältnisse im Gebäude genau zu betrachten (ausgeglichene Luftbilanzen).	

*Tabelle 63:
Spezifikationen zur
Abluftanlage mit
Abwärmenutzung.*

Einfache Lüftungsanlage Lüftungsanlage mit Lufterwärmung (mit WRG über Plattenwärmetauscher)

Aufgabe: Gebäude, in denen der Luftaustausch ohne zusätzliche mechanische Kühlung und ohne Feuchtekontrolle erfolgen kann, werden mit einfachen Lüftungsanlagen ausgerüstet.

Ob Wohn-, Büro- oder Gewerbe-Bauten: die einfache Lüftungsanlage mit oder ohne zusätzliche Lufterwärmung nach der Wärmerückgewinnung ist der am häufigsten anzutreffende Lüftungsanlagentyp. Die Luftzuführung in die Räume erfolgt am einfachsten mit einer sogenannten Quelllüftung.

Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp kann ein- oder mehrstufig betrieben werden, entsprechend dem tatsächlichen Bedarf. (Stufe 0 – I – II – III, auch drehzahlreguliert).

Sollwertregelung: Die Anlage wird entsprechend den definierten Regelparametern betrieben. Dies können sowohl definierte Betriebszeiten, Anwesenheitskriterien (Bewegungsmelder etc.) respektive Kriterien wie eine zu hohe CO_2 - (VOC-) Konzentration bis hin zu zu hohen Raumluftfeuchtwerten (Raum «ausspülen») sein.

Die AUL wird durch die Filterstufe über die WRG geführt und danach mittels Ventilator ohne weitere Behandlung dem Raum zugeführt. Die heute sehr guten WRG-Systeme erlauben eine Rückwärmezahl von 80 % bis 88 %, was eine weitere Lufterwärmung oft unnötig erscheinen lässt. Die ZUL wird über die Bypass-Klappensteuerung soweit möglich geregelt. Sollte eine Lufterwärmung nach der WRG notwendig sein, wird diese in Sequenz zur WRG zu- oder weggeschaltet. Die Regulierung erfolgt über das Regelventil des Lufterwärmers im Heizungskreislauf.

Abbildung 138:
Einfache Lüftungs-
anlage

- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung mit Durchgangsventil oder Beimischschaltung am Lufterwärmer
- Filterstufen in der Aussen- und in der Fortluft so wählen, dass eine sinnvolle Instandhaltung möglich ist, d.h. möglichst gleiche Filter.
- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Defroster über Erdluftansaug
- Plattenwärmetauscher Dichtheit definieren.
- Gebäudeautomation sorgfältig prüfen.

Einsatz

- Administrations- und Dienstleistungsbauten
- Spitäler (Bettenzimmer, Behandlungsräume, etc.)
- Produktionsbetriebe mit entsprechenden Produkten
- Wohnbauten

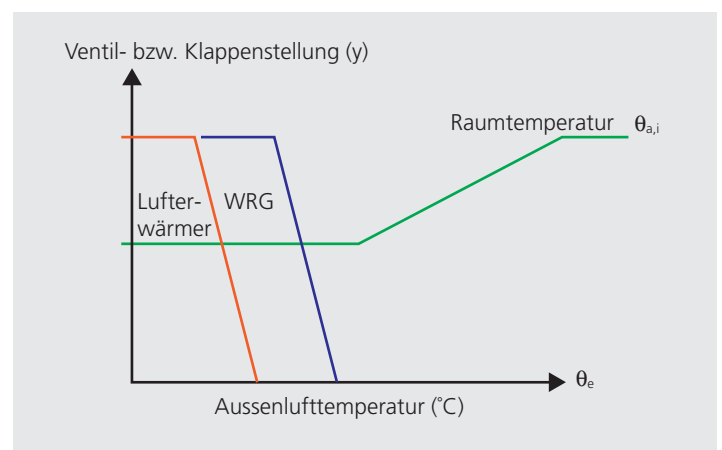
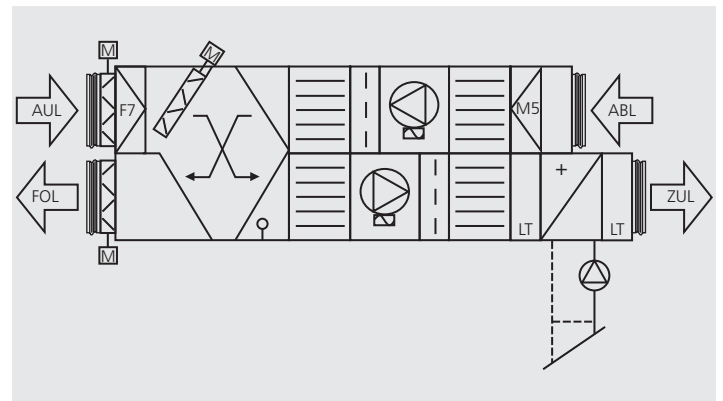


Abbildung 139:
Ventilstellung bzw.
Klappenstellung in
Abhängigkeit des
Lufterwärmers und
der WRG

Besonders zu beachten

- Kondenswasser-Siphon mit Nachfülldeckel versehen (Kontrolle, ob der Siphon austrocknet).

		Nach SIA 382/1
Quelle	Aussenluft	Klassierung der Aussen-, Fort- und Abluft
Umwandlung	Lüftungsanlage mit: ■ ZUL- und ABL-Ventilator ■ WRG respektive Abwärmenutzung (AWN) ■ Filtern der Zuluft ■ Heizen (bei Anlagen mit Lufterwärmung)	
Speicherung	■ Entsprechend den bauphysikalischen Gegebenheiten und Konstruktionen im Baukörper selbst	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalsystem mit konstantem oder variablem Volumenstrom	
Raum	Lufteinbringung: ■ Komfortbereich oft nach dem Quell-luftprinzip ■ Produktionsbetriebe: Oft Mischlüftung, um den ganzen Raum gleichmässig zu konditionieren.	Klassierung der Raumluft bzw. Zuluft
Bemerkungen	Übliche Lüftungsanlage für Wohn und Nichtwohnbaute	

*Tabelle 64:
Spezifikationen zur
einfachen Lüftungs-
anlage.*

Lüftungsanlage mit Lüfterwärmung und Luftbefeuchtung (mit WRG über Plattenwärmetauscher)

Aufgabe: Gebäude in denen der Luftaustausch ohne zusätzliche mechanische Kühlung aber mit Luftbefeuchtung erfolgen soll, werden mit einer Lüftungsanlage mit Lüfterwärmung und Luftbefeuchtung ausgerüstet. Die Luftzuführung in die Räume erfolgt oft mit Mischluftauslässen oder mit Quelllüftung.

Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp kann ein- oder mehrstufig betrieben werden, entsprechend dem tatsächlichen Bedarf (Stufe 0 – I – II – III, auch drehzahlreguliert).

Sollwertregelung: Die Anlage wird entsprechend den definierten Regelparameter betrieben. Dies können sowohl definierte Betriebszeiten, Anwesenheitskriterien (Bewegungsmelder etc.) respektive Kriterien wie eine zu hohe CO_2 - (VOC-) Konzentration oder zu tiefen Raumluft-

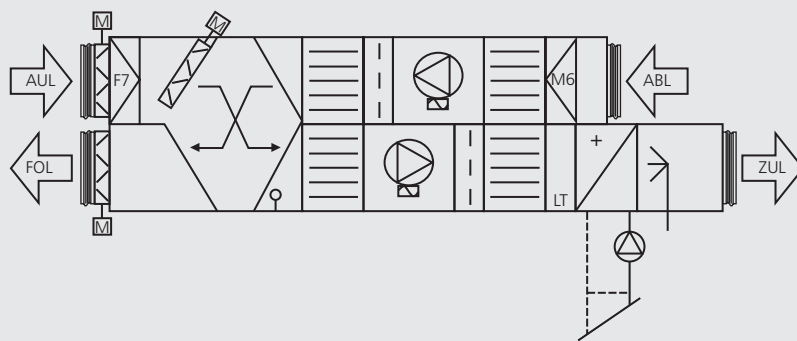
feuchtwerten (Raum «ausspülen») sein. Aussenluft wird durch die Filterstufe über die WRG und danach mittels Ventilator in den Raum geführt. Die heute sehr guten WRG-Systeme erlauben eine Rückwärmzahl von über 80 %. Die ZUL wird über die WRG-Bypass-Klappensteuerung geregelt. Die Luftnacherwärmung wird in Sequenz zur WRG zu- oder weggeschaltet. Die Regulierung erfolgt über das Regelventil des Lüfterwärmers im Heizungskreislauf. Die Luftbefeuchtung wird im Winter auf maximal 5 Gramm Wasser pro Kilogramm Luft dimensioniert. Die Verdampfungsenergie wird je nach Befeuchter-Prinzip der Luft entzogen (adiabatische Systeme) oder es wird direkt ein Dampfbefeuchter eingesetzt.

Besonders zu beachten

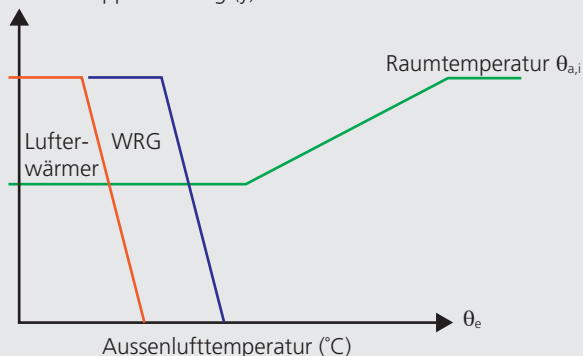
- Kondenswasser-Siphon mit Nachfülldeckel versehen (Kontrolle, ob Siphon austrocknet).
- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung oder mit Durchgangsventil oder Beimischschaltung am Lüfterwärmer

Abbildung 140:
Lüftungsanlage mit
Lüfterwärmung und
Luftbefeuchtung

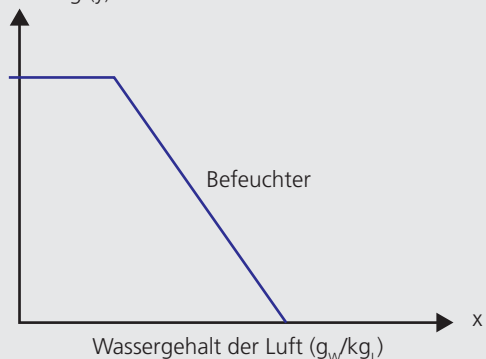
Abbildung 141:
Ventil- bzw. Klap-
penstellung in
Abhängigkeit des
Lüfterwärmers und
des Befeuchters



Ventil- bzw. Klappenstellung (y)



Ventilstellung (y)



- Filterstufen in der Aussen- und in der Fortluft so wählen, dass eine sinnvolle Instandhaltung möglich ist, d.h. möglichst gleiche Filter.
- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Defroster prüfen mit Meteodaten bzw. Erdluftansaug vorsehen.
- Plattenwärmetauscher Dichtheit definieren.
- Allenfalls angemessene Gebäudeautomation.

Einsatz

- Administrations- und Dienstleistungsbauten
- Spitäler (Bettenzimmer, Behandlungsräume, etc.)
- Produktionsbetriebe mit entsprechenden Produkten

		Nach SIA 382/1
Quelle	Aussenluft	Klassierung der Aussen-, Fort- und Abluft
Umwandlung	Lüftungsanlage mit: ■ ZUL- und ABL-Ventilator ■ WRG respektive Abwärmenutzung (AWN) ■ Filtern der Zuluft ■ Heizen ■ Befeuchten	
Speicherung	■ Entsprechend den bauphysikalischen Gegebenheiten und Konstruktionen im Baukörper selbst.	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalsystem mit konstantem oder variablem Volumenstrom	
Raum	Lufteinbringung: ■ Komfortbereich oft nach dem Quellluftprinzip ■ Produktionsbetriebe: Oft Mischlüftung um den ganzen Raum gleichmässig zu konditionieren.	Klassierung der Raumluft bzw. Zuluft

*Tabelle 65:
Spezifikationen zur
Lüftungsanlage mit
Lufterwärmung und
Luftbefeuchtung.*

Einfache Klimaanlage Klimaanlage mit Luftbefeuchtung (mit Wärmerad)

Aufgabe: Gebäude in denen der Luftaustausch mit zusätzlicher gezielter Kühlung und mit Luftbefeuchtung erfolgen soll, werden mit einer einfachen Klimaanlage mit Lufterwärmung, Luftkühlung und Luftbefeuchtung ausgerüstet.

Die Luftzuführung in die Räume erfolgt oft mit Mischluftauslässen oder vorzugsweise mit Quellaftung. Oft werden solche Anlagen auch in Kombination mit Kühldeckensystemen gebaut.

Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp wird in der Regel drehzahlreguliert betrieben, entsprechend dem tatsächlichen Bedarf (drehzahlreguliert oder auch Stufe 0 – I – II – III).

Sollwertregelung: Die Anlage wird entsprechend den definierten Regelparametern betrieben. Dies können sowohl definierte Raumtemperaturen, Betriebszeiten, Anwesenheitskriterien (Bewegungsmelder etc.) respektive Kriterien wie eine zu hohe CO₂- (VOC-) Konzentration oder zu tiefe Raumluftfeuchtwerten (Raum «ausspülen») sein.

AUL wird durch die erste Filterstufe über die WRG geführt. Nach der Luftaufbereitung wird sie mittels Ventilator über die zweite Filterstufe dem Raum zugeführt. Die heute sehr guten WRG-Systeme erlauben eine Rückwärmezahl von normalerweise über 80 %. Die ZUL wird über die WRG-Rotorumlaufgeschwindigkeit geregelt. Die Luftnacherwärmung wird in Sequenz zur WRG zu- oder weggeschaltet. Die Regulierung erfolgt über das Regelventil des Lufterwärmers im Heizungskreislauf. Die Luftbefeuchtung wird im Winter auf maximal 5 Gramm Wasser pro Kilogramm Luft dimensioniert. Eine gezielte Entfeuchtung ist nicht vorgesehen. Die Kaltwassertemperaturen sollen über 14°C betragen (Energieeffizienz, siehe dazu SIA 382/1).

Die Verdampfungsenergie wird je nach Prinzip der Luft entzogen (adiabatische

Systeme) oder es wird direkt mit einem Dampfbefeuchter befeuchtet.

Besonders zu beachten

- Wasserqualität für die Luftbefeuchtung
- Kondenswasser-Siphon mit Nachfülldeckel versehen (Kontrolle austrocknen des Siphon)
- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung mit Durchgangsventil am Luftkühler
- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung mit Durchgangsventil am Lufterwärmer
- Filterstufen in der Aussen- und in der Fortluft so wählen, dass eine sinnvolle Instandhaltung möglich ist, d.h. möglichst gleiche Filter.
- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Defroster prüfen mit Meteodaten.
- Pumpenkaltwassertemperaturen der Entfeuchtung entsprechend wählen (z. B. 10°/ 16°C).
- Anordnung der Ventilatoren beachten in Bezug auf die Druckverhältnisse an der WRG und deren Leckluftrate (Undichtheit des Systems).
- Sinnvolle und angemessene Gebäudeautomation

Einsatz

- Administrations- und Dienstleistungsbauten
- Spitäler
- Produktionsbetriebe mit entsprechend sensiblen Produkten

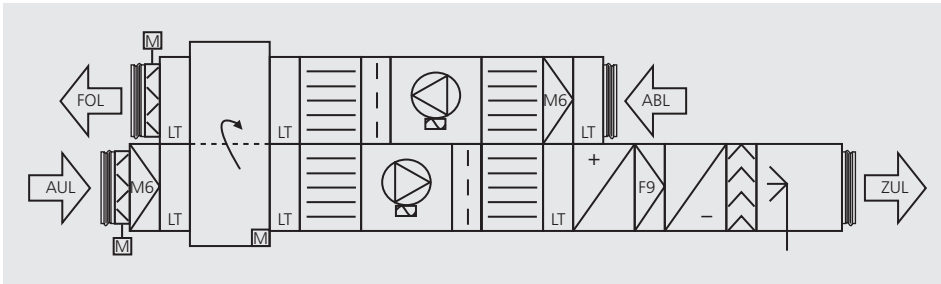
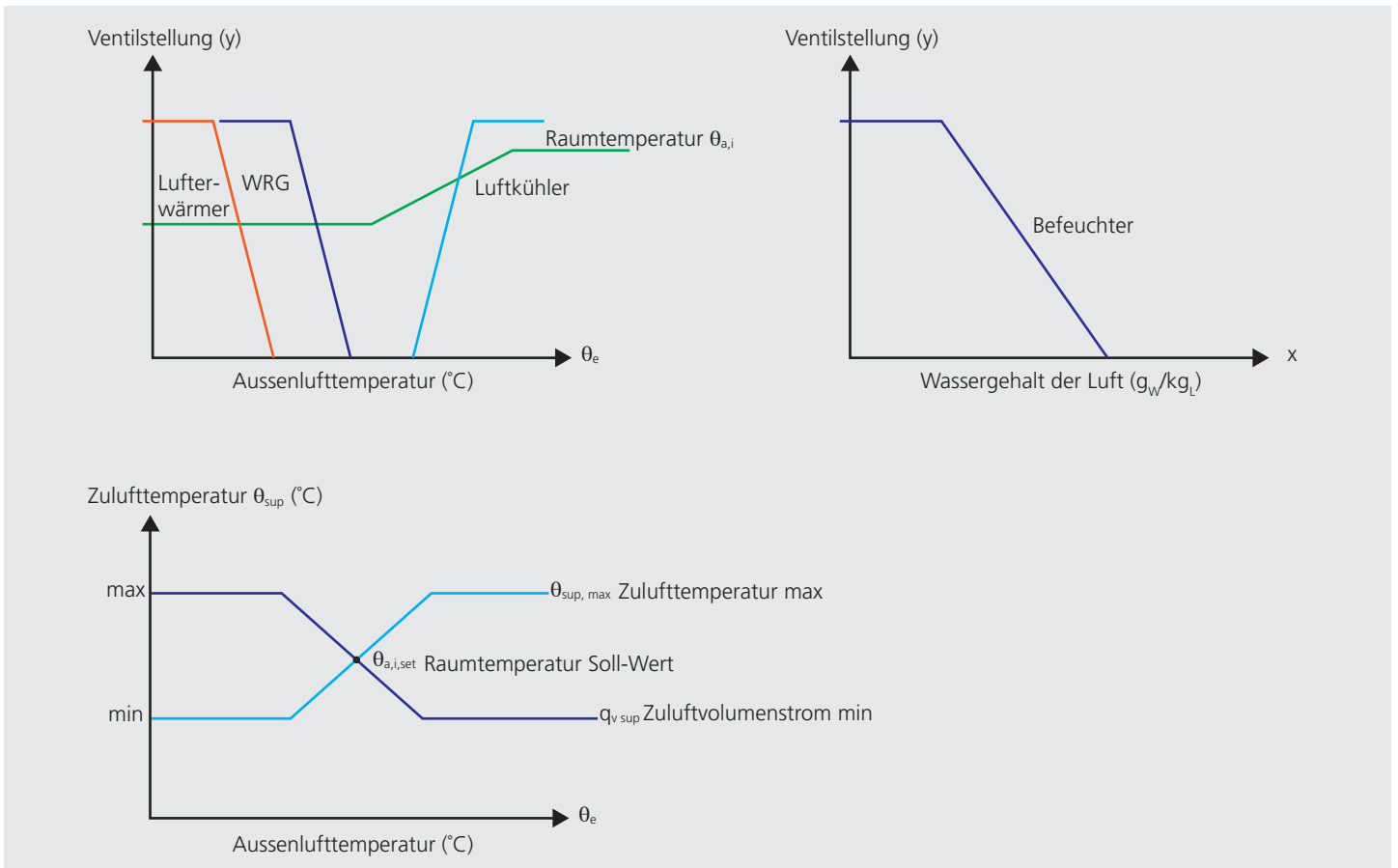


Abbildung 142: Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung

Abbildung 143: Ventilstellung bzw. Wärmeradgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Lufterwärmung, -kühlung und des Befeuchters (oben) sowie Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur bzw. Raumtemperatur



		Nach SIA 382/1
Quelle	Aussenluft	Klassierung der Aussen-, Fort- und Abluft
Umwandlung	Klimaanlage mit: ■ ZUL- und ABL-Ventilator ■ WRG respektive Abwärmenutzung (AWN) ■ Filtern der Zuluft ■ Heizen ■ Kühlen ■ Befeuchten (bei Anlage mit Luftbefeuchtung) ■ Entfeuchten, abhängig von der PKW-Temperatur (PKW: Pumpenkaltwasser)	
Speicherung	■ Entsprechend den bauphysikalischen Gegebenheiten und Konstruktionen im Baukörper selbst.	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalssystem mit konstantem oder variablem Volumenstrom ■ Zweikanalanlagen mit konstantem oder variablem Volumenstrom (meist Bestandsanlagen) und differenziert nach Hochdruck oder Niederdruckanlagen. ■ Ältere Bestandsanlagen mit Luft-Wasser-Systemen, zum Teil älter als 30 Jahre	
Raum	Lufteinbringung: ■ Komfortbereich oft nach dem Quellluftprinzip ■ Produktionsbetriebe: Oft Mischlüftung, um den ganzen Raum gleichmässig zu konditionieren. ■ Reinnräume oft nach dem Turbulenzarmen Verdrängungsprinzip (Laminar-Flow) ■ Induktionsgeräte mit respektive ohne variablem Luftvolumenstrom, passend zu den Luft-Wasser-Systemen	Klassierung der Raumluft bzw. Zuluft
Bemerkungen	■ Klimatisierung bedeutet auch immer eine sorgfältige Prüfung, ob mit Wassersystemen Kühlleistung erbracht werden kann – energetische Optimierung mit z. B. Bauteilkühlung, Kühldecken-systemen, etc. ■ Zweikanalanlage: Die Zuluft wird mit zwei Kanälen geführt – mit einem Warmluftkanal (ca. 28 °C) und einem Kaltluftkanal (ca. 16 °C). Vor jeder Zone respektive Büro wird über eine Mischbox die im Raum gewünschte individuelle Temperatur eingestellt und an den Raum abgegeben. Solche energieintensive und technisch aufwändige Anlagen werden heute im Komfortbereich nicht mehr gebaut. ■ Die Ventilatoranordnung hat einen massgebenden Einfluss auf die Leckage (Übertragung von Abluft auf die Zuluft) und muss je nach Verwendungszweck sorgfältig geplant werden.	

*Tabelle 66:
Spezifikationen zur
einfachen Klima-
anlage.*

Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung (mit Kreislaufverbund Wärmerückgewinnung)

Aufgabe: Gebäude in denen der Luftaustausch mit zusätzlicher Kühlung und Raumluftfeuchtekontrolle erfolgen soll, werden mit einer Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung ausgerüstet.

Die Luftzuführung in die Räume erfolgt oft mit Mischluftauslässen oder vorzugsweise mit Quellaftung. Oft werden solche Anlagen auch in Kombination mit Kühldecken-systemen gebaut.

Betriebsstufen: Dieser Anlagentyp wird in der Regel drehzahlreguliert betrieben, entsprechend dem tatsächlichen Bedarf.

Sollwertregelung: Die Anlage wird entsprechend den definierten Regelparameter betrieben. Dies können sowohl definierte Raumtemperaturen, Raumluftfeuchtigkeit, Betriebszeiten, Anwesenheitskriterien (Bewegungsmelder etc.) respektive Kriterien wie eine zu hohe CO₂- (VOC-) Konzentration.

Die AUL wird durch den Luftvorwärmer der WRG («Defroster») und die erste Filterstufe über die WRG geführt. Nach der Luftaufbereitung wird die Zuluft mittels Ventilator über die zweite Filterstufe und Luftnachbehandlung dem Raum zugeführt. Die heute sehr guten WRG-Systeme erlauben eine Rückwärmezahl von über 80 %. Die ZUL wird über das KVS-WRG-Regelventil geregelt. Die Luftnacherwärmung wird in Sequenz zur WRG zu- oder weggeschaltet. Die Regulierung erfolgt über das Regelventil des Lufterwärmers im Heizungskreislauf. Die Luftbefeuchtung wird im Winter auf maximal 5 Gramm, die Luftentfeuchtung im Sommer auf 13,5 Gramm Wasser pro Kilogramm Luft dimensioniert. Um eine gezielte Entfeuchtung zu erreichen, soll die Kaltwassertemperatur rund 6 °C betragen (SIA 382/1). Es ist unumgänglich nach der gezielten Entfeuchtung die Luft nachzuwärmen – oft kann dies mit Abwärme der Kältemaschine realisiert werden.

Die Verdampfungsenergie wird je nach Prinzip der Luft entzogen (adiabatische Systeme) oder es wird direkt mit einem Dampfbefeuchter gearbeitet.

Besonders zu beachten

- Wasserqualität für die Luftbefeuchtung
- Kondenswasser-Siphon mit Nachfülldeckel versehen (Kontrolle, ob Siphon austrocknet).
- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung mit Durchgangsventil am Luftkühler
- Hydraulische Schaltung mit Einspritzschaltung mit Durchgangsventil am Lufterwärmer
- Filterstufen in der Aussen- und in der Fortluft so wählen, dass eine sinnvolle Instandhaltung möglich ist, d.h. möglichst gleiche Filter.
- Leerteile für die Wartung und Reinigung vorsehen.
- Defroster prüfen mit Meteodaten.
- Pumpenwahl beachten – nicht alle Pumpen sind für die Gemische von Glykol und Wasser geeignet.
- Pumpenkaltwassertemperaturen der Entfeuchtung entsprechend wählen (z.B. 6°/12 ° C).
- Sinnvolle und angemessene Gebäudeautomation

Einsatz

- Administrations- und Dienstleistungsbauten
- Spitäler
- Produktionsbetriebe mit entsprechend sensiblen Produkten

		Nach SIA 382/1
Quelle	Aussenluft	Klassierung der Aussen-, Fort- und Abluft
Umwandlung	Klimaanlage mit: ■ ZUL- und ABL-Ventilator ■ WRG respektive Abwärmenutzung (AWN) ■ Filtern der Zuluft ■ Heizen ■ Kühlen ■ Befeuchten ■ Entfeuchten	
Speicherung	■ Entsprechend den bauphysikalischen Gegebenheiten und Konstruktionen im Baukörper selbst	
Verteilung	Luftleitungen: ■ Einkanalssystem mit konstantem oder variablem Volumenstrom ■ Zweikanalanlagen mit konstantem oder variablem Volumenstrom (meist Bestandsanlagen) und differenziert nach Hochdruck oder Niederdruckanlagen ■ Ältere Bestandsanlagen mit Luft-Wasser-Systemen, zum Teil älter als 30 Jahre	
Raum	Lufteinbringung: ■ Komfortbereich oft nach dem Quellluftprinzip ■ Produktionsbetriebe: Oft Mischlüftung, um den ganzen Raum gleichmässig zu konditionieren. ■ Reinräume, oft nach dem turbulenzarmen Verdrängungsprinzip (Laminar-Flow) ■ Induktionsgeräte mit respektive ohne variablem Luftvolumenstrom passend zu den Luft-Wasser-Systemen	Klassierung der Raumluft
Bemerkungen	■ Klimatisierung bedeutet auch immer eine sorgfältige Prüfung, ob mit Wassersystemen Kühlleistung erbracht werden kann – energetische Optimierung mit z. B. Bauteilkühlung, Kühldecken-systemen, etc. ■ Zweikanalanlage: Die Zuluft wird mit zwei Kanälen geführt – mit einem Warmluftkanal (ca. 28 °C) und einem Kaltluftkanal (ca. 16 °C). Vor jeder Zone oder Büro wird über eine Mischbox die im Raum gewünschte individuelle Temperatur eingestellt und an den Raum abgegeben. Solche energieintensive und technisch aufwändige Anlagen werden heute im Komfortbereich nicht mehr gebaut.	

*Tabelle 67:
Spezifikationen zur
Klimaanlage mit
Luftbefeuchtung
und Luftentfeuch-
tung.*

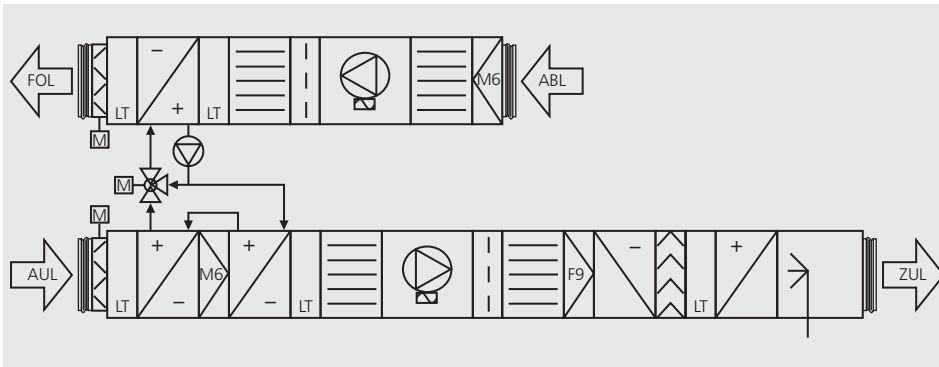
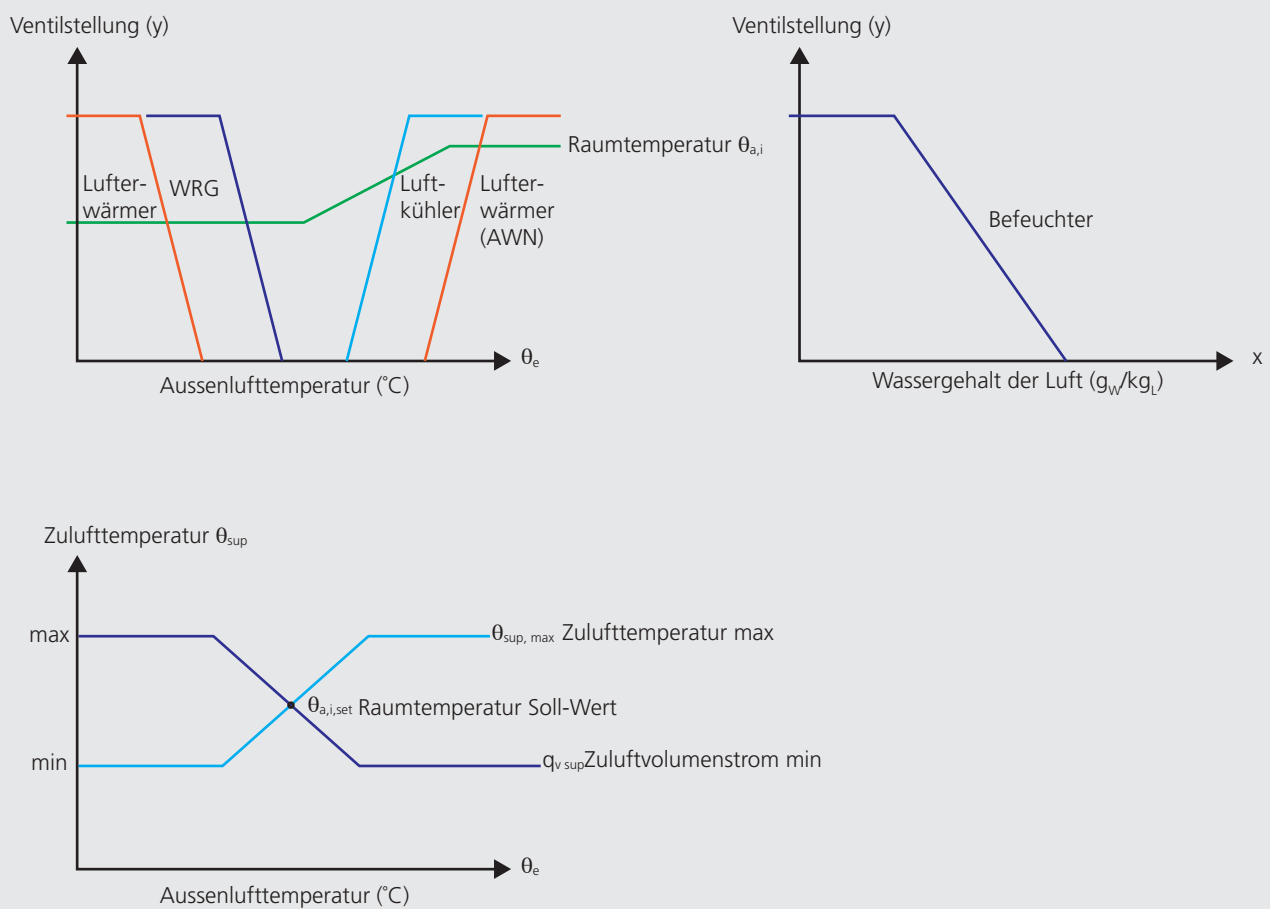


Abbildung 144: Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung

Abbildung 145: Ventilstellung in Abhängigkeit der Lufterwärmung, -kühlung und des Befeuchters (oben) sowie Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur bzw. Raumtemperatur



4.2 Systemwahl

Die Systemwahl erfolgt durch eine sorgfältige Bedarfsabklärung mit nachfolgender Bedarfsminimierung. Lüftungs- und Klimaanlagen werden angemessen automatisiert und vom tatsächlichen Bedarf abhängig geregelt. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf eine integrale Betrachtung zu legen. WRG, AWN, minimale Luftmengen, Regelungen mit Und-oder-Funktionen in Bezug auf Kriterien wie CO₂, Feuchte, Stoff-MAK-Werte können für den optimalen Betrieb herangezogen werden.

♦ Vorgabe

Architektonisches Konzept mit Raumprogramm

♦ Anforderungen an die Räume festlegen

Nutzung

- Belegungszeiten
- Anzahl Personen
- interne Lasten
- Schadstoffquellen
- Lärmpegel

Innenklima

- Raumluftkonditionen mit Extremwerten und Toleranzgrenzen
- Häufigkeit der Überschreitung der Raumlufttemperatur im Sommer
- minimaler Aussenluftvolumenstrom
- maximaler Luftgeschwindigkeit im Raum
- Anforderungen an Luftqualität (MAK-Werte, Staub, Keime)
- Sicherheitsanforderungen (z. B. definierter Overflow für Operationssaal)

Andere Kriterien

- Beleuchtung
- Tageslichtnutzung
- Sonnenschutz
- Aussenlärm
- Nutzungsbeschränkung (Wand, Boden, Decke, Geräte)
- dynamisches Verhalten des Gebäudes

♦ Bildung der Zonen

Räume können zu Zonen zusammengefasst werden.

- funktionelle Abhängigkeit

- gleiches Innenklima
- gleiche Nutzung
- gleiche Aussenkühllast
- gleiche Luftreinheitsanforderungen
- gleiche Sicherheitsanforderungen

♦ Flexibilität und zukünftige Entwicklung

Die Nutzungsänderungen betreffen oft:

- innere Abwärme durch Maschinen und Geräte
- Personenbelegung
- Luftreinheitsanforderungen
- andere Nutzungsbeschränkungen

Die Wahl der Flexibilitätsstrategie erfolgt in Absprache zwischen Planungsteam und Bauherrschaft.

♦ Wahl der Lufteinführung

- Grenzen in Bezug auf die abzuführende Kühllast beachten.
- Anforderungen an die Luftreinheit
- Nutzungsflexibilität
- Komfort

♦ Wahl des Lüftungs-Klimasystems inkl. Regelung

- funktionelle Kriterien (z. B. Lastschwankungen)
- technische Kriterien (z. B. Platzbedarf)
- finanzielle Kriterien (z. B. Investitionskosten, Energiekosten, Unterhaltskosten)

♦ Wahl des Wärmerückgewinnungssystems

♦ Wahl des Messkonzeptes

4.3 Wärmerückgewinnung

Die WRG entnimmt der Fortluft Wärmeenergie und führt diese der zu erwärmenden (kühlen) Aussenluft zu. Ein Prozessvorgang, welcher in einer Lüftungsanlage stattfindet. Die anfallende Wärme kann sofort wieder verwendet werden.

Die AWN führt der Aussenluft Wärme- respektive Kälteenergie zu, ein entsprechend prozessübergreifender Vorgang. Oft wird es bei der AWN nötig, technische Zwischenspeicher zu schaffen, da die Nutzung nicht unmittelbar erfolgt. Ein klassisches Beispiel ist die Abwärme einer gewerblichen Kältemaschine. Diese Wärme wird in einem technischen Speicher eingelagert, um danach wieder verwendet zu werden.

Anmerkung: Die Wärmepumpe kann sowohl für WRG- als auch für AWN-Funktionen eingesetzt werden. Umluft gilt nicht als WRG.

WRG-Systeme mit Austauschflächen werden auch als **rekuperative WRG-Systeme** bezeichnet. Sie übertragen vorwiegend fühlbare Wärme.

- Platten- und Rohr-Wärmeübertrager
- Kreislaufverbundsysteme (Wasser-Glykol-Systeme)
- Heat Pipe (Wärmerohr)
- Wärmepumpe

WRG-Systeme mit Speichermasse werden auch als **regenerative WRG-Systeme** bezeichnet. Sie übertragen fühlbare und latente Wärme. Damit die latente Wärme übertragen werden kann, muss die Speichermasse entsprechend konfiguriert sein.

- Regenerativ-Wärmeübertrager (rotierendes Wärmerad)

Dichtheit von Systemen

Ein System darf im Maximum 3 % Umluft beinhalten, damit es als dicht gilt. Jedoch auch diese Limite kann ungenügend sein, wenn es sich um RLT-Anlagen handelt, die mit stark kontaminierter Luft arbeiten.

Klassierung der Zuluft (ZUL)

Kategorie nach EN 13779. Beschreibung.
ZUL 1: Die Zuluft enthält mindestens 97 % Aussenluft. ZUL 2: Die Zuluft enthält Aussenluft und einen Umluftanteil von über 3 %.

Tabelle 68: Die gebräuchlichen WRG-Systeme in Komfortanlagen

Plattenwärmeübertrager	Regenerativ-Wärmetauscher (Wärmerad)	Kreislaufverbundsystem	Wärmepumpe
Üblicher Einsatz bis ca. 5 000 m ³ /h	Üblicher Einsatz bis ca. 10 000 m ³ /h	Üblicher Einsatz unbegrenzt	Üblicher Einsatz unbegrenzt
Mit und ohne Feuchterückgewinnung möglich	Mit und ohne Feuchterückgewinnung möglich	Ohne Feuchterückgewinnung	Ohne Feuchterückgewinnung
Filterschutz mit WRG nicht direkt möglich; Erdluft-Wärmeübertrager prüfen	Filterschutz mit WRG nicht direkt möglich; Erdluft-Wärmeübertrager prüfen	Filterschutz direkt möglich; Defrosterschaltung	Filterschutz direkt möglich; Wärmeübertrager vor den ersten Filter
Undicht gegenüber AUL und ZUL, sofern der Wärmeübertrager nicht «dicht» bestellt wird.	Undicht gegenüber AUL und ZUL	Dicht gegenüber AUL und ZUL	Dicht gegenüber AUL und ZUL
Platzierung der Ventilatoren beachten, wegen Leckluft-rate Undichtheit	Platzierung der Ventilatoren beachten, wegen Leckluft-rate Undichtheit	Platzierung der Ventilatoren hat in Bezug auf die Leckluft-rate WRG keinen Einfluss.	Platzierung der Ventilatoren hat in Bezug auf die Leckluft-rate WRG keinen Einfluss.
Ortsfest: ZUL- und ABL-Gerät stehen übereinander.	Ortsfest: ZUL- und ABL-Gerät stehen übereinander.	Ortsunabhängig: ZUL- und ABL-Gerät werden mit dem Kreislaufverbund zusammengeführt.	Ortsunabhängig: ZUL- und ABL-Gerät werden mit dem Kreislaufverbund zusammengeführt.

4.4 Luftförderung und Luftbehandlung

Wirkungsgrad von Ventilatoren

■ Die Beurteilung der Gesamtwirkungsgrade der Ventilatoren stützt sich auf die europäischen Vorschriften, welche von der EU auf der Basis der Directive 2009/125/EC vom 21. Oktober 2009 für Ventilatoren mit einer elektrischen Aufnahmeleistung der Motoren von 125 W bis 500 kW erlassen worden sind.

■ Für Anlagen im Anwendungsbereich dieser Richtlinie sind ausschliesslich Axial- oder Radialventilatoren einzusetzen, welche die ab 2015 geltenden Effizienzanforderungen der EU erfüllen (second tier). Der Einsatz von Querstromgebläsen (crossflow fans) ist auch bei Einhaltung der genannten Anforderungen nur mit spezieller Begründung zulässig.

■ Den Einbaubedingungen und dem Teillastbetrieb der Ventilatoren ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Auslegung soll so erfolgen, dass im ganzen Anwendungsbereich ein möglichst guter Wirkungsgrad erzielt wird.

■ Für energetische Betrachtungen ist der energiegewichtete mittlere Wirkungsgrad unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen massgebend. Zu beachten ist, dass im

Teillastbetrieb die Wirkungsgrade deutlich tiefer liegen.

Spezifische Ventilatorleistung

■ Die spezifische Ventilatorleistung von Zu- und Abluftventilatoren muss die Anforderungen gemäss Tabelle 69 erfüllen. Für allfällige separate Umluftventilatoren gelten SFP 1 bis SFP 2.

SFP steht für Spezifische Ventilatorleistung (specific fan power).

Filterung der Luft

■ Mit der Filtrierung der Aussenluft soll die Staub- und Schadstoffbelastung der Zu-

Tabelle 69:
Effizienz-
anforderungen an
Ventilatoren nach
Kategorien geord-
net. Quelle: SIA
382/1

Kategorie	P_{SFP} W/m ³ /s	P_{SFP} W/m ³ /h
SFP 1 +	< 300	< 0,083
SFP 1	300 - 500	0,083 – 0,14
SFP 2	500 – 750	0,14 – 0,20
SFP 3	750 – 1 250	0,20 – 0,35
SFP 4	1 250 – 2 000	0,35 – 0,56
SFP 5 *	2 000 - 3 000	0,56 - 0,83
SFP 6 *	3 000 - 4 500	0,83 - 1,25
SFP 7 *	> 4 500	> 1,25

* Die Kategorien SFP 5, SFP 6 und SFP 7 werden in der Norm SIA 382/1 nicht verwendet.
SFP: Spezifische Ventilatorleistung

Tabelle 70:
Zuordnung von
Kategorien der
spezifischen Ventila-
torleistung zur
Anlage-Typologie.
Quelle: SIA 382/1

Anlagentyp	SFP-Kategorie			
	Zuluftventilator		Abluftventilator	
	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert
Einfache Zuluftanlage	SFP 1	SFP 1+	-	-
Zuluftanlage mit Lufterwärmung, Umluftkühlgerät	SFP 1	SFP 1+	-	-
Einfache Abluftanlage	-	-	SFP 1	SFP 1+
Abluftanlage mit Abwärmenutzung	-	-	SFP 1	SFP 1+
Einfache Lüftungsanlage	SFP 1	SFP 1+	SFP 1	SFP 1+
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	SFP 2	SFP 1	SFP 1	SFP 1+
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und Luftbefeuchtung	SFP 2	SFP 1	SFP 1	SFP 1+
Einfache Klimaanlage	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1

SFP: Spezifische Ventilatorleistung

und Raumlufte auf das gewünschte Mass reduziert werden. Gleichzeitig werden das Kanalnetz und die Komponenten vor Verunreinigungen geschützt.

■ Die Wahl der Filtrierung ist der jeweiligen Situation anzupassen und soll die Betriebszeiten der Anlage, die Belastung der Aussenluft mit Staub und anderen Luftverunreinigungen sowie die Anforderungen an die Luftqualität im Raum berücksichtigen.

■ Bei Lüftungs- und Klimaanlage für Wohn- und Büroräume werden je nach Kategorie der Aussenluft und angestrebter Raumluftequalität entsprechende Filterstufen empfohlen.

Filterung der Aussenluft respektive der Zuluft

■ Alle Zuluftanlagen, Lüftungsanlagen und Klimaanlage müssen mit einer Filterung der Aussenluft ausgerüstet werden. Mit der Filterung soll die Staub- und Schadstoffbelastung der Zu- und Raumlufte auf das gewünschte Mass reduziert werden. Gleichzeitig werden das Luftkanalnetz und die Komponenten vor Verunreinigungen geschützt.

■ Bei Lüftungs- und Klimaanlage werden je nach Kategorie der Aussenluft und an-

gestrebter Raumluftequalität Filterklassen pro Filterstufe gemäss Tabelle 72 und Tabelle 74 empfohlen.

■ Ohne besondere Vereinbarung gelten bei allen Lüftungs- und Klimaanlage die Anforderungen für RAL 3.

■ Bei Anlagen mit einer Filterstufe sind die Filter vor der WRG anzuordnen. Dabei ist ein Ventilatorantrieb ohne Abrieb einzusetzen (Direktantrieb oder Flachriemen) und es ist besonders darauf zu achten, dass die Filter trocken bleiben. Bei Anlagen mit zwei oder mehr Filterstufen ist die erste Filterstufe vor, die weiteren Filterstufen nach der Luftaufbereitung anzuordnen.

■ Mit geeigneten Massnahmen wie Vorwärmer, genügend Kanallänge, Luft-Erd-Register, usw. ist sicherzustellen, dass die relative Feuchte der Aussenluft vor der ersten Filterstufe in der Regel unter 80 % bleibt.

Empfehlungen zur Tabelle 72

Die Tabelle 72 (SIA 382/1) entspricht der Konsenslösung der europäischen EN 13779-Kommission. Da diese Tabelle nicht der schweizerischen Praxis entspricht und zum Teil unlogisch aufgebaut ist, wird nach einer praxistauglichen nationalen Lösung gesucht. Im Wesentlichen soll für RLT-Anla-

Anlagentyp	Spezifische Ventilatorleistung in W pro m ³ /h			
	Zuluftventilator		Abluftventilator	
Alle Werte in W/m ³ /h	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert
Einfache Zuluftanlage	0,14	0,083	-	-
Zuluftanlage mit Lufterwärmung, Umluftkühlgerät	0,14	0,083	-	-
Einfache Abluftanlage	-	-	0,14	0,083
Abluftanlage mit Abwärmenutzung	-	-	0,14	0,083
Einfache Lüftungsanlage	0,14	0,083	0,14	0,083
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	0,20	0,14	0,14	0,083
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und Luftbefeuchtung	0,20	0,14	0,14	0,083
Einfache Klimaanlage	0,35	0,20	0,20	0,14
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	0,35	0,20	0,20	0,14
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung	0,35	0,20	0,20	0,14

SFP: Spezifische Ventilatorleistung

Tabelle 71:
Spezifische Leistung
von Ventilatoren
für normale Anla-
gen in W/m³/h.
Quelle: SIA 382/1

gen im Komfortbereich folgendes gelten:

■ Jede Anlage hat in der Zuluft mindestens einen F7 Filter. Besondere Beachtung ist der Trockenhaltung der Filter und der Zuluftbelastung durch Keilriemenabrieb zu schenken.

■ Bei zweistufiger Filtrierung ist der Hauptfilter somit mindestens der Klasse F7 entsprechend und der zugehörige Vorfilter der Filterklasse M5.

■ Bei Anlagen mit speziellen Anforderungen an Mensch oder Produkt ist die Luftfiltrierung gezielt festzulegen. So können z.B. gasförmige Verunreinigungen in allen AUL Kategorien vorhanden sein entsprechend muss ein Molekularfilter gezielt, wo erforderlich, eingesetzt werden. Der Molekularfilter hat auch immer einen Vorfilter.

Filterung der Abluft respektive der Fortluft

■ Mit einer Filterung der Abluft können das Luftkanalnetz und die Komponenten in

der Abluft vor Verunreinigungen geschützt werden. Ob dies erforderlich ist, muss objektbezogen beurteilt werden. Wenn eine Filterung der Abluft ausgeführt wird, soll diese mindestens mit einem Filter der Klasse M5 erfolgen.

■ Bei einer Umluftbeimischung muss diese zum Schutz des Systems mindestens mit einem Filter der Klasse M5 versehen werden. Anzustreben ist, dass die Filter der Umluft die gleiche Qualität haben wie die Filter im entsprechenden Hauptstrom.

■ Bei störenden oder schädlichen Emissionen muss die Abluft bzw. Fortluft so weit gereinigt werden, dass ein Ausstoss in die Atmosphäre zulässig ist. Die Anforderungen sind in der LRV festgelegt (LRV: Luftreinhalte-Verordnung).

■ Fetthaltige Abluft muss mit gut zugänglichen und einfach zu pflegenden Fettfiltern gereinigt werden.

Tabelle 72: Empfohlene Filterklassen in Abhängigkeit der geforderten Raumluftqualität. Quelle SIA 382/1

Kategorie der Aussenluft	Filterklassen pro Filterstufe je nach Kategorie der Raumluft			
	RAL 1	RAL 2	RAL 3	RAL 4
AUL 1 (sauber)	F9	F8	F7	M5
AUL 2 (hohe Konzentrationen)	F7 + F9	M5 + F8	M5 + F7	M5 + M6
AUL 3 (sehr hohe Konzentrationen)	F7 + GF* + F9	F7 + GF* + F9	M5 + F7	M5 + M6
*GF = Gasfilter (Molekularfilter, Aktivkohle) respektive chemischer Filter				

Tabelle 73: ZUL-Definitionen nach VDI 6022 Blatt 3

Die ZUL 1 bis ZUL 4 wird entsprechend der VDI 6022 Blatt 3; 2011, Tabelle 6, Zuluftqualitäten in Ergänzung, definiert:			
ZUL 1	hoch	Räume, die von Personen mit erhöhtem Gesundheitsrisiko genutzt werden	Intensiv- und Pflegeräume mit erhöhten Anforderungen
ZUL 2	mittel	Räume für dauerhaften Aufenthalt von Personen	Räume in Seniorenhäusern oder Kindergärten, Klassen-, Büro-, Wohn-, Hotel-, Speise-, Umkleide- und Versammlungsräume, Schwimmbäder, Saunen
ZUL 3	mässig	Räume für zeitlich reduzierten Aufenthalt von Personen	Flure, Wasch-, Kopier-, Server- und Lager Räume mit geringer Belastung, Wäschereien
ZUL 4	niedrig	Räume für stark reduzierte Aufenthaltszeiten	Treppenhäuser, Lagerräume, Toilettenräume
(Zul 5 ist nicht definiert.)			

Luftbefeuchtung: Dimensionierung und Systeme

SIA 382/1 definiert die Luftfeuchtwerte in mechanisch belüfteten Räumen mit Klimaanlagen wie folgt: Innerhalb des typischen Bereiches der Raumlufttemperatur von 21 °C bis 26,5 °C spielt die Verdunstung bei der Temperaturkontrolle des menschlichen Körpers eine untergeordnete Rolle. Entsprechend erstreckt sich der Behaglichkeitsbereich für die absolute Raumluftfeuchte bei Wohn- und Büronutzungen auf Werte zwischen 5 g/kg (untere Grenze im Winterbetrieb; bei einer Raumlufttemperatur von 21 °C entspricht dies einer re-

lativen Raumluftfeuchte von 30 %) und 13,5 g/kg (obere Grenze im Sommerbetrieb; bei einer Raumlufttemperatur von 26,5 °C entspricht dies einer relativen Raumluftfeuchte von 60 %).

Dimensionierungswerte Befeuchtung für übliche Komfortanlagen: Die Grenzwerte der relativen Luftfeuchte (r. F. in %) im Raum sind:

Sommer

70 % relative Feuchte bei 22 °C bis 28 °C

Winter

30 % relative Feuchte bei 19 °C bis 24 °C

Kategorie	Beschreibung	Beispiele
RAL 1	Raumluft mit hoher Luftqualität	
	Luft in Räumen mit besonderen Anforderungen an den Gehalt von Fremd- und Geruchsstoffen in der Raumluft.	Labor- und Produktionsräume für empfindliche Arbeiten bzw. Güter.
RAL 2	Raumluft mit mittlerer Luftqualität	
	Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen und bei denen erhöhte Ansprüche gestellt werden; CO ₂ -Pegel < 950 ppm*, Lüftrate > 36 m ³ /h·Person.	Räume mit speziellen Ansprüchen an Gerüche, insbesondere für eintretende Personen.
RAL 3	Raumluft mit mässiger Luftqualität	
	Luft in Räumen, die dem Aufenthalt von Personen dienen; CO ₂ -Pegel 950 bis 1300 ppm*, Lüftrate 22 bis 36 m ³ /h·Person.	Typische Wohn- und Büroräume
RAL 4	Raumluft mit niedriger Luftqualität	
	Luft in Räumen, in denen sich nur selten oder keine Personen aufhalten sowie Luft in Räumen, in denen geraucht wird.	Lagerräume, Korridore; alle Räume, in denen geraucht wird.
* Die angegebenen CO ₂ -Pegel gelten für einen CO ₂ -Gehalt der Aussenluft von 400 ppm und eine CO ₂ -Emission pro Person von 20 l/h.		

*Tabelle 74: Kategorien der Raumluftqualität (RAL).
Quelle: SIA 382/1*

Art des Gebäudes bzw. Raums	Kategorie	Auslegungswert der relativen Feuchte für Entfeuchtung %	Auslegungswert der relativen Feuchte für Befeuchtung %
Räume, in denen die Feuchte-kriterien durch die Belegung durch Personen bestimmt werden. Besondere Räume (Museen, Kirchen, usw.) können andere Grenzen erfordern.	I	50	30
	II	60	25
	III	80	20
	IV	> 70	< 20

Tabelle 75: Werte zur Auslegung von Anlagen zur Entfeuchtung respektive Befeuchtung

Empfohlene Kriterien für die Dimensionierung von Be- und Entfeuchtung nach SN-EN 15251:

Bei Einsatz von Anlagen zur Be- oder Entfeuchtung werden die in Tabelle 75 dokumentierten Werte als Auslegungswerte unter Auslegungsbedingungen empfohlen. Üblicherweise ist Be- oder Entfeuchtung nur in besonderen Gebäuden wie Museen, Gesundheitseinrichtungen und Papierindustrie erforderlich. Darüber hinaus wird eine Begrenzung der absoluten Feuchte auf 12 g/kg empfohlen.

Achtung: Befeuchten ist mit einem grossen Energieaufwand verbunden.

Befeuchtungssysteme

Der Dampfbefeuchter ist bis heute das meistverwendete Befeuchtungssystem im Bereich der hygienisch anspruchsvollen Anlagen (z. B. Spital). Es wird Reinwasser verwendet, das in der Regel mit einem Druck von 0,5 bar bis 4,0 bar zerstäubt wird. Die Energiezufuhr erfolgt über das Dampfsystem selbst.

Der Kaltdampfzerstäuber bringt das Reinwasser unter 80 bar bis 120 bar Druck

ganz fein in den Luftstrom ein. Diese Systeme erreichen heute einen Hygienestandard wie ein Dampfbefeuchter.

Ultraschallbefeuchter

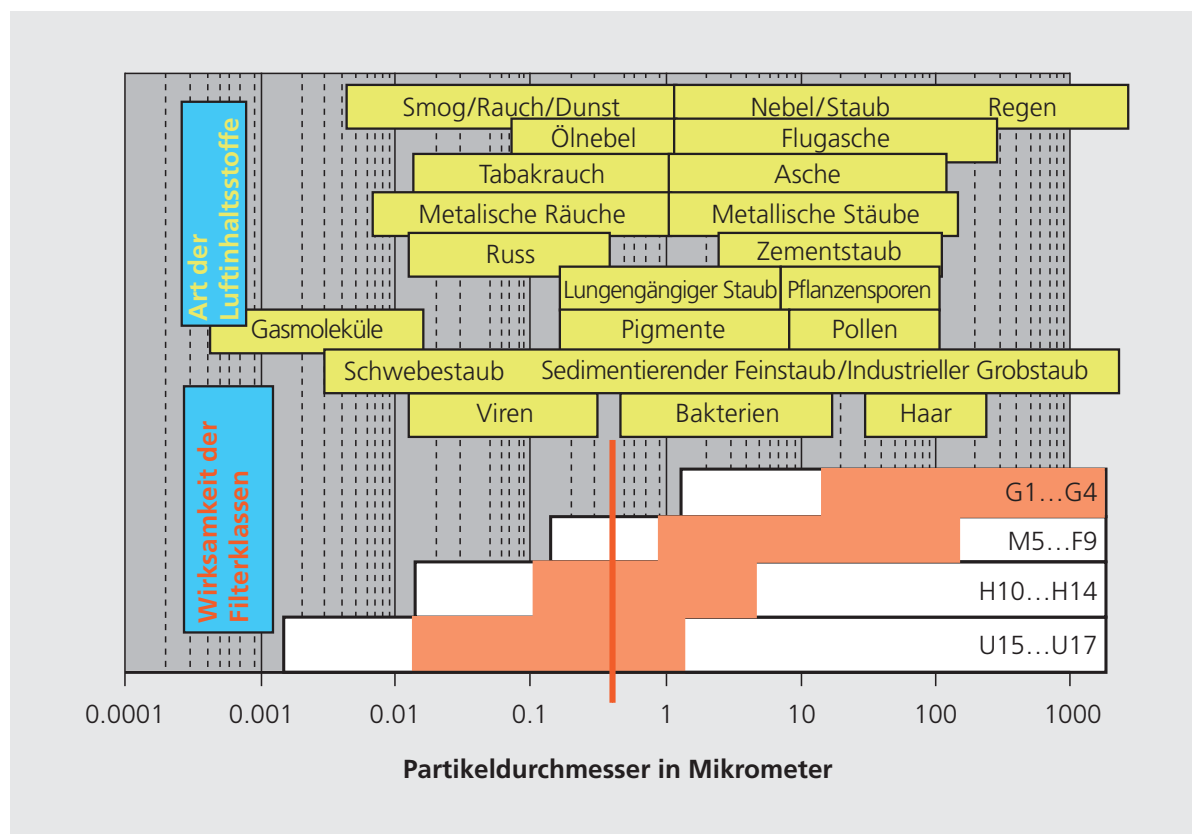
Der Ultraschallbefeuchter zerstäubt das Reinwasser auf einer Membrane im Bereich der Ultraschallfrequenz von über 20 kHz. Hygienisch sind diese Systeme geprüft und bekommen ein gutes Zeugnis.

Der Luftwäscher als eines der ältesten adiabatischen Systeme kommt selten zum Einsatz, da dies hygienische Probleme nach sich ziehen kann. Neuere Untersuchungen zeigen, dass dies bei korrekter Anwendung aber nicht der Fall ist.

Strömungsgeschwindigkeiten in Lüftungsgeräten und Luftverteilungssystemen

Bei Einhaltung der Richtwerte für die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten erfüllen die resultierenden Druckdifferenzen im Allgemeinen die Anforderungen. Entsprechende Werte werden auch in Vorschriften von Kantonen gefordert und

Abbildung 146: Teilchengrösse und Filterwirkung. Quelle: SWKI-Richtlinie VA 101-01, Klassifizierung, Testmethoden und Anwendung von Luftfiltern



müssen in jedem Fall eingehalten werden. Richtwert für die effektive maximale Strömungsgeschwindigkeit in Apparaten (bezogen auf die Nettoflächen): 2 m/s.

Richtwerte für die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms:

■ Im Lüftungsgerät 2 m/s, bezogen auf die Netto-Wärmeübertragerfläche

■ bis	40 m ³ /h:	2.5 m/s
■ bis	1 000 m ³ /h:	3 m/s
■ bis	2 000 m ³ /h:	4 m/s
■ bis	4 000 m ³ /h:	5 m/s
■ bis	10 000 m ³ /h:	6 m/s
■ über	10 000 m ³ /h:	7 m/s

Bei verzweigten Kanalsystemen sind diese Richtwerte im Strang mit dem grössten Druckverlust einzuhalten. In untergeordneten Strängen sind höhere Strömungsgeschwindigkeiten zulässig. Zu beachten sind jedoch die schalltechnischen Konsequenzen.

Der Dichtheit von Luftleitungen ist spezielle Aufmerksamkeit zu widmen. Je nach Qualitätsstufen liegen die Undichtheiten bei mehr als 20 % des Nenn-Volumenstromes.

Brandschutz und Raumluftechnik

■ Im Regelfall werden raumluftechnische Anlagen im Brandfall ausgeschaltet.

■ Das Brandschutzkonzept zum Personen- und Objektschutz ist mit der zuständigen Feuerpolizei abzusprechen.

■ Gemäss der VKF-Brandschutzrichtlinie 26-03d sind luftechnische Anlagen so oft zu reinigen und in Stand zu halten, dass die Betriebsbereitschaft stets gewährleistet ist und keine Brandgefahr entsteht. Brandschutzklappen und Brandfallsteuerungen sind periodisch zu kontrollieren.

■ Der Anlageeigentümer oder Anlagebetreiber ist dafür verantwortlich, dass die luftechnischen Anlagen bestimmungsgemäss in Stand gehalten und jederzeit betriebsbereit sind.

■ Richtlinien dazu gibt die Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) ab.

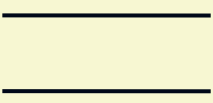
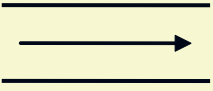
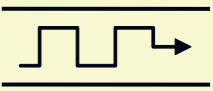
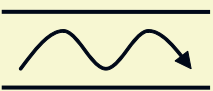
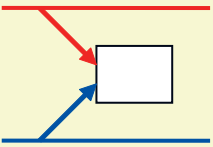
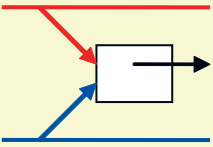
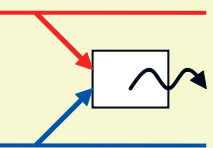
Hygiene

■ Die Hygienerichtlinien nach SWKI sind einzuhalten.

■ Ziel der Hygiene-Bemühungen ist es, dass die Luft durch das RLT-Gerät oder die RLT-Anlage mindestens nicht verschlechtert wird.

SWKI-Richtlinie VA 104-02: Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte – Messverfahren und Untersuchungen bei Hygienekontrollen und Hygieneinspektionen

Tabelle 76: Definitionen Luftverteilungssysteme (Quelle SIA 410; Vernehmlassung 2011)

Symbol	Benennung	Anwendung und Bemerkung
	Einkanalanlage	Einkanal-System: System mit einer Luftleitung (Rohr oder Kanal) an den Versorgungsstellen
	Einkanalanlage mit konstantem Volumenstrom – einstufig	Konstant-Volumenstrom-Anlage (KVS-Anlage) [CAV: constant air volume]: System mit unregelmäßigem oder durch Regelung konstant gehaltenem Volumenstrom an den Versorgungsstellen (Raum). Der Gesamtvolumenstrom, der vom Ventilator gefördert wird, kann dabei durchaus variabel sein. Für eine Leistungsregelung müssen KVS-Anlagen mit einer variablen Zulufttemperatur betrieben werden.
	Einkanalanlage mit konstantem Volumenstrom – mehrstufig	Konstant-Volumenstrom-Anlage (KVS-Anlage) [CAV: constant air volume]: System mit unregelmäßigem oder durch Regelung konstant gehaltenem Volumenstrom an den Versorgungsstellen (Raum). Der Gesamtvolumenstrom, der vom Ventilator gefördert wird, kann dabei durchaus variabel sein. Für eine Leistungsregelung müssen KVS-Anlagen mit einer variablen Zulufttemperatur betrieben werden.
	Einkanalanlage mit variablem Volumenstrom	Variabel-Volumenstrom-Anlage (VVS-Anlage) [VAV: variable air volume]: System mit lastabhängig geregeltem Volumenstrom an den Versorgungsstellen (Raum). Bei VVS-Anlagen ist der Zuluftstrom variabel und die Temperatur konstant.
	Zweikanalanlagen	Zweikanal-System: System mit Zuluftleitungen (Rohre oder Kanäle) unterschiedlicher Luftart oder unterschiedlichen Luftzustandes (z. B. Lufttemperatur) an den Versorgungsstellen (Raum). Nach einer Grundaufbereitung der Aussenluft wird die Zuluft in zwei Kanälen, dem Warm- und dem Kaltluftkanal, gefördert. In diesen zwei Kanälen wird die Zuluft über einen dort angeordneten Erhitzer bzw. Kühler auf unterschiedliche Temperaturen geregelt. Jeder einzelne Luftdurchlass ist über Mischkästen an beide Kanäle angeschlossen. In diesen Mischkästen wird die Warm- und Kaltluft auf die erforderliche Zulufttemperatur gemischt.
	Zweikanalanlagen mit konstantem Volumenstrom	Konstant-Volumenstrom-Anlage (KVS-Anlage) [CAV: constant air volume]: System mit unregelmäßigem oder durch Regelung konstant gehaltenem Volumenstrom an den Versorgungsstellen (Raum). Der Gesamtvolumenstrom, der vom Ventilator gefördert wird, kann dabei durchaus variabel sein. Für eine Leistungsregelung müssen KVS-Anlagen mit einer variablen Zulufttemperatur betrieben werden. Räume mit maximaler Kühllast erhalten nur Kaltluft, Räume mit maximaler Heizlast nur Warmluft, Räume mit Teillast eine Mischung von Kalt- und Warmluft.
	Zweikanalanlagen mit variablem Volumenstrom	Variabel-Volumenstrom-Anlage (VVS-Anlage) [VAV: variable air volume]: System mit lastabhängig geregeltem Volumenstrom an den Versorgungsstellen (Raum). Zweikanalanlagen können im Kühlbetrieb auch mit variablem Volumenstrom betrieben werden. Der Kaltluftkanal wird das ganze Jahr über mit Aussenluft konstanter Temperatur, aber variabler Luftmenge entsprechend der erforderlichen Kühllast betrieben. Bei Unterschreitung der Mindestaussenluft rate wird eine entsprechende Warmluftmenge beigemischt.

Warmwasserversorgung

Reto von Euw 5.1 Aufbau und Komponenten

Arten der Warmwasserversorgung

Eine Warmwasserversorgung umfasst die Wassererwärmungs- und Warmwasserverteilanlage bis zu den Entnahmestellen einschliesslich allfälliger Zirkulationsleitungen.

Einzelversorgung

Eine Einzelversorgung versorgt eine einzelne Warmwasser-Entnahmestelle von einer Wassererwärmungsanlage aus. Dabei handelt es sich um Warmwasserentnah-

mestellen mit geringem Warmwasserbedarf (Wasch- und Spültische) in Industrie- und in Gewerbebauten. Diese können mit Kleinspeicherwassererwärmern (bis ca. 30 l Inhalt) oder Durchflusswassererwärmern versorgt werden. Da in solchen Grossbauten die Warmwasserentnahmestellen verteilt im ganzen Bau verteilt sein können, fallen die Wärmeverluste durch lange Rohrleitungswege weg.

Gruppenversorgung

Die Gruppenversorgung (auch dezentrale Wassererwärmung) beliefert eine Warmwassergruppe von zwei oder mehreren Entnahmestellen von einer Wassererwärmungsanlage aus. Da die Entnahmestellen nahe beieinander liegen, kann auf eine Zirkulationsleitung respektive auf ein Warmhalteband verzichtet werden. Die neue Gesetzgebung lässt eine Gruppenversorgung mit einer direkt-elektrischen Erwärmung in Wohnbauten nur noch in Ausnahmefällen zu. Direkt-elektrische Erwärmung des Warmwassers ist nur noch erlaubt, wenn während der Heizperiode das Warmwasser mit dem Wärmeerzeuger für die Raumheizung erwärmt oder vorgewärmt wird oder wenn das Warmwasser primär mittels erneuerbarer Energie oder mit Abwärme erwärmt wird.

Zentralversorgung

Die Zentralversorgung versorgt sämtliche Warmwasser-Entnahmestellen eines Gebäudes oder einer Gebäudegruppe über ein gemeinsames Leitungssystem von einer zentralen Wassererwärmungsanlage aus. Eine direkt-elektrische Erwärmung des Warmwassers ist in Wohnbauten nicht mehr erlaubt (Mustervorschriften der Kantone, MuKE). Bei Neubauten dürfen zudem höchstens 80 % des zulässigen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser mit nicht erneuerbaren Energien gedeckt werden. Diese Verschärfungen fördern den Einbau von Sonnenkollektoren für die Wassererwärmung.

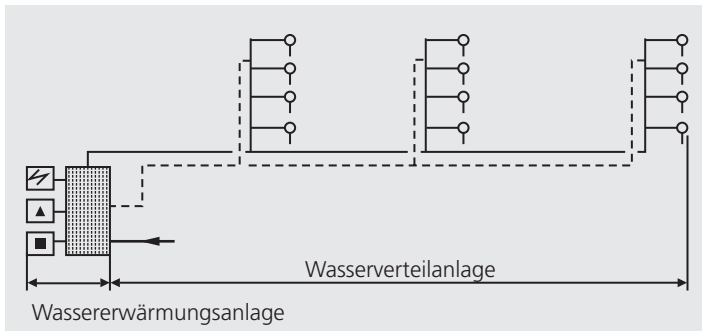


Abbildung 147: Schematische Darstellung einer Warmwasserversorgung

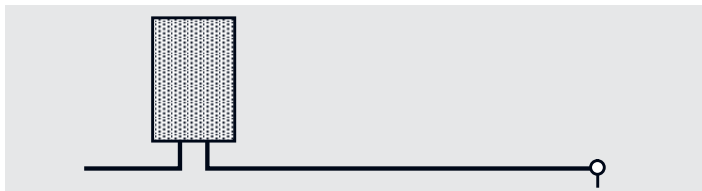


Abbildung 148: Schematische Darstellung einer Warmwasser-Einzelversorgung

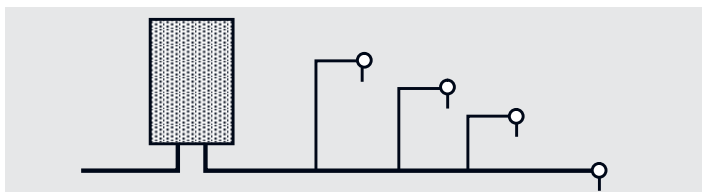


Abbildung 149: Schematische Darstellung einer Warmwasser-Gruppenversorgung

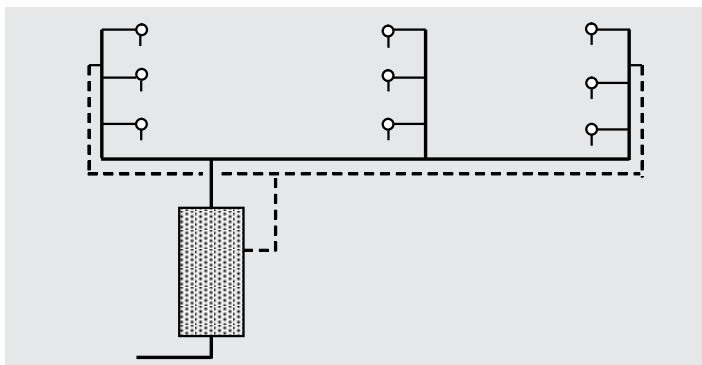


Abbildung 150: Schematische Darstellung einer Warmwasser-Zentralversorgung

Komponenten einer Warmwasserversorgung

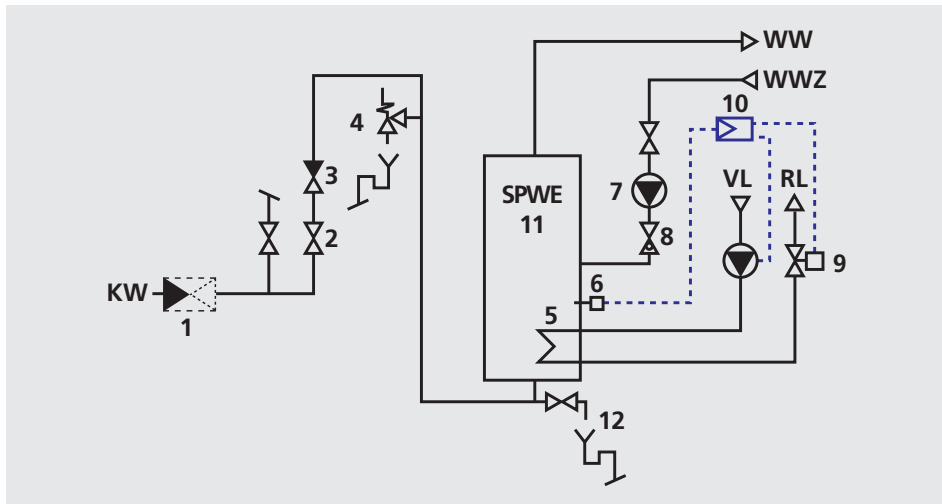


Abbildung 151: Die wichtigsten Komponenten einer Anlage zur Wassererwärmung

- 1 **Druckreduzierventil (DRV)** Sobald zu hohe Wasserdrücke aus dem Versorgungsnetz wirksam sind, muss der Druck reduziert werden. Das Druckreduzierventil vermindert den Wasserdruck aus dem Versorgungsnetz (Vordruck) auf einen niedrigeren Nachdruck.
- 2 **Absperrventil** Dieses Ventil trennt Netzteile voneinander.
- 3 **Rückflussverhinderer (RV)** Der Rückflussverhinderer verhindert die Druckausbreitung ins ganze Kaltwassernetz, welche bei der Erwärmung des Wassers erfolgt.
- 4 **Sicherheitsventil (SV)** Wird kaltes Wasser erwärmt, so steigt durch die Volumenzunahme der Druck im Leitungssystem an. Infolge dessen öffnet das SV und lässt Wasser ab. Sicherheitsventile sind auf einen maximal 1 bar höheren Druck einzustellen als der Ruhedruck. Meistens sind die Sicherheitsventile vom Werk auf einen Druck von 6 bar eingestellt.
- 5 **Wärmeübertrager (WT)** Wärmeübertrager übertragen die Wärme von einem Medium auf ein anderes. Man unterscheidet innenliegende und aussenliegende Wärmeübertrager.
- 6 **Fühler** Fühler erfassen den Ist-Wert und geben diesen dem Regelgerät weiter. Bei Speicherfühlern wird zwischen Speicher-Fühlern und Speicher-Thermostaten unterschieden. Bei Speicher-Fühlern wird der Soll-Wert am Regelgerät eingestellt. Hingegen wird beim Speicher-Thermostat der Soll-Wert am Ort des Speichers direkt eingestellt.
- 7 **Warmwasserumwälzpumpe (oder Zirkulationspumpe)** Die Umwälzpumpe fördert das Warmwasser durch den Zirkulationskreis. Es wird zwischen unregelmäßig und geregelten Umwälzpumpen unterschieden.
- 8 **Abgleichdrossel** Mit der Abgleichdrosselung wird auf den effektiven Betriebspunkt auf der Pumpenkennlinie gefahren.

- 9 **Stellorgan** Stellorgane (z. B. Ventile, Klappen) bestehen aus dem Stellantrieb und dem Stellglied. Das Stellorgan stellt aufgrund des Eingangssignals eine Grösse im Stellglied ein.
- 10 **Regler** Regler bewirken das Einhalten von vorgegebenen Sollwerten.
- 11 **Speicherwassererwärmung (SPWE)** Eine Speicherwassererwärmung (SPWE) ist eine Wassererwärmung in Form eines Behälters mit eingebauten Heizflächen, in denen das Kaltwasser erwärmt und gespeichert wird.

Warmwasserspeicher (WWSP) Ein Warmwasserspeicher (WWSP) ist ein Behälter zum Speichern von Warmwasser ohne eingebaute Heizflächen.
- 12 **Entleerung** Entleerung des Speichers

5.2 Hydraulische Einbindung von WW-Anlagen

Allgemeine Hinweise für die Wassererwärmung

Wählt man eine Standardlösung aus den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE 2008), ist eine kombinierte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser erforderlich (ausser Standardlösung Nr. 4: Holzfeuerung für Heizung und Solaranlage für Warmwasser). Mit einem Leistungszuschlag für die Warmwasserladung wird die gleichzeitige Wärmeerzeugung für den Heizbetrieb und die Warmwasserladung ermöglicht. Dabei ist zu achten, dass:

- bei der Ladung zwischen Winter- und Sommerbetrieb unterschieden werden kann.

- ein modulierender Brenner zum Einsatz kommt oder bei mehreren Wärmeerzeugern bivalente Betriebsweisen berücksichtigt werden.

- hydraulische Massnahmen in der Heizgruppe gegen zu hohe Vorlauftemperaturen vorgenommen werden (z. B. Sicherheitstemperaturbegrenzer für Wärmeabgabesysteme).

Erfolgt kein Zuschlag, so müssen die Heizgruppen während der Warmwasserladung gesperrt werden. Dabei ist zu achten, dass:

- keine Behaglichkeitsprobleme entstehen.

- bei langer Ladephase und bei Nachtabsenkungsmöglichkeit, die Ladung während der Nacht erfolgt.

- bei mehreren Ladephasen gezielte Zwangsladungen berücksichtigt werden.

Im Heizbetrieb kann die Wärmeerzeugung in Abhängigkeit der Witterungsregelung gefahren werden. In diesem Fall muss die Wärmeerzeuger-Vorlauftemperatur während der Warmwasserladung angehoben (z. B. 65 °C) werden.

Wassererwärmungsarten Direkte Wassererwärmung

Die Energieumwandlung erfolgt direkt im Speicherwassererwärmer (SPWE) oder im Durchfluss-Wassererwärmer (DWW). Da-

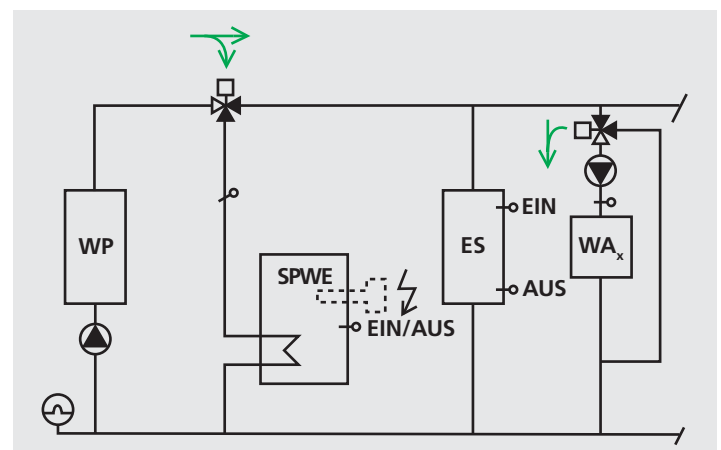
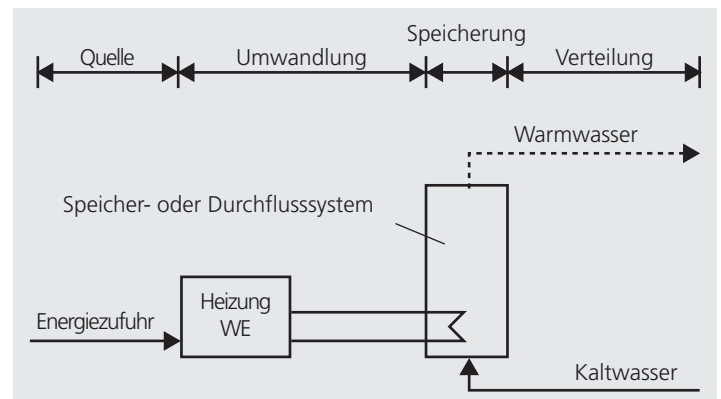
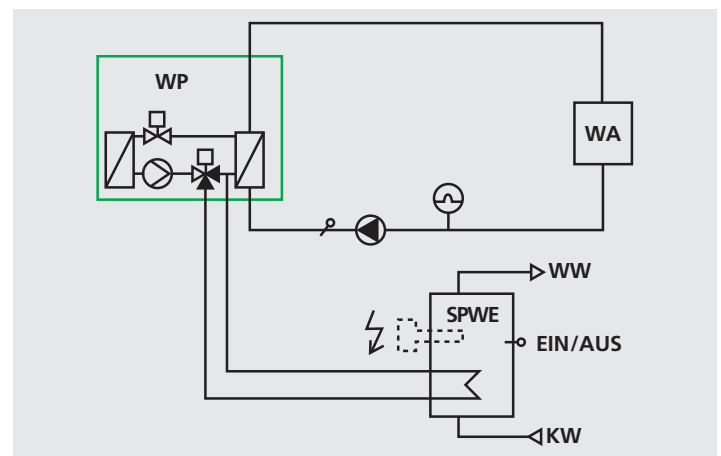
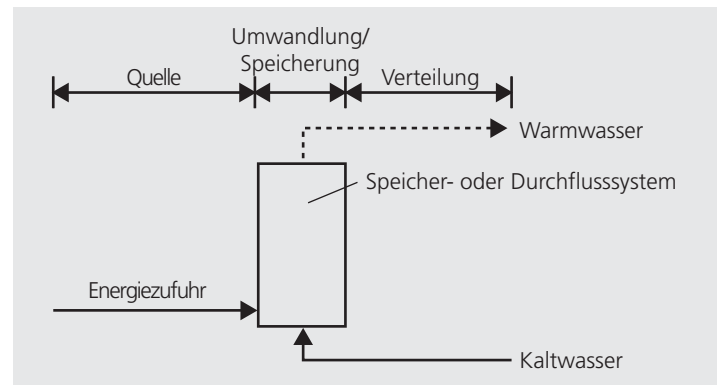


Abbildung 152: Prinzipschema Direkte Beheizung

Abbildung 153: Beispiel Wärmepumpe mit direkter Verflüssigung im SPWE

Abbildung 154: Prinzipschema Indirekte Beheizung

Abbildung 155: Beispiel Wärmepumpe mit indirekter Beheizung des SPWE

bei ist die Umwandlung (Wärmeerzeugung) im Speicher installiert.

Einsatzgebiet

- Mit Elektroeinsatz (direkt-elektrische Erwärmung); bei Einzelversorgung
- Bei Wärmepumpenanlagen möglich
- Bei Abwärmenutzung möglich (z. B. Kältemaschinen) als Vorerwärmung
- Bei Abwasserwärmenutzung (z. B. Feka: Energie aus Abwasser)

Indirekte Wassererwärmung

Die Wassererwärmung erfolgt indirekt über einen Energiemittelträger, in dem Quellenenergie in einem Wärmeerzeuger (Heizkessel) ausserhalb des Speicherwassererwärmers (SPWE) zugeführt wird.

Einsatzgebiet

- Bei Gruppen- und Zentralversorgungen
- In Kombination mit Heizungs- und Warmwasseranlagen

Wassererwärmung mit innenliegenden Wärmeübertragung

Innenliegende Wärmeübertragungen werden bei standardisierten Speicherwasserwärmern am häufigsten eingesetzt. Die Ladung des Wassererwärmers erfolgt mit einer durch den innenliegenden Wärmeübertrager induzierten Konvektion. Der Massenstrom ist über dem Wärmeübertrager konstant und somit erfolgt die Temperaturerhöhung um eine bestimmte Temperaturdifferenz; man spricht von einem hinaufschaukeln der Wassertemperatur. Da diese Speicherladung in Stufen erfolgt, wird sie als Stufenladung bezeichnet.

Vorteile von innenliegenden Wärmeübertragern

- Tiefe RL-Temperaturen; somit sind in der WP tiefe Verflüssigereintrittstemperaturen möglich.

- Gute Arbeitszahlen bei WP, da
- Günstige Bauart
- Kein grosser regeltechnischer Aufwand
- Kontrollierte Ladetemperatur bei Vorlauftemperaturregelung
- Verschmutzungs- respektive Verkalkungsgefahr weniger gross als bei einem aussenliegenden Plattenwärmetauscher.

Nachteile von innenliegenden Wärmeübertragern

- Wärmeübertragung durch Konvektion: schlechter Wärmedurchgangskoeffizient
- Gesamte Speichernutzung nicht möglich (Misch- und Kaltwasserzone)
- Ladetemperatur schwankt bei ungeregelter VL-Temperatur je nach Kesselaustrittstemperatur.
- Anstieg der RL-Temperatur gegen Ende der Ladung
- Soll-Warmwassertemperatur erst gegen Ende des Ladeprozesses vorhanden
- Wärmeübertragerleistung sinkt gegen Ende der Ladung.

Tabelle 77: Vor-dimensionierung eines innenliegenden Glattrohrwärmetauschers (Quelle: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen (Stasch), BFE 2002)

Wärmetauscherbauart	Wärmedurchgangskoeffizient $\text{W/m}^2\text{K}$	Wärmetauscherfläche m^2/kW	Temperaturdifferenz Vor- und Rücklauf K
Glattrohrwärmetauscher	400 bis 600	0,30	6

Mit Ladepumpe und ohne Vorlauf-temperaturregelung

Funktionsweise: Die Temperaturen werden über einen Thermostaten erfasst. Sinkt die Wassertemperatur im Speichererwärmer unter die Soll-Temperatur, schaltet die Ladepumpe ein und lädt den Speicher solange, bis die Soll-Temperatur wieder erreicht ist. Oft wird bei dieser Ladung ein Durchgangsventil eingesetzt. Dieses hat keine Regelfunktion, sondern hat nur eine Auf-Zu-Funktion. Das Durchgangsventil kann auch gegen ein Rückschlagventil ersetzt werden.

Eigenschaften

- Einfache Hydraulik; kleine Investitionskosten
- Kein Verkalkungsschutz, da konstante SPWE-Ladetemperaturen nicht garantiert ist.
- SPWE-Ladung erfolgt mittels Stufenladung (induzierte Konvektionsströme im SPWE).
- Konstante Massenströme über Wärmeerzeuger und über innenliegenden Wärmeübertrager.
- Durch den Einbau des Wärmeübertragers entsteht im Speicher ein nicht zu erwärmendes Volumen (Kalt- und Mischwasserzone).
- Die RL-Temperatur steigt gegen Ende der Ladung an (WP kann in Hochdruckstörung gehen und Brennwertkessel kann die Kondensationswärme nicht mehr nutzen).
- Der Wärmeerzeuger sollte eine VL-Temperatur erreichen, welche mindestens 2 K bis 5 K über dem Sollwert der Speichertemperatur liegt.
- Gegen Ende der Ladung sinkt die Wärmeübertragerleistung.
- Bei einer Vorrangschaltung wird die Wärmeabgabe in den Raum unterbrochen; Anforderungen an die Behaglichkeit berücksichtigen. (Lufterhitzer sollten nicht unterbrochen werden).
- Damit bei der Wärmepumpenwärmeerzeugung keine Hochdruckstörung eintritt, sollte im VL des SPWE-Ladekreis ein Fühler eingesetzt werden. Dieser schaltet die WP ab, sobald die Verflüssiger-Austrittstemperatur erreicht ist.

Abbildung 156:
Anschluss des
innenliegenden
WT mit
Ladepumpe ohne
Vorlaufregelung

Abbildung 157:
Ladezustand in
Abhängigkeit der
Warmwasser-
temperatur

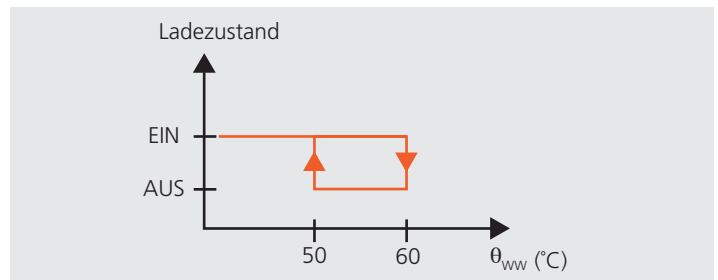
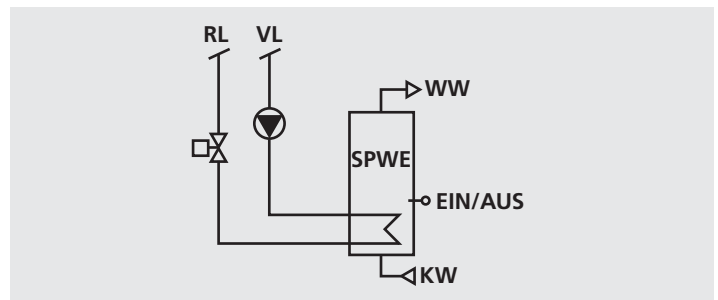


Abbildung 158.
Beispiel
Regelfunktion:
SPWE-Ladeverlauf
mit konstantem
Temperaturhub
(θ_{VL} = variabel),
z. B. bei Wärme-
pumpenladung.

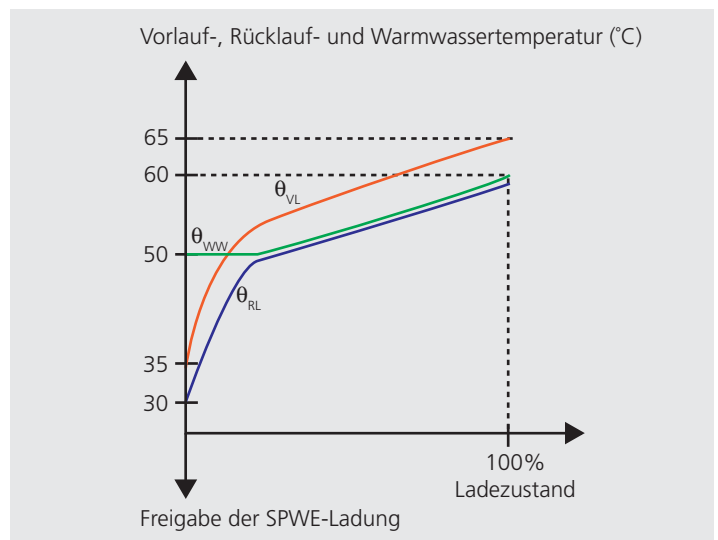
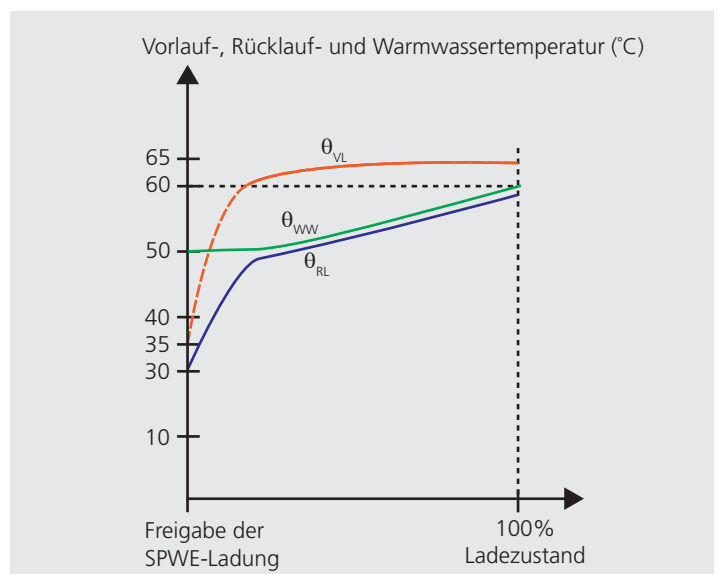


Abbildung 159.
Beispiel Regelfunk-
tion: SPWE-Ladever-
lauf mit konstanter
VL-Temperatur
(θ_{VL} = konstant),
z. B. bei Gas-
brennwertkessel

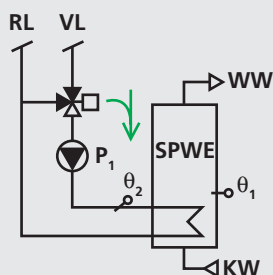


Einsatzgebiet

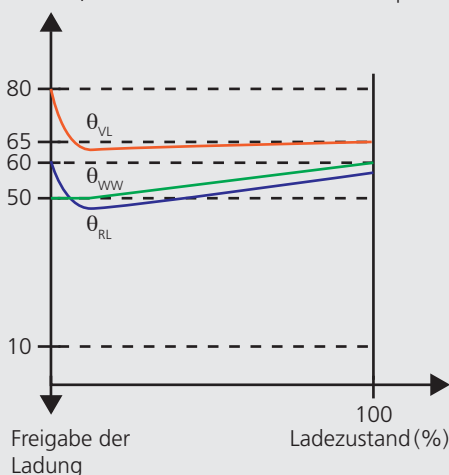
- Wärmepumpenanlagen und Wärmeerzeugern mit einer konstanten SPWE-Ladetemperatur
- Anlagen, bei welchen längere Brauchwasser-Ladezeiten möglich sind.
- EFH und MFH (Erwärmung während den Nachtstunden)

Mit Ladepumpe und mit Vorlauftemperaturregelung

Funktionsweise: Sinkt die Speichertemperatur (θ_1) unter den Sollwert, startet die SPWE-Ladung. Ist die VL-Temperatur nach dem Wärmeerzeuger höher als die SPWE-Ladetemperatur (θ_2), so regelt das 3-Weg-Ventil mittels Beimischung des RL-Heizungswassers auf eine konstante VL-Temperatur (θ_2). Somit wird eine zu hohe Ladetemperatur verhindert und mit dieser eine Kalkausscheidung an dem innenliegenden Wärmeübertrager reduziert. Ist die Speichertemperatur (θ_1) erreicht, schaltet die konstant laufende Umwälzpumpe (P_1) wieder ab.



Vorlauf, Rücklauf- und Warmwassertemperatur (°C)

**Eigenschaften**

Bei nicht konstanten Kessel-VL-Temperaturen werden konstante Temperaturen (θ_2) im SPWE-Ladekreis erreicht.

- Daraus ergibt sich ein Verkalkungsschutz, da konstante SPWE-Ladetemperaturen erreicht werden.
- SPWE-Ladung erfolgt mittels Stufenladung (induzierte Konvektionsströme im SPWE).
- Variabler Massenstrom über dem Wärmeerzeuger möglich
- Konstanter Massenstrom über innenliegendem Wärmeübertrager
- Durch den Einbau des Wärmeübertragers entsteht im Speicher ein nicht zu erwärmendes Volumen (Kalt- und Mischwasserzone).
- Die RL-Temperatur steigt gegen Ende der Ladung an (Brennwertkessel kann die Kondensationswärme nicht mehr nutzen).
- Die VL-Temperatur nach dem Wärmeerzeuger sollte mindestens 2 K bis 5 K über dem Sollwert der Speichertemperatur liegen.
- Gegen Ende der Ladung sinkt die Wärmeübertragerleistung.
- Bei einer Vorrangschaltung wird die Wärmeabgabe in den Raum unterbrochen; Anforderungen an die Behaglichkeit berücksichtigen. (Lufterhitzer sollten nicht unterbrochen werden.)

Einsatzgebiet

- In Anlagen mit gross schwankenden VL-Temperaturen in der Wärmeerzeugung
- Anlagen, bei welchen längere Warmwasser-Ladezeiten möglich sind.
- EFH und MFH (Erwärmung während den Nachtstunden)

Abbildung 160:
Anschluss des innenliegenden WT mit Ladepumpe und Vorlauftemperaturregelung (θ_2)

Abbildung 161.
Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit Vorlauftemperaturregelung (θ_{VL} = konstant), z. B. bei Holzkesselladung.

Wassererwärmung mit aussenliegenden Wärmeübertragung

Im Sekundärkreis (Wassererwärmerkreis) wird mittels Umwälzpumpe (P_2) das Kaltwasser über den aussenliegenden Wärmeübertrager befördert. Das erwärmte Wasser wird im oberen Speicherbereich wieder eingeführt und es folgt eine Speicherladung von oben nach unten; man spricht von einer Schichtladung. Dabei ergibt sich ein Temperatursprung von KW- auf WW-Temperatur innerhalb weniger Zentimeter. Meistens kommen aussenliegende Plattenwärmeübertrager zum Einsatz. Da die Wärmeübertragung in feinen Wasserkanälen erfolgt, kann es bei hartem Wasser zu Verstopfungen kommen. Deshalb sollte die Warmwassertemperatur auf maximal 65°C begrenzt werden oder das Kaltwasser wird enthärtet.

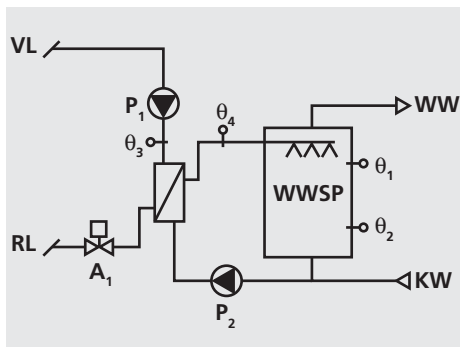


Abbildung 162:
Anschluss des aussenliegenden WT

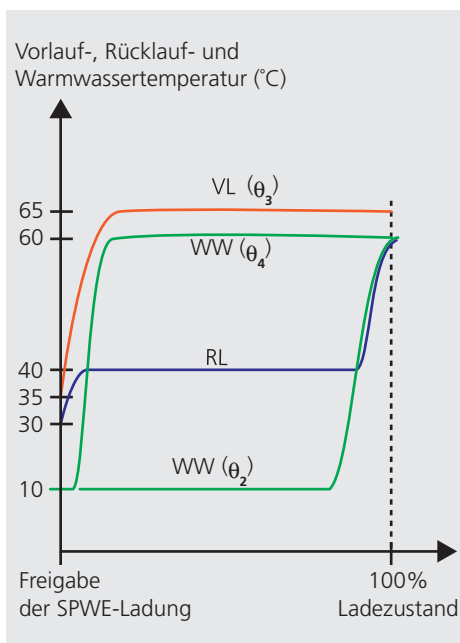


Abbildung 163.
Beispiel Regelfunktion: Speicherladung führt zu einer Schichtladung

Vorteile von aussenliegenden Wärmeübertragern

- Aussenliegende Wärmeübertrager besitzen einen guten Wärmedurchgangskoeffizienten.
- Gesamte Speichernutzung möglich (keine Misch- und Kaltwasserzone).
- Tiefe RL-Temperaturen (Optimal bei Brennwertkessel)
- Kontrollierte Ladetemperatur bei Temperaturhochhaltung im Primär- und Sekundärkreis

Nachteile von aussenliegenden Wärmeübertragern

- Erschwerte Kombination mit Solarenergienutzung (Temperaturmischung kann zerstört werden).
- Gegen Ende der Ladung steigt die RL-Temperatur an.
- Verschmutzungs- respektive Verkalkungsgefahr von Plattenwärmeübertragern
- Höhere Investitionskosten
- Aufwändigere Hydraulik und Regelungstechnik
- Zusätzliche Wärmeverluste des aussenliegenden WT (WT muss gut gedämmt werden).

Wassererwärmung mit aussenliegender Wärmeübertragung ohne Temperaturhochhaltung auf der Primär- und Sekundärseite

Funktionsweise: Wird der Soll-Wert der Speichertemperatur (θ_1) unterschritten, schaltet der Primärkreis (Heizkreis) ein. Der Temperatursensor (θ_3) gibt den Sekundärkreis (Speicherladekreis) frei, sobald die gewünschte VL-Temperatur erreicht ist. Dadurch wird in der Startphase ein Auskühlen respektive Durchmischen im Speicher verhindert.

Damit die Speicher-Ladetemperatur konstant gehalten werden kann, wird anhand des Temperatursensors (θ_4) der Massenstrom auf der Primärseite mittels Durchgangsventil (A_1) geregelt. Mit einem variablen Massenstrom erfolgt eine leistungsgeregelte Wärmeübertragung an den Sekundärkreis. Die Ladung des Speichers

erfolgt von oben nach unten mit einem konstanten Massenstrom einer annähernd konstanten Eintrittstemperatur und niedriger Eintrittsgeschwindigkeit. Mit einem impulsarmen Eintritt in den Warmwasserspeicher verhindert man eine Temperaturdurchmischung. Dies kann mit einem Sprührohr (horizontales Lochrohr) erfolgen.

Eigenschaften

- Kein «Verkalkungsschutz», da konstante SPWE-Ladetemperaturen nicht garantiert ist.
- SPWE-Ladung erfolgt mittels Schichtladung (Magro-System).
- Variabler Massenstrom über Primärkreis
- Konstanter Massenstrom über SPWE-Wärmeübertrager (Sekundärkreislauf)
- Ganzer Warmwasserspeicher kann ausgenutzt werden (keine Kalt- und Mischwasserzone).
- Die RL-Temperatur steigt gegen Ende der Ladung an.
- Gegen Ende der Ladung sinkt die Wärmeübertragerleistung.
- Bei einer Vorrangschaltung wird die Wärmeabgabe in den Raum unterbrochen; Anforderungen an die Behaglichkeit berücksichtigen. (Lufterhitzer sollten nicht unterbrochen werden).
- Tiefe RL-Temperaturen; somit gut geeignet für Brennwertkessel

Einsatzgebiet

- Bei mittlerem und grossem Warmwasserbedarf und bei grossen Warmwasserspitzen
- MFH, Krankenhäuser, Sportzentren, Schwimmbäder, Hotel, etc.

Tabelle 78: Vor-dimensionierung eines aussenliegenden Plattenwärmetauschers (Quelle: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen (Stasch), BFE 2002)

Wärmetauscherbauart	Wärmedurchgangskoeffizient W/m ² K	Wärmetauscherfläche m ² /kW	Temperaturdifferenz Vor- und Rücklauf K
Plattenwärmetauscher	800 bis 1 200	0,15	primärseitig: 6 sekundärseitig: 6

Wassererwärmung mit aussenliegender Wärmeübertragung mit VL-Temperaturregelung auf der Primär- und Sekundärseite

Funktionsweise: Wird die Speichertemperatur (θ_1) unterschritten, schaltet der Primärkreis (Heizkreis) ein. Der Temperaturfühler (θ_3) gibt den Sekundärkreis (Speicherladekreis) frei, sobald die gewünschte VL-Temperatur (θ_3) erreicht ist. Die Temperatur (θ_4) steigt, weil die Förderung über den Bypass (3-Weg-Ventil) erfolgt, bis der Fühler (θ_4) die Soll-Temperatur erreicht. Ist diese erreicht, öffnet das 3-Weg-Ventil auf Durchgang und der Speicher wird geladen. Mit der konstanten Eintrittstemperatur in den Speicher wird eine Auskühlung respektive Durchmischung verhindert. Die Massenströme auf der Primär- und auf der Sekundärseite werden mit einer unregelmässigen Umwälzpumpe (P_1 und P_2) konstant gehalten. Damit beim Speichereintritt keine Aufwirbelung des Wassers entstehen kann, sollte der Speichereintritt mit einem Sprühdorn (horizontales Lochrohr) erfolgen. Liegt die VL-Temperatur nach dem Wärmeerzeuger unter dem Soll-Wert der Ladetemperatur (θ_3), so muss die VL-Temperatur nach dem Wärmeerzeuger (z. B. mittels VL-Temperaturhochhaltung) angehoben werden. Dabei kann auf die VL-Temperaturregelung verzichtet werden.

Abbildung 164: Anschluss des aussenliegenden WT mit VL-Temperaturregelung primär- und sekundärseitig

Eigenschaften

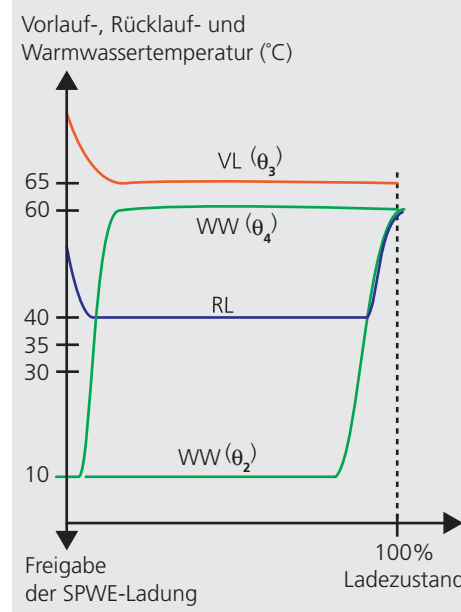
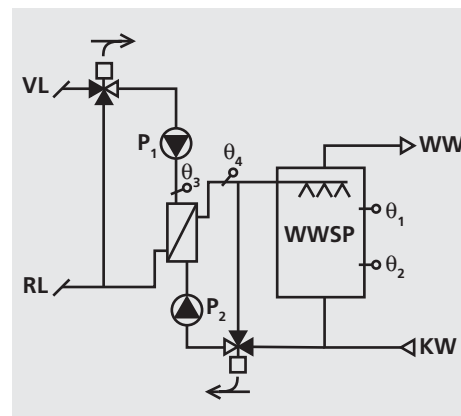
- Kontrollierte Wärmeübertragung von der Primär- auf die Sekundärseite mittels Temperaturregelung
- Bei hohen Kessel-VL-Temperaturen können bewusst tiefere Temperaturen (θ_3) im Primärkreis erreicht werden; Verkalkungsschutz.
- SPWE-Ladung erfolgt mittels Schichtladung (Magro-System).
- Variabler Massenstrom über dem Primärkreis
- Konstanter Massenstrom über aussenliegender Wärmeübertrager (Sekundärkreislauf)
- Ganzer Warmwasserspeicher kann ausgenutzt werden (keine Kalt- und Mischwasserzone).

Abbildung 165. Beispiel Regelfunktion: SPWE-Ladeverlauf mit konstanter VL-Temperatur und konstantem Massenstrom (θ_3 und θ_4 = konstant; $mP1$ und $mP2$ = konstant)

- Die RL-Temperatur steigt gegen Ende der Ladung an.
- Gegen Ende der Ladung sinkt die Wärmeübertragerleistung.
- Geeignet für Brennwertkessel, da tiefe RL-Temperaturen sich einstellen.
- Kein Pendeln des Brenners gegen Ende der Warmwasserladung.
- Bei einer Vorrangschaltung wird die Wärmeabgabe in den Raum unterbrochen; Anforderungen an die Behaglichkeit berücksichtigen.

Einsatzgebiet

- Bei stark schwankenden VL-Temperaturen in der Wärmeerzeugung
- Bei mittlerem und grossem Warmwasserbedarf und bei grossen Warmwasserspitzen
- MFH, Krankenhäuser, Sportzentren, Schwimmbäder, Hotel, etc.



Durchlaufwassererwärmung System «Frischwassermodule»

Funktionsweise: Im Frischwassermodule sind Volumenstrom- und Temperaturfühler (Mikroprozessregelung) installiert. Falls diese ansprechen, fördert die leistungsge-regelte Frischwasserladepumpe warmes Heizungswasser aus dem oberen Energie-speicherbereich durch den Plattenwärme-tauscher des Frischwassermoduls. Der Rücklauf strömt zurück in den unteren Be-reich des Energiespeichers. Die Mikroprozessregelung misst die Volu-menströme und die Temperaturen auf der Heizungs- und Trinkwasserseite und er-rechnet den momentan notwendigen Volu-menstrom der Frischwasserladepumpe. Diese sorgt dafür, dass auch bei kleinen Warmwasserbezügen und unterschiedli-chen Energiespeichertemperaturen eine gleichmässige Erwärmung des Trinkwas-sers erfolgt.

Vorteile

- Tiefe Warmwassertemperaturen; da-durch werden Wärmepumpensysteme effi-zienter.
- Warmwasserspeicherung erfolgt im Energiespeicher auf der Heizungsseite und nicht auf der Trinkwasserseite; somit resul-tiert kein stehendes Warmwasser.

■ Sämtliches Wärmeangebot (Abwärme, Sonnenenergie, etc.) kann im Energiespei-cher genutzt werden.

■ Keine Verbrühungsgefahr

■ Falls kein Zirkulationsnetz vorhanden ist, herrscht auch bei niedrigen Temperaturen kein Legionellenwachstum.

Nachteile

■ Aufwendige hydraulische Regelung im Frischwassermodule

■ Unterschiedliche Temperaturniveaus müssen mit Zusatzheizungen nacher-wärmt werden.

■ Legionellenschaltung bei Zirkulationssys-tem

Einsatzgebiet

■ EFH und MFH

■ Duschen in Sportzentren und Schwimm-bädern

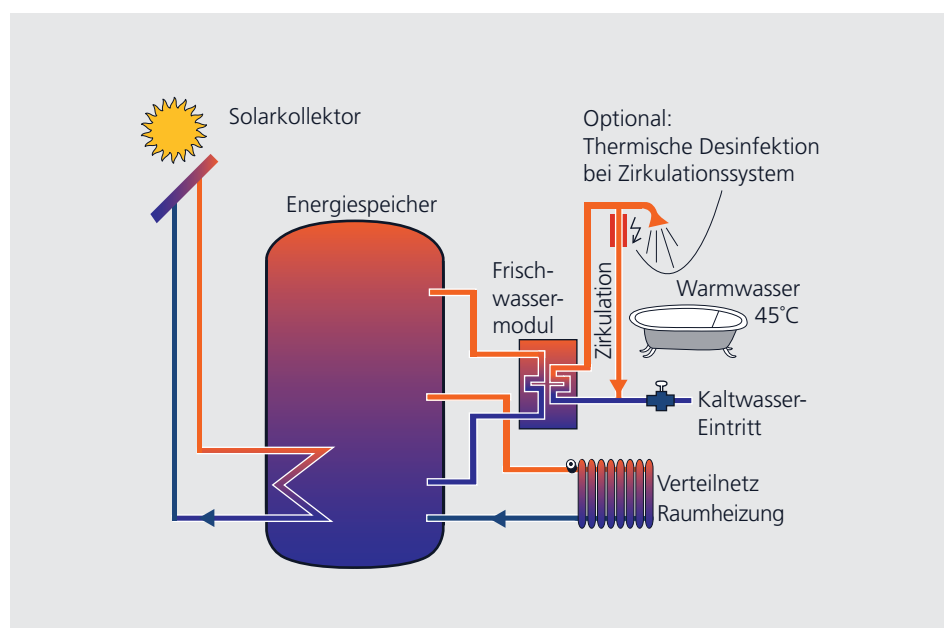


Abbildung 166:
Einbindung eines
Frischwassermoduls
(Quelle: KWT)

Abbildung 167:
Feka-Modul mit integriertem Filter und Wärmetauscher im Abwasserschacht (Quelle: Feka Energiesysteme AG)

1. Niveaubirne Wasserstand minimal
 2. Niveaubirne Wasserstand zu hoch
 3. Spülpumpe
 4. Standrohr isoliert
 5. Überlaufleitung
 6. Temperaturfühler
 7. Abwasserschacht (isoliert bei Grundwasservorkommen)
 8. Be- und Entlüftung
 9. Wärmetauscher
 10. Soleleitung zum und vom WP-Verdampfer
 11. Abwasser-Zulauf
 12. Abwasser zur Kanalisation
- Abbildung 168:
Abwärmenutzung (Feka-Anlage) für direkte Wassererwärmung

5.3 Wassererwärmung mittels Abwärme

Wassererwärmung mittels Abwasserwärmenutzung (System Feka)

Funktionsweise: Sämtliches häusliches Abwasser fließt via Filter in einen Fäkalien-Abwasserschacht. Im Abwasserfilter werden die Fäkal- und Schmutzstoffe zurückgehalten. Diese Feststoffe werden täglich mit der Spülpumpe direkt in die Kanalisation gefördert. Bei Wärmebedarf wird dem im Fäkalien-Abwasserschacht gesammelte Grauwasser so viel Wärme entzogen, wie der Verdampfer in der WP benötigt. Das abgekühlte Grauwasser fließt natürlich (kommunizierende Röhre) in die Kanalisation. Das Grauwasser kann bis auf eine Temperatur von 5°C abgekühlt werden. Kommunale Vorschriften für die minimale Abwassertemperatur müssen beachtet werden.

Vorteile

- Sämtliches Abwasser kann genutzt werden (allgemeines häusliches Abwasser inkl. WC, Schwimmbädern, Hotels, Spitälern, Grossküchen, Wäschereien, etc.)
- hochwertiges Temperaturangebot bei häuslichem Abwasser mit 20°C bis 25°C
- Täglicher Wärmeentzug von 10 h bis 18 h
- Warmwassertemperaturen von 60°C sind problemlos erreichbar.
- Saubere Schichtladung (keine Stufenladung) möglich
- Zusatzheizung nur bei Inbetriebnahme und bei Revisionsarbeiten notwendig.

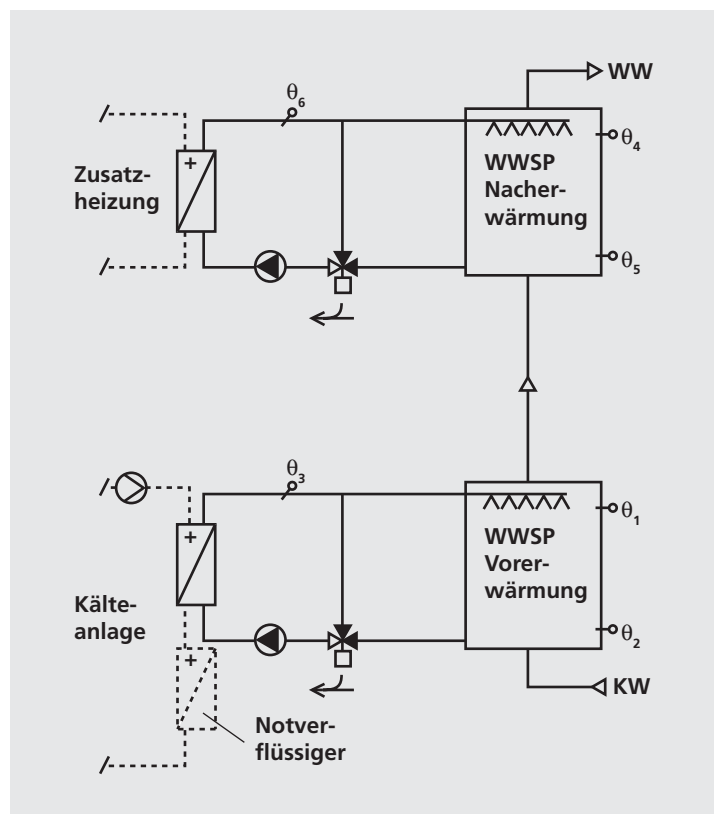
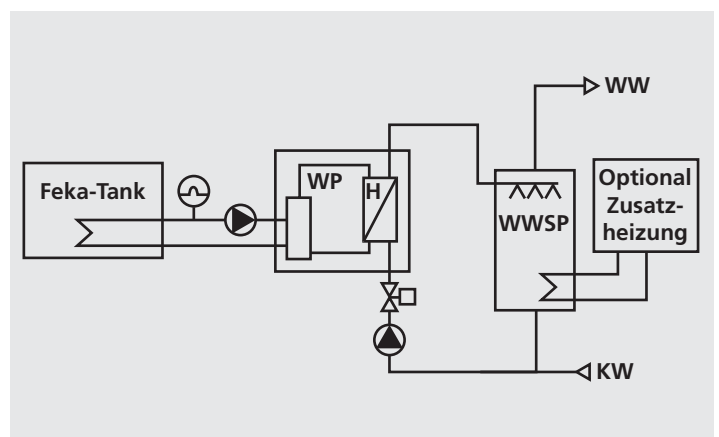
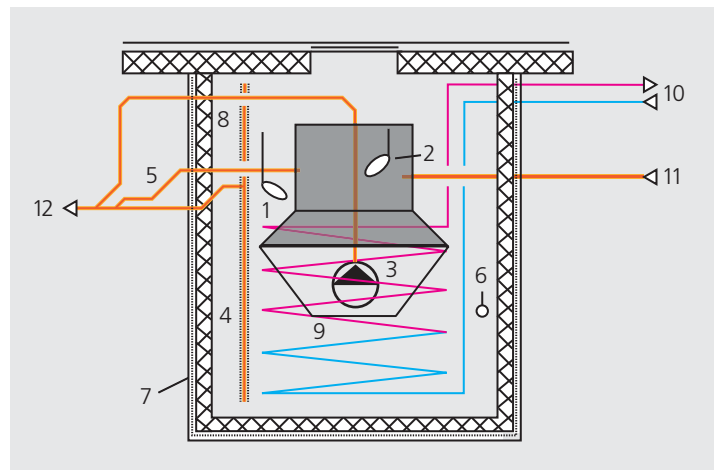
Nachteile

- Nur bei grossem Warmwasserbedarf sinnvoll.
- Zusätzliche elektrische Hilfsenergie für Spülpumpe im Fäkalien-Abwasserschacht
- Regelmässige Wartung notwendig.

Einsatzgebiet

- Warmwasserbedarf (Φ_{WW}) ≥ 70 kW, MFH, Schwimmbäder, etc.

Abbildung 169: Abwärmenutzung (aus gewerblicher Kälte) für direkte Wassererwärmung



Wassererwärmung mittels Abwärmee-nutzung aus gewerblichen Kältemaschinen

Funktionsweise: Mit der Abwärme von gewerblichen Kältemaschinen kann das Warmwasser auf ca. 40 °C vorerwärmt werden. Dabei nutzt die Warmwasserladung die überschüssige Abwärme aus dem Verflüssiger der Kältemaschine. Sobald von der gewerblichen Kälte die Abwärme zur Verfügung steht, wird die Abwärmee-nutzung frei gegeben. Die Nacherwärmung mit dem Heizsystem schaltet ein, wenn die Soll-Temperatur im (θ_4) WWSP-Nacherwärmer unterschritten wird.

Kritische Elemente

- Notverflüssiger im Kältemaschinenkreislauf notwendig
- Lademanagement
- Notwendiges Vorerwärmervolumen im WWSP
- Nacherwärmung notwendig
- Temperaturniveau liegen im Vorerwärmer ideal für Legionellenbildung; Legionellenschaltungen vorsehen.

Einsatz

- Gewerbe- und Industriebauten (Gastro- und Lebensmittelindustrie)

5.4 Legionellen

Legionellen sind stäbchenförmige Bakterien, von denen es mehr als 40 unterschiedliche Arten gibt. 18 Arten davon können in Menschen eine Erkrankung auslösen und werden deshalb als humanpathogen bezeichnet. Die bekannteste Art der Legionellen ist die *Legionella pneumophila*, welche auch der Hauptverursacher der meisten Legionellenerkrankungen ist. Allerdings sind diese Bakterien nur gefährlich, wenn man legionellenkontaminierte Aerosole einatmet und diese so in die Lunge gelangen können. Aerosole sind feinste Wassertröpfchen Durchmesser um 5 µm, welche in der Luft verteilt sind. Hingegen kann mit Legionellen belastetes Trinkwasser ohne jegliche Gefahr getrunken werden.

Die Legionellenvermehrung findet hauptsächlich bei einer Temperatur von 25 °C bis 45 °C statt. Ab einer Temperatur von 55 °C beginnen Legionellen abzusterben und zwar je schneller, je höher die Temperatur ist. Bei Wassertemperaturen kleiner 20 °C sind sie zwar lebens- aber nicht vermehrungsfähig (Dieter Kreysig: Legionellen – Mode-Bakterium oder tödliche Gefahr? Wärme und Versorgungstechnik, 6/2001 und 11/2001).

Die wichtigsten Infektionsquellen im Trinkwasserbereich sind:

- Zapfstellen von Warmwasserverteilsystemen, besonders mit der Bildung von Aerosolen wie z. B. beim Duschen
- Kühltürme
- Whirlpoolanlagen
- Apparate zur direkten Raumluftbefeuchtung

Grundsätze der Vorbeugung einer Legionellenvermehrung

- Im Warmwasserverteilsystem darf keine unbenutzte Leitung vorhanden sein, die mit Wasser gefüllt ist. Dies gilt insbesondere bei der nachträglichen Stilllegung einer Entnahmestelle.
- Trinkwasser, das bei einer Temperatur von 25 °C bis 50 °C während mehr als 24 Stunden nicht genutzt wird, muss ther-

misch desinfiziert, d.h. während einer Stunde auf 60 °C erwärmt werden. In Gebäuden mit geringem Risiko wird diese Regel nur empfohlen.

■ Die Warmwasserversorgung wird so ausgelegt, dass die Wassertemperatur am Ausgang des Wassererwärmers 60 °C beträgt, 55 °C in den warm gehaltenen Leitungen und 50 °C an den Entnahmestellen erreicht werden können.

■ Für Durchflusswassererwärmer gelten die Mindesttemperaturen nicht, wenn das Warmwasser im angeschlossenen Warmwasserverteilsystem bis zu seiner Entnahme nicht länger als 24 Stunden bei einer Temperatur von 25 °C bis 50 °C bleibt.

■ Die Warmwassermenge, die gespeichert werden soll, wird knapp ausgelegt (keine überdimensionierten SPWE).

■ Behälter mit Warmwasser müssen regelmässig gereinigt, insbesondere entkalkt werden. (Rost-, Kalk- und weitere Ablagerungen begünstigen die Bildung von Biofilmen und dienen Legionellen und anderen Bakterien als Träger für ihre Vermehrung.)

■ Kaltwasserleitungen sollten so installiert werden, dass eine Erwärmung durch parallel laufende Warmwasser- oder Heizungsleitungen vermieden und eine Kaltwassertemperatur von höchstens 20 °C erreicht wird.

■ Selten benutzte Entnahmestellen sollten regelmässig gespült werden.

Wärmerückgewinnung respektive Vorerwärmung mit einem technischen Speicher

Die Wassertemperatur in einem Speicher zur Vorwärmung erreicht systembedingt nicht mehr als 45 °C und ist somit im Ideallbereich der Legionellenvermehrung. Das erwärmte Trinkwasser sollte so wenig wie

möglich in diesem Temperaturbereich sein. Deshalb sollte das Bereitschaftsvolumen des Speicher im Bereich der Nacherwärmung des Trinkwassers nie unter 60 °C sinken. Das Bereitschaftsvolumen ist das zu erwartende Spitzenvolumen (gewöhnlich ist dieses Volumen die grösste Stunden Spitze) und entspricht dem Volumen, welches bis zum Einschaltpunkt der Speichervoladung reicht. Die Nacherwärmung des Trinkwassers muss mit einer Sekundärenergiequelle erfolgen, welche immer mindestens die 60 °C erreichen kann.

Laufzeit der Zirkulationspumpe und der Heizbänder

Um die Abkühlung des Warmwasserleitungssystems bei Stillstandzeiten zu verhindern, sollte die Zirkulationspumpe oder das Heizband im Dauerbetrieb laufen.

Zentrale Mischwasseranlagen

Beim Einsatz von Zentralmischorganen werden Versorgungs- und Ausstossleitungen mit Trinkwassertemperaturen im Ideallbereich der Legionellenvermehrung (25 °C bis 45 °C) betrieben. Aus diesem Grund sind diese Anlagen ohne spezielle Massnahmen (z.B. Ionisierung oder Ozonisierung) für die Risikogruppen 1 und 2 nicht geeignet. Für die Risikogruppe 3 ist es empfehlenswert, das Warmwasser in der Installation einmal täglich während mindestens einer Stunde auf 60 °C zu erwärmen.

Tabelle 79: Überlebensdauer von Legionellen. D-Wert: Der als dezimale Reduktionszeit oder D-Wert bezeichnete mikrobiologische Parameter ist ein Mass, welches das Abtötungsverhalten von Mikroorganismen charakterisiert. Der D-Wert gibt an, welche Zeit zur Abtötung von 90 % der Mikroorganismen einer Population bei einer gegebenen Temperatur notwendig ist, um die Population auf 10 % der Anfangspopulation zu senken.

Temperatur (°C)	Zeit (Minuten)	Wirkung
55,0	19	Reduktion der Legionellenanzahl um je eine 10er-Potenz (D-Wert)
57,5	6	
60,0	2	
70,0	Einige Sekunden	

Risikogruppe 1 – Hohes Risiko ■ Gebäude, in denen sich Menschen mit geschwächtem Immunsystem aufhalten. ■ Gebäude mit umfangreichen Rohrleitungssystemen sowie Installationen mit unregelmässiger Wasserentnahme (lange Stagnationsphasen).	Gebäudekategorien ■ Spitäler mit Intensivpflegestationen, Transplantationsabteilung respektive Spezialabteilungen (Onkologie, Neonatologie).	Empfohlene Massnahmen (nach SVGW) ■ Befolgung der Instruktionen, welche von den Verantwortlichen für die Hygiene zusammengestellt wurden. ■ Routinemässige Warmwassertemperaturkontrolle und bakteriologische Analysen
Risikogruppe 2 – Mittleres Risiko In diesen Gebäuden resultieren Risiken überwiegend aus umfangreichen Installationen mit z.T. langen Stagnationsphasen.	Gebäudekategorien Wohnen MFH mit Warmwasser-Zentralversorgungen, Schulen mit Duschen, Hotels, Kasernen, Gefängnisse, Spitäler ohne die oben erwähnten Abteilungen, Alters- und Pflegeheime, Sportbauten, Hallen- und Freibäder	Empfohlene Massnahmen (nach SVGW) ■ Regelmässige Kontrolle der Warmwassertemperatur (mindestens alle 2 Monate) ■ Einhaltung der Warmwassertemperatur: in der ganzen Aufbereitungsanlage mindestens 60 °C während einer Stunde pro Tag, an den Zapfstellen mindestens 50 °C. ■ Wenn aus technischen Gründen oder in Folge des Energiesparens die Sicherheitstemperaturen nicht eingehalten werden, sind bakteriologische Kontrollen oder Alternativsysteme (Ionisierung, Ozonisierung oder andere) vorzusehen. ■ Wasseranalysen hinsichtlich von Legionellen sind nur bei Auftreten von Krankheitsfällen oder aufgrund der erwähnten Gründen notwendig. ■ Bei Krankheitsfällen und positivem Befund der Wasseranalyse müssen zusätzliche Massnahmen ergriffen werden.
Risikogruppe 3 – Geringes Risiko Gebäuden mit überwiegend langen Stagnationsphasen.	Gebäudekategorien Wohnen EFH, Wohnen MFH ohne Warmwasser-Zentralversorgung, Verwaltung, Schulen ohne Duschen, Verkauf, Restaurants, Versammlungslokale, Lager	Empfohlene Massnahmen (nach SVGW) ■ Wenn Zweifel an der Hygiene der Trinkwasserinstallationen bestehen, können entsprechende Untersuchungen durchgeführt werden. ■ Massnahmen müssen ergriffen werden bei Auftreten von Krankheitsfällen und positivem Befund der Wasseranalyse.

*Tabelle 80: Risiko-
gruppen für Ge-
bäude und Anlagen
und deren empfoh-
lene Massnahmen.
Weitere Infos: Nach
SIA 385/1 «Anlagen
für Trinkwasser in
Gebäuden – Grund-
lagen und Anforde-
rungen»; Nach dem
SVGW-Merkblatt
«Legionellen in
Trinkwasserinstalla-
tionen – was muss
beachtet werden?»*

Diverse Gebäudetechnik

Volker Wouters

6.1 Versorgung mit elektrischer Energie

Je nach Anschlussbedarf des Gebäudes oder Areals kann die Erschliessung mit elektrischer Energie ab öffentlichem Netz mit unterschiedlicher Spannung erfolgen, was wiederum unterschiedliche spezifische Energiekosten nach sich zieht. In der Regel gilt: je höher die Spannung, desto tiefer fallen die gesamtheitlichen Energiekosten pro kWh an. Die gesamtheitlichen Energiekosten setzen sich zusammen aus den eigentlichen Energiekosten, den Netzkosten und den Abgaben pro kWh. Ein Anschluss auf höherer Spannungsebene (Mittel- oder Hochspannung) hat jedoch zur Folge, dass die Transformierung auf die Verbraucherspannung von 230 V respektive 400 V durch den Nutzer zu erfolgen hat. Dies bedingt die Installation von Transformatoren (Spannungswandler) und die Bereitstellung der entsprechenden Räumlichkeiten. Dies hat wiederum zur Folge, dass weitere Untermessungen für zum Beispiel Drittnutzungen durch den Eigentümer oder Betreiber selber bewirtschaftet werden müssen. Die Leistungsgrenze zwischen EVU und Eigentümer stellt üblicherweise die Abgangsseite der Messung dar, die in der Regel im Eigentum

des EVU ist. Der Raum für die zur Bedienung und zum Schutz der Transformatoren notwendige Schaltanlage sowie für die Transformatoren, ist in unmittelbarer Nähe der Werkleitungseinführung zu platzieren, d.h. üblicherweise in Strassennähe. Da heute die Elektrowerkleitungen vorwiegend im Erdreich verlegt sind (1,3 m bis 0,7 m) macht eine Platzierung der Elektroerschliessung im ersten Untergeschoss für eine direkte Einführung der Werkleitungen durchaus Sinn. Für die Platzierung der Räume mit Transformatoren ist zu beachten, dass diese nicht unmittelbar an Räume mit ständig besetzten Arbeitsplätzen grenzen. Hierbei gilt es, den Anforderungen der Richtlinie über nichtionisierende Strahlung gerecht zu werden. Ein Bezug der elektrischen Energie in Hoch- oder Mittelspannung ist in der Regel nur grossen Bezügern (ab ca. 1000 kVA Anschlussleistung) vorbehalten.

Erfolgt die Einspeisung in Niederspannung, stellt der Hausanschlusskasten oder das Einspeisefeld die Leistungsgrenze zum EVU dar. Für die Platzierung gelten dieselben Grundsätze wie bei der Erschliessung in der Mittelspannung (vorzugsweise Untergeschoss, Nähe Werkleitung). Für EFH wird der Hausanschlusskasten auch häufig direkt in die Fassade integriert.

Abbildung 170:
Prinzip Netzversorgung über Niederspannung (EVU: Energieversorgungsunternehmen; HA: Hausanschluss)

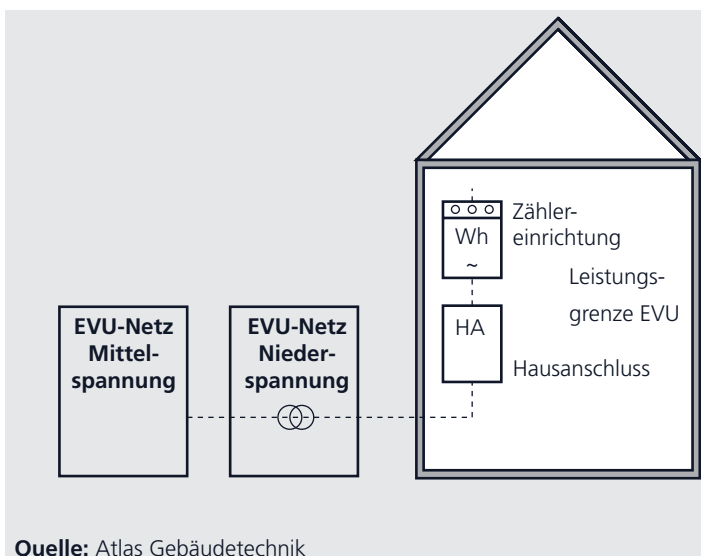
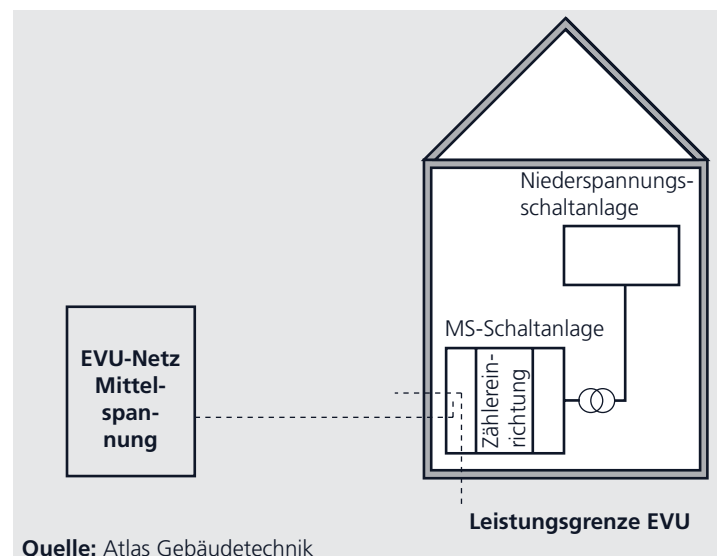
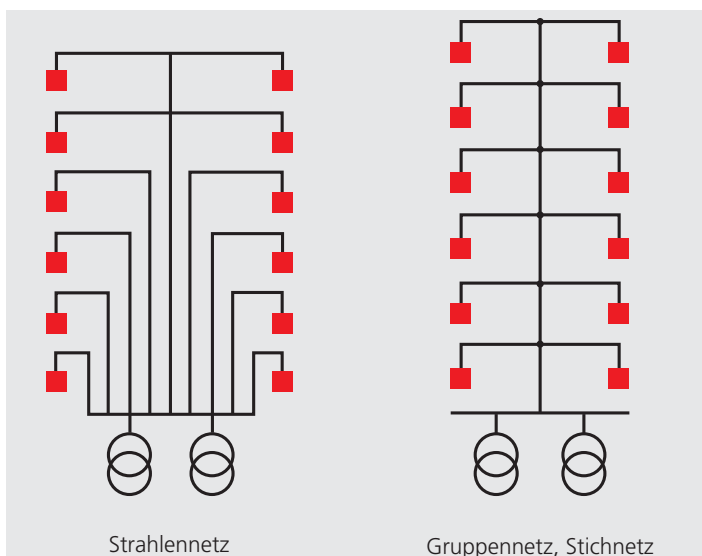


Abbildung 171:
Prinzip Netzversorgung über Mittelspannung (EVU: Energieversorgungsunternehmen; MS: Mittelspannung)



Die Abgangsseite (Niederspannung 230V/400V) eines Transformators oder der Abgang eines Hausanschlusskastens wird in die Gebäudehauptverteilung, eine Niederspannungsschaltanlage, eingeführt. Hausanschlusskasten können auch direkt in die Gebäudehauptverteilung integriert werden. Gebäudehauptverteilungen sollen aus Gründen der verlust- und kostenoptimierten Anbindung in unmittelbarer Nähe der Transformatoren platziert sein. Weil die Niederspannungsschaltanlage eine wesentliche Brandlast aufweist, darf diese nicht direkt in Fluchtwegen platziert werden. Wenn dies trotzdem unumgänglich ist, muss die Schaltanlage mit einer Brandschutzverkleidung versehen sein. Für grosse und leistungsintensive Niederspannungsschaltanlagen ist auf Grund beschränkter Zutrittsrechte ein separater Raum vorzusehen. Gebäudehauptverteilungen sind nebst den vorgenannten Platzierungskriterien sinnvollerweise auch in der Nähe von Lastschwerpunkte zu installieren, um leistungsintensive Anbindungen verlusttechnisch und ökonomisch zu optimieren. Lastschwerpunkte sind typischerweise Lüftungs- und Kältezentralen. Ziel einer optimalen Platzierung muss es sein, die Kabelwege zu minimieren. Dies spart wertvollen Platz und Kosten. Aus betrieblichen und unterhaltstechnischen Gründen sollten auch weitere Räume für die Elektroanlagen in der Nähe der Gebäudehauptverteilung platziert sein.

Abbildung 172:
Netzformen



Weitere Ansprüche könnten sein:

- Netzersatzanlage (Notstromdieselaggregat)
- Räume für unterbruchsfreie Stromversorgung (USV), Batterieanlagen
- Schwachstromräume für Brandmeldeanlagen, Lautsprecheranlagen, Notlichtanlagen, usw.
- Kommunikationsräume für Telefonieanlagen, IT Anlagen, usw.
- Sicherheitsanlagen wie Einbruch, Wertschutz, Videoüberwachung, usw.

Ab der Gebäudehauptverteilung erfolgt die Verteilung der elektrischen Energie bis zu den Unterverteilungen innerhalb des Gebäudes. Diese Verteilung kann entweder mittels Einzelanspeisung respektive Strahlennetz oder Gruppenanspeisung oder einer Mischform der beiden Möglichkeiten erfolgen. Für leistungsintensive Gruppenanspeisungen kommen zudem als Alternative zu den Kabeln für den Transport der elektrischen Energie Stromschienen in Frage.

Strahlennetz

Für Verbraucherstromkreise ist das Strahlennetz die häufigste Art. Eigenschaften:

- Einfache Netzüberwachung
- Einfache Fehlerlokalisierung
- Einfache Betriebsführung

Diese Eigenschaften resultieren vor allem aus dem Umstand, dass die an die «Strahlen» angeschlossenen Verbraucher und Verteilungen eindeutig zugeordnet sind. Hingegen resultiert im Vergleich zur Gruppenanspeisung ein erhöhter Platzanspruch in den speisenden Verteilungen sowie, bei mehrstöckigen Gebäuden, ein unregelmässiger Platzanspruch in den Steigzonen.

Gruppennetz

Für Verbraucherstromkreise ist die Gruppenversorgung weniger verbreitet als die Strahlenversorgung. Möglichkeiten für Gruppenanspeisungen bilden die sogenannten Flachbandkabel oder Stromschienen, die es erlauben Verbraucherabgriffe direkt am Versorgungspfad vorzunehmen. Eigenschaften:

- Reduzierter Platzbedarf in den speisenden Verteilung

- Dimensionierung nach mittlerer Belastung des Versorgungszweig
- Reduzierte Betriebssicherheit
- Gleichmässiger Platzanspruch bei Steigzonen

Diese Eigenschaften resultieren vor allem aus dem Umstand, dass alle an die Gruppe angeschlossenen Verbraucher denselben Auswirkungen unterliegen. Ein Fehler in der Gruppe wirkt sich auf alle angeschlossenen Komponenten aus.

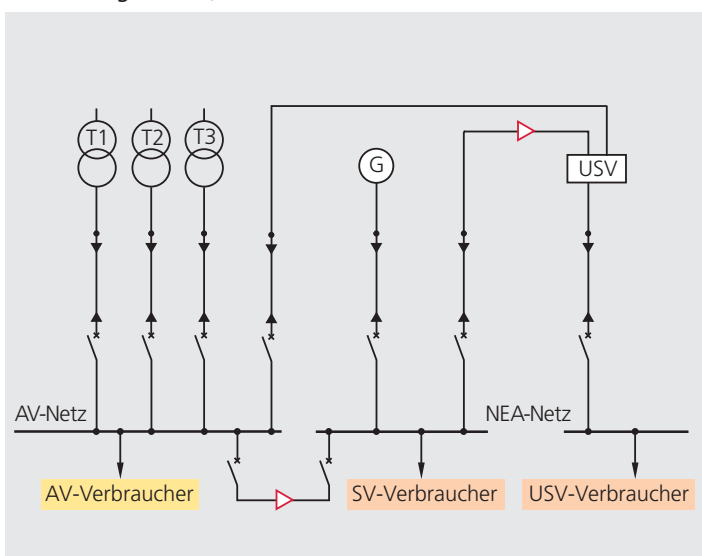
Netzarten

Mit den Netzarten allgemeine Stromversorgung, Sicherheitsstromversorgung und unterbrechungsfreie Stromversorgung werden unterschiedliche Ansprüche hinsichtlich Versorgungssicherheit und Autonomie erfüllt. An die allgemeine Stromversorgung werden alle Verbraucher angeschlossen, die im Ereignisfall (Stromunterbruch, Spannungsschwankung) keinen Anspruch auf einen reibungslosen Weiterbetrieb haben. Typische Verbraucher, die an das Sicherheitsstromversorgungsnetz angeschlossen werden, sind leistungsintensive Verbraucher, die einen kurzen Spannungsunterbruch ertragen und in der Regel eine längere Autonomiedauer verlangen, wie zum Beispiel: Feuerwehraufzüge, Sprinkleranlagen, Druckbelüftungen und Kühleinrichtungen.

Typischerweise wird für die Sicherheitsstromversorgung ein Notstromdieselaggregat vorgesehen. Eine zweite unabhängige Netzeinspeisung des EVU gemäss Abbildung 174 kann allenfalls auch als Alternative vorgesehen werden.

Typische Verbraucher, die an das unterbrechungsfreie Stromversorgungsnetz angeschlossen werden, sind sensible Verbraucher mit hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit, die keinen Spannungsunterbruch und auch keine Spannungs- respektive Frequenzschwankung ertragen. Die Autonomiedauer kann dabei sehr individuell sein. Es empfiehlt sich aber grundsätzlich, dass bei längerer Autonomie und gerade bei höheren Leistungen die unterbrechungsfreie Stromversorgung durch eine Netzersatzanlage, wie erwähnt, gestützt wird. Dies reduziert eine hohe und vor allem teure Batteriekapazität. Typische Verbraucher für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sind: IT-Einrichtungen, Kommunikationseinrichtungen, Sicherheitseinrichtungen und sensible Prozesseinrichtungen. Als Quelle für die unterbrechungsfreie Stromversorgung eignet sich eine batteriegestützte Versorgung oder ein dynamischer Energiespeicher.

Abbildung 173:
Netzarten in der
Elektroversorgung.
Quelle: Siemens Ap-
plikationshandbuch
– Grundlagener-
mittlung und Vor-
planung (Quelle:
Klaus Daniels, Ge-
bäudetechnik, ein
Leitfaden für
Architekten und
Ingenieure)



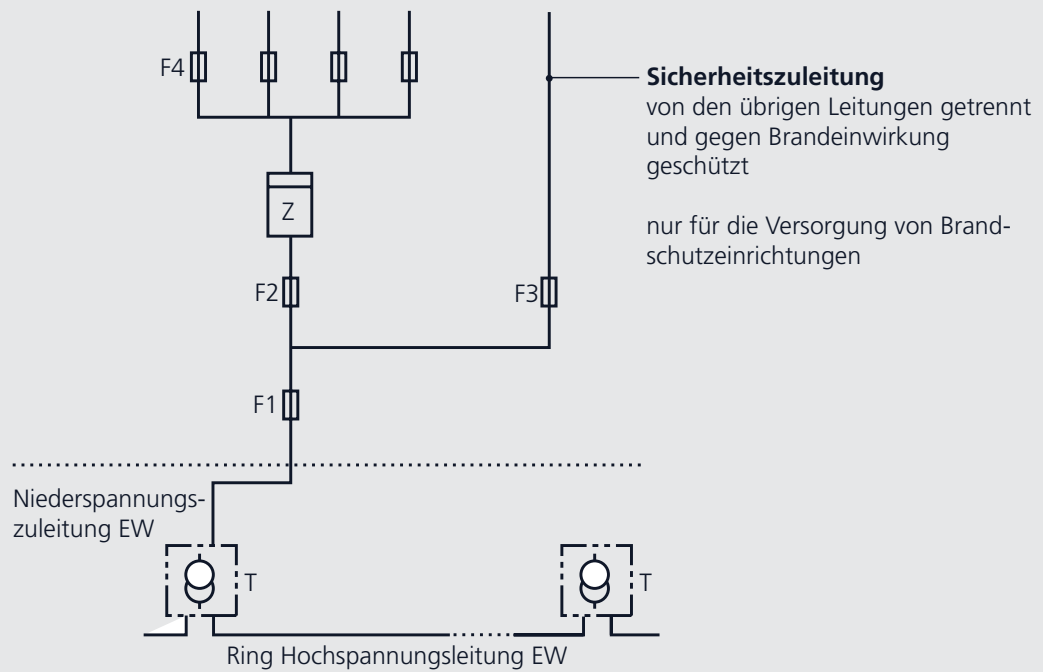


Abbildung 174:
Versorgung mit
zwei unabhängigen
Einspeisungen.
(Quelle: VKF Brand-
schutzrichtlinie
17-03d)

Legende:

- F1 Anschlussüberstromunterbrecher
- F2 Bezügerüberstromunterbrecher
- F3 Überstromunterbrecher Sicherheitsnetz (plombiert)
- F4 Überstromunterbrecher Netz
- T Transformatorenstation EW
- Z Zähler / Messeinrichtung

6.2 Aufzüge und Fahrtreppen

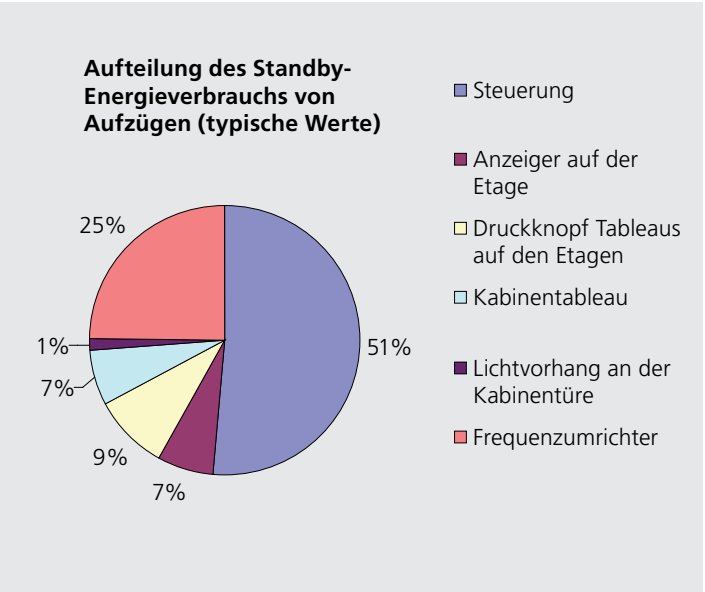
Jürg Nipkow

Aufzüge und Fahrtreppen beanspruchen zusammen rund 1 % des Schweizer Stromverbrauchs. In transport-intensiven Gebäuden kann ihr Anteil am Stromverbrauch bis ca. 10 % ausmachen. Sie dienen in erster Linie dem Personentransport. Aufzüge für den Gütertransport sind vom Stromverbrauch her weniger bedeutend.

Zusammensetzung des Energieverbrauchs und Einflussgrößen

Die messtechnische Untersuchung von zahlreichen Aufzügen aller Art zeigte unter anderem, dass der Standby-Verbrauch (Abbildung 175) vor allem bei Aufzügen mit kleineren Fahrtenzahlen (z. B. Wohnbauten) bis 80 % des Stromverbrauchs

Abbildung 175:
Aufteilung des
Standby-Verbrauchs
von Aufzügen
(Quelle: Nipkow)



ausmachte. Die europäische Aufzugsindustrie entwickelte eine Richtlinie VDI 4707 für eine Energie-Etikette für Aufzüge. Vom Verband VFA Interlift e.V. wird ein Berechnungstool für die Aufzugs-Energie-Etikette angeboten (VFA-Software EnergyLabel und VFA-EnergyCertificate). Die Fahrten brauchen auch Energie; und dabei gibt es grosse Unterschiede der Effizienz. Wichtigste Einflussgrößen auf die Effizienz des Aufzugsantriebs sind:

■ **Traktion oder Hydraulik:** Kostengünstige Hydraulikantriebe arbeiten verlustreich wegen der Umwandlungsverluste des Hydraulikmotors und fehlender Rekuperation bei Abwärtsfahrt. Moderne Konzepte vermeiden diesen Nachteil weitgehend und können ähnlich effizient arbeiten wie Traktionsaufzüge.

■ **Fahrgeschwindigkeit:** je höher, desto grössere Verluste durch Beschleunigen und Bremsen, auch mit geregelten Antrieben. Für Wohnhäuser ist der Geschwindigkeitsbereich 0,25 m/s bis 0,4 m/s empfehlenswert, für Nichtwohnbauten bei 10 und mehr Geschossen bis über 1 m/s.

■ **Motorentechnik und Regelung:** Moderne Konzepte mit effizienten Motoren (z. B. getriebelose Antriebe, Permanentmagnetmotoren) bieten einen guten Wirkungsgrad. Mit 4-Quadranten-Umformern ist Rekuperation (Rückspeisung ins Netz) möglich; ein Rekuperationsgrad von 40 % erfordert schon sehr gute Technik.

■ **Reibungsarme Systemarchitektur** (wenig Exzentrizität, wenig Querkräfte). Traktion mit Riemen statt Seilen bietet Vorteile.

Tabelle 81: Bau- und Ausführungsmerkmale

Anzahl Aufzüge und Nennlast	Maschinenraum	Traktionsantrieb	Hydraulikantrieb	Antrieb mit Netz-Rückspeisung	Lift-Kommando-Steuerung
Sorgfältige Abklärung nötig, wenn die Kapazität eines Aufzuges knapp scheint. Mehr Investitionskosten für zwei kleinere Aufzüge statt eines grossen versus Komfort (Wartezeit).	Maschinenraumlose Aufzüge sind technisch anspruchsvoller, komplexer und beanspruchen mehr Raum im Liftschacht.	Traktion mit Seilen oder Riemen ist meist effizienter als Hydraulik, aber technisch aufwändiger.	Technisch einfache und robuste Aufzüge für kleine Hubhöhen (mit Maschinenraum unterhalb). Hoher Energieverbrauch, mit neuen (teureren) Konzepten reduzierbar. Typischer Einsatz: Lastenaufzüge und Panorama-Aufzüge.	Bei leistungsstarken Anlagen eine Option für höhere Energieeffizienz. Höhere Investition; Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Rekuperationsgrad nötig.	Soll auf die Bedürfnisse der Passagiere abgestimmt sein und soll verhindern, dass unnötige Fahrten gemacht werden.

■ Optimierte Steuerung (Lift-Kommando und System selber, z. B. Sleep-Modus).

Darauf achten bei Planung und Bestellung

Schon bei der Planung der Gebäudeerschliessung soll der Energieverbrauch von Aufzugsanlagen berücksichtigt werden. Gebäudenutzung, zu erwartende Benutzerfrequenzen und deren zeitliche Verteilung, Anforderungen an Warte- und Transportzeiten sind einzubeziehen. Eine Gesamtbetrachtung muss auch Ressourcen und Graue Energie für Liftschacht und Maschinenraum sowie bauliche und lufttechnische Massnahmen zur Vermeidung unnötiger Wärmeverluste aufgrund der Aufzugsanlagen berücksichtigen.

Bei der Bestellung von Aufzugsanlagen soll Energieklasse A angestrebt werden. Angebotsvarianten mit entsprechenden Betriebskosten- und Energieverbrauchsangaben können die Handlungsmöglichkeiten erweitern. Bei Fahrtreppen sollte – neben effizienten Komponenten – eine Bedarfssteuerung selbstverständlich sein. Eine detaillierte Berechnungsmethode für den Stromverbrauch von Aufzugsanlagen findet sich in der Norm SIA 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau». Es werden zwei Verfahren angegeben, nämlich ein Näherungsverfahren im frühen Projektstadium sowie eine Methode für einen bereits dimensionierten Aufzug.

Erneuerung und Nachrüstung bestehender Aufzüge

Auslöser für Erneuerungs- oder Nachrüstungsmassnahmen sind oft die ungenügende Anhaltengenauigkeit älterer Aufzüge (unfallträchtig, Stolpern) oder nicht mehr erhältliche Ersatzteile. Auch hier ist bei der Planung und Bestellung auf die Energieeffizienz zu achten. Wenn die technische Anlage weitgehend erneuert wird, lässt sich die Energieeffizienz dem Stand der Technik anpassen.

Beleuchtung

Moderne Aufzugssteuerungen schalten zwar die Beleuchtung eines stehenden

Aufzuges – evtl. mit Verzögerung – aus; trotzdem sollte eine effiziente Beleuchtung mit Leuchtstofflampen, Stromsparlampen oder LED installiert werden. Bei LED kann auf eine Nachlaufzeit verzichtet werden, da sie schaltfest sind und zudem sofort volle Leuchtkraft liefern. Die beliebten Halogenlampen sind Energieverschwender und heizen oft unangenehm.

6.3 Geräte und Betriebs-einrichtungen

Jürg Nipkow **Bedeutung, Anteile Stromverbrauch**

Haushaltgeräte beanspruchen rund 11 % des Schweizer Stromverbrauchs. In den letzten 15 Jahren hat sich zwar die Effizienz der Neugeräte stark verbessert; obwohl der Anteil der Bestgeräte an den Verkäufen nur langsam steigt. Im Gegenzug kompensieren die Zunahmen bei der Anzahl Haushalte, dem Ausstattungsgrad (z. B. mehr als 1 Kühlgerät, zusätzliche Gefriergeräte) und der Gerätegrösse die effizienzbedingten Einsparungen.

In einem gut ausgestatteten Zweipersonen-Haushalt mit einem Jahres-Stromverbrauch von 3 500 kWh (Zahlen 2007) machen die Haushaltgeräte etwa 60 % bzw. 2 150 kWh aus. Die Stromverbrauchs aufteilung (Abbildung 176) zeigt, dass Beleuchtung und maschinelles Wäschetrocknen mit herkömmlichen Tumbler (Effizienzklasse B/C) Schwergewichte sein können.

Stromverbrauch und Bedeutung der Betriebseinrichtungen in Dienstleistungsgebäuden wurden für die SIA-Norm 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau» sowie in diversen Studien untersucht. Insgesamt

lässt sich der Anteil am Schweizer Stromverbrauch auf etwa 10% abschätzen (inkl. Server und Rechenzentren). Der Stromverbrauch der Betriebseinrichtungen eines neu ausgerüsteten Büro-Arbeitsplatzes (ohne zentrale Einrichtungen) kann grob auf 250 kWh geschätzt werden (Abbildung 177). Folgende Hauptkategorien lassen sich unterscheiden:

■ Büroelektronik am Arbeitsplatz (PC, Drucker, etc., weitere Kommunikationsgeräte wie Telefon, Router, Fax).

■ Server und Rechenzentren als zentrale Dienste. Da Rechenleistung und zugehöriger Stromverbrauch zunehmend von den Arbeitsplätzen zu zentralen Rechnern verschoben werden, verändern sich die entsprechenden Stromverbrauchsanteile.

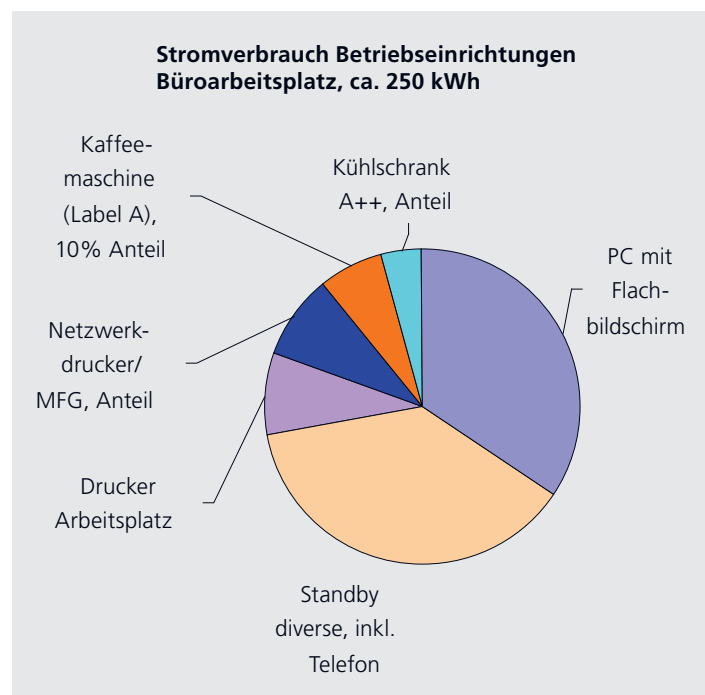
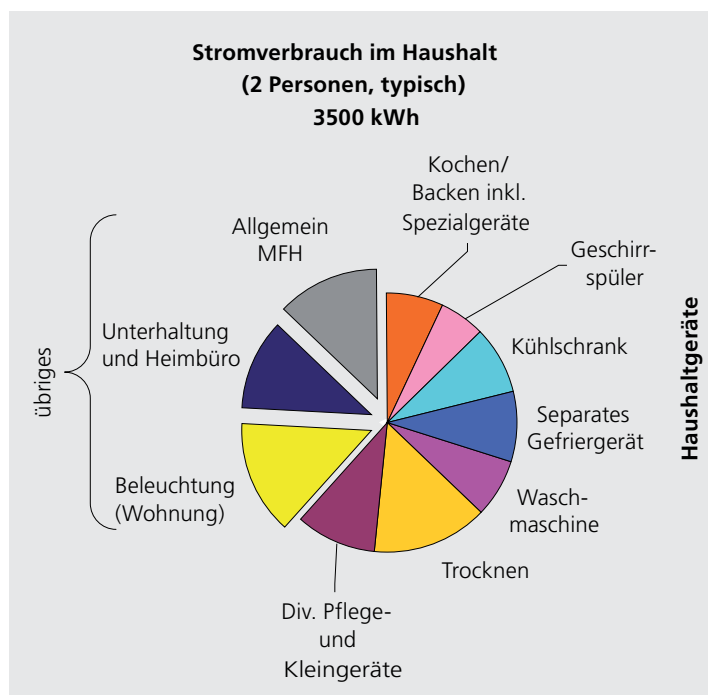
■ Haushaltgeräte im Büro (Kaffeemaschinen, Kühlschränke, Staubsauger, etc.). Ihr Stromverbrauchsanteil ist im Mittel gering; es gelten die gleichen Effizienzkriterien wie im Haushalt.

■ Spezielle Betriebseinrichtungen wie z. B. Betriebsrestaurant. Bei der Planung ist sicherzustellen, dass die jeweiligen Fachplaner Effizienzkriterien angemessen einbeziehen.

Der Auswirkungen von Betriebseinrichtungen auf Gebäude und Gebäudetechnik

Abbildung 177: Stromverbrauch Betriebseinrichtungen Büroarbeitsplatz, ca. 250 kWh

Abbildung 176: Stromverbrauch im Haushalt (2 Personen, typisch) 3500 kWh



Betriebseinrichtungen können nicht ohne Rücksicht auf das Gebäude bzw. die Haustechnik eingesetzt werden. Zu beachten sind insbesondere:

■ Der Stromverbrauch der Betriebseinrichtungen wird grösstenteils als Abwärme in den Räumen frei. Diese trägt in der Heizperiode zur Raumwärme bei, muss aber in der warmen Jahreszeit allenfalls zusätzlich weggekühlt werden. Daraus ergibt sich oft ein Bedarf zur Raumkühlung mit dem damit verbundenen Stromverbrauch. Bei der Wärme- bzw. Kältebedarfsberechnung sollten Varianten mit kleinerem bzw. grösserem Abwärmeeinfall der Betriebseinrichtungen studiert werden.

■ Bei Haushalt- wie auch Bürogeräten müssen Wechselwirkungen mit dem Gebäude beachtet werden.

■ Wäschetrocknen beansprucht mehr oder weniger Raum, je nach Geräteart. (Wärmepumpen-) Tumbler brauchen wenig Raum, während Raumluf-Wäschetrockner eine Hängemöglichkeit, in der Regel einen Trockenraum benötigen. In Trockenräumen ohne Trocknungsgeräte ist die Trockenleistung jedoch meist ungenügend. Mit Minergie-Lüftung ist sie unter günstigen Bedingungen nur für ein EFH ausreichend (1 Tag Trockenzeit). Wo immer möglich, soll eine attraktive Hängemöglichkeit im Freien (oder sogar unter Dach) angeboten werden, welche das energieeffizienteste Trocknen erlaubt. Im MFH mit Gemeinschaftswäschanlagen ist immer eine minimale Hängemöglichkeit vorzusehen, da nicht alle Wäsche getumbelt wird.

■ Eine Dunstabzugshaube erfordert in der Regel Anpassungen bei der Komfortlüftung. Auch Gas-Kochgeräte erfordern eine angepasste Lüftung.

■ Räume mit vielen Bürogeräten (Server- oder Druckerraum) erfordern häufig eine Lüftung respektive eine Kühlung, um die Raumtemperatur in Grenzen zu halten. Eine Lüftung ist auch wegen möglicher Schadstoffemissionen von grossen Druckern zu empfehlen.

■ Möblierung und Beleuchtung von Büro-Arbeitsplätzen müssen ergonomisch auf die Bildschirmarbeit abgestimmt sein.

Beschaffung, Planungsvorgaben

Die Beschaffung energieeffizienter Haushaltgeräte wird immer einfacher, da für fast alle Geräte Energie-Etiketten vorhanden sind oder erarbeitet werden (Ecodesign-Richtlinien der EU). Bei vielen Geräten sind jedoch die Klassierungen für die Auswahl höchster Energieeffizienz zu wenig aussagekräftig. Als Empfehlung oder Planungsvorgabe bzw. als «Grenzwert» für hohe Energieeffizienz sollten die Angaben auf www.topten.ch dienen.

Bei der Beschaffung von Bürogeräten darf man sich nicht nur auf das «Energy Star»-Label verlassen; für die meisten Geräte gibt es auf www.topten.ch Listen mit Detailangaben zum Stromverbrauch sowie Ratgeber. Für die Konfiguration von PC-Arbeitsplätzen sowie für energieeffiziente PC-Netzwerke geben die Ratgeber von www.topten.ch/standby (nach unten scrollen) Auskunft und Hilfe.

Sowohl für die professionelle Beschaffung von Haushalt- wie auch von Bürogeräten sind Hinweise in Flyern von Topten zusammengestellt: www.topten.ch, Top-Themen. Die Angaben der Norm SIA 380/4 zu Betriebseinrichtungen sind z.T. schon überholt.

Eine wichtige Grundlage für den späteren energieeffizienten Betrieb der Betriebseinrichtungen ist die Abrechnung nach individuellem bzw. effektivem Verbrauch, welche Anreize zu sparsamem Verhalten gibt. Dafür sind folgende planerischen Vorkehren zu treffen:

■ Haushalt: Verbrauchsabrechnungssystem für Waschen und Trocknen bei Gemeinschaftseinrichtungen planen und installieren. Dies gilt auch für Warmwasser und ist für Kaltwasser ebenfalls zu empfehlen.

■ Nicht-Wohnbauten: Für jede Energie- und (Warm- und Kalt-) Wasserversorgung sollen Mess- bzw. Zähleinrichtungen so geplant und installiert werden, dass damit die effektiven Verbräuche den jeweiligen Verursachern zugeordnet und belastet werden können.

6.4 Sonnenschutz

Heinrich Manz Wenn Sonnenstrahlung auf ein transparentes Bauteil fällt, z.B. eine Verglasung mit oder ohne Sonnenschutz, wird ein Teil der einfallenden Energie reflektiert d.h. in den Aussenraum zurückgelenkt, ein Teil wird im Bauteil absorbiert und ein Teil wird vom Bauteil in den dahinterliegenden Innenraum transmittiert (Abbildung 178). Die absorbierte Sonnenstrahlung bewirkt eine Erwärmung des Bauteils. Ein Teil dieser Wärme fliesst in den Innenraum. Der Gesamtenergiedurchlassgrad entspricht dem Anteil der einfallenden Strahlungsenergie, welcher im Innenraum als Wärme anfällt, und setzt sich zusammen aus dem Strahlungstransmissionsgrad und dem sekundären Energieabgabegrad.

Der Strahlungstransmissionsgrad ist insbesondere abhängig vom Einfallswinkel der Strahlung, den Materialeigenschaften und von der geometrischen Struktur des trans-

parenten Bauteils. Auch der sekundäre Energieabgabegrad ist von diesen Grössen abhängig und wird letztlich durch die auf der Innenseite auftretenden Oberflächen-temperaturen sowie den Wärmeübergang bestimmt.

Sonnenschutzvorrichtungen können entweder zeitlich fest, d.h. unveränderlich, oder variabel sein. Der Sonnenschutz kann örtlich unterschiedlich platziert werden: aussen, integriert in das Fenster oder innen (Tabelle 82).

Ausserhalb der Verglasungsebene liegende Beschattungsvorrichtungen haben den grossen Vorteil, dass die absorbierte Sonnenenergie direkt an die Umgebung (Aussenraum) abgegeben werden kann (Abbildung 179). Bei innenliegenden Beschattungsvorrichtungen erfolgt die Absorption der Sonnenstrahlung innerhalb der Wärmedämmung. Dies ist bezüglich Überwärmung des Innenraumes sehr un-

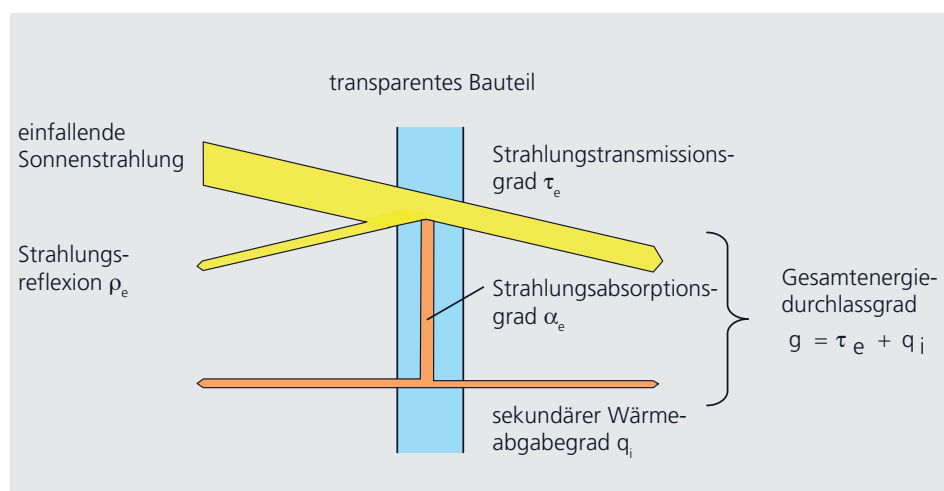


Abbildung 178: Definition von Strahlungstransmissionsgrad, sekundärem Energieabgabegrad und Gesamtenergiedurchlassgrad

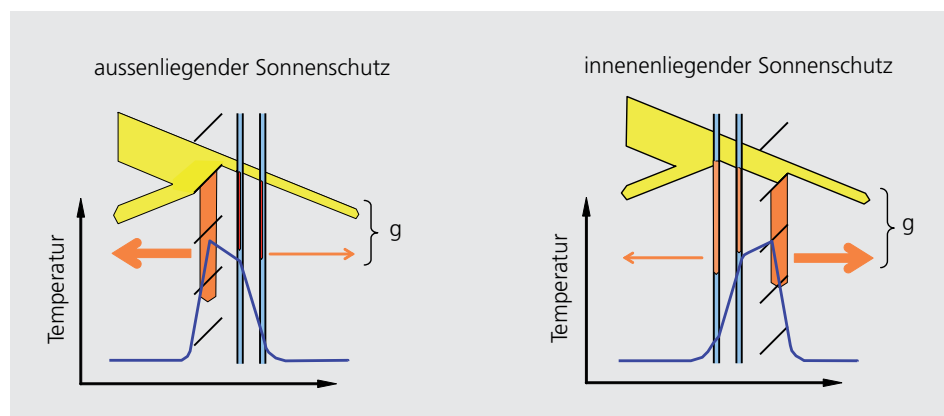


Abbildung 179: Energieströme und Temperaturprofile bei aussen- und innenliegendem Sonnenschutz

vorteilhaft. Mit aussenliegenden Sonnenschutzsystemen können deshalb tendenziell wesentlich tiefere Gesamtenergiedurchlassgrade erreicht werden, als mit innenliegenden.

Feste Beschattungsvorrichtungen wie Vorbauten nutzen die saisonalen Unterschiede der Sonnenposition: Die Sonnenhöhe ist im Winter klein und im Sommer gross. Diese Beschattungsvorrichtungen eignen sich jedoch vor allem zur Abschirmung der direkten Sonnenstrahlung bei Südfassaden. Ihre Wirkung ist bei Ost- und Westfassaden und bezüglich der Diffusstrahlung beschränkt. Feste Beschattungsvorrichtungen blenden zudem oft einen wesentlichen Teil des Tageslichtes (Zenitlicht) aus – dies auch während Zeiten, in denen das Solarstrahlungsangebot klein ist. Aus Sicht der Tageslichtnutzung ist dies unvorteilhaft.

Zusätzlich zum Lichttransmissionsgrad, ist der Gesamtenergiedurchlassgrad die wichtigste Kenngrösse eines Sonnenschutzes. Der Gesamtenergiedurchlassgrad wird dabei für die ganze Schichtenfolge, z.B. für eine 3-fach-Verglasung mit aussenliegender Lamellenstore, angegeben. Nicht nur die optischen Eigenschaften aller Schichten, sondern z.B. auch der thermische Widerstand der Verglasung (U-Wert), beeinflussen den resultierenden g-Wert. Der Gesamtenergiedurchlassgrad gibt an, welcher Anteil der einfallenden Sonnenenergie bei geschlossenem Sonnenschutz im

Rauminnern als Wärme anfällt. Gesamtenergiedurchlassgrade g unter 0,15 sind mit aussenliegenden oder integrierten, gut (evtl. mechanisch) belüfteten Sonnenschutzvorrichtungen einfach zu erreichen und sind anzustreben.

Aufgrund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten ist es in kritischen Fällen – z.B. bei hochverglasten Bürobauten – sinnvoll, den g -Wert eines transparenten Bauteils entweder rechnerisch oder experimentell (Solarkalorimeter) zu bestimmen. Da die optischen Eigenschaften von Sonnenschutzvorrichtungen und Verglasungen z.T. stark wellenlängenabhängig sind, muss eine Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades – und des Lichttransmissionsgrades – im allgemeinen wellenlängenabhängig erfolgen. So kann z.B. eine Sonnenschutzverglasung sichtbare Strahlung gut transmittieren, im nahen Infrarot aber praktisch opak sein. Auch der Sonnenschutz kann Sonnenstrahlung selektiv reflektieren oder transmittieren. Zur spektralen Berechnung des Lichttransmissionsgrades und des Gesamtenergiedurchlassgrades eignen sich Programme, welche auch Datenbanken mit kommerziellen Gläsern und Sonnenschutzvorrichtungen enthalten. Bei Glasdoppelfassaden sind die auftretenden Strömungsmuster oft wichtig für den resultierenden Gesamtenergiedurchlassgrad.

Bei der Wahl eines geeigneten Aufbaus aus der Vielzahl der Kombinationsmög-

Örtlich	Zeitlich variabel	Fest
aussen	■ Stoffstoren	■ Vorbauten
	■ Lamellenstoren	
integriert in Fenster	■ Folienrollo	■ Sonnenschutzverglasungen
	■ Stoffstoren	
	■ Lamellenstoren	
	■ elektrochrome Schichten	
innen	■ Vorhänge	
	■ Lamellenstoren	

*Tabelle 82:
Klassifizierung von
Sonnenschutz-
einrichtungen*

lichkeiten von Verglasungen und Sonnenschutzvorrichtungen in verschiedenen Anordnungen (aussen, integriert oder innen) und Belüftungsvarianten (natürlich oder mechanisch) gilt es zu bedenken:

■ Ein äusserer, variabler Sonnenschutz ist grundsätzlich die beste Lösung, wenn es Kosten, Beanspruchung und architektonischer Ausdruck erlauben.

■ Je weiter innen der Sonnenschutz angeordnet wird, desto geringer ist die Sonnenschutzwirkung. Die auf dem Sonnenschutz absorbierte Energie kann umso leichter in den Innenraum gelangen, je geringer der thermische Widerstand zwischen Sonnenschutz und Innenraum bezogen auf den thermischen Widerstand zwischen Sonnenschutz und Aussenraum ist (→ U-Wert der Verglasung).

■ Sonnenschutzvorrichtungen aus vollständig oder teilweise opakem Material können auch als Blendschutz dienen. Es können sich allerdings widersprüchliche Anforderungen ergeben.

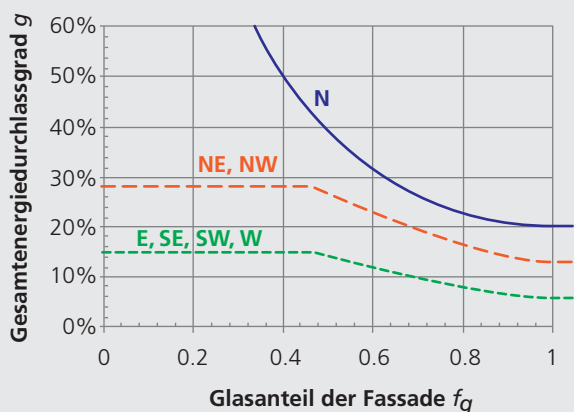
■ Lamellenstoren (aussen, integriert oder innen) ermöglichen auch, in gewissen Grenzen, eine Umverteilung des Tageslichtes (Lichtlenkeffekt der Lamellen).

■ Die Wahl von Sonnenschutz und Verglasung ist auch bedeutsam hinsichtlich der sich einstellenden inneren Oberflächentemperatur und der thermischen Behaglichkeit. Stark absorbierende Schichten, besonders falls sie innen angeordnet sind, wirken sich im Sommer nachteilig aus.

■ Bei windexponierten Situationen wie bei Hochhäusern, Bauten im Gebirge, usw.,

muss praktisch immer der Winddruck auf den Sonnenschutz mit einer aussenliegenden Glasscheibe reduziert werden (z. B. integrierter Sonnenschutz, Sonnenschutzverglasung, natürlich belüftet nach aussen oder mechanisch mit Lüftungsanlage).

Abbildung 180:
Anforderungen an den g-Wert von Fassadenfenstern (Verglasung und Sonnenschutz) je nach Glasanteil und Orientierung.
Quelle: SIA 382/1, siehe auch Tabelle 51 auf Seite 99.



6.5 Gebäudeautomation

Jürg Tödtli Ein Gebäudeautomationssystem dient der automatischen Steuerung, Regelung und Überwachung von gebäudetechnischen Anlagen (HLK-, Beleuchtungs- und Beschattungsanlagen). Zudem unterstützt sie den Menschen bei diesen Aufgaben, soweit sie noch nicht automatisiert sind, durch Bedienelemente, Anzeigen und Visualisierungen. Heute werden auch kleine Systeme, zum Beispiel ein Heizungsreglergerät zusammen mit seinen Antrieben, Fühlern und Verbindungsleitungen als Gebäudeautomationssystem bezeichnet. Der Begriff «Gebäudeautomation» löst in der Gebäudetechnik den früheren Begriff «MSRL» ab.

Abbildung 181 zeigt ein allgemeines Modell der Hardware (gerätetechnische Sicht) eines GA-Systems. Hervorzuheben sind in grösseren Anlagen die Automationsstationen (Controller, veraltet Unterstation), welche direkt (über zwei oder drei Drähte) mit den Antrieben und Fühlern der gebäudetechnischen Anlagen verbunden sind, und diese steuern, regeln und überwachen. Die Automationsstationen kommunizieren über ein Netzwerk mit einer Bedienstation, auf welcher der Betreiber an zentraler Stelle Einblick in die Anlagen erhält und Eingriffe vornehmen kann, z. B. Istwerte von Temperaturen ablesen, Sollwerte von Temperaturen verstellen, Zeitschaltprogramme eingeben, Alarmmeldungen quittieren.

Tabelle 83: Zur Liste von GA- und TGM-Funktionen: Varianten zur Funktion «Regelung des Luftstromes auf Raumebene». Quelle: EN 15232

Regelung der Lüftung und des Klimas	
Regelung des Luftstromes auf Raumebene	
0	Keine Regelung
1	Manuelle Regelung
2	Zeitabhängige Regelung
3	Anwesenheitsabhängige Regelung
4	Bedarfsabhängige Regelung

SWKI BA 101-01 beschrieben. Bei der Planung werden Anforderungen an die Funktionen, welche das GA-System zu leisten hat, festgelegt. Hilfsmittel dazu sind Automationsschemata, GA-Funktionslisten, Funktionsbeschreibungen. Die erforderliche Hardware folgt aus diesen funktionellen Anforderungen.

Gebäudeautomation und Energieeffizienz

Gebäudetechnische Anlagen sollen so gesteuert und geregelt werden, dass die vereinbarten Komfortanforderungen mit geringem Energieverbrauch eingehalten werden. Der Beitrag der GA an eine gute Energieeffizienz des Gebäudes wird meist unterschätzt. Die europäische Norm EN 15232 (SIA 386.110) stellt Hilfsmittel zur Verfügung, erstens zur Planung eines GA-Systems, das wesentlich zu einer guten Energieeffizienz des Gebäudes beiträgt, und zweitens zur Abschätzung der Grösse dieses Beitrags.

In der erwähnten EN-Norm ist eine Liste von GA- und TGM-Funktionen enthalten (TGM = Technisches Gebäudemanagement), die die Energieeffizienz des Gebäudes verbessern. Tabelle 84 zeigt die Liste zusammengefasst. Zu jeder der aufgelisteten Funktionen werden in der Norm verschiedene Varianten (in der Norm «Art» oder in der englischen Fassung «Type» genannt) aufgezeigt, aus denen der Planer eine auswählen kann. Tabelle 83 zeigt dies beispielhaft für die Funktion «Regelung des Luftstromes auf Raumebene». Bei der letzten Variante, «bedarfsabhängige Regelung», kann es sich zum Beispiel um eine bedarfsgeregelte Lüftung mit CO₂-Fühler handeln, wie sie in Abbildung 182 dargestellt ist. Dass eine solche Funktionsvariante den Energiebedarf des Gebäudes reduzieren kann, zeigt folgende Überlegung: Sinkt die Anzahl Personen im Raum, wird der von ihnen durch Atmung erzeugte und dem Raum zukommende CO₂-Volumenstrom abnehmen, was mindestens vorübergehend eine Abnahme der CO₂-Konzentration im Raum bewirkt. Der Regler reagiert darauf so, dass er den Sollwert des

Zuluft-Volumenstroms reduziert. Der dadurch verkleinerte Zuluft-Volumenstrom bewirkt wiederum, dass der zentrale Ventilator weniger Luft fördern muss. Es wird auf diese Weise elektrische Antriebsenergie für den Ventilator gespart, ohne dass die CO₂-Konzentration im Raum zunimmt, das heißt, ohne dass die Luftqualität im Raum abnimmt.

Anstatt sich bei jeder Funktion der Liste einzeln für eine Variante zu entscheiden, bietet die Norm dem GA-Planer eine vereinfachte Vorgehensweise an, bei der er zu-

nächst eine von vier verschiedenen GA-Effizienzklassen (Tabelle 85) wählen muss. Getrennt für Wohn- und Nichtwohnbauten bestimmt dann die Norm für jede GA-Effizienzklasse, welche Variante der einzelnen Funktionen der Funktionsliste zu nehmen ist. Bei diesen Klassen handelt es sich also um vier Grade von Ausstattungen mit GA- und TGM-Funktionen.

Weiter gibt die Norm mit seinem GA-Effizienzfaktorverfahren eine Methode an, mit dem die relative Verbesserung des Energiebedarfs des Gebäudes beim Wechsel von

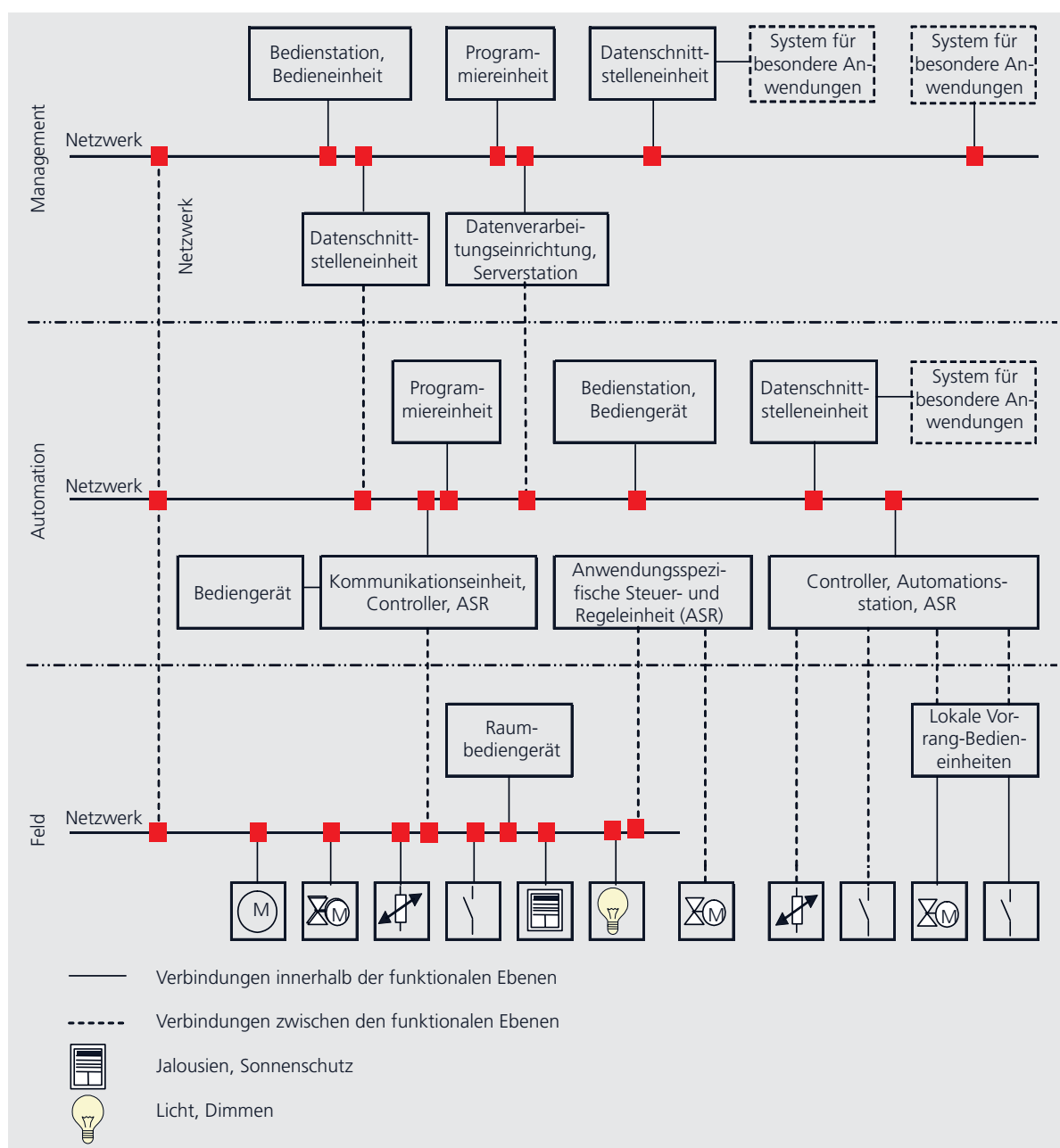


Abbildung 181:
Allgemeines Modell
der Hardware (ge-
rätetechnische
Sicht) eines GA-Sys-
tems. Quelle: EN-
ISO 16484-2

einer GA-Effizienzklasse in eine andere grob abgeschätzt werden kann. Das Verfahren gibt ohne Aufwand eine grobe Vorstellung von den möglichen Energieeinsparungen. Bei einer Investition, bei der man die GA von der GA-Effizienzklasse C auf die Klasse A ausbaut, erzielt man bei Büros beispielsweise eine Einsparung von 30 % bei der thermischen Energie (Heizung und Kühlung) und von 13 % bei der elektrischen Energie (Beleuchtung und Hilfsgeräte). Diese Werte stammen aus einem typischen Bürogebäude und in einem Klima wie in Würzburg.

Besonders wichtig sind die TGM-Funktionen, vor allem bei anspruchsvolleren Anlagen. Die TGM-Funktionen unterstützen die Betreiber der gebäudetechnischen Anlagen beim TGM, und zwar durch Anzeigen, Protokolle, Berichte und Visualisierungen, die das GA-System automatisch erzeugt. Zum TGM gehört, dass das GA-System während der ersten Betriebsphase an das Gebäude, die Anlage und das Benutzerverhalten angepasst wird, und das beim späteren Betrieb Fehleinstellungen und Defekte erkannt und beseitigt werden. Selbstverständlich sind die erwähnten Einsparungen nur dann erreichbar, wenn das Betriebspersonal das TGM tatsächlich umsetzt.

Gute Prozesskenntnisse sind für die GA-Planung sehr wichtig:

■ GA-Funktionen sollten nur dort eingesetzt werden, wo sie einen Nutzen bringen. Zum Beispiel die erwähnte Regelung der

Lüftung nur dort einsetzen, wo die Raumbelegung stark variiert und zeitlich nicht voraussehbar ist. Bei zeitlich voraussehbarer Variation der Belegungen genügt eine zeitabhängige Regelung, bei welcher der Frischluftstrom nach einem vorprogrammierten Zeitplan verändert wird.

Vermeint wird gefordert, den durch die GA und das TGM erzielten Einsparungen des Energieverbrauchs den Eigenenergiebedarf des GA-Systems gegenüberzustellen. Vor allem gilt es zu vermeiden, dass die Zunahme des Eigenenergiebedarfs für einzelne Funktionen (bzw. Funktionsvarianten) grösser als die damit erzielte Einsparung ist. Zu beachten ist, dass für die Beurteilung des Eigenenergiebedarfs der GA die Hardware des GA-Systems, inklusive Antriebe und Fühler, von Bedeutung ist, während für die Beurteilung der mit der GA erzielten Einsparungen die Funktionen der GA massgebend sind.

Normen

■ EN ISO 16484-2:2004 (SIA 386.152), Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 2: Hardware

■ EN ISO 16484-3:2005 (SIA 386.153), Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 3: Funktionen

■ SWKI BA 101-01, Leistungen der Fachingenieure für Gebäudeautomation, 2010

■ EN 15232:2007 (SIA 386.110), Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement

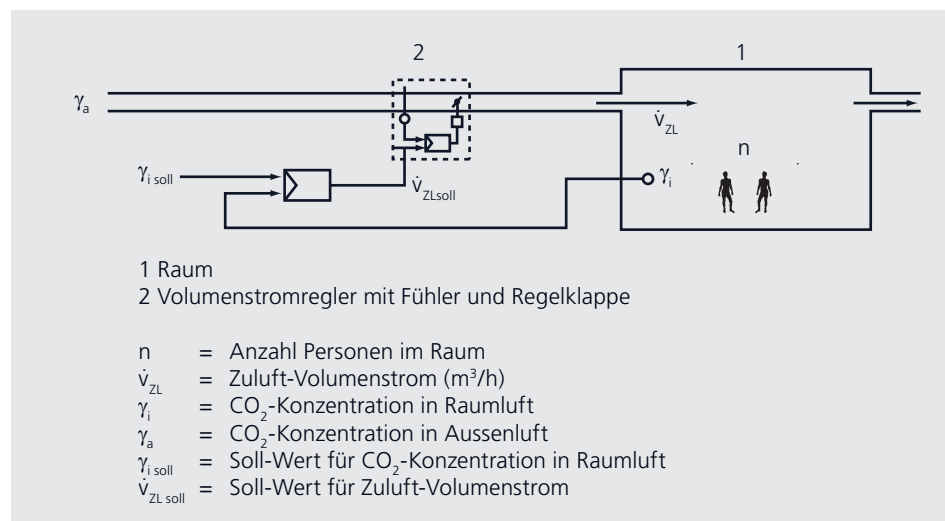


Abbildung 182:
Bedarfsgeregelte
Lüftung mit CO_2 -
Fühler.

Automatische Steuerung und Regelung	
Regelung des Heizbetriebs	
Regelung der Übergabe	
Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf)	
Regelung der Umwälzpumpen	
Regelung der Übergabe respektive der Verteilung bei intermittierendem Betrieb	
Regelung der Erzeuger	
Betriebsabfolge der verschiedenen Erzeuger	
Regelung des Kühlbetriebs	
Regelung der Übergabe	
Regelung der Kaltwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf)	
Regelung der Umwälzpumpen	
Regelung der Übergabe respektive der Verteilung bei intermittierendem Betrieb	
Verriegelung zwischen heizungs- und der kühlungsseitiger Regelung der Übergabe und/oder der Verteilung	
Regelung der Erzeuger	
Betriebsabfolge der verschiedenen Erzeuger	
Regelung der Lüftung und des Klimas	
Regelung des Luftstromes auf Raumebene	
Regelung des Luftstromes auf der Ebene der Luftbehandlungsanlage	
Regelung der Abtauvorgänge des Wärmeübertragers	
Überheizregelung des Wärmeübertragers	
Freie maschinelle Kühlung	
Regelung der Zulufttemperatur	
Regelung der Luftfeuchte	
Regelung der Beleuchtung	
Regelung entsprechend der Belegung	
Regelung abhängig vom Tageslichteinfall	
Regelung des Sonnenschutzes	
Gebäudeautomationssystem	
Zentrale Anpassung des Haus- und Gebäudeautomationssystems an die Bedürfnisse der Nutzer: z. B. Zeitplan, Sollwerte usw.	
Zentrale Optimierung des Haus- und Gebäudeautomationssystems: z. B. Abstimmen der Regeleinrichtungen, Sollwerte usw.	
Technisches Haus- und Gebäudemanagement (TGM)	
Feststellung von Fehlern der haus- und gebäudetechnischen Anlagen und Unterstützung der Diagnose dieser Fehler	
Angabe von Informationen zum Energieverbrauch, zu den Innenraumbedingungen und zu Möglichkeiten der Verbesserung	
GA-Effizienzklasse D	Nicht energieeffiziente GA
GA-Effizienzklasse C	Standard GA (oft als Referenz verwendet)
GA-Effizienzklasse B	Weiterentwickelte GA und einige spezielle TGM Funktionen
GA-Effizienzklasse A	Hoch energieeffiziente GA und TGM

Tabelle 84: Liste von GA- und TGM-Funktionen, die dazu beitragen, die Energieeffizienz des Gebäudes zu verbessern. Quelle: EN 15232

TGM: Technisches Gebäudemanagement

Tabelle 85: GA-Effizienzklassen nach EN 15232

6.6 Messeinrichtungen für Photovoltaikanlagen

Ruben Lüthy **Direkteinspeisung:** Soll die Energie durch die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) vergütet oder an einer Solarstrombörse gehandelt werden, so ist die Messung zwingend nach dem Prinzip Direkt-einspeisung zu realisieren. Bei diesem Prinzip wird der produzierte Strom direkt ins Netz eingespeist. Der Verbraucher bezieht die Energie dann wieder aus dem Netz.

Vorteile für den Betreiber

■ Dieses Prinzip bietet grosse Flexibilität für die Zukunft, da der gewonnene Solarstrom auch an Dritte verkauft werden kann.

■ Es ist keine Privatmessung für statistische Zwecke notwendig.

Nachteile für den Betreiber

■ Es ist ein zusätzlicher Zähler des Energieversorgungsunternehmens (EVU) notwendig, mit diesem Zähler fallen Kosten für Beschaffung, Ablesung und Aufbereitung an.

Eigenverbrauch: Die gewonnene Energie deckt in erster Linie den Verbrauch des Betreibers ab. Allfällige Differenzen werden mit Bezug aus dem Netz bzw. Abgabe an das Netz ausgeglichen und über einen Zähler gemessen. Für dieses Messprinzip gibt es zwei verschiedene Zählerarten. Der Zähler mit Lastprofil saldiert die bezogene und die zurückgespeiste Energie und der Zähler mit zwei Registern misst die bezogene bzw. zurückgespeiste Energie separat.

Vorteile für den Betreiber

■ Es ist kein zusätzlicher Zähler des EVU notwendig.

■ Der gewonnene Solarstrom wird selber verbraucht.

Nachteile für den Betreiber

■ Dieses Prinzip bietet nur wenig Flexibilität für die Zukunft, da die Energie nur an das EVU verkauft werden kann.

■ Für einen allfälligen Verkauf der Energie an Dritte fallen Installationskosten für die Anpassung der Anlage an.

■ Zu statistischen Zwecken ist eine Privatmessung einzubauen. Diese muss aber nicht geeicht sein.

Hinterschaltung: Die Hinterschaltung kommt bei Bezug auf einer höheren Span-

nungsebene, bei Anlagen bei welchen der Einspeisepunkt der PV-Anlage hinter der Bezugsmessung angeordnet ist zum Einsatz. Namentlich sind das Arealnetze und Mittelspannungskunden. Der Rücklieferzähler der Produktion liefert das Lastprofil für die Vergütung der gelieferten Energie. Die Lastgänge des Bezugs- und des Rücklieferzählers müssen für die Ermittlung der bezogenen Energie saldiert werden. Unter Rücksprache mit Swissgrid kann auch dieses Messprinzip für KEV-Anlagen eingesetzt werden.

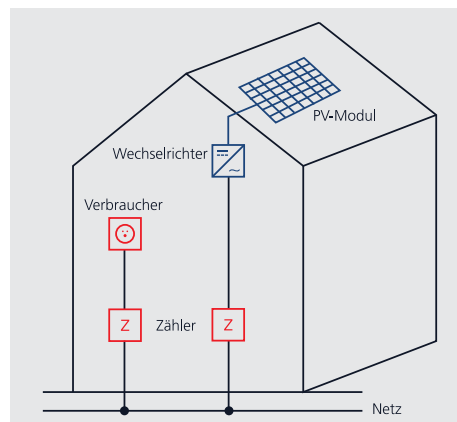


Abbildung 183:
Direkteinspeisung

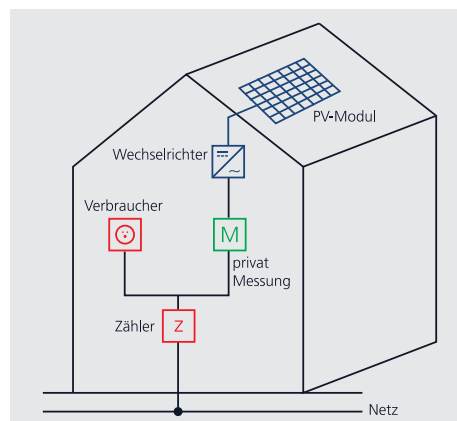


Abbildung 184:
Eigenverbrauch

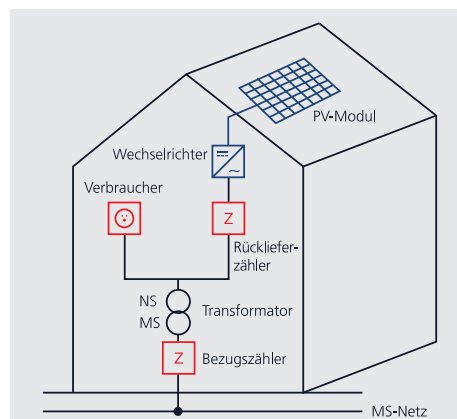


Abbildung 185:
Hinterschaltung

Kapitel 7

Anhang

7.1 Quellen

- Grundprinzipien der sanften Klimatechnik (Kap. 1.5). Von Robert Meierhans (†)
- Hydraulik in der Gebäudetechnik, Siemens Schweiz AG, Zug
- Regeln und Steuern von Heizungsanlagen, Siemens Schweiz AG, Zug
- Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Von Peter Kunz, Thomas Afjei, Werner Betschart, Peter Hubacher, Rolf Lohrer, Andreas Müller, Vladimir Prochaska. Faktor Verlag 2008
- Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032, Schlussbericht. Alex Primas, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG 2008
- Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Von Recknagel, Sprenger, Schramek, 2011/2012
- VDI-Wärmeatlas. 10. Auflage. VDI-Verlag 2006
- Planungsanleitung zu Wärmepumpen. KWT, Kälte-Wärmetechnik AG, Worb, 2010
- Der Solarordner: Empfehlungen zur Nutzung von Sonnenenergie. Swissolar, Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie
- Standardschaltungen von Kleinwärmepumpenanlagen (Stasch). Bundesamt für Energie, BFE

7.2 Weiterführende Infos

Allgemeine Literatur

- Bauphysik, Bau & Energie. Von Christoph Zürcher, Thomas Frank. 3. Auflage. VDF Hochschulverlag 2010
- Element 29. Wärmeschutz im Hochbau. Von Thomas Frank, Jutta Glanzmann, Bruno Keller, Andreas Queisser, Marco Ragonesi. Zürich, Faktor Verlag 2010

Normen und Regelwerke

- Norm SIA 180, Ausgabe 1999. Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau
- Norm SIA 380/1, Ausgabe 2009. Thermische Energie im Hochbau
- Norm SIA 382/1, Ausgabe 2007. Lüftungs- und Klimaanlage – Grundlagen und Anforderungen

- Norm SIA 382/2, Ausgabe 2011. Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf

- Norm SIA 384/1, Ausgabe 2009. Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen

- Norm SIA 410, Stand Februar 2011 (Entwurf). Klassierungsmethodik für die Systeme der Gebäudetechnik

- Norm SIA 416/1, Ausgabe 2007. Kennzahlen für die Gebäudetechnik – Bauteilabmessungen, Bezugsgrößen und Kennzahlen für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik

- Merkblatt SIA 2021, Ausgabe 2002. Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz

- Merkblatt SIA 2024, Ausgabe 2006. Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie und Gebäudetechnik

- Merkblatt SIA 2028, Ausgabe 2010. Klimadaten für Bauphysik, Energie und Gebäudetechnik

- Merkblatt SIA 2031, Ausgabe 2009. Energieausweis für Gebäude

- Merkblatt SIA 2032, Ausgabe 2010. Graue Energie von Gebäuden

- Richtlinie SWKI VA101-01, Ausgabe 2007. Klassifizierung, Testmethoden und Anwendung von Luftfiltern

- Europäische Norm (EN) 15232, Ausgabe 2007. Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement

- Europäische Norm (EN) ISO 16484-2, Ausgabe 2004. Building automation and control systems (BACS) – Part 2: Hardware

Internet

- www.faktor.ch
- www.sia.ch
- www.solarenergy.ch
- www.vdf.ethz.ch
- www.holzenergie.ch
- www.ehpa.org
- www.swissolar.ch

7.3 Autorenverzeichnis



Reto von Euw, dipl. HLK-Ing. FH, dipl. Sanitärtechniker TS

2001 bis 2003: Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG); 2003 bis 2008: Projektleitung bei Reuss Engineering AG in Gisikon und bei Harald Kannewischer und Team in Zug; 2008 bis 2009: Practical training in HVAC in den USA; seit 2009: Hauptamtlicher Dozent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Abteilung Gebäudetechnik



Zoran Alimpic, dipl. HLK-Ing. FH; MBA; eidg. dipl. Energieberater

1986 bis 1992: Gesamtprojektleiter bei Hältg-Engineering in St. Gallen; 1993 bis 2000: Bereichsleiter und Partner bei Amstein+Walthert AG in Zürich; 2000 bis 2009: Technischer Direktor bei Hirslanden AG Head Office in Zürich; 2009 bis 2012: Bereichsleiter und Geschäftsleitung bei Alpiq Eco-Services in Zürich; ab September 2012: Hauptamtlicher Dozent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Abteilung Gebäudetechnik.



Hildebrand Kurt, dipl. Ing. FH/SIA, Prof. für Gebäudetechnik

1982: Diplom an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. 1982 bis 1986: Auslandjahre in Wien; 1986 bis 2000: Projektleiter und Partner bei Meierhans & Partner AG, Fällanden; 2000 bis 2003: Aufbau und Leiter des Zentrums für interdisziplinäre Gebäudetechnik (ZIG) an der Hochschule Luzern; seit 2003: Hauptamtlicher Dozent für Gebäudetechnik (Studiengang Gebäudetechnik und Architektur) an der Hochschule Luzern. Aktiv im nationalen wie internationalen Normenschaften (SIA KGE, SWKI, VDI, CEN, ISO).

Unterstützt wurden die Autoren von Prof. Werner Betschart, Dozent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, und Urban Frei, Geschäftsführer Alpiq Eco-Services AG.

Weitere Autoren

Ruben Lüthy, Elektroplaner, Nussbaumer Elektro AG, Zug

Heinrich Manz, Prof. Dr., Hauptamtlicher Dozent an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw

Jürg Nipkow, dipl. Elektro-Ing. ETH/SIA, S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz, Zürich

Jürg Tödtli, Dr. sc. techn. ETH, Zürich (bis 2009 Leiter Forschung Europa in «HVAC Products», Siemens; heute Consulting Jürg Tödtli)

Volker Wouters, Prof., dipl. El. Ing. HTL/SIA, Dozent Gebäude-Elektroengineering an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Horw; Geschäftsleitung Herzog Kull Group, Beratende Elektro-Ingenieure SIA

7.4 Schlagwortverzeichnis

A

Abgleichdrossel 36, 142
Abluftanlage 120
Absorbtionskühlung 97
Absorption 104
Absperrventil 142
Abtauung 44
Abwärme 20, 152
Abwärmenutzung 120
Abwasserwärmenutzung 152
Adiabatische Befeuchtung 105
Ammoniak 95
Anfeuern 64
Arbeitsplatz 163
Architektur 3
Asymmetrie 87
Atmung 14
Aufbaukollektoren 74
Aufzüge 161
Ausdehnungsgefäß 34
Ausscheidung 14
Aussenlamellenstoren 99
Aussenliegender Wärmeübertragung 148
Aussenluft 44
Aussenluftfassung 116
Aussentemperaturfühler 34
Automation 169
Automationsebene 4
Automatische Holzfeuerungen 64
Axialventilator 134
Azeotrope 93

B

Bauteilkühlung 109
Befeuchtungssysteme 138
Behaglichkeit 12
Beimischschaltung 35, 122
Bekleidungsart 13
Beleuchtung 98
Betriebseinrichtungen 163
Bilanzperimeter 23
Biomassekessel 58
Bivalent-alternativer Betrieb 48
Bivalent-paralleler Betrieb 49
Bivalent-teilparalleler Betrieb 49
Blends 93
Blockheizkraftwerke 71
Brandschutz 139
Brennwert 20
Briketts 63

Brüstungsgerät 112

Bürogeräte 164

C

Changeover 112
Cheminéeofen 65
CO₂-Konzentration 169
Crossflow fans 134

D

Deckenheizung 88, 109
Defroster 125
Diffusstrahlung 74
Direkteinspeisung 172
Direkte Wassererwärmung 144
Direktkühlung 97
Direktschaltung 35
Doppeldecke 111
Drosselschaltung 35
Druckreduzierventil 142
Dunstabzugshaube 164
Durchlaufwassererwärmung 151

E

EER (Energy Efficiency Ratio) 95
Eigenenergieproduktion 20
Eigenverbrauch 172
Einbaukollektoren 74
Einkanalsystem 121
Einkanal-System 140
Einsatzenergie 19
Einspritzschaltung 35, 36, 122
Einzelversorgung 141
Elektrochrome Schichten 166
Endenergie 19
Energiebedarf Warmwasser 26
Energie-Gewichtungsfaktor 23
Energiepfähle 107
Energiequellen 43
Energiespeicher 33
Enhanced Geothermal Systems (EGS) 107
Entleerung 143
Entzugsleistung 46
Erdluftansaug 125
Erdsonde 25
Erdsondenlänge 26
Erdwärmeregister 46
Erdwärmesonden 46
Erneuerbare Energiequellen 18

F

Fahrtreppen 161
FCKW/CFC 92
Feld 169
Feldebene 4
Fensterlüftung 97
Feste Brennstoffe 62
Feuchterückgewinnung 133
Filterüberwachung 116
Filterung 134
FKW/HFC 92
Flachkollektoren 74
Flexibilität 11
Folienrollo 166
Fortluftaustritt 116
Fossile Energieträger 18
Free Cooling 106
Freibadanlagen 75
Frequenz-Umformer 91
Frischwassermodul 151
Fühler 34, 142
Fussbodenheizung 88, 109

G

GA-Effizienzklassen 169
Gasheizkessel 60
Gas-Kochgeräte 164
GA-System 169
Gebäudeautomation 168
Gebäudeorientierung 4
Gefriergeräte 163
Geräte 163
Geregelte Umwälzpumpen 39
Gesamtdurchlassgrad 98
Gesamtenergiedurchlassgrad 165
Gewerbliche Anwendung 77
Gewerbliche Kälte 91, 105
Graue Energie 6, 20
Grundwasser 45
Gruppennetz 158
Gruppenversorgung 141
g-Wert 99, 167
GWP 92

H

Hallenbad 77
Halogeniert 92
Haushaltgeräte 163
Heat Pipe (Wärmerohr) 133
Heizbänder 154
Heizkörper 88, 109
Heizkurve 40

Heizungsanlage 33
Heizwert 20
H-FCKW/HCFC 92
HFKW 92
High-flow-Solaranlage 80
Hilfsenergie 23
Hinterschaltung 172
Hochdruckstörung 46
Holzbriketts 63
Holzfeuerungssysteme 64
Holzheizungen 65
Holzkochherd 65
Horizontaufnahme 5
Hybride Rückkühler 107
Hydraulik 35
Hydraulikantrieb 161
Hydraulische Einbindung 47, 64
Hydrogeothermie 107
Hygienerichtlinien 139

I

Indirekte Wassererwärmung 145
Induktionsgerät 112
Innenliegender Wärmeübertrager 145
Innenraumklima 16
Installationszonen 10
Interner Bypass 36
Interne Wärmelasten 100

K

Kaffeemaschinen 163
Kalkausscheidung 81
Kaldampfzerstäuber 138
Kälteabgabe 90
Kälteerzeugung 90, 102
Kältemittel 42, 92
Kältespeicherung 90
Kälteverteilung 90
Kesselrücklaufhochhaltung 37
Klappen 116
Klimaanlage 126
Klimatechnik 17
Kombispeicher 56, 86
Komfort 12
Kompressionskältemaschinen 103
Kompressor 102
Kondensator 102
Kondenswasserbildung 44
Kondenswasser-Siphon 122
Konstant-Volumenstrom-Anlage 140
Konvektion 14
Konvektionsdecke 111

Konvektive Decke 112
Kostenplaner 3
Kreislaufverbundsysteme 133
Kreuzstrom-Wärmetauscher 118
Küchen 100
Kühldecke 88, 109, 110
Kühllasten 97
Kühlpanel 112
Kühlschränke 163
Kühlsegel 112

L

Ladepumpe 146
Lamellenstoren 167
Laminar-Flow 128
Legionellen 153
Leistungsfähigkeit 14
Low-flow-Solaranlage 80
Luftbefeuchtung 124, 126
Luftbehandlung 134
Lufterhitzer 87
Lufterwärmung 124
Luftfeuchtigkeit 12
Luftförderung 134
Luftheizung 88, 109
Lüftungswärmeverluste 26
Luftwäscher 138
Luft-Wasser-WP 44

M

MAK-Werte 132
Management 169
Managementebene 4
Mischlüftung 88, 109
Mischwasseranlagen 154
Mittelspannung 157
Modula GT 3
Modulierender Brenner 144
Monovalenter Betrieb 48, 51

N

Nachtkühlung 17
Netzversorgung 157
Niederdruckstörung 47
Norm-Heizlast 87
Nutzenergie 20
Nutzungsbedingungen 96
Nutzungsdauer 10

O

Oberflächennahe Geothermie 107
ODP 92

ODR: Ozon Depletion Potential 93
Operative Temperatur 87

P

Pellet 62
Photovoltaikanlagen 172
Platzierung von Aussenfühlern 40
PMV 14
PPD 14
Primärenergie 18
Primärenergiefaktor 22
Primär-Kreislauf 90
Primärsystem 10
Propan 95
Prozesswärme 77

Q

Qualitätssiegel 64
Quelllüftung 88, 109

R

Radialventilator 134
RAL 1 137
Raumgruppe, Zone 23
Raummeter 63
Raummodell 96
Raumnutzung 23
Raumorganisation 3
Rechenzentren 100
Regeneratives WRG-System 133
Regenerativ-Wärmetauscher 133
Regler 34, 143
Rekuperation 161
Retrofit Blends 93
Risikogruppe 155
Rückflussverhinderer 142
Rückkühler 106
Rückkühlung 90
Rücklaufhochhaltung 58
Rückspeisung 161

S

Schachtkonzept 10
Schnittstellen 91
Schnitzel 62
Schwimmbad 77
Second tier 134
Sekundärenergie 18
Sekundär-Kreislauf 90
Sekundärsystem 10
Server 163
Sicherheitstemperaturbegrenzung 36

Sicherheitsventil 33, 142
Solarwärmenutzung 74
Sole-Wasser-WP 46
Sonnenschutz 99, 165
Sonnenstandsdiagramm 5
Sorptionsskühlung 105
Speicheraktivierung 98
Speichermasse 98
Speicherofen 65
Speicherwassererwärmer 53
Speicherwassererwärmung 34, 143
Standardnutzung 23
Standby 161
Staubsauger 163
Stellorgan 34, 143
Strahlennetz 158
Strahlung 14
Strahlungsangebot 74
Strahlungsasymmetrie 87
Strahlungsdecke 111
Strömungsgeschwindigkeiten 138
Stückholz 62

T

Tabs 88
Teil-halogeniert 92
Temperatur-Asymmetrie 16
Tertiärsystem 10
TEWI-Kennwert 94
TGM-Funktionen 168
thermischer Komfort 97
Thermoaktive Bauteilsysteme (Tabs) 109
Tiefe Geothermie 107
Total Equivalent Warming Impact 94
Traktionsantrieb 161
Transmissionswärmeverluste 26
Treibhausgasemissionen 22
Turbocor 103
Turbomaschinen 103

U

Überhitzungsproblematik 80
Ultraschallbefeuchter 138
Umlenkschaltung 35
Umluftkühler 88, 109
Umwälzpumpe 33
Unverglaste Flachkollektoren 75

V

Vakuumröhrenkollektoren 75
Ventilatoren 134
Ventilatorleistung 134

Ventilatorüberwachung 116
Verbrennungsphase 64
Verdampfer 102
Verdunstung 14
Verdunstungskühlung 105
Verkalkungsschutz 149
Vorhänge 166
Vorlauftemperaturregelung 39

W

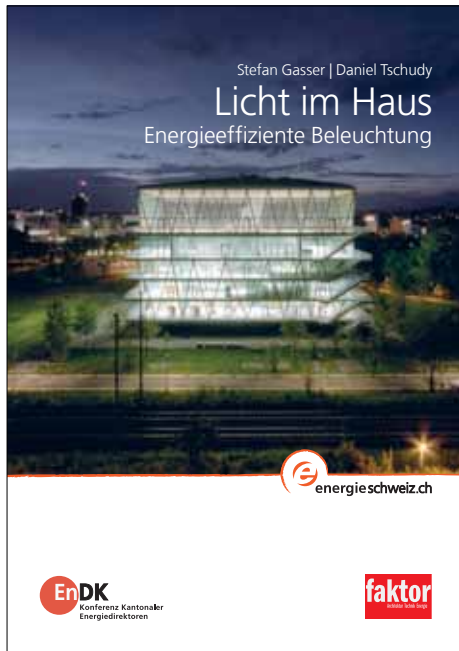
Wärmeabgabe 14, 33
Wärmeempfinden 12
Wärmeerzeuger 33
Wärmekraftkopplung 71
Wärmelasten 96
Wärmepumpe 25
Wärmepumpen 42
Wärmerückgewinnung 23, 102
Wärmeübertrager 142
Warmwasserspeicher 34, 143
Warmwasserversorgung 141
Wäschetrocknen 164
Wasser-Wasser-WP 45
Witterungsfühler 34
WKK-Anlagen 71

Z

Zentralen 10
Zentralversorgung 141
Zirkulationspumpe 142, 154
Zulufterwärmung 117
Zusatzheizung 58
Zweikanal-System 140

Fachbuchreihe

Grundlage für die Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern» bilden die Zertifikatskurse des Masterstudienganges «Energie und Nachhaltigkeit am Bau» (www.enbau.ch), ein Weiterbildungsangebot von fünf schweizerischen Fachhochschulen.



Licht im Haus

Energieeffiziente Beleuchtung: Gut beleuchtete Räume haben für den Wohn- und Arbeitskomfort eine enorme Bedeutung. Tageslicht respektive gutes Kunstlicht steigern Wohlbefinden und Konzentrationsfähigkeit. Dass diese gestalterischen Qualitäten auch mit geringem Stromeinsatz möglich sind, davon handelt dieses Buch. Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz – Institut Energie am Bau. Autoren: Stefan Gasser, Daniel Tschudy.

Faktor Verlag, Zürich Dezember 2011, 180 Seiten, 38 Franken.

Spezialpreis für Studenten: 25 Franken.

ISBN: 978-3-905711-15-8



Erneuerung – Nachhaltiges Weiterbauen

Weiterbauen im 21. Jahrhundert: Die Autoren verstehen Weiterbauen nicht als ein anspruchsloses, notdürftiges Zurechtbiegen eines Gebäudes, sondern als grosse Herausforderung, die ein integrales Verständnis für das Bestehende, die Beherrschung der aktuellen Techniken und Vorgaben der Nachhaltigkeit sowie eine hohe Innovationsbereitschaft abverlangt.

Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz – Institut Energie am Bau. Autoren: Peter Schürch, Dieter Schnell.

Faktor Verlag, Zürich Oktober 2011, 150 Seiten, 38 Franken.

Spezialpreis für Studenten: 25 Franken.

ISBN: 978-3-905711-13-4

