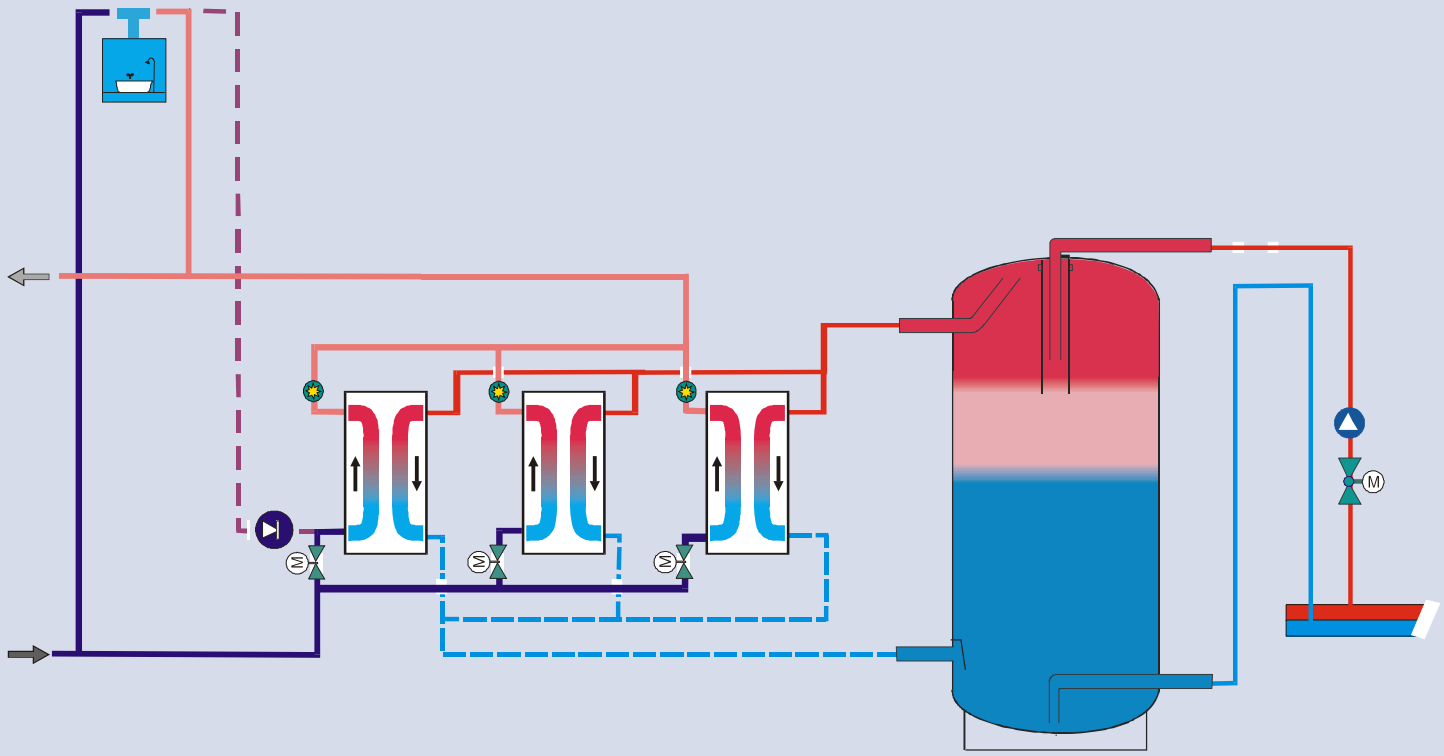
varmeco
wärme.nutzen

> varmeco // Wärme clever geregelt

> Planungshandbuch Frischwassertechnik

VARIO fresh-nova
SYSTEM 014-2
SYSTEM 018



© 2010 by varmeco GmbH & Co. KG.
Änderungen vorbehalten.

varmeco
wärme.nutzen

> Inhalt

1 Allgemeines 4
1.1 Aufgabe der Warmwasserversorgung (WWV) 4
1.2 Anforderungen an die Warmwasserversorgung 4
1.3 Einteilung der WWV-Anlagen 4
1.4 Bestimmungen zur Sicherheit und Energieeinsparung 4
1.5 Korrosionsschutz 4
1.6 Versteinungsschutz 4
1.8 Hygiene 5
1.7 Graphische Symbole 6

2 Funktionsweise der Frischwasserertechnik 7
2.1 Der Frischwassererwärmer 7
2.2 Der Leitwerkschichtspeicher® 8
2.3 Systemeinbindung Einzelgeräte 9

3 Wärmebedarfsermittlung zur Auslegung des Trinkwarmwassererwärmers 11
3.1 Warmwasserverbrauch allgemein 11
3.2 Die Methoden der Wärmebedarfs-ermittlung 11
3.3 Berechnung nach DIN 4708 (Bedarfskennzahl) 12
3.4 Berechnungsbeispiele nach DIN 4708 14
3.5 Berechnung nach der Verbrauchs- oder Bedarfskurve 16
3.6 Spitzenleistung nach DIN 1988 17
3.7 Berechnungsbeispiele nach DIN 1988 19

4 Kesselleistung und Speicherinhalt 20
4.1 Kesselleistung 20
4.2 Speicherinhalt 20

5 Wärmeschaubild 23
5.1 Auslegung mit dem Wärmeschaubild 23
5.2 Software als Auslegungshilfe 24

6 Komponentenauswahl 25
6.1 Auswahl des Speichers 25
6.2 Auswahl des Frischwassererwärmers 25
6.3 Druckverlustberechnung 25

7 Anlagendimensionierung 26
7.1 Flußdiagramm zur Anlagendimensionierung 26

8 Dimensionierungsbeispiele 27
8.1 Allgemeines zur Dimensionierung 27
8.2 Dimensionierungsbeispiel Wohngebäude 27
8.3 Dimensionierungsbeispiel Hallenbad 29

A Anhang 35
A.1 Formblatt zur Ermittelung der Bedarfskennzahl N nach DIN 4708 T2 35
A.2 Formblatt zur Ermittelung der Spitzenleistung nach DIN 1988 T3 36
A.3 Leistungskennzahlen der Leitwerkschichtspeicher 37
A.4 Geräteauswahl über die NL-Zahl 38
A.5 Kennlinienfeld der Leistungskennzahl NL zur FWE-Auswahl 39
A.6 Kennliniefeld Nenn-Zapfvolumenstrom zur FWE-Auswahl 40
A.7 Geräteckdaten 41
A.8 Leistungsdiagramme der Gerätetypen FWE 20, 30, 40 und 50 bei TWW 45°C 42

1 Allgemeines

1.1 Aufgabe der Warmwasserversorgung (WWV)

Unter Warmwasser versteht man in Wasser-erwärmern auf max. ca. 90 °C erwärmtes Trinkwasser. In der modernen Wirtschaft wird es in großem Umfang gebraucht, wobei der Bedarf von den Haushalten über Gaststätten, Hotels, Betriebsküchen und Krankenhäuser bis zu den gewerblichen und industriellen Betrieben sehr stark zunimmt. Die Aufgabe des Planers ist es, das für den jeweiligen Zweck geeignete Verfahren der Warmwasserversorgung zu erkennen und die Warmwasserversorgungsanlagen so zu bauen, daß sie den Ansprüchen der Verbraucher in technischer, wirtschaftlicher und hygienischer Hinsicht am besten entsprechen.

1.2 Anforderungen an die Warmwasserversorgung

Folgende Anforderungen werden an die Warmwasserversorgung gestellt:
- verfügbar mit gewünschter Temperatur
- verfügbar in gewünschter Menge
- verfügbar ohne große Zeitverzögerung
- Temperatur regelbar an der Entnahmestelle
- hygienisch einwandfrei
- betriebssicher
- kostengünstig, energiesparend und umweltfreundlich

1.3 Einteilung der WWV-Anlagen

WWV-Anlagen können nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden:
- Art der Wärmequelle:
  Kohle-, Öl-, Gas-, Wasser-Wasser-Erwärmer usw.
- Art der Beheizung:
  direkt (unmittelbar) beheizte Wassererwärmer
  indirekt (mittelbar) beheizte Wassererwärmer
- Zahl der Entnahmestellen:
  Einzel-, Gruppen-, Zentralversorgung
- Wasserdruck im WW-Erzeuger
  offene oder geschlossene Anlagen
- Wassererwärmungssystem:
  Durchfluß-, Speicher-, kombiniertes Durchfluß-Speichersystem
- Größe der Anlage DIN 4753 T1 03.88:
  Gruppe I:
  Das Produkt aus p x V = Druck x Inhalt (bar x Liter) ist < 300 und die Wärmeleistung P < 10 kW bei Speichersystemen bzw. V < 15 Liter und P < 50 kW bei Durchflußsysteme
  Gruppe II:
  Alle übrigen Anlagen. Diese benötigen eine Prüfung durch Sachverständige, mit Ausnahme der mittelbar mit < 110 °C beheizten Behälter.

Anmerkung: Die Frischwassererwärmer der Firma varmeco sind demnach geschlossene, indirekte, kombinierte Durchfluß-Speichersysteme der Gruppe II nach DIN 4753.

1.4 Bestimmungen zur Sicherheit und Energieeinsparung

Verordnungen:
- Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (01.01.03),Diese Verordnung regelt die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- Heizungsanlagen-Verordnung (22.03.94) bezüglich Dämmschichtstärke von Rohrleitungen. Ferner ist die WW-Temperatur auf 60 °C zu begrenzen, sofern Rohrlängen > 5 m und Verbraucher nicht zwingend höhere Temperaturen benötigen. Zirkulationspumpen müssen über Zeitschaltuhr abstellbar sein.
- Verordnung über Heizkostenabrechnung (20.01.89), regelt verbrauchsgerechte WW-Erfassung
- Kleinfeuerungsanlagen-Verordnung (1. BImSchVO v. 15.07.88), regelt Abgasverluste

DIN-Normen:
- DIN 4753 T1 (03.88): Wassererwärmer und -Anlagen für Trink- und Betriebswasser, Anforderungen, Kennzeichnung, Ausrüstung und Prüfung
- DIN 4708 T1-T3 (04.94): Zentrale Wasser-Erwärmungsanlagen
- DIN 1988 T1-T8 (12.88): Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI)

Richtlinien:
- TRD 721, Sicherheitsventile (05.82, Entwurf 11.93): Sicherheitstechnische Richtlinien für Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung für Heizungsanlagen
- DVGW-W551: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Techn. Maßnahmen zur Vermeidung von Legionellenwachstum: Regler-Einstelltemperatur bei Großanlagen mit Speicherinhalten V > 400 l und Wasserinhalt in den TWW-Leitungen > 3 l (ausgenommen Ein- und Zweifamilienhäuser) soll 60 °C betragen.
- DVGW-W552: Altanlagen und hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen

1.5 Korrosionsschutz

Alle warmwasserführenden Teile sind stark durch Korrosion gefährdet, besonders bei Temperaturen über 60 °C und aggressivem Wasser. Kennzeichen der Korrosion ist ein mehr oder weniger gleichmäßiger Flächenfraß oder auch stellenweise auftretender Lochfraß. Um die Trinkwasserqualität nicht zu beeinträchtigen, definiert die DIN 4753 T3-T6 verschiedene Korrosionsschutz-Maßnahmen. Die Wirksamkeit der Verfahren ist sehr unterschiedlich und nur durch erfahrene Fachleute zu beurteilen. Am meisten wird verwendet: Edelstahl und Emaillierung.

1.6 Versteinungsschutz

Wasserstein tritt bei Störung des Gleichgewichts zwischen Calcium-Hydrogencarbonat und Kohlensäure auf. Es führt zu Querschnittsverengungen der Rohrleitungen und Erschwerung des Wärmedurchgangs. Bei Carbonathärten unter 10 °dH und Temperaturen unter 60 °C ist eine wesentliche Steinbildung nicht zu erwarten.
Bei größerer Härte empfiehlt sich die Zugabe von Polyphosphaten mittels Dosierpumpe, wodurch der Niederschlag von festem Carbonat teilweise oder ganz verhindert wird (Stabilisierung der Carbonathärte).

1.8 Hygiene

Legionellen sind Bakterien, die die oft tödlich verlaufende Legionärskrankheit hervorrufen können. Während die Einnahme von Legionellen im Trinkwasser als unschädlich gilt, ist das Versprühen und Einatmen als Aerosol gefährlich.
Nach heutigem Erkenntnisstand vermehren sich Legionellen in Warmwasser-Bereichen bei längeren Verweilzeiten am stärksten zwischen 32 und 42 °C und werden bei 60 bis 65 °C getötet.
Warmwasserspeicher mit Temperaturschichtung sind ungünstig. Regelmäßige Entschlammung wird empfohlen, da Schlamm einen guten Nährboden bietet. Selten genutzte Rohrzweige sind verkeimungsgefährdet und daher stillzulegen.
Umwälzung bis vor die Zapfstelle ist anzustreben, ebenso wenigstens kurzzeitig hohe WW-Temperaturen, um die Abtötung zu erzielen. Dieses steht nicht unbedingt im Widerspruch zur Heizungsanlagen-Verordnung, die allgemein die WW-Temperatur auf max. 60 °C begrenzt und zeitweises Auskühlen empfiehlt, aber, wenn nötig, Ausnahmen zuläßt.
Bei elektrischer Begleitheizung ohne Zirkulationsleitung kann man über eine Schaltautomatik vorübergehend auf 65 °C aufheizen (Thermische Desinfektion). Ferner wurden UV-Geräte entwickelt, die im Rohr eingebaut werden. Aerosolbildung durch fein zerstäubende Duschköpfe (Sparduschen) ist zu vermeiden.
Die WW-Temperatur unmittelbar vor dem Mischer am Auslauf sollte 55 °C nicht unterschreiten. Dezentrale WW-Erwärmer sind demnach günstiger, jedoch besteht Verbrühungsgefahr. Bei Speichern ist für großes Volumen im Verhältis zum Netzvolumen zu sorgen, damit hohe Verweilzeiten bei hohen Temperaturen entstehen. Zur Vermeidung von Verbrühungen kann die thermische Desinfektion von WW-Speichern und Rohrleitungen in den Nachtstunden erfolgen.
Das Arbeitsblatt DVGW-W551 regelt die technischen Maßnahmen bei Neuanlagen, um das Legionellenwachstum in der gesamten Wassererwärmungsanlage zu vermindern. Bei Kleinanlagen (Ein- und Zweifamilienhäuser) sind aufgrund des geringen Risikos keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Bei neuen Großanlagen (Speicherinhalt > 400 l) ist vor allen Dingen folgendes zu beachten:

- Gleichmäßige Erwärmung im Speicher, Vorwärmstufen einmal täglich auf 60 °C erwärmen;
- Zirkulationssysteme oder Begleitheizung vorsehen, nicht länger als 8 Stunden täglich unterbrechen;
- am WW-Austritt 60 °C (Regler-Einstelltemperatur);
- im gesamten zirkulierenden Umlauf max. 5 K Abkühlung.

Als alternative Möglichkeit ist im Vorwort erwähnt, daß „Anlagen, die nicht die Anforderungen des Arbeitsblattes erfüllen, durch regelmäßige mikrobiologische Untersuchungen in eigener Verantwortung überwacht werden müssen."
Für Altanlagen ist das Arbeitsblatt W552 erschienen. Es gilt für die Sanierung von mit Legionellen kontaminierten und den Betrieb von sanierten Anlagen. Die wichtigsten möglichen Maßnahmen:

- Betriebstechnik: Temperaturen > 55 °C, Zirkulationspumpen durchgehend betreiben, Vorwärmstufen einmal täglich erwärmen;
- Verfahrenstechnik: thermisch, chemisch oder mit UV desinfizieren;
- Bautechnik: nicht nötige Rohrleitungen abtrennen, Zirkulationssystem einregulieren;
- Wartung: Verträge empfehlen, Sanierungsprotokoll anfertigen;

Tabelle 1.1: Wasserbehandlungsmaßnahmen zur Vermeidung von Steinbildung in Abhängigkeit von Calcium-Massenkonzentration und Temperatur

Calcium-Massenkonzentration mg/l	Maßnahmen bei ϑ < 60 °C	Maßnahmen bei ϑ > 60 °C
< 80 (entspricht etwa Härtebereich 1 und 2)	keine	keine
80 bis 120 (entspricht etwa Härtebereich 3)	keine oder Stabilisierung oder Enthärtung	keine oder Stabilisierung oder Enthärtung
> 120 (entspricht etwa Härtebereich 4)	keine oder Stabilisierung oder Enthärtung	Stabilisierung oder Enthärtung

1.7 Graphische Symbole

Zur Darstellung von WW-Systemen in Zeichnungen werden in Deutschland folgende graphische Symbole gemäß Tabelle 1.2 verwendet (DIN 1988 T1 12.88):

Tabelle 1.2: Grafische nach DIN 1988 T1 12.88

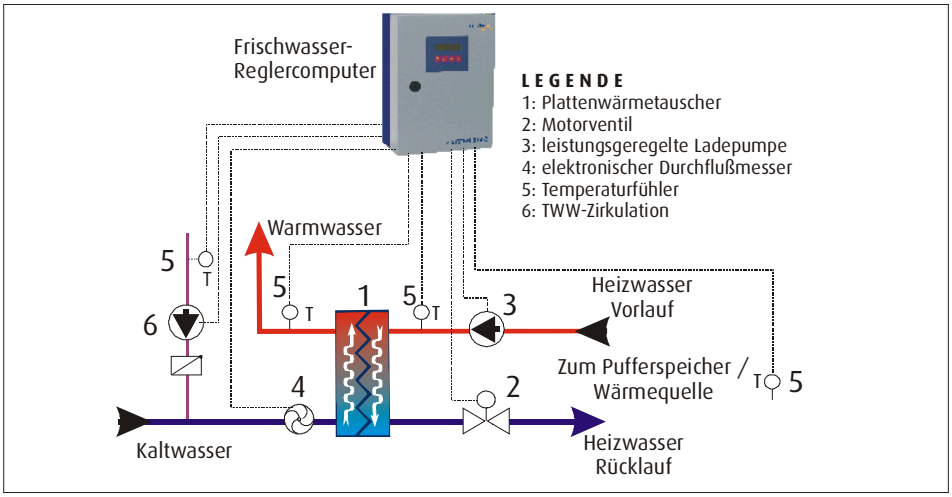
	Absperrorgan (allg.)		Rückschlagventil in Eckform		Rohrbe- und Entlüfter
	Dsgl. mit Motorantrieb		Rückschlag-klappe		Dsgl. mit Tropf-wasserleitung
	Dsgl. mit Magnetantrieb		Absperr-klappe		Rohr-unterbrecher
	Dsgl. mit Membransteuerung		Absperr-schieber		Rohrbruch-sicherung
	Dsgl. mit Schwimmersteuerung		Durchgangs-hahn		Rohrtrenner
	Dsgl. mit Kolbenantrieb		Eck-hahn		freier Auslauf, Systemtrennung
	Durchgangsventil (allg.)		Dreiwege-hahn		Wandbatterie kalt, warm
	Durchgangsabsperr-ventil (handbetätigt)		Vierwege-hahn		Standbatterie kalt, warm
	Dsgl. mit Entleerung		Auslaufventil		Brause
	Durchgangs-schwimmerventil		Mit Schlauch-verschraubung (SV)		Schlauchbrause
	Sicherheitsventil federbelastet (Durchg.)		Dsgl. mit Belüfter		Selbstschluß-armatur
	Dsgl. Eckform		Anbohrschelle (z.B. seitlich)		Druckspüler
	Dsgl. gewichtsbelastet		Ventilanbohr-schelle (oben)		Mischer (Sanitär)
	Dreiwege-ventil		Auslaufventil mit SV, Rückflußverhinderer und Rohrbelüfter	S	Spülkasten
	Vierwege-ventil		Schmutzfänger		Wasserstrahl-pumpe
	Eckwege-ventil		Auslauf-Schwimmerventil		Wandhydrant
	Druckminder-ventil		Rohrbelüfter Durchgangsform		Unterflur-hydrant
	Rückfluß-verhinderer		Rohrbelüfter (Einzelbelüfter)		Überflur-hydrant
	Durchgangsventil mit Rückflußverhinderer und Prüfeinrichtung		Rohrentlüfter		Pumpe

2 Funktionsweise der Frischwasserertechnik

2.1 Der Frischwassererwärmer

Die varmeco Frischwassertechnik ersetzt konventionelle Speicherwassererwärmer oder Ladesysteme zur Trinkwasser-erwärmung. Das Funktionsprinzip des Frischwassererwärmers lässt sich mit Durchlauferhitzern vergleichen, nur dass die Frischwassererwärmer indirekt beheizt werden.
Die Wärmeübertragung vom Heizwasser an das Trinkwasser erfolgt über einen gelöteten Edelstahl-Plattenwärmetauscher. Im Kaltwasserzufluß der Trinkwasserseite befindet sich ein elektronischer Durchfluß-messer. Drei schnell reagierende Temperatur-fühler befinden sich am Warmwasser-Ausgang, am Heizwasservorlauf sowie am Heizwasserspeicher (falls kein Heizwasserspeicher vorhanden: an der Wärmequelle). In den heizwasserseitigen Zuleitungen sind eine Pumpe und ein elektri-sches Motorventil angebracht. Die Steuerung des Systems erfolgt über einen Regelungs-computer. Dieser wertet die Daten der Temperaturfühler und des Durchflußmessers aus, öffnet und schließt das Motorventil und regelt die Ladepumpe in der Leistung (Drehzahl).
Dieses hydraulische wie regelungstechnische Prinzip ist patentrechtlich geschützt. Die ersten Patentanmeldungen in diesem Zusammenhang reichen bis in das Jahr 1992 zurück.

Bild 2.1: Schematischer Aufbau des Frischwassererwärmers



Strategie zur Leistungsregelung der Ladepumpe
Anstatt ausschließlich Temperaturfühler zu verwenden, entschloß man sich bei varmeco zusätzlich zum Einsatz eines Volumen-strommessers. Die Logik dieser Entscheidung wird aus einer Betrachtung der physikali-schen Grundlagen der Wärmeübertragung deutlich:

Wärmeaufnahme Trinkwasser (TW) ist gleich Wärmeabgabe Heizwasser (HW)

$$Q'_{TW} = Q'_{HW}$$

oder

$$V'_{TW} \times \Delta\vartheta_{TW} = V'_{HW} \times \Delta\vartheta_{HW}$$

Darin bedeuten:
V'_{TW} - Durchfluß TW (bekannt):
Durchfluß des Trinkwassers durch den Plattenwärmetauscher
$\Delta\vartheta_{TW}$-Temperaturdifferenz TW (vorgegeben):
Temperaturunterschied zwischen dem eintretenden kalten Trinkwasser und der eingestellten Temperatur, die das Trinkwasser nach dem Austritt aus dem Frischwasserer-wärmer haben soll.
V'_{HW}-Durchfluß HW (Regelgröße):
Durchfluß des Heizwassers durch den Plattenwärmetauscher, dieser wird durch die Frischwasserladepumpe geregelt.
$\Delta\vartheta_{HW}$-Temperturdifferenz HW (bekannt):
Temperturunterschied zwischen dem heißen Vorlaufwasser und dem abgekühlten Rücklaufwasser nach dem Platten-wärmetauscher.

Außer den Systemtemperaturen wird also auch der trinkwasserseitige Massenstrom erfaßt. Die Regelgröße ist der heizwasser-seitige Massenstrom. Dieser kann nun aufgrund aller anderen Daten gesteuert werden. Alle Parameter können sich jedoch innerhalb von Sekundenbruchteilen verän-dern, deshalb muß auch die Erfassung der Daten und die Pumpenansteuerung äußerst schnell erfolgen. Zudem sind die Zusammen-hänge nicht linear, da sich z.B. auch das Übertragungsverhalten des Wärmetauschers bei unterschiedlichen Massenströmen und Temperaturen ständig ändert. Um diese Anforderungen in den Griff zu bekommen, basiert die Regelung des varmeco Frisch-wassererwärmers auf einem neuronalen Netzwerk.

Neuronale Netzwerktechnik

Die Umsetzung der Theorien über neuronale Netze findet in der modernen Regelungstechnik immer mehr Anwendung, da viele Aufgabenstellungen zuverlässig gelöst werden können, die mit der konventionellen Regelungstechnik oftmals nur sehr aufwendig oder nur ungenügend zu bewältigen sind. Das neuronale Netz, welches Eingangs- und Ausgangsgrößen miteinander verknüpft, ist in Struktur und Funktionsweise eine primitive Nachahmung des menschlichen Gehirns.
Die Verknüpfungen sind hierbei nicht starr, sondern ändern sich nach bestimmten Lernmethoden, um die Regelungsaufgabe besser zu bewältigen.
Zur Umsetzung beim Frischwassererwärmer ist im Computerprogramm eine Art Tabellenwerk oder Datenbank angelegt. Hier werden ständig die gerade vorliegenden Temperaturverhältnisse und Volumenströme, die gewünschte Trinkwarmwasser-Temperatur und die Zuordnung der Pumpenleistung abgelegt. Während des Betriebs wird diese Datenbank kontinuierlich angepasst, um das bestmögliche Resultat zu erzielen. Damit optimiert die Regelung ihr Verhalten durch ständige Lernprozesse.

Die varmeco Frischwassererwärmer sind standardmäßig mit einer entsprechend leistungsstarken Pumpe ausgerüstet, um Spitzenzapfraten abdecken zu können. Ihre Regelung erfolgt über eine getaktete Stromzufuhr. Dabei erfolgt der nächste Stromimpuls, bereits bevor die Pumpe vollständig zur Ruhe kommt (sog. Impulspaketsteuerung). Auf diese Weise werden hohe Einschaltströme vermieden und die Pumpenmechanik geschont. So ist ein stufenloser Regelungsbereich zwischen 1 % - 100 % der Maximalleistung möglich und selbst in niedrigen Teillastbereichen wird eine hohe Regelungsgüte erreicht. Andere Strategien zur Leistungsregelung von Pumpen wie Frequenzmodulation und Phasenanschnittsteuerung (auf deren genaue Funktionsweise soll hier nicht weiter eingegangen werden) ermöglichen nur einen Regelbereich zwischen etwa 20 % - 100 % und sind deshalb im wichtigen unteren Leistungsbereich zu ungenau.

2.2 Der Leitwerkschichtspeicher®

Energiespeicherung ist immer dann nötig, wenn Wärmeangebot und -nachfrage nicht zeitgleich verlaufen oder von der Größe stark unterschiedlich sind. Dies trifft natürlich für die meisten Solartechnikanwendungen zu. Aber auch für sonstige Wärmeerzeuger ist ein Pufferspeicher von großem Vorteil wie, z.B.:

- als Wärmespeicher für Durchlauferwärmer um den Anschlusswert zu reduzieren
- die Lauf- und Stillstandszeiten von Gas- oder Ölbrenner werden umwelt- und geräteschonend verlängert
- bei Feststoffkesseln ist ein Puffer aus energetischen Gründen oftmals bereits vorgeschrieben

Eine Besonderheit ist die patentierte Leitwerkseinrichtung: sie ermöglicht eine konzentrierte Energieeinleitung und damit extreme Temperaturschichtung, zudem lassen sich zwei Speicherzonen mit unterschiedlichem Temperaturniveau ansprechen.
Die gesamte Einheit besteht aus dem Stahlbehälter mit vier Anschlussrohren, einem Entlüftungsanschluss und der integrierten Leitwerkseinrichtung.

Zieltemperaturgeführte Pufferspeicherladung
Optional kann auch die Pufferspeicherladung vom varmeco Frischwassererwärmer geregelt werden. Dieser wird dann immer auf einem Temperaturniveau knapp oberhalb der programmierten Warmwassertemperatur geladen (ca. +10 K, Überhöhung programmierbar). Dabei wird auch die Speicherladepumpe in der Leistung so geregelt, dass sich das Heizwasser im Wärmeerzeuger in einem Durchfluss auf die Zieltemperatur erwärmt (z.B. von 20 °C auf 65 °C). Heizwasser wird auf diese Weise von oben her mit nutzbarer Temperatur in den Pufferspeicher eingeschichtet und der Wärmeerzeuger erhält trotzdem ständig kühles Rücklaufwasser, welches sich im Temperaturbereich zwischen 20-25 °C bewegt. So kann z.B. ein Brennwertkessel fast völlig ohne Abgasverluste (<1 %) betrieben werden.
Die Speicherladung wird durch einen im oberen Teil positionierten Speicherfühler bei Unterschreitung der Solltemperatur gestartet und durch einen im unteren Teil positionierten Speicherfühler bei Erreichen der Solltemperatur beendet. Die Kontrolle der Ladetemperatur erfolgt durch je einen Fühler am Wärmeerzeuger und an der Heizwasser-Vorlaufleitung.

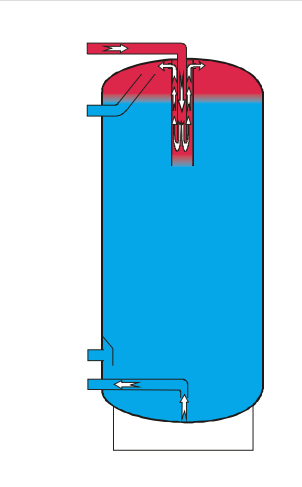
Bild 2.2: Parallellschaltung zweier Leitwerkschichtspeicher®

> Funktionsweise Frischwasserertechnik

Bild 2.3: Funktionsweise des Leitwerkschichtspeicher®

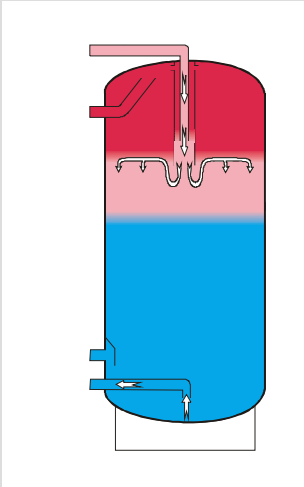
So einfach funktioniert der Leitwerkschichtspeicher® - er braucht dazu weder Klappen noch Ventile!

Laden der Warmwasserzone



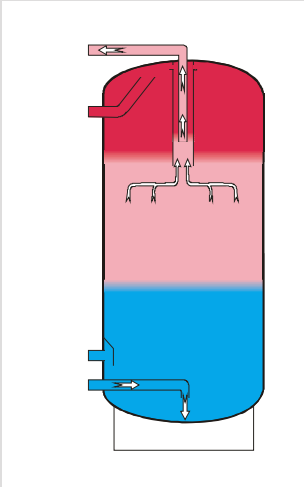
Heißes Ladewasser strömt von oben in den kalten Leitwerkschichtspeicher[3]. Es wird zunächst nach unten geführt, steigt dann aber, da es leichter ist als das übrige Speicherwasser, im Spalt zwischen innerem und äußerem Leitrohr nach oben und gelangt in die Speicherkuppel.

Laden der Heizungszone



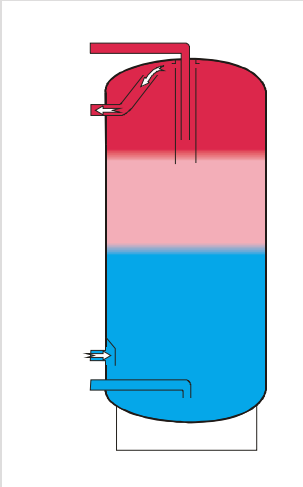
Der obere Bereich des Leitwerkschichtspeichers[3] ist heiß. Handwarmes Ladewasser strömt in den Speicher. Das heiße, leichte Wasser blockiert das Aufsteigen. Durch die untere Öffnung des Leitwerks gelangt das Ladewasser direkt in den oberen Bereich der Speicherreserve.

Entladen der Heizungszone



Über das Leitwerk kann dem Speicher zur Versorgung der Raumheizung Wärme entzogen werden. Dabei wird nur der Reservebereich unterhalb der Leitwerkseinrichtung entladen. Die Temperatur im oberen Speicherbereich bleibt erhalten.

Entladen der Warmwasserzone



Die Energie für die Brauchwassererwärmung kommt aus dem heißesten Bereich des Leitwerkschichtspeichers[3]. Selbst bei scharfen Strömungen hält die Wirbelbremse am Kaltwassereintritt die Temperaturschichtung stabil.

2.3 Systemeinbindung Einzelgeräte

Die varmeco Frischwassererwärmer sind als komplett vorgefertigte, anschlussbereite Einheiten konzipiert. Sie verfügen über jeweils einen Anschluss für Kaltwasserzulauf, Warmwasserablauf und den heizwasserseitigen Vor- und Rücklauf. Optional verfügt das Einzelgerät über eine geräteinterne Zirkulationspumpe mit einem entsprechenden Anschluss für die Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitung.
Benötigt die Warmwasser-Bedarfspitze mehr Leistung als der Heizkessel erbringen kann, so wird heizwasserseitig ein Pufferspeicher (siehe Bild 2.4) zum Einsatz kommen, um den Anschlusswert nicht zusätzlich zu erhöhen. Der Speicher bevorratet dann genügend heißes Heizwasser, um die Bedarfsspitzen abzudecken. Im Gegensatz zu konventionellen Systemen wird hier die notwendige Wärme also nicht im Trinkwasser selbst gespeichert, sondern im Heizwasser.

Mit diesem Heizwasser kommt der Nutzer nicht in Kontakt. Dadurch entfallen hygienische Bedenken der Trinkwarmwasser-Speicherung. Der Pufferspeicher wird von einem Wärmeerzeuger immer wieder bei Bedarf nachgeladen.

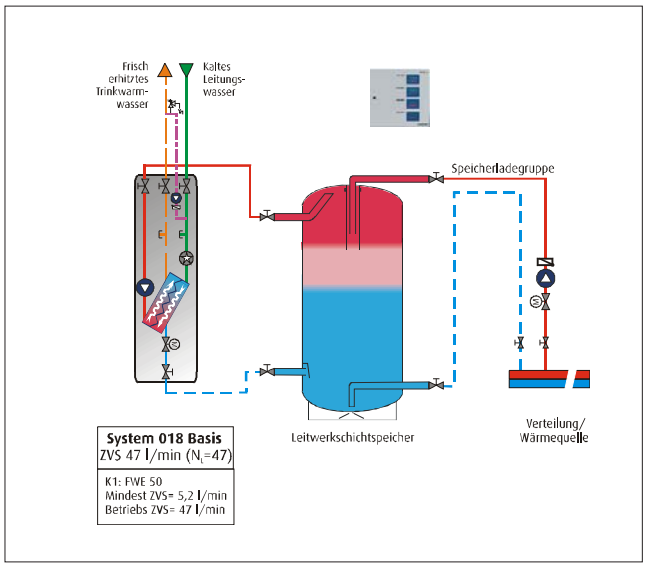


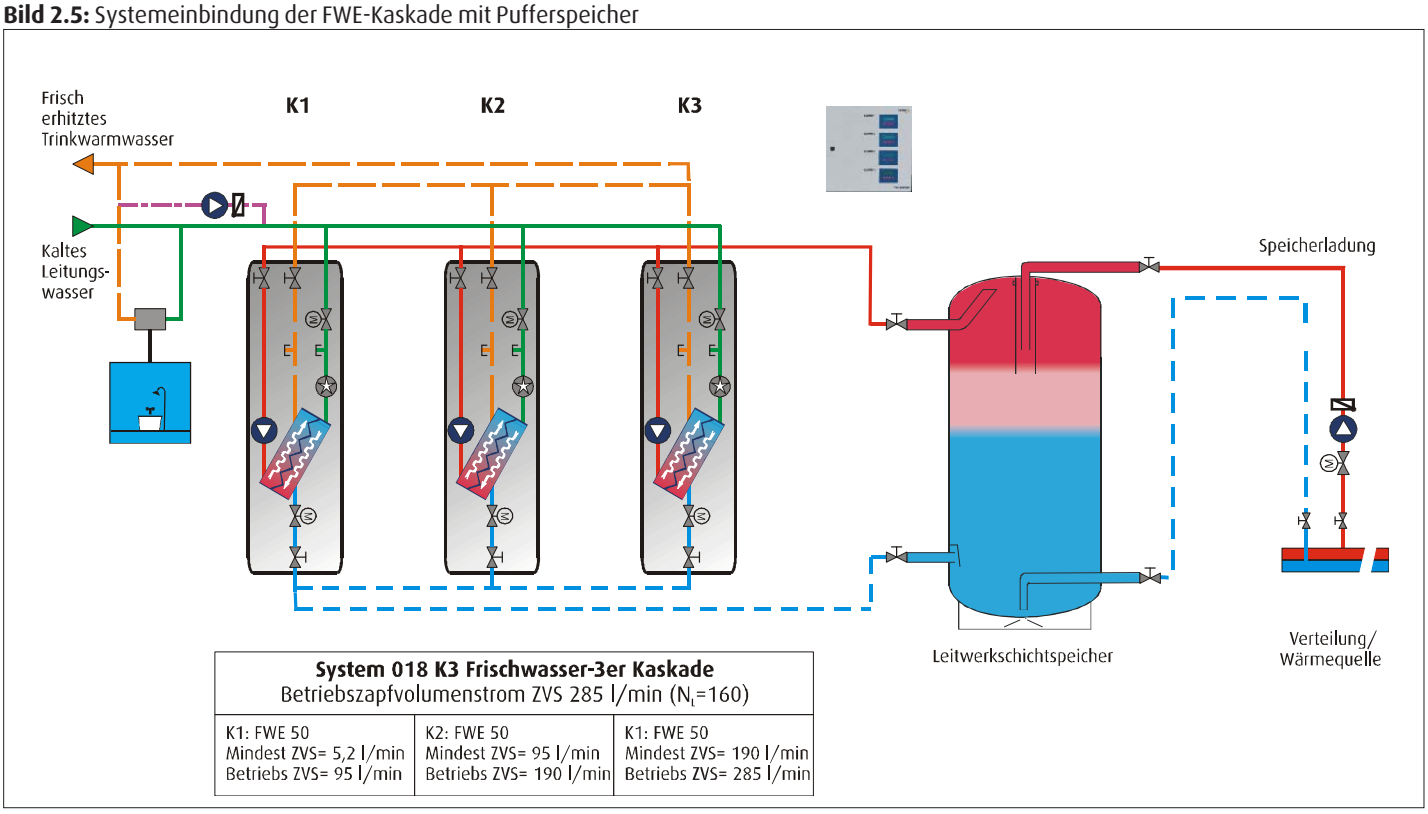
Bild 2.4: Systemeinbindung des FWE mit Pufferspeicher

Frischwassererwärmer-Kaskade

Die Frischwassererwärmer-Kaskade (SYSTEM 018) wurde speziell für Anlagen mit hohen Schüttleistungen entwickelt. Selbst in Gebäuden mit sehr großem Warmwasserbedarf tritt sehr häufig der Fall auf, dass gerade nur z.B. eine einzige Dusche genutzt wird. Trotz der gegebenen Regelgüte werden die varmeco Frischwassererwärmer nur bis zu einer bestimmten Leistungsgröße gefertigt. Ein größeres Gerät könnte bei einem so niedrigen Zapfvolumenstrom nicht mehr die nötige Temperaturstabilität erbringen. Der Komfort für den Einzelnutzer wäre dann inakzeptabel. Deswegen werden bei größeren Systemen besser zwei oder mehr Geräte in Kaskade (parallel, siehe Bild) geschaltet. Bei dem SYSTEM 018 springt bei einer Zapfung zunächst nur das erste Gerät an. Sobald es an eine bestimmte Teillastgrenze gelangt, öffnet die Regelung ein Motorventil im Kaltwasserzufluß zum zweiten Gerät. Gelangt dieses wiederum an seine Grenze, wird ein weiteres Ventil zu einem dritten Gerät geöffnet, usw.. Auf diese Weise lassen sich auch größte Anlagen realisieren, ohne dabei den Komfort bei einer Einzelzapfung zu opfern.

Im Gegensatz zum Einzelgerät verfügt die Kaskade nicht über eine geräteinterne Zirkulationsleitung. Die Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitung wird in diesem Fall wie in Bild 2.5 dargestellt bauseits vor dem Frischwassererwärmer an die Kaltwasserzuleitung zurückgeführt. Die Regelung der bauseitigen Zirkulationspumpe kann vom System optional erfolgen.

Bild 2.5: Systemeinbindung der FWE-Kaskade mit Pufferspeicher



3 Wärmebedarfsermittlung zur Auslegung des Trinkwarmwassererwärmers

3.1 Warmwasserverbrauch allgemein

Die benötigten Warmwassermengen sind stark von der jeweiligen Nutzungsart des Gebäudes abhängig.

Bei Wohngebäuden hängt der Warmwasserverbrauch nicht alleine von der Anzahl der Entnahmestellen und Personen, sondern auch vom Alter der Bewohner, Lebensstandard, Beruf, von der Jahreszeit und anderen Lebensumständen ab. Außerdem ist er stark zeitlichen Schwankungen unterworfen. So ist in Wohngebäuden der Samstag oder Freitag in vielen Fällen der Tag mit der höchsten Warmwasserentnahme und häufigsten Badbenutzung, der bis zu 30 % am Gesamtanteil vom Wochenverbrauch haben kann.

In Hotels ist er beispielweise von der Anzahl der Wannen und Duschen und der Güteklasse des Hotels abhängig. Luxushotels haben einen wesentlich höheren Warmwasserverbrauch als Standardhotels und Pensionen. Der höchste Verbrauch wird hier in den Morgen- und Abendstunden liegen.

Bei Fabrikations- und Sporthallen (sprich Schulen) ist nach Arbeitsende bzw. Ende des Sportbetriebes mit einer fast gleichzeitigen Nutzung der Duschen oder Waschbecken zu rechnen. Zwischen 10 und 30 Minuten wird der gesamte Tagesbedarf an Warmwasser verbraucht.
In Zweckbauten wie Fabriken und Produktionsstätten ist der Warmwasserverbrauch nicht alleine aus hygienischen Zwecken gegeben, sondern aus produktionstechnischen Gründen notwendig; wie z. B. in Wäschereien und Großküchen.

Der Warmwasserverbrauch an einem Tag verteilt sich ungleichmäßig auf die einzelnen Stunden (siehe Sporthallen). Er kann aber auch saisonal unterschiedlich sein (z. B. Campingplätze, Hochsaison).

3.2 Die Methoden der Wärmebedarfsermittlung

Die in ein Gebäude eintretende Kaltwassertemperatur wird im Durchschnitt mit 10 °C angenommen, obwohl sie im Einzelfall auch zwischen 5 und 15 °C schwanken kann.
Die Zapftemperaturen werden üblicherweise wie folgt angenommen:

Waschbecken	-->	35 bis 45 °C
Dusche	-->	35 bis 45 °C
Badewanne	-->	35 bis 45 °C
Küchenzwecke (Spülen, usw.)	-->	55 bis 60 °C
Gewerbliche Zwecke	-->	bis 100 °C

Das Trinkwassernetz sollte, um Korrosionsschäden und den Energieverbrauch zu reduzieren, max. bis 60 °C betrieben werden.
Zur Ermittlung des Wärmebedarfs für Trinkwarmwasser stehen verschiedene Methoden zur Verfügung:

- Berechnung mit den Gleichzeitigkeitsfaktoren nach Sander (veraltet)
- Berechnung nach DIN 4708 (Leistungskennzahl)
- Berechnung mit der Verbrauchskurve nach Faltin
- Ermittlung nach DIN 1988 (nur Spitzenleistung)

Diese Methoden werden in den folgenden Kapiteln anschaulich dargestellt. Die Berechnungmethode mit den Gleichzeitigkeitsfaktoren nach Sander ist veraltet und wird deshalb nicht weiter erläutert.

Bei der Auswahl der Methode ist die entsprechende Nutzungsart des betrachteten Gebäudes zu berücksichtigen. Alle Verfahren sind für die Auslegung in Wohngebäuden geeignet, bei anderer Nutzungsart kann jedoch nur die Methode nach Faltin und die DIN 1988 zur Ermittlung der Spitzenleistung angewandt werden.

Gebäudenutzungsart	DIN 4708	Faltin	DIN 1988	Sander
Wohngebäude	X	X	X	X
Büro- und Verwaltung		X	X	
Hotel		X	X	
Kaufhäuser		X	X	
Krankenhäuser		X	X	
Schulen		X	X	
Sonstige		X	X	

Tabelle 3.1: Anwendbarkeit der verschiedenen Methoden auf die unterschiedlichen Gebäudenutzungsarten.

3.3 Berechnung nach DIN 4708 (Bedarfskennzahl)

Sowohl bei den Speicher- als auch bei den Durchflusswassererwärmern werden häufig für die Menge und Temperatur sowie Entnahmezeit des Warmwassers Angaben gemacht, die zu Irrtümern führen können. Meist blieb es der eigenen Erfahrung überlassen, die Wassererwärmer zu bemessen. Deshalb wurde als Grundlage zur einheitlichen Berechnung des Wärmebedarfs bei Wohngebäuden und zur Bemessung des Wassererwärmers die DIN 4708 (Aktuell 04.98) geschaffen.

Das Verfahren beruht darauf, dass man den Warmwasserbedarf eines Wohngebäudes durch die Bedarfskennzahl N ausdrückt, gleichbedeutend mit dem Bedarf von N sog. Einheitswohnungen.

Einheitswohnung

Die auf statistischen Erhebungen beruhende Einheitswohnung hat p= 3,5 Personen und r= 4 Räume und ist mit einer Badewanne von 150 l und zwei Zapfstellen ausgestattet. Der Wärmebedarf für diese Einheitswohnung lautet:

$w = V * \Delta\vartheta * c_p$

W = 100 l * 50 K * 1,163 Wh/(l*K)

w = 5.815 Wh = 5,82 kWh

Die Wannenfüllzeit beträgt bei der Einheitswohnung 10 Minuten. Die Bedarfskennzahl ist für diese Wohnung definitionsgemäß

$N = 1$

Jede andere Wohnung kann entsprechend ihrer sanitären Ausstattung auf diese Einheitswohnung umgerechnet werden. Hierzu dient Tabelle 3.2, die den Wärmebedarf verschiedener Zapfstellen angibt.

Bedarfskennzahl N

Für ein Bauvorhaben mit n Wohnungen ist die Kennzahl nach DIN 4708 Teil 2 wie folgt beschrieben:

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \upsilon \cdot w_\upsilon)}{(p \cdot w_\upsilon)_{N=1}} = \frac{\sum (n \cdot p \cdot \upsilon \cdot w_\upsilon)}{(3{,}5 \cdot 5{,}82\ kWh)_{N=1}}$$

mit

N = Bedarfskennzahl

n = Wohnungszahl

p = Belegungszahl

u = Zapfstellenzahl

w_u = Zapfstellenbedarf

Wohnungszahl n:
Ist die Anzahl an Wohnungen eines Objektes, bei denen die Raumzahl, die Belegungszahl und die sanitäre Ausstattung gleich sind.

Belegungszahl p:
Ist die Anzahl an Personen je Wohnung. Werden über die Belegungszahlen keine Angaben gemacht, so sind die statistischen Belegungszahlen aus Tabelle 3.3 zu verwenden.

Zapfstellenzahl u:
Ist die Anzahl an Zapfstellen für Trinkwarmwasser je Wohnung, die bei der Berechnung der Bedarfskennzahl N zu berücksichtigen ist.

Zapfstellenbedarf w_u:
Ist die Wärmemenge, die für eine Entnahme von erwärmten Trinkwasser benötigt wird.

Hinweis: Bei der Raumzahl r werden nur Aufenthaltsräume einer Wohnung berücksichtigt. Nebenräume wie Küche (nicht Wohnküche!), Diele, Flur, Bad und Abstellraum bleiben unberücksichtigt.

Tabelle 3.2: Zapfstellen Wärmebedarf

Zapfstellen [-]	Kurzzeichen [-]	Entnahmemenge [Liter]	Wärmebedarf w_v [kWh]
Badewanne 1600	NB 1	140	5,82
Badewanne	NB 2	160	6,51
Kleinraumwanne	KB	120	4,89
Großraumwanne	GB	200	8,72
Brausekabine, spar	BRS	40	1,63
Brausekabine, normal	BRN	90	3,66
Brausekabine, luxus	BRL	180	7,32
Waschtisch	WT	17	0,70
Bidet	BD	20	0,81
Handwaschbecken	HT	9	0,35
Spüle	SP	33	1,16

Tabelle 3.3: Statistische Belegungszahlen

Raumzahl r	Belegungszahl p
1	2,0
1½	2,0
2	2,0
2½	2,3
3	2,7
3½	3,1
4	3,5
4½	3,9
5	4,3
5½	4,6
6	5,0
6½	5,4
7	5,6

> Wärmebedarfsermittlung

Berechnungsgang

Zur Ermittlung der Bedarfskennzahl N werden folgende Unterlagen und Angaben vom Bauherrn bzw. Architekten benötigt, um die o. g. Kenngrößen zu ermitteln:

1. Grundrisse aller Gebäude und Geschosse, die zentral mit einem Wassererwärmer versorgt werden. Auf den Grundrissen (meistens M 1:100) sollten alle relevanten Zapfstellen und Räume erkennbar sein!

2. Angaben zur Bestimmung des Zapfstellenbedarfs w_v, also Art, Anzahl und Größe der sanitären Einrichtungen.

3. Angaben zur Personenbelegung je Wohnung. Bei fehlenden Angaben, sind mindestens die statistischen Werte nach Tabelle 3.3 für die Berechnung zugrunde zulegen.

4. Ist das Bauvorhaben individuell durch einen späteren Nutzer zu beeinflussen, so muss diese Angabe vom Bauherrn gemacht werden. Beispiel: Untervermietung in einer Wohnung, die auf eine höhere gleichzeitige Nutzung schließen lässt.

Liegen die zuvor genannten Daten vor, so muss noch die Ausstattung der Wohnung ermittelt werden, bevor mit dem eigentlichen Berechnungsgang begonnen werden kann, um die Zapfstellenanzahl u und den Zapfstellenbedarf w_u feststellen zu können. Man unterscheidet zwischen

- Wohnungen mit Normalausstattung und
- Wohnungen mit Komfortausstattung

Tabelle 3.4: Wohnungen mit Normal- und Komfortausstattung

Wohnung mit Normalaussttattung		
Raum	**sanitäre Ausstattung**	**bei der Zapstellenzahl/-bedarf sind einzusetzen:**
Bad	1 Badewanne (NB1) oder 1 Brausekabine (BRN)	1 Badewanne (nach Tabelle 2.4 -NB1)
	1 Waschtisch (WT)	bleibt unberücksichtigt
Küche	Küchenspüle (SP)	bleibt unberücksichtigt

Wohnung mit Komfortaussttattung[1)]		
Bad	Badewanne[2)]	wie vorhanden (nach Tabelle 2.4 NB2, KB oder GB)
	Brausekabine[2)]	wie vorhanden (nach Tabelle 2.4 BRN oder BRL), wenn von der Anordnung her eine gleichzeitige Benutzung möglich ist
	Waschtisch[2)]	bleibt unberücksichtigt
	Bidet	bleibt unberücksichtigt
Küche	Küchenspüle (SP)	bleibt unberücksichtigt
Gästezimmer		je Gästezimmer
	Badewanne	wie vorhanden (nach Tabelle 2.4 NB1, NB2, KB oder GB), mit 50 % des Zapfstellenbedarfs w_u
	oder	
	Brausekabine	wie vorhanden (nach Tabelle 2.4 BRS, BRN oder BRL), mit 100 % des Zapfstellenbedarfs w_u
	Waschtisch	mit 100 % des Zapfstellenbedarfs w_u nach Tabelle 2.4[4)]
	Bidet	mit 100 % des Zapfstellenbedarfs w_u nach Tabelle 2.4[4)]

1) Komfortausstattung liegt vor, wenn andere oder umfangreichere Einrichtungen als bei der Normalausstattung angegebenen, je Wohnung vorhanden sind.

2) Größe abweichend von der Normalausstattung.

3) Soweit keine Badewanne vorhanden ist, wird bei der Normalausstattung anstatt einer Brausekabine eine Badewanne (BRN) angesetzt, es sei denn, der Zapfstellenbedarf der Brausekabine übersteigt den der Badewanne (z.B BRL). Sind mehrere unterschiedliche Brausekabinen vorhanden, wird für die Brausekabine mit dem höchsten Zapfstellenbedarf mindestens eine Badewanne eingesetzt.

4) Soweit dem Gästezimmer keine Badewanne oder Brausekabine zugeordnet ist.

Wenn Badewanne und Brausekabine nicht räumlich getrennt sind, d. h. eine gleichzeitige Nutzung nicht möglich ist, wird der jeweils höchste Zapfstellenbedarf eingesetzt. Bei räumlicher Trennung der Badewanne und Duschkabine (d.h. eine gleichzeitige Nutzung ist möglich) sind die entsprechende Werte für den Zapfstellenbedarf einzusetzen.

Bei Zapfstellen, die erheblich von den in Tabelle 3.2 angegebenen Werten abweichen (z. B. Whirlpool, Schwallbrausen usw.), sind entsprechende Entnahmemengen aus Herstellerangaben einzusetzen. Der Zapfstellenbedarf w_v, ist nach der Gleichung $w_v = c * V_E * \Delta t$ in [kWh] zu ermitteln und in die Berechnung einzusetzen. Darin bedeuten

VE= Entnahmemenge (ist den Herstellerunterlagen zu entnehmen).

Δt = Temperaturerhöhung zwischen Kalt- und Warmwasser (35 K).

3.4 Berechnungsbeispiele nach DIN 4708

Für die Berechnung wird zweckmäßigerweise die Tabelle 3.5 (Im Anhang A.1 als Formblatt zu kopieren) verwendet.

Die nach Raumzahl und Umfang der sanitären Ausstattung ermittelten Daten werden unter einer laufenden Nummer zusammengefaßt (Spalte 1).

Es sind einzutragen:

Spalte 2: Raumzahl *r*

Spalte 3: Wohnungszahl *n*

Spalte 4: Belegungszahl *p*, entweder aus Tabelle 3.3 oder nach Angaben des Bauherren

Spalte 5: Ergebnis der Multiplikation der Spalte 3 mit Spalte 4

Spalte 6: Zapfstellenzahl, die bei der Berechnung der Bedarfskennzahl N zu berücksichtigen ist

Spalte 7: Kurzbezeichnung (Tabelle 3.2) der in Spalte 6 eingesetzten Zapfstelle

Spalte 8: Zapfstellenbedarf w_v (Tabelle 3.2) der in Spalte 6 und 7 eingesetzten Zapfstelle

Spalte 9: Ergebnis der Multiplikation der Spalte 6 mit Sp. 8

Spalte 10: Ergebnis der Multiplikation der Spalte 5 mit Sp. 9

Die in Spalte 10 eingetragenen Werte sind zu addieren und das Ergebnis als Zähler in die Gleichung für die Berechnung der Bedarfskennzahl *N* einzusetzen.

Die in Spalte 3 eingetragenen Wohnungszahlen sind zweckmäßigerweise zu addieren und das Ergebnis hinter Σn_i einzutragen.

Durch die Gegenüberstellung mit der errechneten Bedarfskennzahl N lässt sich der sanitäre Ausstattungsstandard erkennen.

Tabelle 3.5: Berechnungsbeispiel zur Bedarfskennzahl

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lfd-Nr.	Raumzahl	Wohnungszahl	Belegungszahl	Wohnungs-X Belegungszahl	Zapfstellen (je Wohnung)			Zapfstellenzahl X Zapfstellenbedarf	Wohnungsgruppenbedarf
	r	n	p	n * p	Anzahl v	Kurzbez.	Bedarf w_v	v * wv	S (n*p*v*w_v)
[-]	[Stck.]	[Stck.]	[Stck.]	[Stck.]	[Stck.]	[-]	[Wh]	[Wh]	[Wh]
1	5	18	4	72	1	NB1	5.820	5.820	419.040
					2	WT	700	1.400	100.800
2	3	5	2	10	1	BRN	1.630	1.630	16.300
	Sn_i	23						S (n*p*v*w_v)	536.140

Bedarfszahl $$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot v \cdot w_v)}{p \cdot w_v} =$$ **26**

> Wärmebedarfsermittlung

Leistungskennzahl N_L

Die Leistung eines Wassererwärmers nach DIN 4708 wird durch seine Leistungskennzahl N_L beschrieben. Sie gibt an, wieviele Einheitswohnungen der Wassererwärmer versorgen kann, wobei die Heizmitteltemperatur 82 °C und die Temperatur des erwärmten Wassers 45 °C beträgt.

Da der Bedarf an Warmwasser in Wohngebäuden erheblichen zeitlichen Schwankungen unterliegt, wurde in DIN 4708 Teil 1 durch mathematische Überlegungen nach der Wahrscheinlichkeitsmethode der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs in Abhängigkeit von der Bedarfskennzahl normiert (Bild 3.1).

Ein Wassererwärmer mit einer bestimmten Leistungskennzahl N_L muß den zeitlichen Verlauf des Wärmebedarfs der entsprechenden Bedarfskennzahl N decken können.

Die Leistungskennzahl N_L muß mindestens gleich groß oder größer als die Bedarfskennzahl N sein.

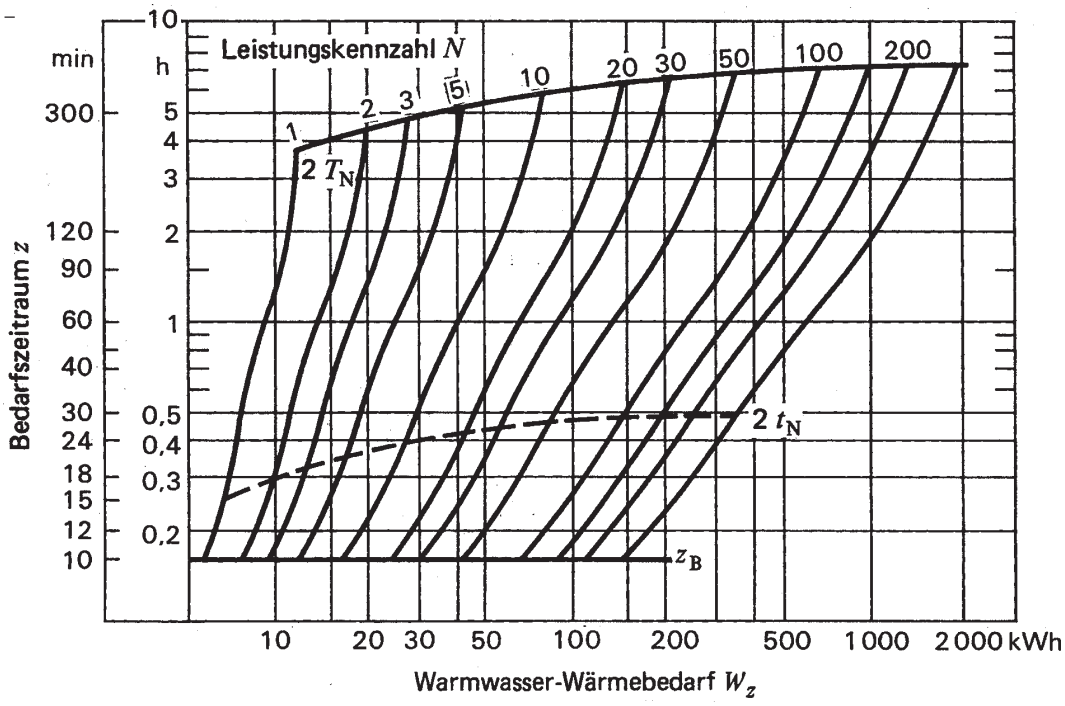
$$N_L > N$$

Bei Speicherwassererwärmern kann dies nur durch Versuche überprüft werden (durchzuführen nach DIN 4708 Teil 3). Der zeitliche Verlauf des Bedarfs wird dabei durch 5 Zapf- und 4 Pausezeiten angenähert. Das Ergebnis in Form der Leistungskennzahl wird dann vom Hersteller in den Produktunterlagen angegeben.

Bei Durchfluss-Wassererwärmern wird die Leistungskennzahl aus der Spitzenleistung bestimmt (vgl. Anhang A.3).

Bild 3.1: Warmwasser-Wärmebedarf von Wohnungen

- $2T_N$ = Bedarfsperiode,
- $2\,t_N$ = Spitzenverteilungszeit
- z_B = Wannenfüllzeit



3.5 Berechnung nach der Verbrauchs- oder Bedarfskurve

Ist bekannt, zu welchen Zeiten konkrete Wärmemengen einzelner Verbraucher von einer Wassererwärmungsanlage verlangt werden, dann läßt sich in einem Wärmeschaubild (nach Faltin) die Wärmebedarfskennlinie als Summenlinie darstellen. Eingetragen werden die Wärmemengen über die Zeit, die Steigung entspricht also der momentanen Wärmeleistung.
Als wichtige Eckwerte ergeben sich aus der Bedarfskennlinie:

- **Gesamtwärmebedarf** in kWh am Ende des Bedarfszeitraums.
- maximaler **Wärmeleistungsbedarf** in kW bei größter Steigung.

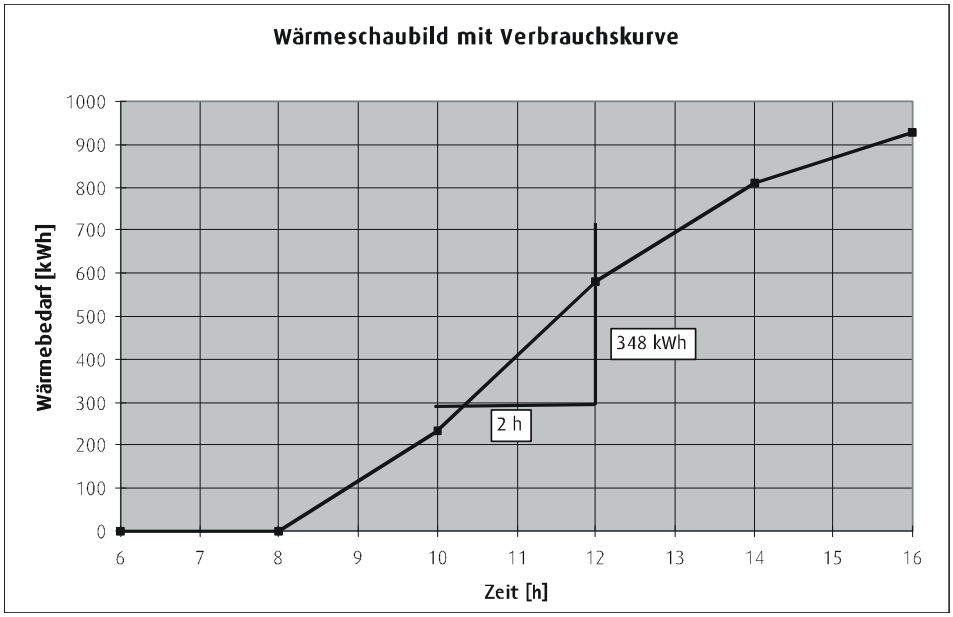
Gemessene Verbrauchskurve
Beispiel:
In einem Fabrikbetrieb werden folgende Wassermengen und Temperaturen (Spalte 2 und 3) verlangt:

Zeit [h]	Wassermenge [l/h]	Temperatur [°C]	Gesamtwärme [kWh]
8...10	2.500	50	232
10...12	2.000	85	348
12...14	2.500	50	232
14...16	1.000	60	116
Summe			928

Die Wärmemengen (Spalte 4) lassen sich mit der Kaltwassertemperatur von 10 °C nach $Q = V * c * \Delta t$ berechnen (z.B. $Q_{8...10h}$ = 2,5 m³/h * 2h * 1,167 kWh/(50-10)K = 232 kWh) und im Wärmeschaubild auftragen. Der Gesamtwärmebedarf über die Bedarfsperiode beträgt also 928 kWh, die Maximalleistung (größte Steigung) Qmax = $Q_{10...12h}$ = 348 kWh/2h = 174 kW.

Rechnerische Bedarfskurve
Liegen keine Verbrauchsmessungen vor, läßt sich das Verbrauchsprofil aus den relevanten Verbrauchsstellen und deren zeitlicher Nutzung abschätzen. Für die einzelnen Verbrauchsstellen liegen anerkannte tabellierte Werte zu Wassermenge, Zapfmenge und -temperatur vor (z.B. Recknagel-Sprenger: Taschenbuch für Heizung+Klimarechnik), die zeitliche Nutzung läßt sich gemäß der typischen Kategorien "Blockverteilung", "Normalverteilung" und "anderweitige Verteilung" vornehmen. Werden alle Einzelbedarfe aufsummiert, kann der zeitliche Gesamtbedarf als sogenannte Summenlinie dargestellt werden (vgl. Bild 3.2).

Bild 3.2: Gemessene Verbrauchskurve



3.6 Spitzenleistung nach DIN 1988

Das Verfahren der DIN 1988 Teil 3 „Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen“ dient zur Ermittlung der Rohrdurchmesser von Kalt- und Warmwasserleitungen. Um die nicht unerheblichen Fehleinschätzungen (zu große Rechenwerte) älterer Berechnungsregeln zu eliminieren, wurden als Basis eine Vielzahl von Meßreihen herangezogen und daraus der Zusammenhang zwischen der Summe aller Einzelentnahmestellen, der Nutzungsart und der zu erwartenden Sekundenspitze abgeleitet. Es werden Berechnungsgleichungen nicht nur für das Wohngebäude, sondern auch für eine Reihe anderer Gebäude-Nutzungsarten genannt.

Dieses Verfahren gilt nicht nur für die Ermittlung der Rohrdurchmesser, sondern darüber hinaus für die Leistungs-Dimensionierung von TWW-Erwärmern, auch wenn dies in der Norm nicht erwähnt ist. Es ist somit die Kontrolle der bisher vorgestellten Methoden zur Wärmebedarfsermittlung möglich.

Eine Belastungsspitze mit dem sog. „Spitzenvolumenstrom V_s“ tritt selten und in der Regel nur in einem sehr kurzen Zeitraum auf (wenige Sekunden oder Minuten am Tag), ist aber die wesentliche Dimensionierungs-größe für die TWW-Versorgung und Ergebnis des Berechnungsganges.

Berechnungsdurchfluß V_R
Maßgeblich für den Berechnungsgang nach DIN 1988 ist der sog. „Berechnungsdurchfluß V_R“, der einen angenommenen Entnahmearmaturendurchfluß darstellt. Er kann ein Mindest-Entnahmearmaturendurchfluß oder Mittelwert (z.B. Mischbatterien) sein. Für die Auslegung des TWW-Erwärmers ist nur der Berechnungsdurchfluß für Warmwasser (60°C) maßgeblich.
Richtwerte für den Berechnungsdurchfluß V_R der WWV-Anlage zeigt Tabelle 3.6. In der Tabelle nicht erfaßte Entnahmestellen und Apparate mit größeren Armaturendurchflüssen als angegeben sind Herstellerunterlagen zu entnehmen.

Gleichzeitigkeit der Warmwasserentnahme
Eine gleichzeitige Betätigung aller Entnahmestellen einer Gesamtanlage kann in der Regel ausgeschlossen werden. Die max. zu erwartende Gleichzeitigkeit der Warmwasserentnahme wird in erster Linie von der Verbrauchs-Charkteristik beeinflußt. Es wird grundsätzlich zwischen Normal- und Dauerverbrauchern unterschieden.

Definition Dauerverbraucher:
Eine Entnahmearmatur, die länger als 15 Minuten betrieben wird, ist als sog. Dauerverbraucher einzustufen!

Definition Normalverbraucher:
Eine Entnahmearmatur, die deutlich kürzer als 15 Minuten genutzt wird, ist als Normalverbraucher einzustufen!

Werden mehrere Dauerverbraucher von einem Trinkwassererwärmer versorgt, sind problemorientierte Gleichzeitigkeitsbetrachtungen mit dem jeweiligen Nutzer der Anlage durchzuführen.

Tabelle 3.6: Richtwerte für Berechnungsdurchflüsse von gebräuchlichen Trinkwasserentnahmestellen nach DIN 1988, TWW = 60 °C

Art der Trinkwarmwasser-Entnahmestelle		Berechnungs-durchfluss warm V_R [l/s]
Auslaufventile		
ohne Luftsprudler	DN 15	0,30
ohne Luftsprudler	DN 20	0,50
ohne Luftsprudler	DN 25	1,00
mit Luftsprudler	DN 10	0,15
mit Luftsprudler	DN 15	0,15
Brauseköpfe für Reinigungsarbeiten	DN 15	0,10
Haushaltsgeschirrspülmaschine	DN 15	0,15
Haushaltswaschmaschine	DN 15	0,25
Mischbatterie für		
Brausewannen	DN 15	0,15
Badewannen	DN 15	0,15
Küchenspülen	DN 15	0,07
Waschtische	DN 15	0,07
Sitzwaschbecken	DN 15	0,07
Mischbatterie	DN 20	0,30

Der Summenvolumenstrom ΣV_R
Der Summenvolumenstrom ΣV_R ist die Summe der Berechnungsvolumenströme V_R aller Entnahmearmaturen, die durch eine WWV-Anlage gleichzeitig versorgt werden.

Wichtig: Neben einer Badewanne zusätzliche Einrichtungen, wie Waschbecken, Sitzwaschbecken, sowie eine Brauseeinrichtung, sind bei der Ermittlung des Summendurchflusses nicht zu berücksichtigen, wenn die Art der Nutzung keine höhere Gleichzeitigkeit erwarten lässt!

Einfluß der Armaturenkonstruktion
Bis zu einen Summendurchfluss von ΣV_R = 20 l/s sind die zu erwartenden Spitzendurchflüsse auch von der Konstruktionsart der Entnahmearmatur abhängig. Ist der Berechnungsvolumenstrom der Einzelarmatur größer als V_R = 0,5 l/s, sind bei gleichem Summenvolumenstrom höhere Spitzenvolumenströme zu erwarten.

Der Spitzenvolumenstrom V_s
Der Spitzendurchfluss V_s ist der höchste zu erwartende Volumenstrom unter Berücksichtigung der gleichzeitigen Nutzung der angeschlossenen Entnahmestelle. Dieser ist deutlich niedriger als der Summendurchfluss ΣV_R.
Die DIN 1988 formuliert unterschiedliche Gleichungen zur Berechnung des Spitzenvolumenstromes aus dem Summenvolumenstrom, abhängig von der Gebäude-Nutzungsart. Tabelle 3.7 zeigt die Zuordnung.

Bei der Berechnung von Frischwassererwärmern sind grundsätzlich alle Entnahmestellen mit dem entsprechenden Berechnungsdurchfluss anzusetzen. Der Durchfluss bei Dauerverbrauch wird zum Spitzenvolumenstrom der anderen normalen Entnahmestellen addiert.

Tabelle 3.7: Berechnungsgleichungen für den Spitzenvolumenstrom bei unterschiedlichen Nutzungsarten

Nutzungsart	**BERECHNUNGSGLEICHUNG V_S**		
	Einzelarmatur		
	V_R<0,5 l/s		
	$0<\Sigma V_R<1$ l/s	$1<\Sigma V_R<20$ l/s	$\Sigma V_R>=20$ l/s
Wohngebäude	$V_S = 0{,}682 * (\Sigma V_R)^{0{,}45}-0{,}14$	$V_S = 0{,}682 * (\Sigma V_R)^{0{,}45}-0{,}14$	$V_S = 1{,}7 * (\Sigma V_R)^{0{,}21}-0{,}7$
Büro- und Verwaltungsgebäude	$V_S = 0{,}682 * (\Sigma V_R)^{0{,}45}-0{,}14$	$V_S = 0{,}682 * (\Sigma V_R)^{0{,}45}-0{,}14$	$V_S = 0{,}4 * (\Sigma V_R)^{0{,}54}+0{,}48$
Hotelbetriebe	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 1{,}08 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-1{,}83$
Kaufhäuser	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 4{,}3 * (\Sigma V_R)^{0{,}27}-6{,}65$
Krankenhäuser (nur Bettenstationen)	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 0{,}698 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-0{,}12$	$V_S = 0{,}25 * (\Sigma V_R)^{0{,}65}+1{,}25$
Schulen	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = 4{,}4 * (\Sigma V1)^{0{,}27}-3{,}41$	$V_S = -22{,}5 * (\Sigma V_R)^{-0{,}5}+11{,}5$
Nutzungsart	**V_R>= 0,5 l/s**		
	$0<\Sigma V_R<1$ l/s	$1<\Sigma V_R<20$ l/s	$\Sigma V_R>=20$ l/s
Wohngebäude	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = 1{,}7 * (\Sigma V_R)^{0{,}21}-0{,}7$	$V_S = 1{,}7 * (\Sigma V_R)^{0{,}21}-0{,}7$
Büro- und Verwaltungsgebäude	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = 1{,}7 * (\Sigma V_R)^{0{,}21}-0{,}7$	$V_S = 0{,}4 * (\Sigma V_R)^{0{,}54}+0{,}48$
Hotelbetriebe	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = (\Sigma V_R)^{0{,}366}$	$V_S = 1{,}08 * (\Sigma V_R)^{0{,}5}-1{,}83$
Kaufhäuser	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = (\Sigma V_R)^{0{,}366}$	$V_S = 4{,}3 * (\Sigma V_R)^{0{,}27}-6{,}65$
Krankenhäuser (nur Bettenstationen)	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = (\Sigma V_R)^{0{,}366}$	$V_S = 0{,}25 * (\Sigma V_R)^{0{,}65}+1{,}25$
Schulen	$V_S = \Sigma V_R$	$V_S = 4{,}4 * (\Sigma V_R)^{0{,}27}-3{,}41$	$V_S = -22{,}5 * (\Sigma V_R)^{-0{,}5}+11{,}5$

3.7 Berechnungsbeispiele nach DIN 1988

1. Berechnungsbeispiel für den Spitzenvolumenstrom V_s

Gegeben: a) Nutzungsart Wohngebäude
b) Berechnungsgang nach DIN 1988
c) Folgende Entnahmestellen:
1 Badewanne
1 Brausewanne
2 Waschtische
1 Sitzwaschbecken
1 Waschmaschine
1 Geschirrspülmaschine
1 Spültisch

Gesucht: Spitzenvolumenstrom V_S

Berechnungsgang:
1. Ermittlung des Summenvolumenstroms nach Tabelle 3.6

1 Badewanne	0,15 l/s
1 Waschmaschine	0,25 l/s
1 Geschirrspülmaschine	0,15 l/s
1 Spültisch	0,07 l/s
Summenvolumenstrom ΣV_R	0,62 l/s

Anmerkung: Die Brausewanne, die Waschtische und das Sitzwaschbecken werden bei dem Summenvolumenstrom nicht mitberücksichtigt, da die Art der Nutzung keine höhere Gleichzeitigkeit erwarten lässt.

2. Auswahl der anzuwendenden Berechnungsgleichung
Der max. Einzelberechnungsdurchfluss V_R liegt bei 0,25 l/s für die Waschmaschine, es gilt also $V_R < 0,5$ l/s.
Der Summenvolumenstrom ΣV_R ergibt 0,62 l/s, es gilt also $0<\Sigma V_R<1$l/s.
Aus Tabelle 3.7 ist damit für die Nutzungsart Wohngebäude, folgende Gleichung zu wählen:

$$V_S = 0,682^{*}(\Sigma V_R)^{0,45} - 0,14$$

Nach Einsetzen des Summenvolumenstromes ΣV_R ergibt sich ein Spitzenvolumenstrom V_S = 0,41 l/s, das entspricht **24,6 l/min**.

2. Berechnungsbeispiel für den Spitzenvolumenstrom V_s

Gegeben: a) Nutzungsart Schulgebäude
b) Berechnungsgang nach DIN 1988
c) Folgende Entnahmestellen:
12 Brausewannen
12 Waschtische

Gesucht: Spitzenvolumenstrom V_S

Berechnungsgang:
1. Ermittlung des Summenvolumenstroms nach Tabelle 3.6

12 Brausewannen	1,80 l/s
12 Waschtische	0,84 l/s
Summenvolumenstrom ΣV_R	2,31 l/s

2. Auswahl der anzuwendenden Berechnungsgleichung
Der max. Einzelberechnungsdurchfluss V_R liegt bei 0,15 l/s für die Duschwanne, es gilt also $V_R < 0,5$ l/s.
Der Summenvolumenstrom ΣV_R ergibt 2,31 l/s, es gilt also $1<\Sigma V_R<20$l/s.
Aus Tabelle 3.7 ist damit für die Nutzungsart Schulgebäude, folgende Gleichung zu wählen:

$$V_S = 4,4^{*}(\Sigma V_R)^{0,27} - 3,41$$

Nach Einsetzen des Summenvolumenstromes ΣV_R ergibt sich ein Spitzenvolumenstrom V_S = 2,11l/s, das entspricht **126,4 l/min**.

4 Kesselleistung und Speicherinhalt

4.1 Kesselleistung

4.1.1 Reine Anlagen zur TWW-Erwärmung

Die erforderliche Kesselleistung für die TWW-Erwärmung kann bei Systemen mit Wärmespeicher aus dem Wärmebedarf allein nicht bestimmt werden, denn zusätzlich spielen Speichervolumen, Speichertemperatur, Nachladefühlerposition etc. eine entscheidende Rolle.

Zur Kesseldimensionierung ist daher eine Methode erforderlich, die den Zusammenhang zwischen Wärmebedarf, Zwischenspeicherung und Wärmerzeugung berücksichtigt. Das Wärmeschaubild stellt eine geeignete Methode dar und wird in Kapitel 5 erläutert.

4.1.2 Kombinierte Anlagen zur TWW-Erwärmung und Raumheizung

Entsprechend den Erfahrungen tritt ein gleichzeitiger Spitzenwärmebedarf für Raumheizung und Wassererwärmung nicht spürbar auf. Unter Berücksichtigung und Ausnutzung der Gebäudespeicherfähigkeit wird üblicherweise eine Warmwasser-Vorrangschaltung vorgesehen. Die Unterbrechung der Raumheizung (erfahrungsgemäß maximal 2 Stunden) erfolgt in den meisten Fällen ohne Komforteinbußen. Geringfügiges Absinken der Raumlufttemperatur wird nach der Speicherbeladung durch höhere Kesselleistung ausgeglichen. Dies ist außer an den wenigen Tagen, die dem Auslegungsfall sehr nahe kommen, möglich, weil die mittlere Kesselbelastung für Raumheizung über die Heizzeit bei ca. 25 % der Nennheizleistung des Wärmeerzeugers liegt.

Die Auswirkung eines gleichzeitigen Spitzenwärmebedarfs für Raumheizung und Wassererwärmung ist abhängig von:

- bauphysikalischen Qualitätsmerkmalen des Baukörpers,
- Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs in allen Räumen,
- Art der Wassererwärmungs- und Heizungsanlage.

Für die erforderliche Wärmeleistung für die TWW-Erwärmung gilt sinngemäß das vorstehende Kapitel.

Variante 1

Unter der Annahme, dass die maximalen Belastungen durch TWW-Erwärmung und Raumheizung nicht gleichzeitig auftreten, ist die erforderliche Kesselleistung:

$$Q'_K = \max(Q'_N, Q'_{WW})$$

mit

Q'_N = Norm-Gebäudewärmebedarf aus DIN 4701

Q'_{WW} = Wärmeleistung Trinkwarmwasser aus Auslegung mittels Wärmeschaubild

Variante 2

Unter der Annahme, daß die maximalen Belastungen durch TWW-Erwärmung und Raumheizung gleichzeitig auftreten, ist die erforderliche Kesselleistung:

$$Q'_K = \max(Q'_N + Q'_{ZWW}; Q'_{WW})$$

mit

Q'_N = Norm-Gebäudewärmebedarf aus DIN 4701

Q'_{ZWW} = Kesselzuschlag Trinkwarmwasser

Q'_{WW} = Wärmeleistung Trinkwarmwasser aus Auslegung mittels Wärmeschaubild

Der Kesselzuschlag Q'_{ZWW} ist gemäß DIN 4708 Teil 2, Gleichung (2) oder VDI 3815, Gleichung (20) zu ermitteln:

$$Q'_{ZWW} = \frac{W_{1,0} - C + \frac{W_{2T_N}}{2T_N}(2T_N - 1)}{2T_N}$$

mit

Q'_{ZWW} = Kesselzuschlag Trinkwarmwasser

$W_{1,0}$ = Stundenwärmebedarf

C = Speicherkapazität

W_{2TN} = Periodenwärmebedarf

$2T_N$ = Periodendauer

4.2 Speicherinhalt

Generell gilt bei gleicher Kesselleistung:
Kleines Speichervolumen mit kleiner Schalthysterese ergibt kurze Kesselaufzeiten mit vielen Kesselstarts (siehe Bild 4.1).
Großes Speichervolumen mit großer Schalthysterese ergibt lange Kesselaufzeiten mit wenigen Kesselstarts. Dies wirkt sich positiv auf den Jahresnutzungsgrad des Kessels aus (siehe Bild 4.2).
Andererseits ergeben größere Speichervolumina höhere Speicherverluste.
Das Zusammenspiel von Kessel und Speicher kann am besten mit dem Wärmeschaubild (Kap. 5) erfaßt werden.

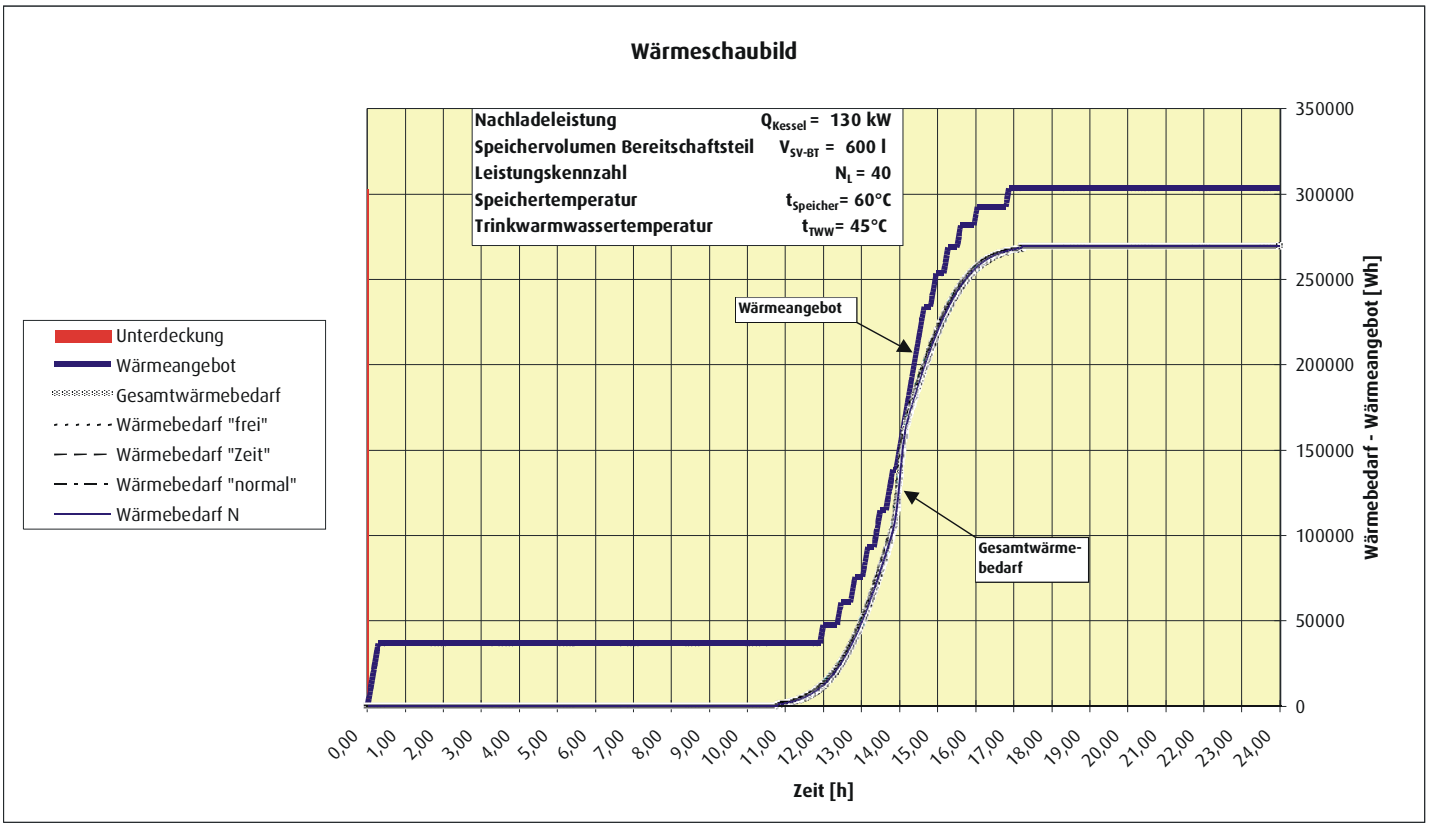
3.2.1 Reine Anlagen zur TWW-Erwärmung

Das Speichervolumen für die TWW-Erwärmung ist unmittelbares Ergebnis aus der Auslegung mittels Wärmeschaubild. Zusätzliches Volumen ist bei Einbindung einer Solaranlage vorzusehen.

3.2.2 Kombinierte Anlagen zur TWW-Erwärmung und Raumheizung

Das Speichervolumen für die TWW-Erwärmung ist unmittelbares Ergebnis aus der Auslegung mittels Wärmeschaubild. Zusätzliches Volumen als Heizungspuffer für bestimmte Wärmeerzeuger und solare Heizungsunterstützung ist mit geeigneten Verfahren zu bestimmen.

> Kesselleistung und Speicherinhalt

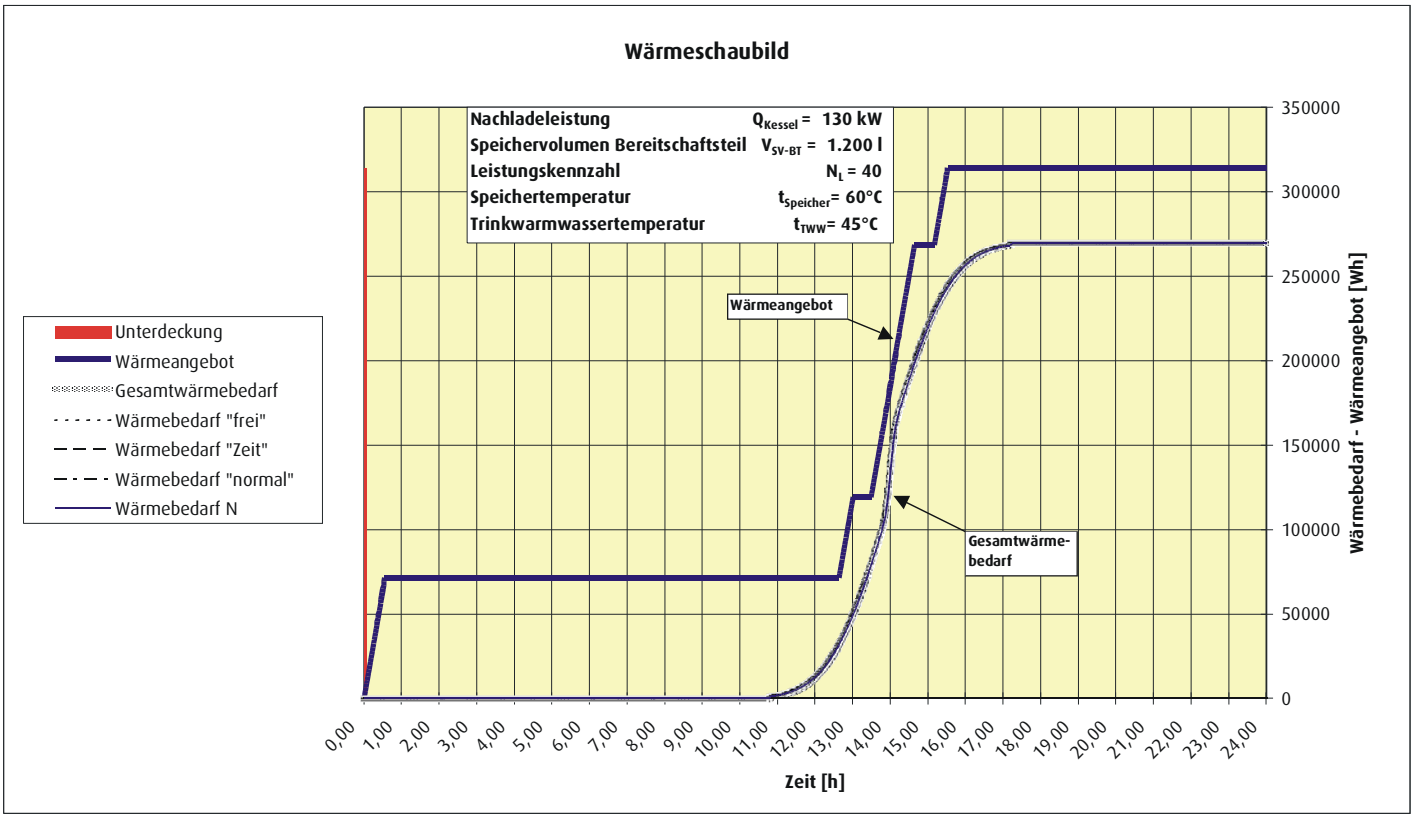


Eingabedaten				
Kaltwassertempertur:	t_KW	10	°C	
Speichervolumen:	V_S	600	l	
Speicherwassertemperatur:	T_Smax	60	°C	Mindest-Überhöhung von 5 Kelvin zu T_WW erfüllt!
Kessel-Ein-Fühlerposition:	F_PosEin	0,3	[-] rel. Höhe von unten	
Kessel-Aus-Fühlerposition:	F_PosAus	0	[-] rel. Höhe von unten	
Kesselleistung:	Q´_K	130	kW	
Temperatur TWW_FWE:	TWW_FWE	45	°C	

Ergebnisse							
Spitzenleistung:	Q´max	246	kW				
Spitzendurchfluß:	V´max	100,8	l/min				
Tageswärmebedarf:	W24h	269,6	kWh				
Kesselstarts:		13	Starts				
Kessellaufzeit in Minuten [min]:		140	min	Gesamtkessellaufzeit bei Anzahl der Kesselstarts			
Kessellaufzeit 1:	t_K_1	44	min	Kessellaufzeit 8:	t_K_8	7	min
Kessellaufzeit 2:	t_K_2	17	min	Kessellaufzeit 9:	t_K_9	6	min
Kessellaufzeit 3:	t_K_3	11	min	Kessellaufzeit 10:	t_K_10	6	min
Kessellaufzeit 4:	t_K_4	10	min	Kessellaufzeit 11:	t_K_11	5	min
Kessellaufzeit 5:	t_K_5	9	min	Kessellaufzeit 12:	t_K_12	5	min
Kessellaufzeit 6:	t_K_6	8	min	Kessellaufzeit 13:	t_K_13	5	min
Kessellaufzeit 7:	t_K_7	7	min	Kessellaufzeit 14:	t_K_14	0	min
Kesselzuschlag:	Q_ZWW	49,3	kW	nach DIN 4708 T2 Gleichung (2) oder VDI 3815 Gleichung (20)			

Bild 4.1: Wärmeschaubild „kleines Speichervolumen mit kleiner Schalthysterese“

> Kesselleistung und Speicherinhalt



Eingabedaten				
Kaltwassertempertur:	t_KW	10	°C	
Speichervolumen:	V_S	1200	l	
Speicherwassertemperatur:	T_Smax	60	°C	Mindest-Überhöhung von 5 Kelvin zu T_WW erfüllt!
Kessel-Ein-Fühlerposition:	F_PosEin	0,5	[-] rel. Höhe von unten	
Kessel-Aus-Fühlerposition:	F_PosAus	0	[-] rel. Höhe von unten	
Kesselleistung:	Q'_K	130	kW	
Temperatur TWW_FWE:	TWW_FWE	45	°C	

Ergebnisse								
Spitzenleistung:		Q´max	246	kW				
Spitzendurchfluß:		V´max	100,8	l/min				
Tageswärmebedarf:		W24h	269,6	kWh				
Kesselstarts:			4	Starts				
Kessellaufzeit in Minuten [min]:			145	min	Gesamtkessellaufzeit bei Anzahl der Kesselstarts			
	Kessellaufzeit 1:	t_K_1	69	min	Kessellaufzeit 8:	t_K_8	0	min
	Kessellaufzeit 2:	t_K_2	33	min	Kessellaufzeit 9:	t_K_9	0	min
	Kessellaufzeit 3:	t_K_3	22	min	Kessellaufzeit 10:	t_K_10	0	min
	Kessellaufzeit 4:	t_K_4	21	min	Kessellaufzeit 11:	t_K_11	0	min
	Kessellaufzeit 5:	t_K_5	0	min	Kessellaufzeit 12:	t_K_12	0	min
	Kessellaufzeit 6:	t_K_6	0	min	Kessellaufzeit 13:	t_K_13	0	min
	Kessellaufzeit 7:	t_K_7	0	min	Kessellaufzeit 14:	t_K_14	0	min
Kesselzuschlag:		Q_ZWW	46,0	kW	nach DIN 4708 T2 Gleichung (2) oder VDI 3815 Gleichung (20)			

Bild 4.2: Wärmeschaubild „großes Speichervolumen mit großer Schalthysterese“

5 Wärmeschaubild

5.1 Auslegung mit dem Wärmeschaubild

Während die Auslegung des Frischwasser-erwärmers über die Spitzenleistung relativ eindeutig ist, gibt es viele mögliche Kessel-Speicher-Kombinationen.
Grundsätzlich hat man die Wahl, entweder einen kleinen Kessel mit großem Speicher oder einen großen Kessel mit kleinem Speicher zur Deckung des Warmwasser-bedarfs zu wählen. Am günstigsten sind die Größen, bei denen die Summe der Kosten für Speicher und Kessel am geringsten ist.

Natürlich ist das vorhandene Platzangebot zu beachten. Gewisse Flexibilität ist durch die Parallelschaltung von Speichern (nach Tichelmann) gegeben.
Die unterschiedlichen Kombinationen lassen sich am besten im **Wärmeschaubild** beurtei-len. Hier wird zuerst die **Bedarfskurve** eingetragen, die sich als **Summenlinie** aus den **Bedarfskategorien** und diese wiederum aus den **Einzelbedarfen** ergibt:

Kategorie 1 **Bedarfskennzahl nach DIN 4708**
Bild 5.1 zeigt beispielhaft die Bedarfskurve für eine Bedarfskennzahl von N = 10.
Kategorie 2 **Normalverteilung**
Bild 5.2 zeigt beispielhaft die Bedarfskurve für ein zeitlich normalverteiltes Bedarfs-kollektiv.

Bild 5.1: Bedarfskurve für die Bedarfskennzahl N= 10

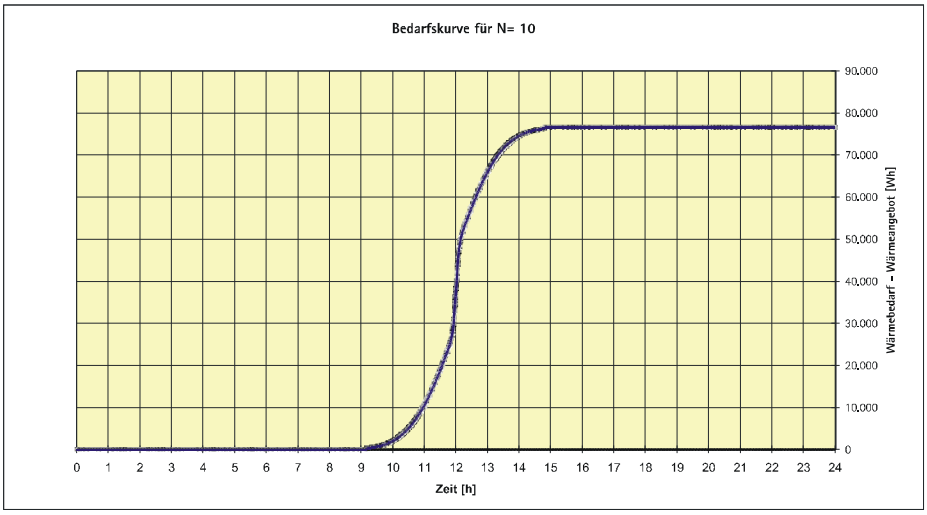
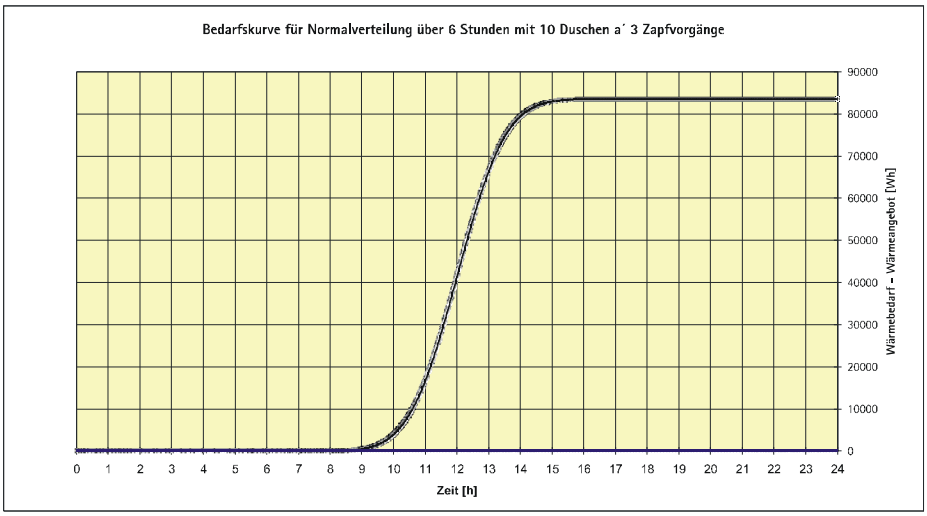


Bild 5.2: Bedarfskurve für die zeitliche Normalverteilung



Kategorie 3 **Bedarfssequenz**
Bild 5.3 zeigt beispielhaft die Bedarfskurve für ein zeitlich manuell vorgegebenes Bedarfskollektiv

In den Kategorien 1 und 2 wird die zeitliche Abfolge der Einzelbedarfe statistisch verteilt, Kategorie 3 erfordert die genaue Kenntnis, wann welcher Bedarf auftritt.
Die Summenlinie, die aus den 3 vorgenannten Profilen entsteht, zeigt Bild 5.4.

Dann wird die **Angebots- oder Leistungskurve** eingetragen, die durch die Parameter Speichergröße, Kesselleistung, Speicherwassertemperatur und die Speicherfühlerposition (Schalthysterese) bestimmt ist. Dabei darf die Leistungskurve zu keiner Zeit die Bedarfskurve unterschreiten bzw. muß bei Berücksichtigung von Durchmischungen um die sogenannte Minimalkapazität höher liegen. Die Parameter sind solange zu variieren, bis die bedarfsgerecht sinnvollste Kombination gefunden ist. Bei den vorgenannten Überlegungen sollte man berücksichtigen, daß große Speichervolumina das Takten des Kessels reduzieren und damit der Jahresnutzungsgrad der Anlage verbessert wird. Die Bilder 4.1 und 4.2 zeigen zwei mögliche Kessel-Speicher-Kombinationen, die einen Bedarf von N = 40 decken können.

Bild 5.3: Bedarfskurve für eine zeitliche Bedarfssequenz

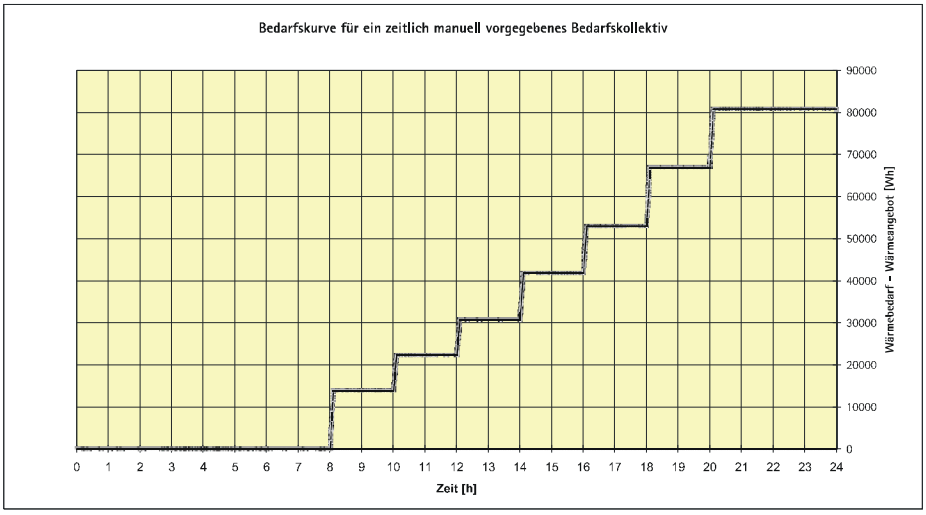
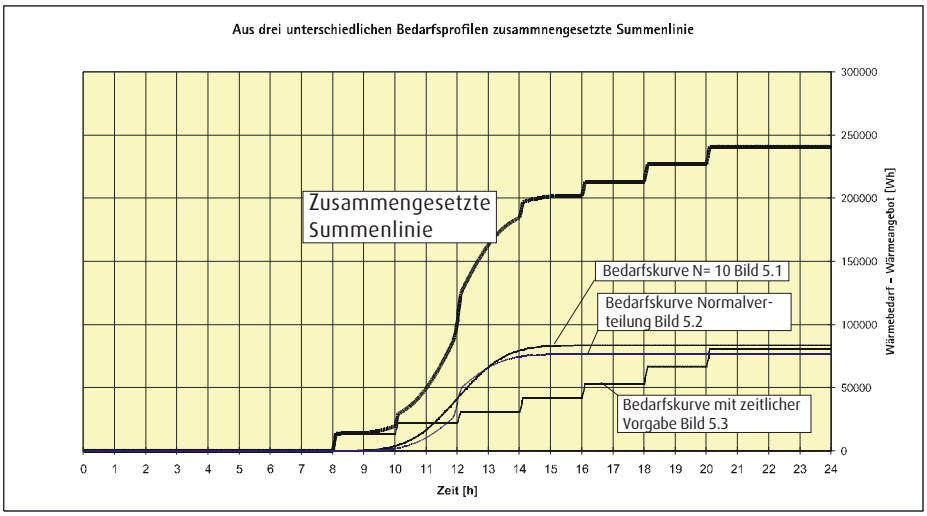


Bild 5.4: Summenlinie der Bedarfsprofile aus Bild 5.1, 5.2 und 5.3



5.2 Software als Auslegungshilfe

Am einfachsten erfolgt die Variantenrechnung nach diesem Verfahren mit einem Computerprogramm. Bild 4.1 zeigt eine excelbasierte Umsetzung mit dem Wärmeschaubild, den Eingabe- und den Ausgabewerten.
Die Eingabewerte sind:
- Kaltwassertemperatur
- Speichervolumen und -temperatur
- Fühlerpositionen
- Kesselleistung und
- Warmwassertemperatur

die Ausgabewerte:
- Spitzenleistung und -durchfluß
- Tageswärmebedarf
- Anzahl der Kesselstarts und -laufzeiten sowie
- Kesselzuschlag nach DIN 4708 Teil 2.

6 Komponentenauswahl

6.1 Auswahl des Speichers

Das für die Versorgungssicherheit nötige Bevorratungsvolumen ergibt sich aus der Auslegung mittels Wärmeschaubild.

Bei reinen TWW-Anlagen entspricht dieses Volumen dem gesamten Speichervolumen, bei Kombispeichern entspricht es dem Volumen des WW-Bereitschaftsteils.
Werte für die Leitwerkschichtspeicher der Fa. varmeco finden sich im Anhang A.3.

6.2 Auswahl des Frischwassererwärmers

Die Auswahl des Frischwassererwärmers (kurz FWE) erfolgt über die ermittelte Spitzenleistung. Neben Einzelgeräten lassen sich auch Kaskaden (Parallelschaltung mehrer FWE-Geräte) realisieren. Abhängig von der verwendeten Berechnungsmethode gelten folgende Forderungen:

Berechnung nach DIN 1988
Bei der Berechnung nach DIN 1988 muss der Betriebs-Zapfvolumenstrom des Gerätes gemäß Leistungsdiagramm für TWW= 60°C größer gleich dem Spitzenvolumenstrom nach DIN 1988 sein.

Berechnung nach der Bedarfskennzahl
Bei der Berechnung mit der Bedarfskennzahl muß die Leistungskennzahl N_L des Gerätes gemäß den Diagrammen im Anhang A4 für TWW= 45°C größergleich der Bedarfskennzahl N sein.
Anmerkung: Die Diagramme liefern auch N_L-Werte für geringere als die Normspeichertemperatur von 82°C.

Berechnung nach der Verbrauchs- oder Bedarfskurve
Bei der Berechnung mit der Verbrauchs- oder Bedarfskurve muß die Zapfleistung gemäß Leistungsdiagramm für die gewählte TWW-Temperatur größergleich der Spitzenleistung (größte Steigung der Summenlinie im Wärmeschaubild) sein.

6.3 Druckverlustberechnung

Primär-/Heizungsseite
Ist der Primärkreis des Frischwassererwärmers „weitläufig“, so empiehlt sich eine genauere Berechnung der Druckverluste. Denn neben den Temperaturverhältnissen ist die Maximalleistung der Frischwassererwärmer auch vom Primärvolumenstrom abhängig, den die geräteintegrierte Pumpe gegen die Druckverluste des Primärkreises fördern kann.

Hierzu ist mit Hilfe der Gerätekennlinie im Leistungsdiagramm die Netzkennlinie für das geplante Vorhaben konkret zu bestimmen. Aus dem Schnittpunkt von Pumpen- und Netzkennlinie ergibt sich der maximale Primär-Massentrom als Auslegungspunkt im Leistungsdiagramm.

Sekundär-/TWW-Seite
Die Berechnung der TWW-Seite erfolgt nach den üblichen Verfahren der DIN 1988. Zur Berücksichtigung des Frischwassererwärmers sind die entsprechenden k_v-Werte heranzuziehen (siehe Geräteeckdaten A.7).

7 Anlagendimensionierung

7.1 Flußdiagramm zur Anlagendimensionierung

Mit den vorstehenden Kapiteln sind alle Einzelschritte der Anlagendimensionierung abgehandelt. Bild 6.1 zeigt nun den gesamten Planungsablauf in Form eines Flußdiagramms. Es läßt sich in die beiden Teilbereiche Bedarfsermittlung und Angebotsermittlung unterteilen.

Bedarfsermittlung
Abhängig von der Nutzungsart ist die Vorgehensweise unterschiedlich.
Für Wohngebäude (A1) ist die zeitliche Verteilung normiert, der Bedarf läßt sich eindeutig mit der Bedarfskennzahl N nach DIN 4708 beschreiben und definiert den Verlauf der Bedarfskurve im Wärmeschaubild D.

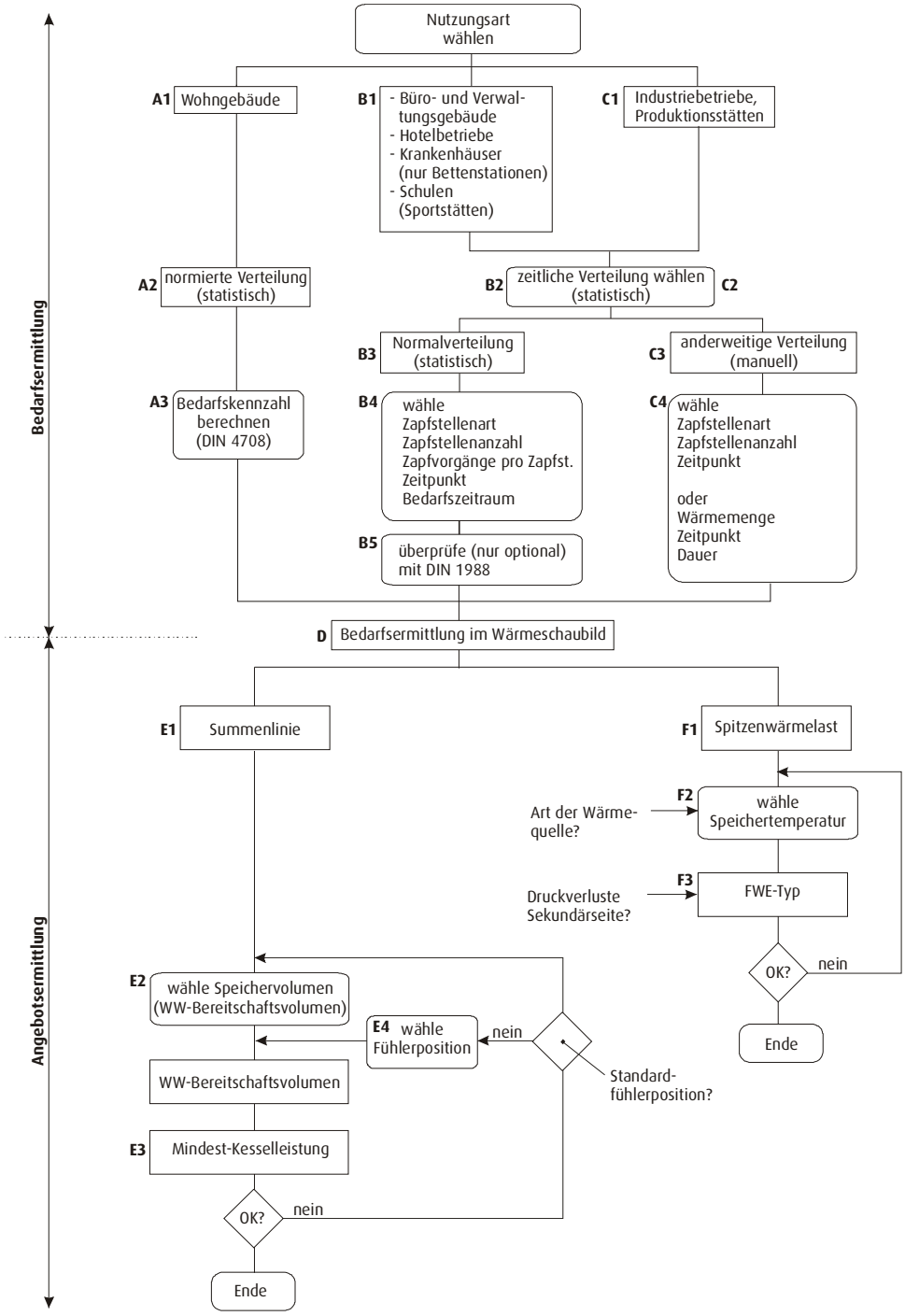
Bei Bürogebäuden usw. (B1) ist die zeitliche Abfolge der Einzelbedarfe nicht normierbar und daher abzuschätzen/anzunehmen. Bei unterstellter Normalverteilung (B3) ergibt sich aus der Zapfstellenart usw. (B4) die Bedarfkurve (D). Optional kann deren Spitzenwärmelast (größte Steigung der Bedarfskurve) mittels DIN 1988 (B5) überprüft werden. Andere Verteilungen sind durch Wahl der Zapfstellenart usw. (C) in ihrem Zeitverlauf genau vorzugeben, woraus die Bedarfskurve (D) resultiert.

Bei Industriebetrieben usw. (C1) gilt die gleiche Vorgehensweise wie für (B1), nur ist die Kontrolle (B5) nicht möglich.

Die so ermittelte Bedarfskurve (D) ist die notwendige Voraussetzung für die Angebotsermittlung, mit dem Dimensionierungsziel, dass das Angebot zu jeder Zeit den Bedarf decken kann.

Angebotsermittlung
Auswahl des Frischwassererwärmers
Aus der Bedarfskurve (D) folgt am Punkt der größten Steigung die Spitzenwärmelast (F1). Abhängig von der Speichertemperatur, die von der Art der Wärmequelle beeinflußt sein kann, ist der passende FWE-Typ mit Hilfe der Leistungsdiagramme auszuwählen. Zusätzlich ist über die Rohrnetzberechnung zu prüfen, ob der geforderte Volumenstrom primär- und sekundärseitig gewährleistet ist.

Bild 7.1: Flußdiagramm zur Anlagendimensionierung



Auswahl von Speicher und Kesselleistung
Der gesamte Verlauf der Bedarfskurve (D) = Summenlinie (E1) ist zur Dimensionierung der Kombination aus Speicher und Kessel zu berücksichtigen. Die Angebotskurve ergibt sich aus Speichervolumen (E2), der Kesselleistung (E3) und der Fühlerpostionierung (E4). Zusätzlich sind bei der Wahl des Speichervolumens die Punkte Platzangebot, Mehrspeicheranlage, Einbringöffnung, Puffervolumen für den Heizkreis sowie Solareinbindung zu berücksichtigen.

8 Dimensionierungsbeispiele

8.1 Allgemeines zur Dimensionierung

In den beiden nachfolgenden Kapiteln 8.1 und 8.2 werden zwei Bauvorhaben unterschiedlicher Nutzungsart dimensioniert. Zum einen handelt es sich um eine Wohnanlage und zum anderen um ein Hallenbad. Diese beiden gewählten Objekte gelten beispielhaft für eine Vielzahl anderer Liegenschaften unterschiedlichster Nutzungsarten und sollen die Variantenrechnung und die Kombinationsmöglichkeit verdeutlichen. Weiter soll der Dimensionierungsablauf, wie im Flußdiagramm im Kapitel 7 beschrieben, veranschaulicht und der Umgang mit den unterschiedlichen Formblättern verdeutlicht werden.

8.2 Dimensionierungsbeispiel Wohngebäude

Bei dem dargestellten Beispiel in Bild 8.1 wurde die Bedarfskennzahl mit N=260 nach der DIN 4708 ermittelt. Danach läßt sich die Summenlinie des Wärmebedarfs im Wärmeschaubild eintragen. Über die

- **Speichergröße V_S**
- **die Kessel-Nachladeleistung Q_K**
- **die Speicherwassertemperatur T_{Smax}**
- **und die Speicher-Fühlerposition Kessel-Ein / Kessel-Aus (Schalthysterese)**

kann das Gesamtwärmeangebot ermittelt werden. Das Wärmeangebot läßt sich dann als Wärme-Angebotslinie über die Bedarfsperiode in das Wärmeschaubild eintragen. Durch Kombination und Iteration sind die verschiedenen Einflußgrößen wie Speichergröße, Kesselnachladeleistung usw. und das daraus resultierende Wärmeangebot so zu wählen, dass die Summenlinie des Wärmebedarfs zu keiner Zeit der Bedarfsperiode unterschritten wird. Dadurch wird sichergestellt, dass es zu keinen Versorgungsengpässen in der Trinkwarmwasserversorgung der Wohnanlage kommt. Als direktes Ergebnis aus dem Wärmeschaubild läßt sich die Spitzenleistung Q_{max}, der Spitzendurchfluß r3, der Tageswärmebedarf, die Kesselstarts und die Kessellaufzeit aus dem Wärmeschaubild ablesen. Der ermittelte Spitzendurchfluß ist die Basisauswahlgröße für den Frischwassererwärmer. Die Speichergröße ist über das Wärmeschaubild ermittelt worden. Damit stehen alle notwendigen Parameter für die Gesamtauswahl Speicher und Frischwassererwärmer zur Verfügung.

Speicherauswahl

Aus dem Wärmeschaubild (Bild 8.1) ergibt sich das Speichervolumen von 2.500l.
Bei der Auswahl der Speichergröße sind vor allem die Platzverhältnisse Vorort zu berücksichtigen. Einbringungsöffnung, wie Türbreite und -höhe, aber auch das Kippmaß spielen bei den zu wählenden Speicherabmessungen wie Speicherdurchmesser und -höhe die entscheidende Rolle. Bei beengten Platzverhältnissen können auch mehrere kleine Speicher parallel geschaltet werden. Natürlich können auch standortgefertigte Speicher eingesetzt werden, die aber in der Regel teurer sind, als werksgefertigte Speicher.

Auswahl des Frischwassererwärmers

Über die gewählte Speichertemperatur und der errechneten Bedarfskennzahl, lässt sich aus dem Bild 8.2 die Frischwassererwärmergröße bestimmen. Die Größe des Frischwassererwärmers ist dabei so zu wählen, dass seine entsprechende Leistungskennzahl N_L gleich oder größer der Bedarfskennzahl ist. In unserem Beispiel ergibt sich eine 4er Kaskade der Größe FWE 50 die eine Leistungskennzahl von 262 erreicht und damit die Bedarfskennzahl von 260 abdeckt

Bild 8.2: Auswahl des Frischwassererwärmers über die Leistungskennzahl

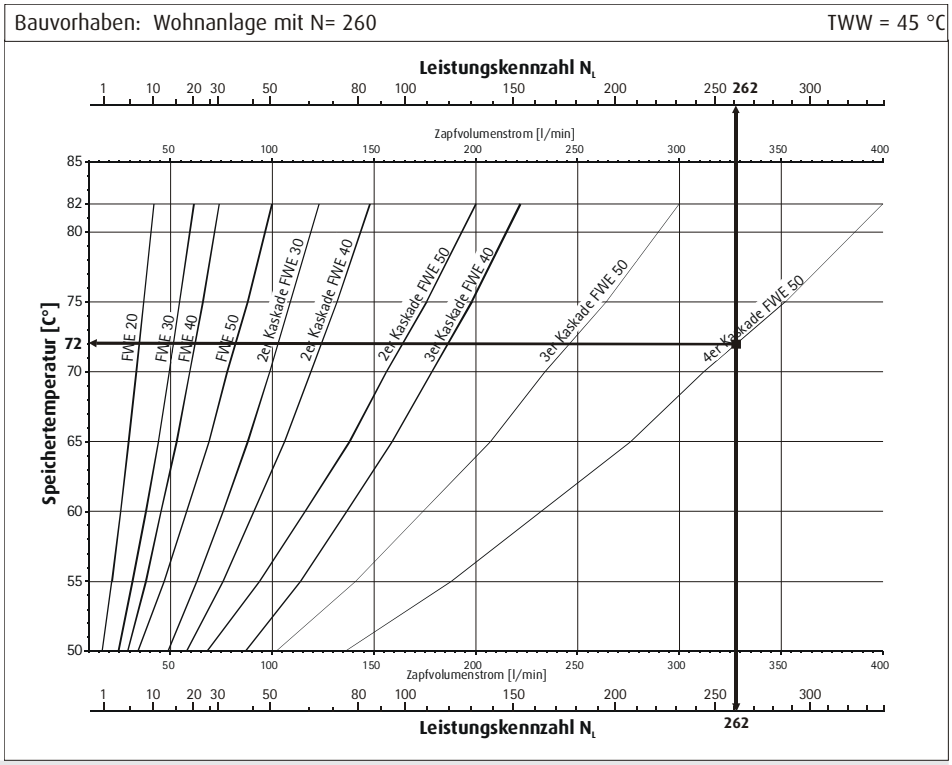
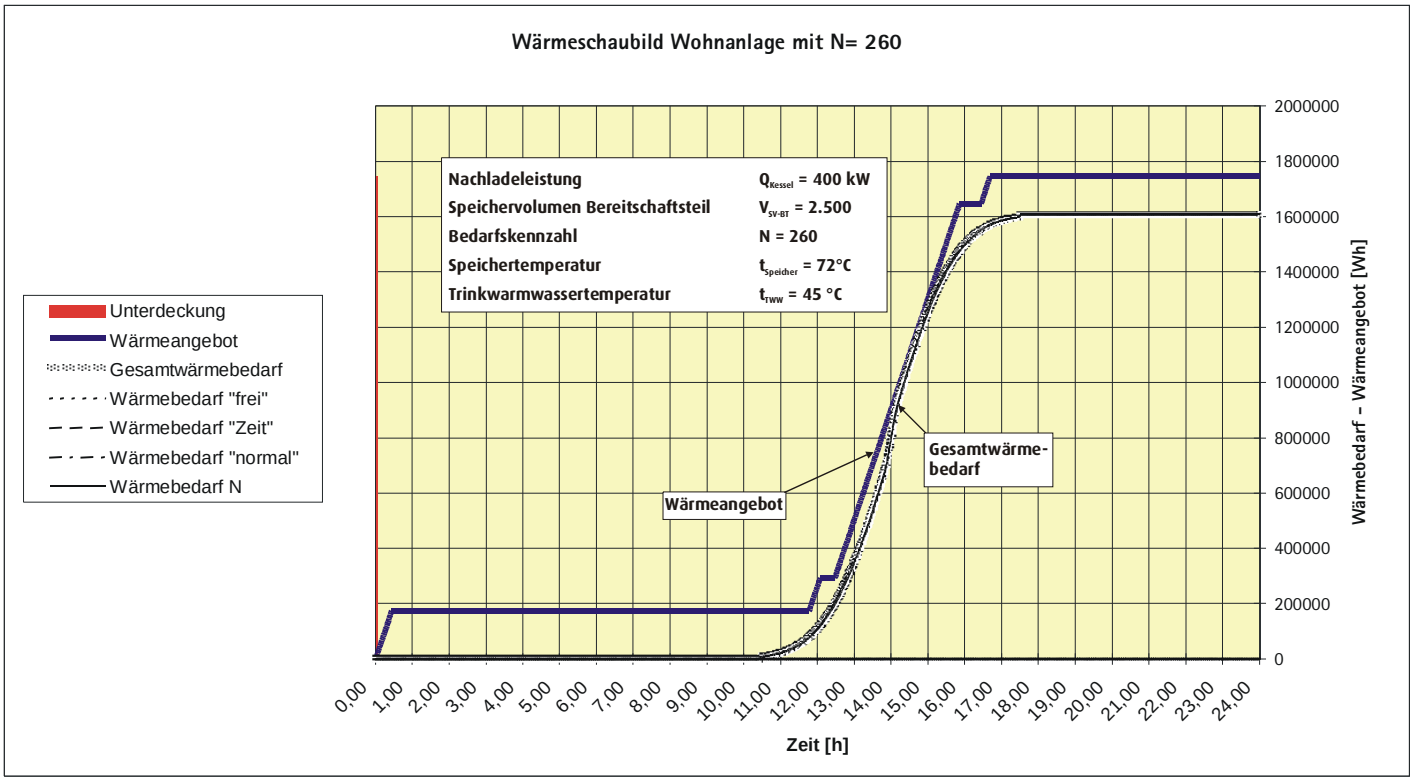


Bild 8.1: Wärmeschaubild am Beispiel einer Wohnanlage mit einer Bedarfskennzahl von N= 260



Eingabedaten				
Kaltwassertempertur:	t_KW	10	°C	
Speichervolumen:	V_S	2500	l	
Speicherwassertemperatur:	T_Smax	72	°C	Mindest-Überhöhung von 5 Kelvin zu T_WW erfüllt!
Kessel-Ein-Fühlerposition:	F_PosEin	0,5	[-] rel. Höhe von unten	
Kessel-Aus-Fühlerposition:	F_PosAus	0,05	[-] rel. Höhe von unten	
Kessel-Nachladeleistung:	Q_K	400	kW	
Temperatur TWW_FWE:	TWW_FWE	45	°C	

Ergebnisse								
Spitzenleistung:		Qmax	845	kW				
Spitzendurchfluß:		r3	346,0	l/min				
Tageswärmebedarf:		W24h	1607,0	kWh				
Kesselstarts:			4	Starts				
Kessellaufzeit in Minuten [min]:			262	min	Gesamtkessellaufzeit bei Anzahl der Kesselstarts			
	Kessellaufzeit 1:	t_K_1	203	min	Kessellaufzeit 8:	t_K_8	0	min
	Kessellaufzeit 2:	t_K_2	26	min	Kessellaufzeit 9:	t_K_9	0	min
	Kessellaufzeit 3:	t_K_3	18	min	Kessellaufzeit 10:	t_K_10	0	min
	Kessellaufzeit 4:	t_K_4	15	min	Kessellaufzeit 11:	t_K_11	0	min
	Kessellaufzeit 5:	t_K_5	0	min	Kessellaufzeit 12:	t_K_12	0	min
	Kessellaufzeit 6:	t_K_6	0	min	Kessellaufzeit 13:	t_K_13	0	min
	Kessellaufzeit 7:	t_K_7	0	min	Kessellaufzeit 14:	t_K_14	0	min
Kesselzuschlag:		Q_ZWW	257,7	kW	nach DIN 4708 T2 Gleichung (2) oder VDI 3815 Gleichung (20)			

Eingaben der Zapfstellen

Wohnbauten mit Bedarfskennzahl N nach DIN 4708

	N		Ergebnisse:				
	260	Bedarfskennzahl	Spitzenwärmebedarf WzB [Wh]	133041		Spitzenverteilungszeit [h]	0,47
Stunde	Minute		Stundenwärmebedarf W1,0 [Wh]	526596			
14,00	0,00	Uhrzeit des Spitzenwärmebedarfs	Periodenwärmebed. W2TN [Wh]	1607045		Bedarfsperiode [h]	6,99
			Temperatur [°C]	45			

8.3 Dimensionierungsbeispiel Hallenbad

Am Beispiel eines sanierungsbedürftigen Hallenbades, sollen die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten Kessel- und Speichergröße verdeutlicht werden. Die Abfolge der Auslegung erfolgt nach dem Flußdiagramm in Kapitel 7. Dazu ist es notwendig, wie schon zuvor beschrieben, ein Verbrauchsprofil innerhalb der Bedarfsperiode aufzustellen. Dafür sind mit dem Betreiber alle relevanten Verbrauchsstellen und Warmwasserverbrauchs-Stoßzeiten abzuklären. Es ist auch möglich zeitlich begrenzte Verbrauchsmessungen durchzuführen. Dies ist aber nicht zwingend erforderlich. In dem Beispiel sind die Zapfstellen in drei Gruppen wie in Bild 6 dargestellt unterteilt. Die ersten beiden Zapfstellengruppen stellen die Benutzungen der Zapfstellen in den Stoßzeiten morgens um 11^{00} Uhr (Schulschwimmen) im Zeitraum von 4,5 h und abends um 20^{00} Uhr (Vereinsschwimmen) im Zeitraum von 30 Minuten als zeitliche Normalverteilung dar. Die dritte Zapfstellengruppe variiert zeitlich von 8^{00} Uhr bis 20^{00} Uhr in Zeitperioden von 2 h und ist mit der Zapfbeginnvorgabe konkret beschrieben.
In Bild 8.3 sind die drei zeitlichen Zapfstellengruppen und die unterschiedlichen Zapfstellenarten aufgelistet. Aus der Zapfstellenart ergibt sich die Warmwasser-Verbrauchsmenge, die Verbrauchsdauer und die jeweils benötigte Zapftemperatur. Aus den Vorgaben läßt sich der jeweilige Einzelwärmebedarf und der daraus resultierende Gesamtwärmebedarf errechnen. Aus den Zeitvorgaben der einzelnen Zapfstellengruppen, zeitlich normal verteilt und mit Zapfbeginnvorgabe, lassen sich die beiden Summenlinien in das Wärmeschaubild eintragen.

Eingaben der Zapfstellen

Zapfstellengruppen zeitlich normalverteilt

Zapfstellengruppe 1

Stunde	Minute	
4,00	30,00	Gesamtdauer des Bedarfszeitraums
11,00	0,00	Uhrzeit des Spitzenwärmebedarfs

Anzahl	Zapfstellenart	Ergebnisse: Wassermenge [l]	Dauer [min]	Temperatur [°C]	Einzel-Wärmebedarf [Wh]	Wärmebedarf [Wh]
15	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	41760,0
15	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	41760,0
10	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	27840,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
					Summe:	111360,0

Zapfstellengruppe 2

Stunde	Minute	
0,00	30,00	Gesamtdauer des Bedarfszeitraums
20,00	0,00	Uhrzeit des Spitzenwärmebedarfs

Anzahl	Zapfstellenart	Ergebnisse: Wassermenge [l]	Dauer [min]	Temperatur [°C]	Einzel-Wärmebedarf [Wh]	Wärmebedarf [Wh]
15	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	41760,0
15	Dusche mit Zelle	80	8	35	2320	34800,0
6	Wannenbad	250	10	35	7250	43500,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
0	Wannenbad	250	10	35	7250	0,0
					Summe:	120060,0

Zapfstellengruppe mit Zapfbeginnvorgabe

	Zeitpunkt Zapfbeginn Stunde	Minute	Anzahl	Zapfstellenart	Ergebnisse: Wassermenge [l]	Dauer [min]	Temperatur [°C]	Einzel-Wärmebedarf [Wh]	Wärmebedarf [Wh]
1.	8,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
2.	10,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
3.	12,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
4.	14,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
5.	15,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
6.	18,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
7.	20,00	30,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
8.	21,00	0,00	8	Dusche - mit Zelle	80	6	40	2784	22272,0
9.	8,00	0,00	0	Handwaschbecken	5	1,5	35	145	0,0
10.	9,00	0,00	0	Waschbecken	10	2	35	290	0,0
						Max:		Summe:	178176,0

Bild 8.3: Aufteilung der Zapfstellen in unterschiedlichen Gruppen

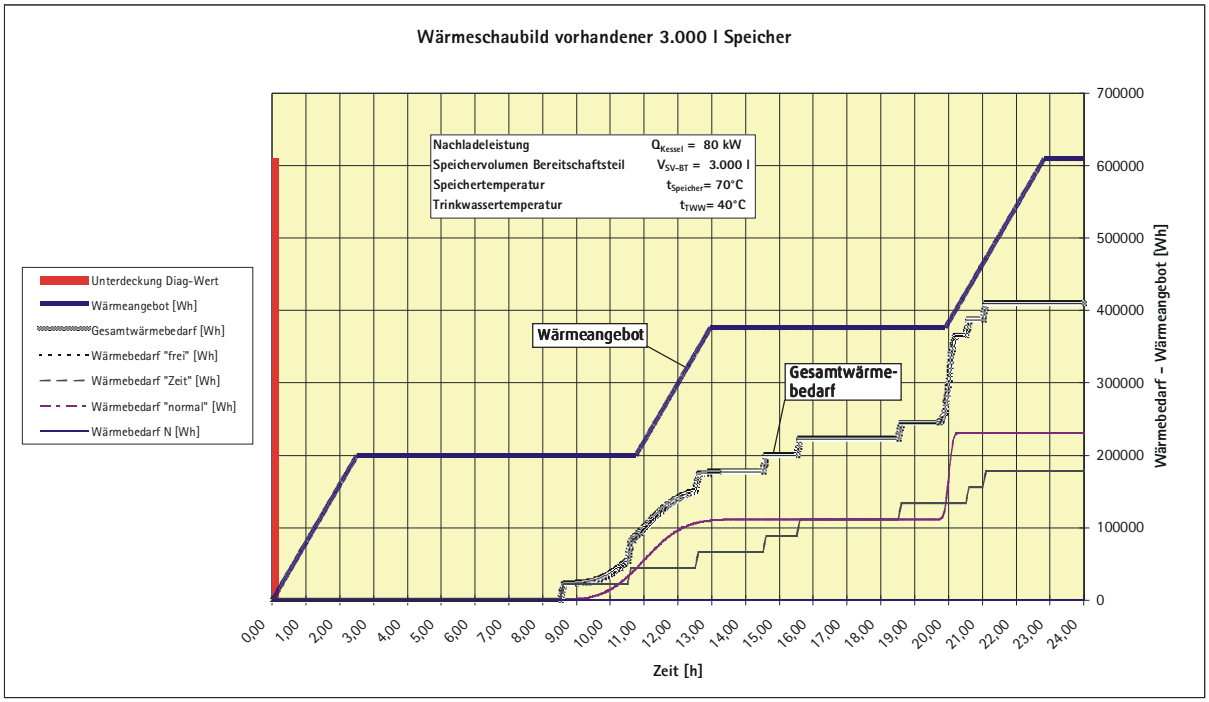
Wärmeschaubild mit umgebautem Trinkwasserspeicher

In dem untenstehenden Wärmeschaubild Bild 8.4 sind die einzelnen Summenlinien Wärmedearf „Zeit“ (Zapfstellengruppen zeitlich normal verteilt) und Wärmebedarf „frei“ (Zapstellengruppe mit Zeitbeginnvorgabe) und die aus den beiden Summenlinien kumulierte Gesamtwärmebedarfs-Summenlinie eingetragen. In diesem Beispiel wurde die Annahme getroffen, dass der vorhandene 3.000 Liter Trinkwasserspeicher als Pufferspeicher umgebaut wird.

Demnach kann das gesamte 3.000 Liter Volumen des Speichers als Puffervolumen genutzt werden. Dadurch kann eine relativ kleine Kesselnachlade-Leistung von 80 kW gewählt werden. Diese Kombination und die gewählte Speicherwassertemperatur von T_{Smax}=70°C, sowie die gewählten Speicher-Fühlerpositionen 50% und 5% als relative Höhe von unten, ergeben die unten dargestellte Wärmeangebotslinie. Diese wiederum deckt, wie zu sehen ist, die Gesamtwärmebedarfs-Summenlinie ab. Es entsteht also zu keiner Zeit der Bedarfsperiode eine Unterdekkung, somit ist eine ausreichende Warmwasserversorgung sichergestellt.

Durch die gewählten Eingabedaten ergibt sich ein Spitzendurchfluß von r3=240,9 l/min, sowie eine Anzahl von 3 Kesselstarts (Speicher-Nachladungen) mit einer Gesamtlaufzeit von 457 Minuten.

Bild 8.4: Wärmeschaubild mit umgebauten 3.000 Liter Pufferspeicher



Eingabedaten			
Kaltwassertempertur:	t_KW	10	°C
Speichervolumen-Bereitschaftsteil:	**V_SV-BT**	**3000**	**l**
Speicherwassertemperatur:	T_Smax	70	°C
Kessel-Ein-Fühlerposition:	F_PosEin	0,5	[-] rel. Höhe von unten
Kessel-Aus-Fühlerposition:	F_PosAus	0,05	[-] rel. Höhe von unten
Kessel-Nachladeleistung:	**Q_K**	**80**	**kW**
Temperatur TWW_FWE:	TWW_FWE	40	°C

Ergebnisse						
Spitzenleistung:	Qmax	504	kW	Höher als nach DIN 4708, weil Berechnungsintervall 1 statt 10 min.		
Spitzendurchfluß:	r3	240,9	l/min			
Tageswärmebedarf:	W24h	409,6	kWh			
Anzahl Kesselstarts:		3	Stck.			
Kessellaufzeit in Minuten [min]:		457	min	Gesamtkessellaufzeit bei Anzahl der Kesselstarts		
	Kesselstart 1	175		Kesselstart 8	0	
	Kesselstart 2	150		Kesselstart 9	0	
	Kesselstart 3	132		Kesselstart 10		
	Kesselstart 4	0		Kesselstart 11		
	Kesselstart 5	0		Kesselstart 12		
	Kesselstart 6	0		Kesselstart 13		
	Kesselstart 7	0		Kesselstart 14		
Kesselzuschlag:	Q_ZWW		kW	nach DIN 4708 T2 Gleichung (2) oder VDI 3815 Gleichung (20)		

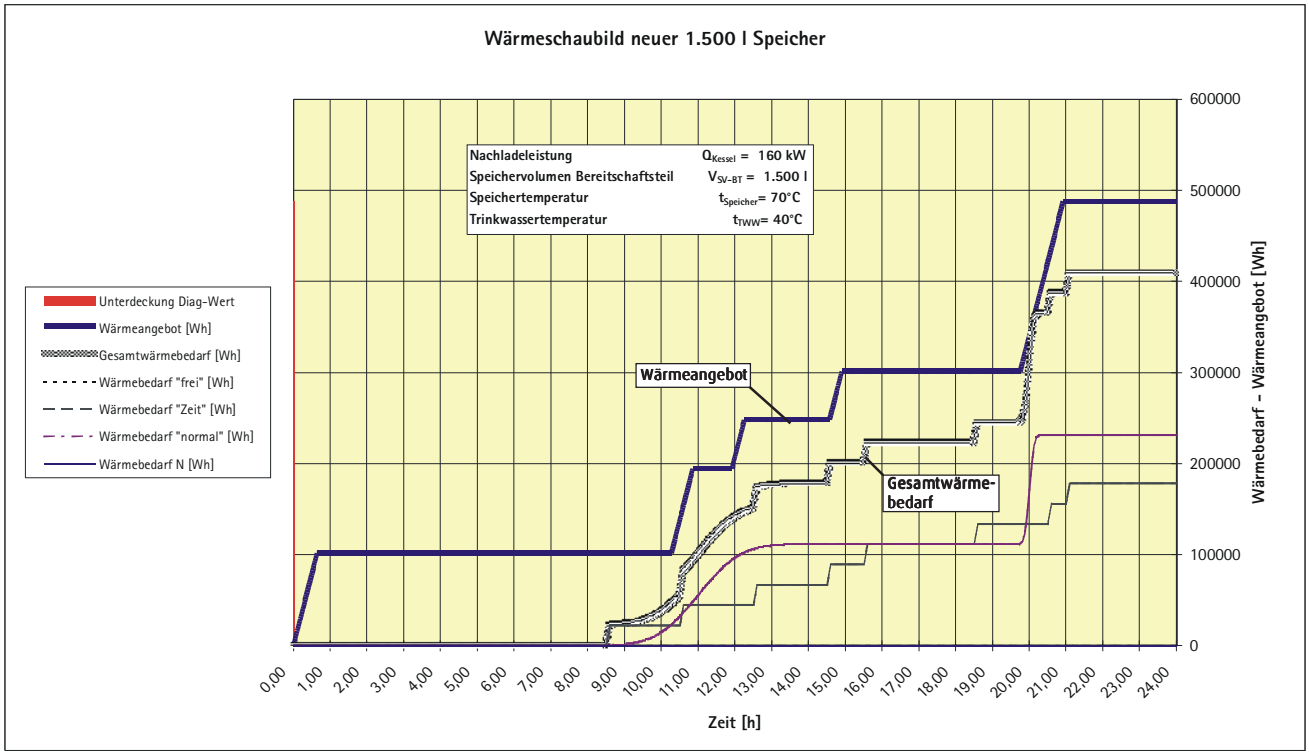
> Dimensionierungsbeispiele

Wärmeschaubild mit neuem Leitwerk-schichtspeicher®

Genauso wie im Beispiel zuvor wurden die einzelnen Summenlinien in das untenstehende Wärmeschaubild Bild 8.5 eingetragen.
Diesmal wurde allerdings ein neu zu errichtender Speicher mit 1.500 Liter Volumen und eine doppelt so große Speicher-/Kessel-Nachladeleistung von 160 kW gewählt. Das Wärmeschaubild zeigt, dass bei dieser Kombination ebenfalls der Wärmebedarf während der gesamten Bedarfsperiode abgedeckt wird.

Durch die Eingabedaten ergibt sich derselbe Spitzenvolumenstrom r3= 240,9 l/min, da sich der Wärmebedarf nicht verändert hat. Dagegen erhöht sich die Anzahl der Kesselstarts (Speicher-Nachladungen) auf 5 Stck. und die Gesamtkessel-Laufzeit verringert sich auf 183 Minuten, aufgrund der geringeren Speicherkapazität und der höheren Nachladeleistung.

Bild 8.5: Wärmeschaubild mit neuem 1.500 Liter Pufferspeicher



Eingabedaten			
Kaltwassertempertur:	t_KW	10	°C
Speichervolumen-Bereitschaftsteil:	**V_SV-BT**	**1500**	**l**
Speicherwassertemperatur:	T_Smax	70	°C
Kessel-Ein-Fühlerposition:	F_PosEin	0,5	[-] rel. Höhe von unten
Kessel-Aus-Fühlerposition:	F_PosAus	0,05	[-] rel. Höhe von unten
Kessel-Nachladeleistung:	**Q_K**	**160**	**kW**
Temperatur TWW_FWE:	TWW_FWE	40	°C

Ergebnisse						
Spitzenleistung:	Qmax	504	kW	Höher als nach DIN 4708, weil Berechnungsintervall 1 statt 10 min.		
Spitzendurchfluß:	r3	240,9	l/min			
Tageswärmebedarf:	W24h	409,6	kWh			
Anzahl Kesselstarts:		5	Stck.			
Kessellaufzeit in Minuten [min]:		183	min	Gesamtkessellaufzeit bei Anzahl der Kesselstarts		
	Kesselstart 1	70		Kesselstart 8	0	
	Kesselstart 2	38		Kesselstart 9	0	
	Kesselstart 3	35		Kesselstart 10		
	Kesselstart 4	20		Kesselstart 11		
	Kesselstart 5	20		Kesselstart 12		
	Kesselstart 6	0		Kesselstart 13		
	Kesselstart 7	0		Kesselstart 14		
Kesselzuschlag:	Q_ZWW		kW	nach DIN 4708 T2 Gleichung (2) oder VDI 3815 Gleichung (20)		

Auswahl des Speichers und der Kessel-Nachladeleistung

Aus den beiden zuvor beschriebenen Kombinationsmöglichkeiten der Speichergröße und der Kessel-Nachladeleistung lässt sich der untenstehende Kostenvergleich Tabelle 8.1 beider Varianten darstellen. Daraus ist zu ersehen, das Variante 1, der Umbau des vorhandenen 3.000 l Speichers, kostengünstiger ist als Variante 2, ein neu zu errichtender Speicher. Zudem wirkt sich bei Variante 1, die geringere Taktzahl und die höhere Gesamtlaufzeit des Kessels positiv auf den Jahresnutzungsgrad der Anlage aus. Generell gilt, dass bei sanierungsbedürftigen Anlagen zu prüfen ist, ob der vorhandene Trinkwasserspeicher als Pufferspeicher umgerüstet werden kann. Dies ist von Fall zu Fall abzuklären.

Wie das Ergebnis des zuvor beschriebenen Hallenbadbeispiels zeigt, kann der Umbau eines vorhandenen Trinkwasserspeichers durchaus kostengünstiger und damit wirtschaftlicher sein, als der komplette Austausch des Speichers.

Tabelle 8.1: Kostenvergleich beider Varianten

Kostenvergleich beider Varianten							
Variante 1				**Variante 2**			
Speichergröße	V_SV-BT **3.000 l**	Speicher-/Kessel-Nachladeleistung	Q_K **80kW**	Speichergröße	V_SV-BT **1.500 l**	Speicher-/Kessel-Nachladeleistung	Q_K **160 kW**
Position			**Gesamtpreis [Euro]**	**Position**			**Gesamtpreis [Euro]**
Vorhandenen Brauchwasserspeicher, Inhalt 3.000 Liter, Bauart stehend - umbauen zu einem Heizungspufferspeicher, Funktion gemäß Sandler System.			€ 1.250,00	Wasserspeicher als Leitwerkschichtspeicher Speicherinhalt in Liter: 1.500 Durchmesser in mm: 900 Höhe in mm: 2.500			€ 2.375,00
			[-]	Demontage des vorhandnen Trinkwasserspeichers			€ 1.250,00
SpeicherladesetQ= 80 kW V= 3,4 m^3/h (DT=20 K) mit Motorkugelhahn , Umwälzpumpe 3stufig Standardansteuerung über Sandler Kaskade			€ 400,00	SpeicherladesetQ= 160 kW V= 7,0 m^3/h (DT=20 K) mit Motorkugelhahn , Umwälzpumpe 3stufig Standardansteuerung über Sandler Kaskade			€ 750,00
Frischwassererwärmereinheit SYS018 K3-FWE 50 System 018 Frischwasser 3er Kaskade Trinkwasserwärmer als Wasser-Wasser-Durchlauferhitzer mit Meß-, Steuer- und Regelungseinrichtungen Maximalzapfvolumenstrom: 360 l/min Betriebszapfvolumenstrom: 285 l/min Minimalzapfvolumenstrom: 5,2 l/min Leistungskennzahl NL 160			€ 8.100,00	Frischwassererwärmereinheit SYS018 K3-FWE 50 System 018 Frischwasser 3er Kaskade Trinkwasserwärmer als Wasser-Wasser-Durchlauferhitzer mit Meß-, Steuer- und Regelungseinrichtungen Maximalzapfvolumenstrom: 360 l/min Betriebszapfvolumenstrom: 285 l/min Minimalzapfvolumenstrom: 5,2 l/min Leistungskennzahl NL 160			€ 8.100,00
Montage der Gesamtanlage			€ 2.550,00	Montage der Gesamtanlage			€ 3.480,00
Inbetriebnahme der Anlage			€ 900,00	Inbetriebnahme der Anlage			€ 900,00
Gesamtkosten Variante 1			**€ 13.200,00**	**Gesamtkosten Variante 2**			**€ 16.855,00**

Anmerkung zum Kostenvergleich:

Die angegebenen Preise sind zirka Kosten und ersetzen bei einer konkreten Baumaßnahme kein detailliertes Angebot. Desweiteren wurden im Kostenvergleich auf Kosten für Zubehör und Kleinmaterial in beiden Varianten der Einfachheit halber verzichtet.

Weiter wurde davon ausgegangen, dass die vorhandene Kesselleistung die benötigte Nachladeleistung in beiden Varianten bei weitem übersteigt.

> Dimensionierungsbeispiele

Auswahl des Frischwassererwärmers über das Leistungsdiagramm

Auf den vorherigen Seiten wurde die Auswahl und die Dimensionierung des Speichers und der Kesselleistung über das Wärmeschaubild anhand des sanierungsbedürftigen Hallenbades beschrieben. Zum Abschluß der Auslegung ist es aber noch erforderlich, den Frischwassererwärmertyp zu bestimmen.

Über den bereits ermittelten Spitzendurchfluß r3 von 241 l/min aus dem Wärmeschaubild wird anhand der Auswahltabelle und den Auswahldigrammen FWE (siehe varmeco Leistungsdigramme Seite 4 und 5) grob der FWE-Gerätetyp bestimmt. Danach wird in dem Leistungsdiagramm Bild 8.7 des entsprechnden Gerätetypes (hier: Gerätetyp FWE 50-TWW=40°C) über die Beispielnetzkennlinie der vertikale Schnittpunkt mit der Speichertemperatur eingetragen und der Betriebs-Zapfvolumenstrom abgelesen. Dieser Zapfvolumenstrom muss den Spitzendurchfluss r3 abdecken. In unserem Beispiel sind dazu drei Geräte vom Typ FWE 50 erforderlich. Diese drei Geräte werden parallel wie in Bild 8.6 dargestellt zu einer 3er Kaskade verschaltet und erreichen zusammen einen Betriebs-Zapfvolumenstrom von 285 l/min. Der Grund für die Kaskadenschaltung der Frischwassererwärmer ist, dass ein einzelnes Gerät mit entsprechend großem Wärmetauscher und Primärpumpe nicht die erforderliche Temperaturstabilität bei geringen Zapfmengen erreicht. Ein weiterer Vorteil der Kaskadierung der Frischwassererwärmer ist die Redundanz der Geräte untereinander, d.h beim Ausfall eines FWE-Gerätes kann eine manuelle Umschaltung auf das Folgegerät erfolgen, welches dann die TW-Versorgung übernimmt. Dadurch wird eine hohe Versorungssicherheit der Kaskadentechnolgie erreicht.

Aus dem Leistungsdiagramm ist weiter die Primär-Rücklauftemperatur abzulesen. Daraus wird ersichtlich, dass eine erheblich höhere Entwärmung der Speichertemperatur erzielt wird, als bei konventionellen Systemen. Die Rücklauftemperatur wird um über 50 K gesenkt, das ist gut das vierfache wie bei konventionellen Speicher-Systemen. Daraus ergeben sich die folgenden positiven Aspekte:

1. Moderne Wärmeerzeuger wie Brennwertkessel und Fernwärmenetze arbeiten aufgrund der niedrigen Rücklauftemperatur auf einem sehr hohen Wirkungsgrad (< 1 % Abgasverlust).
2. Das Heizwasser muss weit weniger zirkulieren, um die Wärmeleistung zu transportieren. Kleinere Pumpen mit geringerem Strombedarf können eingesetzt werden.
3. Bei Einbindung eines Pufferspeichers wird dessen Wärmekapazität hervorragend genutzt. Der Speicher kann somit relativ klein gehalten werden.

Bild 8.6: Hydraulische Verschaltung einer 3er Kaskade (Parallelschaltung dreier Frischwassererwärmer)

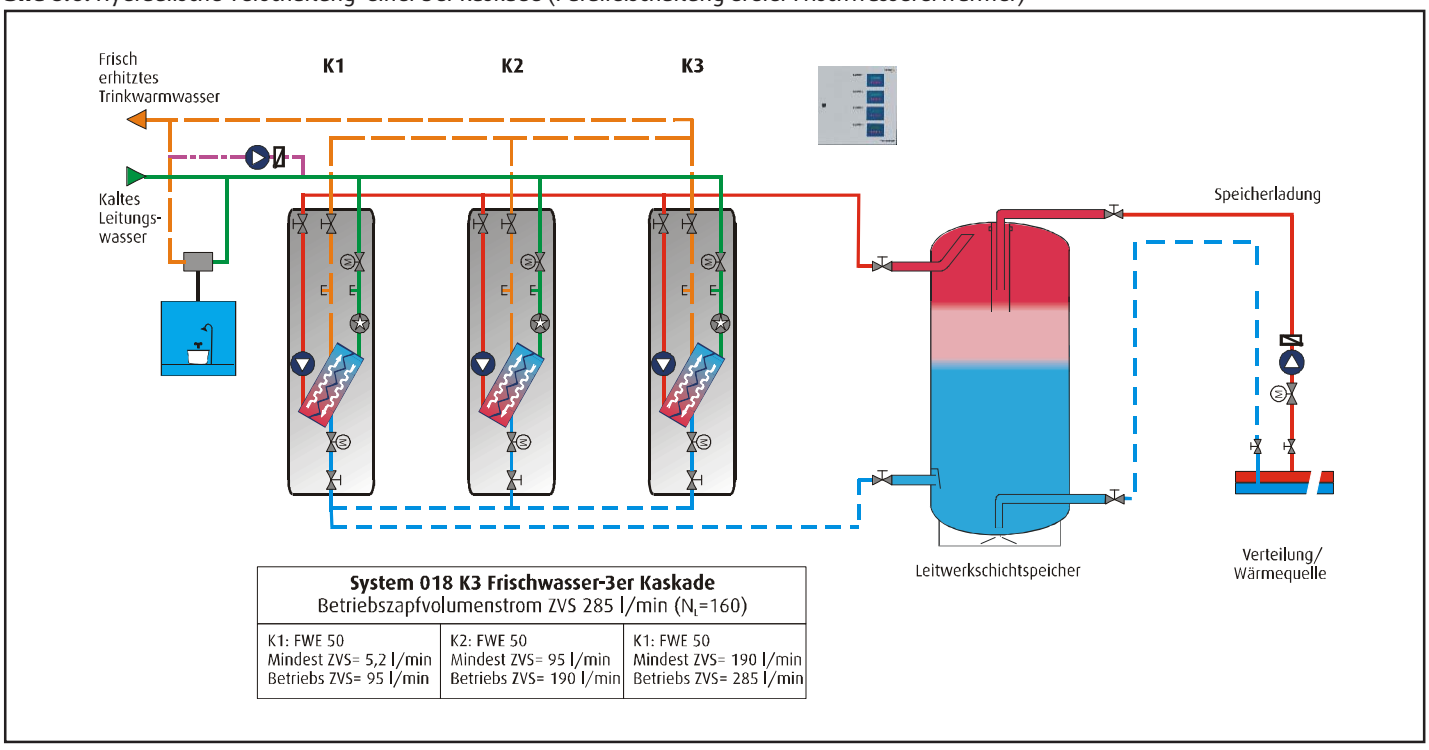
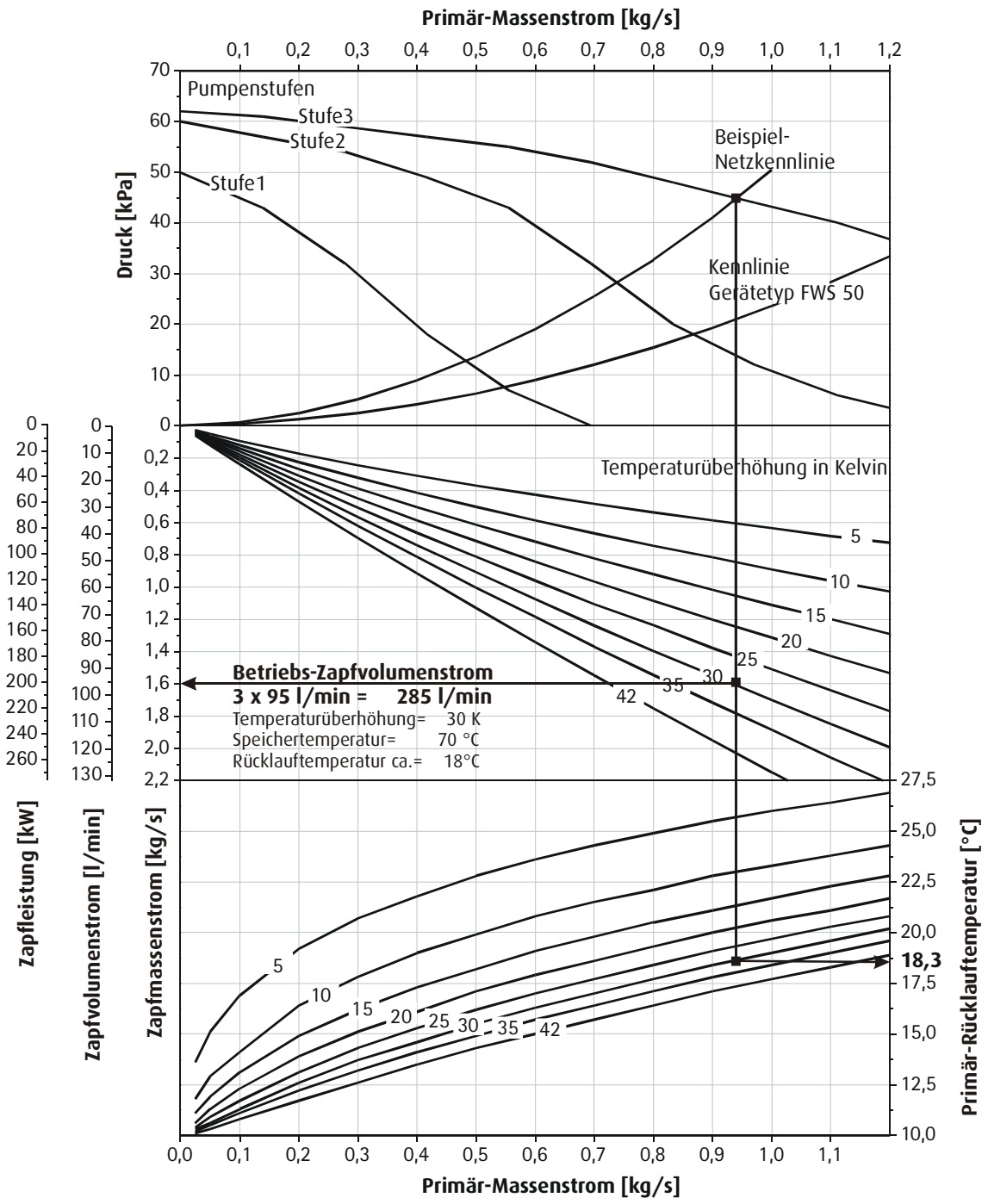


Bild 8.7: Leistungsdiagramm für Gerätetyp FWE 50 mit eingetragenen Betriebs-Zapfvolumenstrom



Nenn-Zapfvolumenstrom	52 l/min	**Leistungskennzahl N_L**	63 (bei Max.-ZVS)
Mindest-Zapfvolumenstrom	5,2 l/min	**Trinkwarmwassertemperatur**	40 °C
Maximal-Zapfvolumenstrom	121 l/min	**Trinkkaltwassertemperatur**	10 °C
Zapfleistung (bei Nenn-ZVS)	109 kW	**k_v-Wert** (TW-Seite/Sekundär)	4,06 m^3/h

A Anhang

A.1 Formblatt zur Ermittelung der Bedarfskennzahl N nach DIN 4708 T2

Ermittelung der Bedarfskennzahl nach DIN 4708		varmeco wärme.nutzen
Bauvorhaben:	Bearbeiter:	Datum:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lfd-Nr.	Raumzahl	Wohnungs zahl	Belegungs zahl	Wohnungs- X Belegungs- zahl	Zapfstellen (je Wohnung)			Zapfstellenzahl X Zapfstellenbedarf	Wohnungs- gruppen- bedarf
					Anzahl v	Kurzbez.	Bedarf w_v		
[-]	r [Stck.]	n [Stck.]	p [Stck.]	$n*p$ [Stck.]	[Stck.]	[-]	[Wh]	$v*wv$ [Wh]	$\Sigma\ (n*p*v*w_v)$ [Wh]

Σn_i | $\Sigma\ (n*p*v*w_v)$

Bedarfszahl

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot v \cdot w_v)}{p \cdot w_v} =$$

A.2 Formblatt zur Ermittelung der Spitzenleistung nach DIN 1988 T3

Formblatt zur Ermittelung der Spitzenleistung nach DIN 1988

varmeco wärme.nutzen

Bauvorhaben:	Bearbeiter:	Datum:

Berechnung Warmwasserbedarf zur Frischwassererwärmer-Auslegung
in Anlehnung an DIN 1988 (12/88)

Nutzungsart (Bitte ankreuzen!)

- ◯ Wohngebäude
- ◯ Büro- u. Verwaltungsgebäude
- ◯ Hotel
- ◯ Kaufhäuser
- ◯ Krankenhäuser (nur Bettenstationen)
- ◯ Schulen (Sportstätten)

Berechnungsdurchflüsse gebräuchlicher Trinkwasser-Entnahmestellen DIN 1988 Teil 3 (12/88) Tabelle 11.

Art der Trinkwarmwasser-Entnahmestelle		Berechnungs-durchfluß warm V_R [l/s]	Anzahl der einzelnen Entnahmestellen	Summendurchfluß der einzelnen Entnahmestellen $V_{S,i}$ [l/s]
Auslaufventile				
ohne Luftsprudler	DN 15	0,30		
ohne Luftsprudler	DN 20	0,50		
ohne Luftsprudler	DN 25	1,00		
mit Luftsprudler	DN 10	0,15		
mit Luftsprudler	DN 15	0,15		
Brauseköpfe für Reinigungsarbeiten	DN 15	0,10		
Haushaltsgeschirrspülmaschine	DN 15	0,15		
Haushaltswaschmaschine	DN 15	0,25		
Mischbatterie für				
Brausewannen	DN 15	0,15		
Badewannen	DN 15	0,15		
Küchenspülen	DN 15	0,07		
Waschtische	DN 15	0,07		
Sitzwaschbecken	DN 15	0,07		
Mischbatterie	DN 20	0,30		

maximaler Einzel-Berechnungsdurchfluß (l/s): _____

Summe der Entnahmestellen: _____

Summendurchfluß (l/s): _____

Berechneter Spitzendurchfluß V_S: $V_s = a^* (\Sigma V_R)^b \pm c =$ _____ l/s

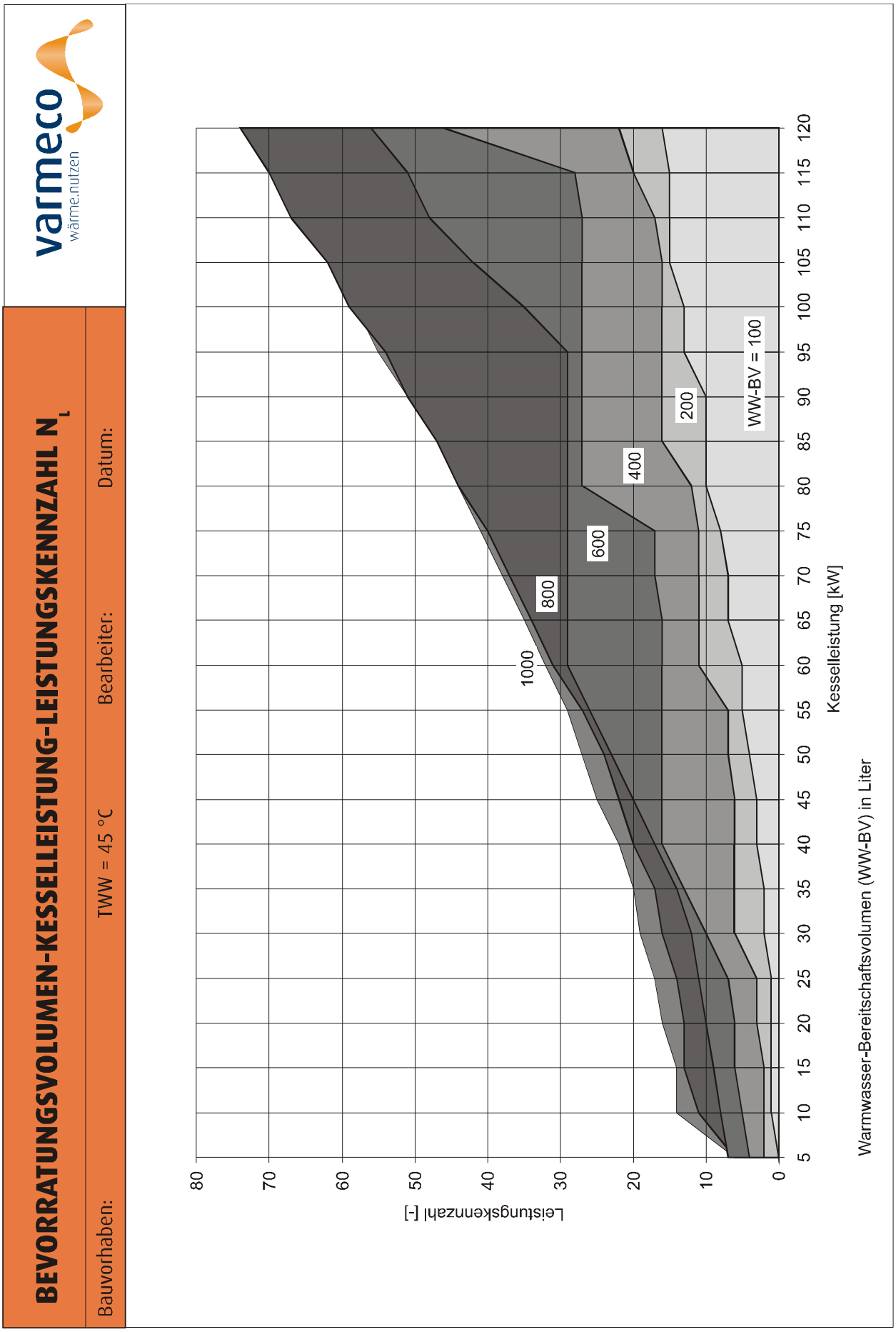
(Bitte entsprechende Berechnungsgleichnung nach Tabelle 2.3 einsetzten) _____ l/min

Berechnete Spitzenleistung Q_S: $Q_s = V_S{}^*cp^*\Delta t_{TWW-TKW} =$ _____ kW

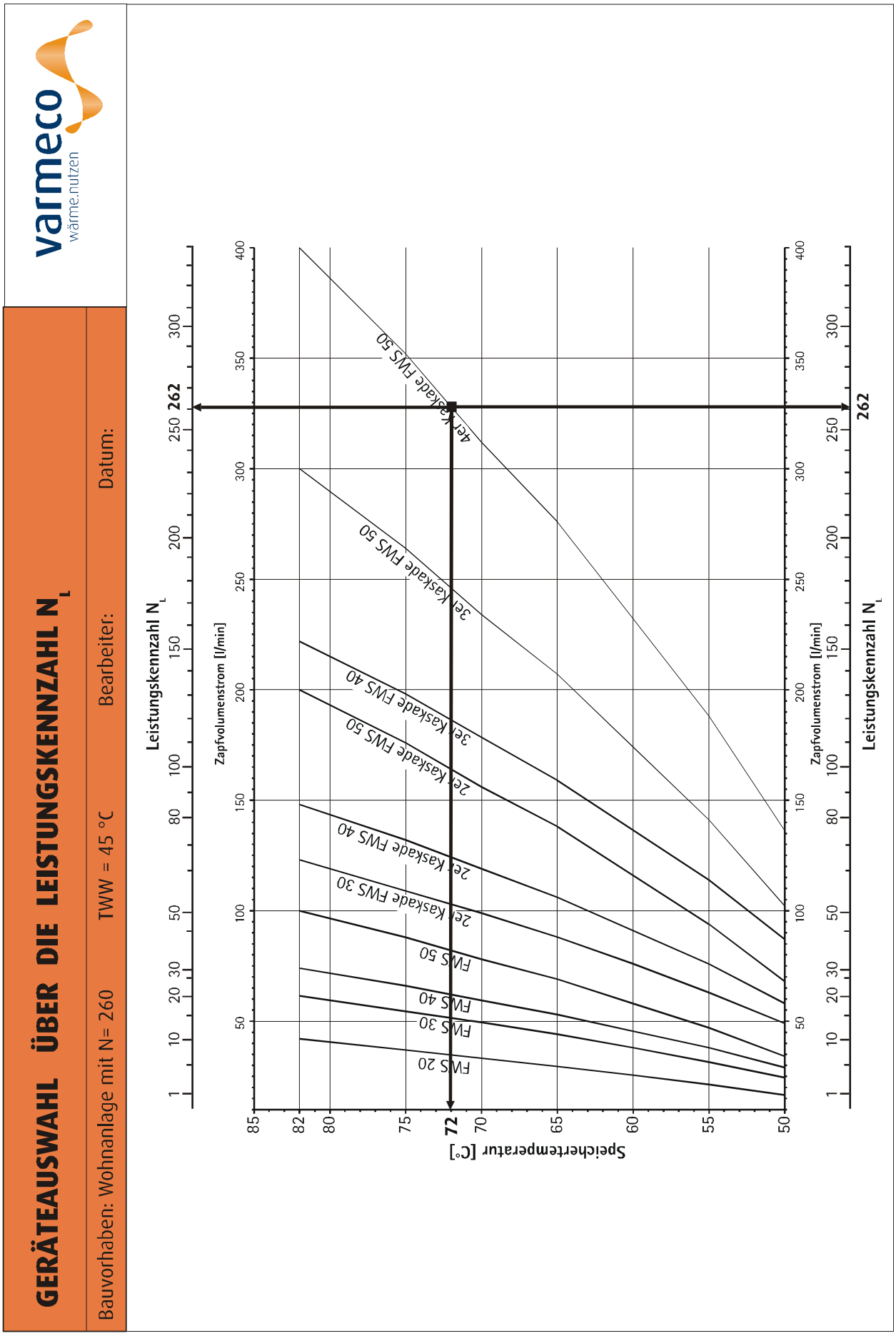
Anmerkungen (vgl. DIN 1988 Teil 3, Dez. 1988, Bild 3 und Tabelle 11):
Den Berechnungsdurchflüssen der Tabelle 11 liegen für kaltes Trinkwasser 15 °C und für erwärmtes Trinkwasser 60 °C zugrunde.

FWE-PL 11.99 Version 1.0

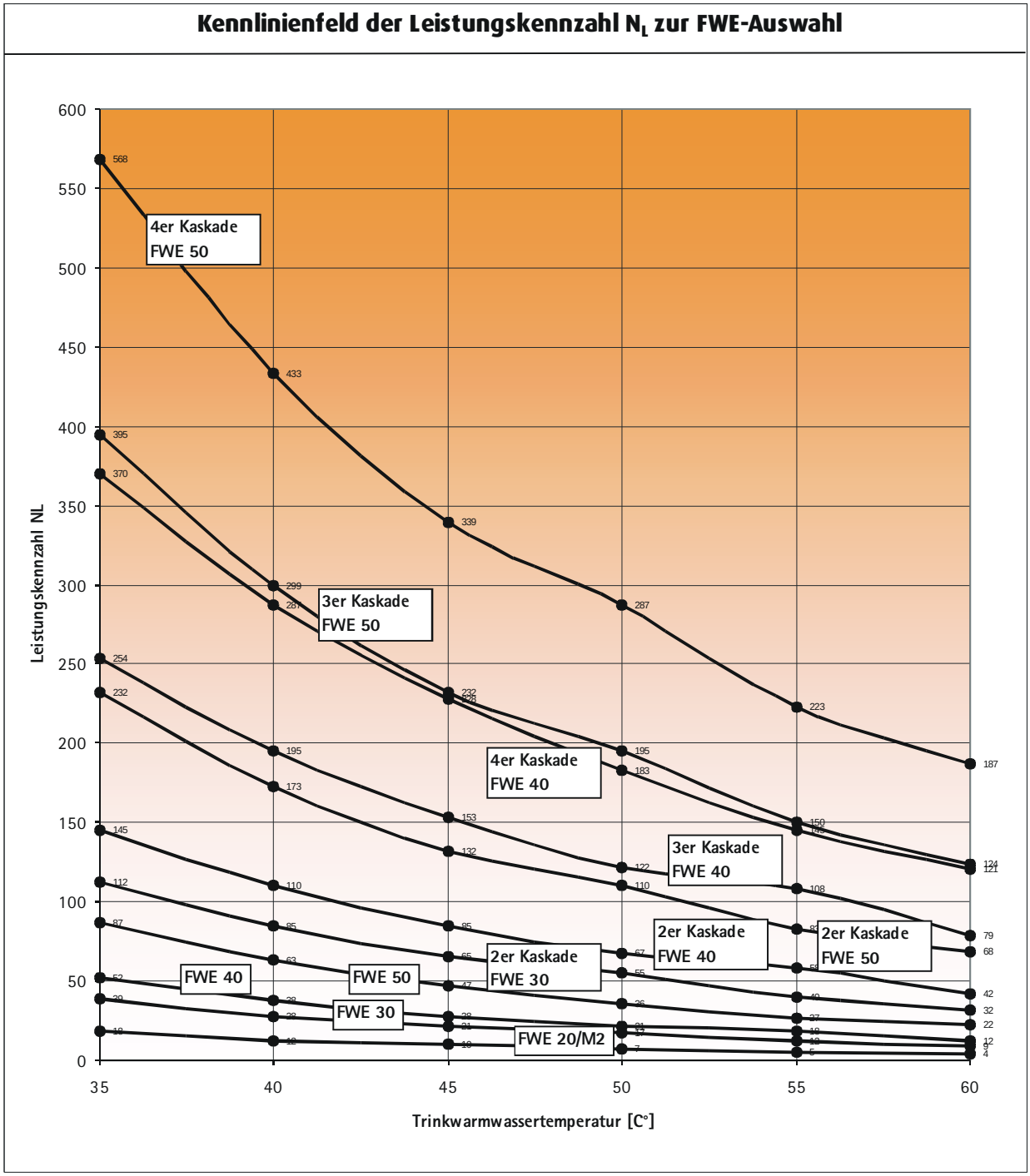
A.3 Leistungskennzahlen der Leitwerkschichtspeicher



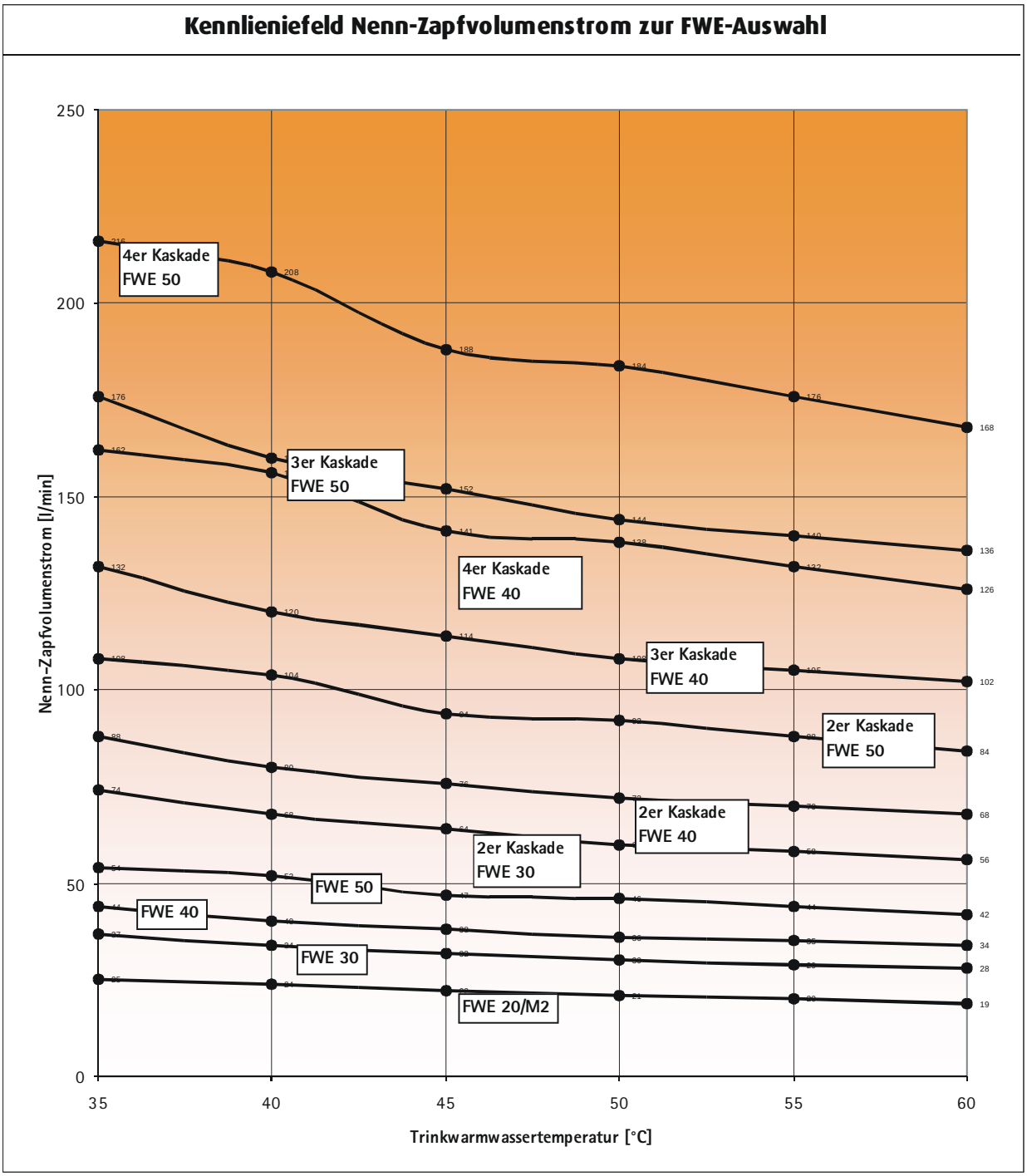
A.4 Geräteauswahl über die NL-Zahl



A.5 Kennlinienfeld der Leistungskennzahl NL zur FWE-Auswahl



A.6 Kennliniefeld Nenn-Zapfvolumenstrom zur FWE-Auswahl



A.7 Geräteckdaten

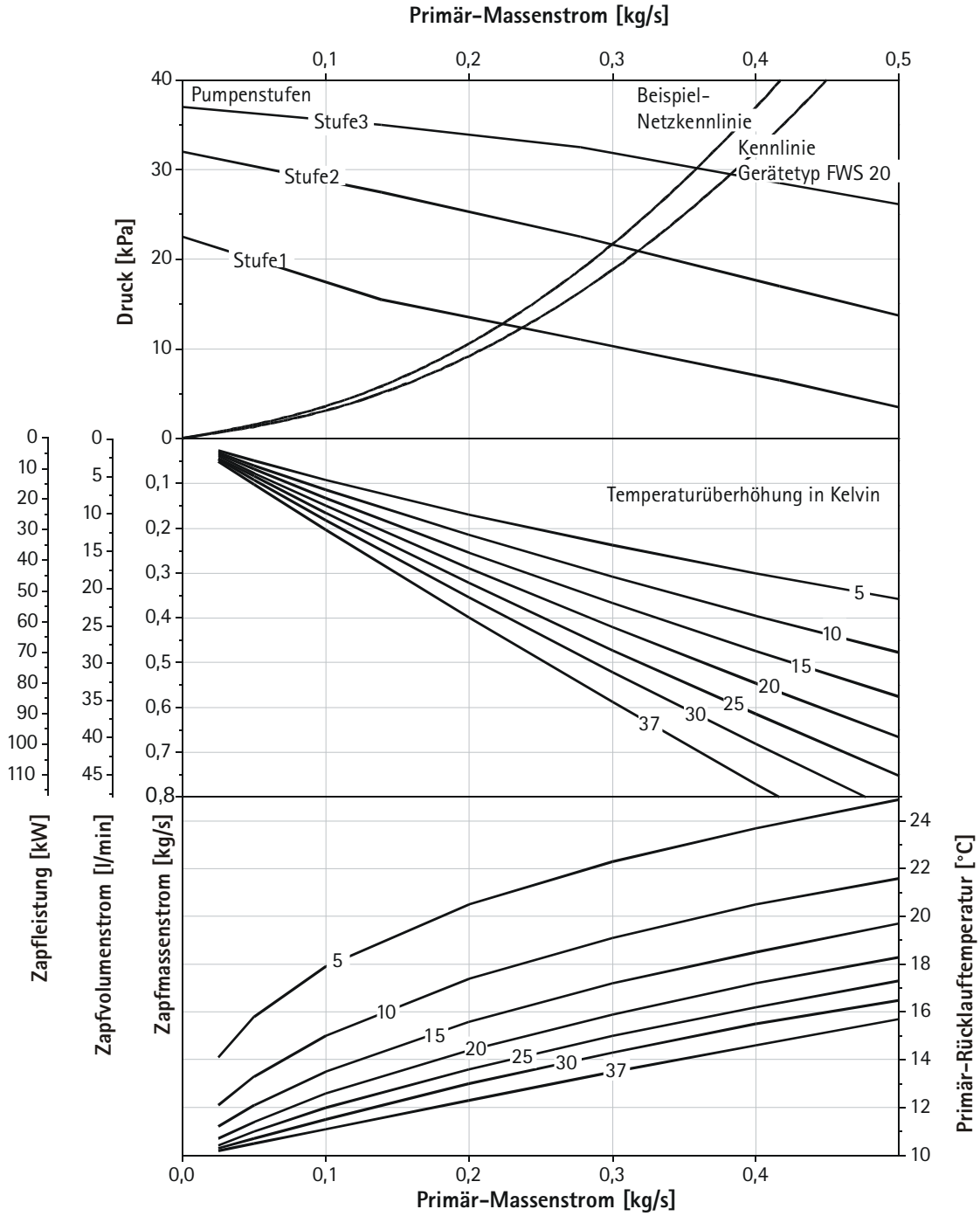
Gerätetyp	Trinkwarmwasser-temperatur [°C]	Nenn-Zapfvolumenstrom bei 10 K Temperaturüberhöhung [l/min]	Mindest-Zapfvolumenstrom bei 10 K Temperaturüberhöhung [l/min]	Maximal-Zapfvolumenstrom bei 82 °C Speichertemperatur [l/min]	Leistungskennzahl NL (bei Max.-ZVS) bei 82 °C Speichertemperatur [-]	kv-Wert Sekundär (Trinkwasserseite) [m3/h]
FWS M2	35	25	2,5	58	18	
	40	24	2,4	47	12	
	45	22	2,2	42	10	
	50	21	2,1	36	7	
	55	20	2,0	31	5	
	60	19	1,9	27	4	2,44
FWS 20	35	25	2,5	58	18	
	40	24	2,4	47	12	
	45	22	2,2	42	10	
	50	21	2,1	36	7	
	55	20	2,0	31	5	
	60	19	1,9	27	4	2,44
FWS 30	35	37	3,7	89	39	
	40	34	3,4	74	28	
	45	32	3,2	62	21	
	50	30	3,0	56	17	
	55	29	2,9	46	12	
	60	28	2,8	40	9	3,21
FWS 40	35	44	4,4	107	52	
	40	40	4,0	88	38	
	45	38	3,8	74	28	
	50	36	3,6	63	21	
	55	35	3,5	58	18	
	60	34	3,4	47	12	3,21
FWS 50 (nurbei hoher gleichzeitiger Nutzung einsetzbar)	35	54	5,4	150	87	
	40	52	5,2	121	63	
	45	47	4,7	100	47	
	50	46	4,6	88	36	
	55	44	4,4	73	27	
	60	42	4,2	64	22	4,06
2 er Kaskade FWS 30	35	74	3,7	178	112	
	40	68	3,4	148	85	
	45	64	3,2	124	65	
	50	60	3,0	112	55	
	55	58	2,9	92	40	
	60	56	2,8	80	32	3,21
2 er Kaskade FWS 40	35	88	4,4	214	145	
	40	80	4,0	176	110	
	45	76	3,8	148	85	
	50	72	3,6	126	67	
	55	70	3,5	116	58	
	60	68	3,4	94	42	3,21
2 er Kaskade FWS 50 (nurbei hoher gleichzeitiger Nutzung einsetzbar)	35	108	5,4	300	232	
	40	104	5,2	242	173	
	45	94	4,7	200	132	
	50	92	4,6	176	110	
	55	88	4,4	146	83	
	60	84	4,2	128	68	4,06
3 er Kaskade FWS 40	35	132	4,4	321	254	
	40	120	4,0	264	195	
	45	114	3,8	222	153	
	50	108	3,6	189	122	
	55	105	3,5	174	108	
	60	102	3,4	141	79	3,21
4 er Kaskade FWS 40	35	176	4,4	428	370	
	40	160	4,0	352	287	
	45	152	3,8	296	228	
	50	144	3,6	252	183	
	55	140	3,5	232	163	
	60	136	3,4	188	121	3,21
3 er Kaskade FWS 50 (nurbei hoher gleichzeitiger Nutzung einsetzbar)	35	162	5,4	450	395	
	40	156	5,2	363	299	
	45	141	4,7	300	232	
	50	138	4,6	264	195	
	55	132	4,4	219	150	
	60	126	4,2	192	124	4,06
4 er Kaskade FWS 50 (nurbei hoher gleichzeitiger Nutzung einsetzbar)	35	216	5,4	600	568	
	40	208	5,2	484	433	
	45	188	4,7	400	339	
	50	184	4,6	352	287	
	55	176	4,4	292	223	
	60	168	4,2	256	187	4,06

A.8 Leistungsdiagramme der Gerätetypen FWE 20, 30, 40 und 50 bei TWW 45°C

Leistungsdiagramm

Gerätetyp FWE 20	TWW = 45 °C	TKW = 10°C
Bauvorhaben:	Bearbeiter:	Datum:

varmeco
wärme.nutzen

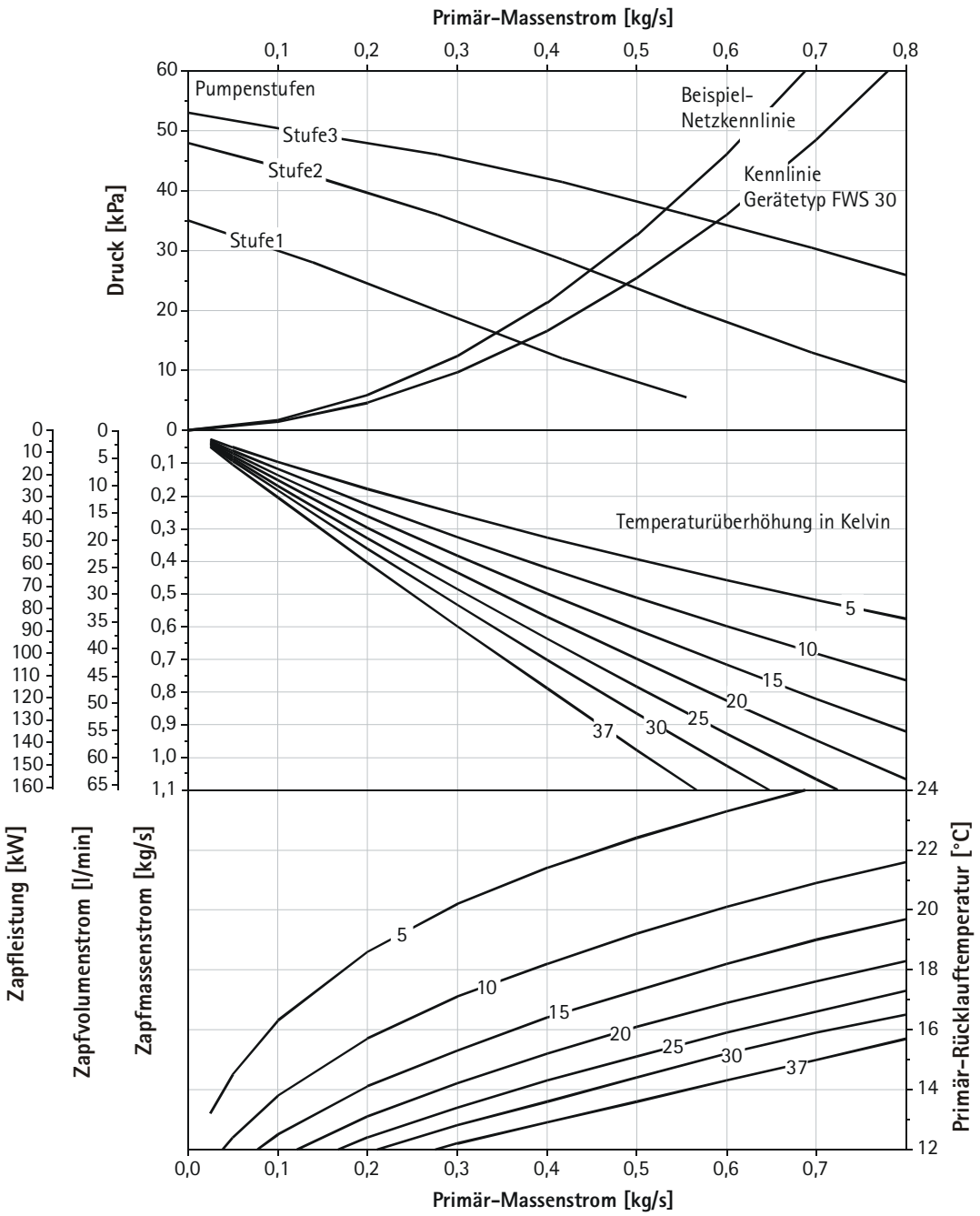


Nenn-Zapfvolumenstrom	22 l/min	**Leistungskennzahl N_L**	10 (bei Max.-ZVS)
Mindest-Zapfvolumenstrom	2,2 l/min	**Trinkwarmwassertemperatur**	45 °C
Maximal-Zapfvolumenstrom	42 l/min	**Trinkkaltwassertemperatur**	10 °C
Zapfleistung (bei Nenn-ZVS)	53 kW	**k_v-Wert** (TW-Seite/Sekundär)	2,44 m^3/h

varmeco GmbH & Co.KG - Planungsbüro Arnsberg // Wannestr. 1 // 59823 Arnsberg // **Mail** planung@varmeco.de

Leistungsdiagramm

Gerätetyp FWE 30	TWW = 45 °C	TKW = 10°C
Bauvorhaben:	Bearbeiter:	Datum:



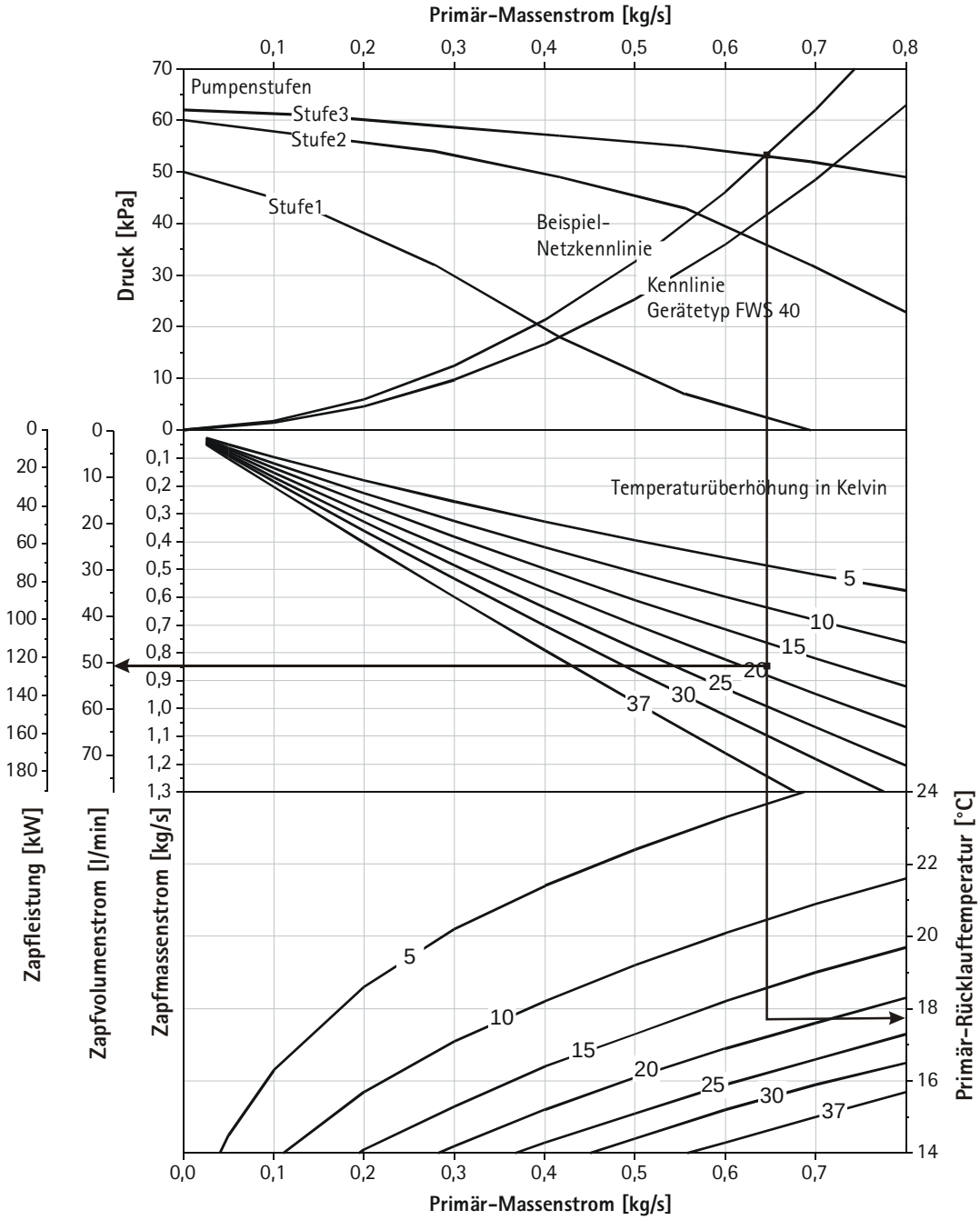
Nenn-Zapfvolumenstrom	32 l/min	**Leistungskennzahl N_L**	21 (bei Max.-ZVS)
Mindest-Zapfvolumenstrom	3,2 l/min	**Trinkwarmwassertemperatur**	45 °C
Maximal-Zapfvolumenstrom	62 l/min	**Trinkkaltwassertemperatur**	10 °C
Zapfleistung (bei Nenn-ZVS)	79 kW	**k_v-Wert** (TW-Seite/Sekundär)	3,21 m^3/h

varmeco GmbH & Co.KG - Planungsbüro Arnsberg // Wannestr. 1 // 59823 Arnsberg // **Mail** planung@varmeco.de

Leistungsdiagramm

Gerätetyp FWE 40 | TWW = 45 °C | TKW = 10°C

Bauvorhaben: | Bearbeiter: | Datum:



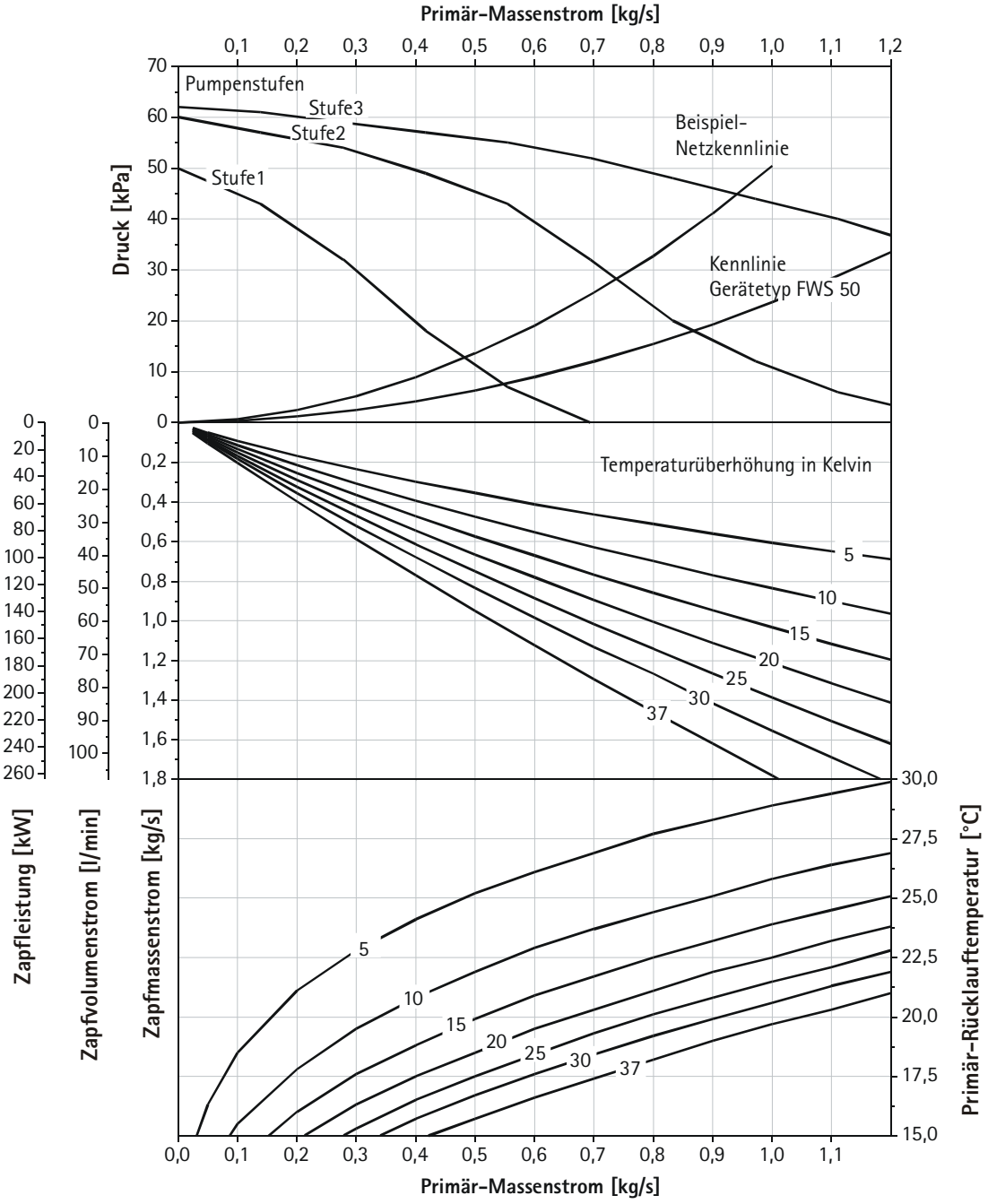
Nenn-Zapfvolumenstrom	38 l/min	**Leistungskennzahl N_L**	28 (bei Max.-ZVS)
Mindest-Zapfvolumenstrom	3,8 l/min	**Trinkwarmwassertemperatur**	45 °C
Maximal-Zapfvolumenstrom	74 l/min	**Trinkkaltwassertemperatur**	10 °C
Zapfleistung (bei Nenn-ZVS)	94 kW	**k_v-Wert** (TW-Seite/Sekundär)	3,21 m^3/h

varmeco GmbH & Co.KG - Planungsbüro Arnsberg // Wannestr. 1 // 59823 Arnsberg // **Mail** planung@varmeco.de

Leistungsdiagramm

Gerätetyp FWE 50 | TWW = 45 °C | TKW = 10°C

Bauvorhaben: | Bearbeiter: | Datum:



Nenn-Zapfvolumenstrom	47 l/min	**Leistungskennzahl N_L**	47 (bei Max.-ZVS)
Mindest-Zapfvolumenstrom	4,7 l/min	**Trinkwarmwassertemperatur**	45 °C
Maximal-Zapfvolumenstrom	100 l/min	**Trinkkaltwassertemperatur**	10 °C
Zapfleistung (bei Nenn-ZVS)	118 kW	**k_v-Wert** (TW-Seite/Sekundär)	4,06 m^3/h

varmeco GmbH & Co.KG - Planungsbüro Arnsberg // Wannestr. 1 // 59823 Arnsberg // **Mail** planung@varmeco.de

varmeco
wärme.nutzen

varmeco
GmbH & Co. KG
Johann-Georg-Weinhart-Str. 1
87600 Kaufbeuren

Telefon 0 83 41.90 22-0
Telefax 0 83 41. 90 22-33

E-Mail info@varmeco.de
Internet www. varmeco.de

Überreicht durch: