

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden REN	Programme de recherche Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments	Bundesamt für Energie BFE
--	--	---------------------------

Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs von Warmwasseranlagen

Entwicklung einer Handrechenmethode
mit einfachem EXCEL-Tool

Ausgearbeitet durch
Amstein+Walthert AG
HTA Luzern
ARENA, Zürich

.....

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie
Dezember 2005

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Arbeitsgemeinschaft
AMSTEIN + WALTHERT AG
HTA Luzern
ARENA, Zürich
Andreasstr. 11
8050 Zürich

Autor:

Andres Weber, Amstein+Walthert AG

Co-Autoren:

Jürg Nipkow, ARENA
Adrian Tschui, HTA Luzern
Martino Poretti, Amstein+Walthert AG

Begleitgruppe:

H.Hediger
M.Lenzlinger
S.Wiederkehr
Mark Zimmermann, Programmleiter Rationelle Energienutzung in Gebäuden, Empa
Andreas Eckmanns, Bereichsleiter Gebäude BFE

2006

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA, 8600 Dübendorf (www.empa-ren.ch)

Webe/21458/R002_Bericht_141205_BFEVorlage

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	6
2. Zielsetzung	7
3. Vorgehen	7
4. Grundlagen	8
4.1. Pflichtenheft	8
4.1.1. Systemabgrenzung	8
4.1.2. In- und Output	9
4.2. Mengenbemessung und Zapfmodelle	11
4.2.1. Aufgabe der Zapfmodelle	11
4.2.2. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Wohnen	11
4.2.3. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Schulen	29
4.2.4. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Sportbauten	32
4.2.5. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Verwaltung	32
5. Energiebilanzierungs-Modell	37
5.1. Voraussetzungen und Einsatzgrenzen	37
5.2. Grafische Darstellungen und Definitionen	38
5.2.1. Prozess- und Energieflussschema	38
5.2.2. grafisches Input-Output-Schema	38
5.2.3. Energiebilanz	39
5.2.4. Definitionen von Rechengrößen und Systemkomponenten	39
5.3. Statisches Energie-Bilanzierungsmodell für Wohnbauten	46
5.3.1. Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen	46
5.3.2. Berechnung von Verlusten des Verteilers	50
5.3.3. Verlust-Berechnung der warmgehaltenen Verteilung	52
5.3.4. Berechnung von Speicherverlusten	55
5.3.5. Berechnung der Wärmeerzeugung	55



5.3.6.	Monatsbilanzierung.....	57
5.3.7.	Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System.....	58
5.4.	Statisches Modell für Schulen und Sportanlagen	59
5.4.1.	Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen	59
5.4.2.	Berechnung von Verlusten des Verteilers	61
5.4.3.	Berechnung von Verlusten der warmgehaltenen Verteilung.....	61
5.4.4.	Berechnung von Speicherverlusten.....	62
5.4.5.	Berechnung der Wärmeerzeugung.....	62
5.4.6.	Monatsbilanzierung.....	63
5.4.7.	Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System.....	63
5.5.	Statisches Modell für Verwaltung.....	63
5.5.1.	Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen	63
5.5.2.	Berechnung von Verlusten des Verteilers	66
5.5.3.	Berechnung von Verlusten der warmgehaltenen Verteilung.....	66
5.5.4.	Berechnung von Speicherverlusten $Q_{V.Sp}$	67
5.5.5.	Berechnung der Wärmeerzeugung.....	67
5.5.6.	Monatsbilanzierung.....	67
5.5.7.	Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System.....	67
5.6.	Darstellung der Resultate.....	68
5.7.	Schnittstellen zu anderen Programmen.....	70
5.7.1.	sia 380/1	70
5.7.2.	Minergie	70
6.	TrnSys-Modell	71
6.1.	Allgemeines.....	71
6.2.	Symulationsmodelle	71
6.2.1.	Warmgehaltene Verteilung mit Zirkulationspumpe.....	71
6.2.2.	Warmgehaltene Verteilung mit Warmhalteband	72
6.2.3.	Anschlussleitung.....	73
6.2.4.	Beschreibung der Zapfung	75



7.	Parameterstudie	77
7.1.	Anschlussleitung	77
7.2.	Simulationsresultate Warmgehaltene Verteilung	78
7.2.1.	konventionelle Zirkulationsleitung	78
7.2.2.	Zirkulationsleitung mit separater Nachheizung	78
7.2.3.	Begleitheizung (Warmhalteband)	78
7.2.4.	Vergleich der verschiedenen Systeme	78
7.3.	Simulationsresultate Speicher	78
7.4.	Simulationsresultate Wärmezeugung	79
7.4.1.	Ertragsermittlung thermischer Sonnenkollektor	79
7.5.	Simulationsresultate Kopplungseffekte	80
8.	Überprüfung des Modells	81
9.	Weiteres Vorgehen	82
10.	Literaturverzeichnis	83



Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht vermittelt eine Rechenmethode für den Jahresenergiebedarf von Warmwasseranlagen. Der Anstoss zu dieser Entwicklung ist im Umstand begründet, dass der Warmwasserverbrauch in Gebäuden im Verhältnis zum Heizungsverbrauch laufend zunimmt, als Folge von eher zunehmenden Komfortansprüchen beim Warmwasser und immer besserem Wärmedämmstandard bei der Gebäudehülle.

In Begleitung zum Bericht sind 3 EXCEL-Tools entwickelt worden, in welchen für die Nutzungen "WOHNEN", "SCHULE" und "VERWALTUNG" eine Umsetzung der Berechnungsmethode für den praktischen Einsatz abgebildet ist.

Als Anwender für diesen praktischen Einsatz werden die Sanitärplaner und Energiefachleute angesprochen.

Es sollen sowohl neue wie bestehende Warmwasseranlagen berechnet und optimiert werden können. Es ist auch der Einsatz dieser Rechenmethode im Vollzug denkbar, besonders dort, wo der Energieverbrauch in Gebäuden einen wichtigen Stellenwert hat wie bei MINERGIE-Bauten.

Die Energiebilanzen werden mit einem statischen Verfahren berechnet. Analog zu einem allgemeinen Energieflussschema von Warmwasseranlagen werden von der Zapfstelle rückwärts bis zum Wärmeerzeuger alle Verluste berechnet, aufgeteilt in die Verluste der Anschlussleitung, des Verteilers, der warmgehaltenen Verteilung (Zirkulation oder Warmhalteband), des Speichers und der Wärmeerzeugung. Beim Leitungssystem sind die zentralen Grössen Verlustkoeffizienten, welche pro Meter Leitungslänge angegeben werden. Diese Koeffizienten wurden für die verschiedenen Leitungs- und Zapfprofiltypen mit dynamischen Simulationen ermittelt.

Voraussetzung für die Berechnung der einzelnen Verluste ist die Definition von Wochen-Zapfprofilen, welche für alle geforderten Nutzungen erarbeitet wurden. Die Nutzenergie basiert auf diesen Zapfprofilen.

Sowohl die Monats- wie die Jahresbilanzrechnung sind Vervielfachungen von Zapfprofilen und der Verlustwerte, welche immer für eine Woche ermittelt wurden.

Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die wichtigsten Systemparameter, welche bei der Berechnung berücksichtigt werden können:

- Vier verschiedene Leitungstypen von Anschlussleitungen
- Einsatz von Spararmaturen
- Einsatz von Geschirrspühlern oder Anschluss von Waschmaschinen am Warmwasser
- Verlustberechnung für Warmwasser-Verteiler bei Wohnnutzung
- Drei Systemtypen für die warmgehaltene Verteilung: Zirkulation mit separater Leitung oder mit RaR, Warmhalteband
- Berechnung der Speicherverluste unter Berücksichtigung von Speichergrosse und Ladeschaltung des Wärmeerzeugers
- Bilanzierung von heizungswirksamen Wärmeverlusten

Nach der ausführlichen Darstellung der verwendeten Zapfprofile und der Rechenmethode werden die Simulationsmodelle und Parameterstudien von TRNSYS und eine Validierung der Resultate dargestellt.

1. Ausgangslage

Der Stellenwert des Energieverbrauchs für Warmwasser in Gebäuden wächst stetig, weil der Energieverbrauch für Raumheizung infolge sich verschärfender Anforderungen dauernd sinkt.

Der Sanitärplaner dimensioniert seine Anlagen nach Massgabe des Verbrauchs an den Zapfstellen. In erster Linie interessieren Verbrauchs-Spitzenwerte. Für die Dimensionierung der Speichergrosse und der Erzeugerleistung sind die Übertragungsverluste auch von Interesse; dafür hat der Sanitärplaner etablierte Bemessungswerkzeuge.

Die Qualität einer WW-Anlage orientiert sich einseitig an der Befriedigung der Bedürfnisse an der Zapfstelle. Der Verbrauch an Endenergie bzw. dem Energieinput des Wärmeerzeugers ist für den Sanitärfachmann praktisch nicht von Bedeutung.

Die Beurteilung dieser Situation ergibt im Bereich des Warmwassers ein erhebliches Energiesparpotential. Deshalb hat das BfE im Rahmen des Forschungsprogramms Rationelle Energienutzung in Gebäuden eine Arbeit zur Entwicklung eines Rechenverfahrens für den Jahresenergiebedarf von WW-Anlagen ausgeschrieben und in Auftrag gegeben.

Die Entwicklung eines benutzerfreundlichen Rechentools für alle üblichen Systeme und Nutzungen der Warmwasseraufbereitung und Verteilung bringt dem Planungsgewerbe doppelten Nutzen: Anlagen können sowohl energetisch wie aus der Sicht der sanitären Anforderungen optimiert werden.

Bis zur definitiven Festsetzung eines praxistauglichen Tools sind drei Projektschritte vorgesehen.:

1. Entwicklung der Methode, Vorgabe von Parametern
2. Programmierung eines Anwender-Tools, Beginn von Schulungen
3. Bestimmung von Grenz- und Zielwerten

2. Zielsetzung

Analog zur Norm SIA 380/1 ist eine Rechenmethode zur Bestimmung des Energiebedarfs für das Warmwasser zu entwickeln. Sie soll die energetische Optimierung von Warmwasseranlagen ermöglichen. Die Rechenmethode soll praxisbezogen sein und einen ähnlichen Genauigkeitsanspruch erfüllen wie die Norm 380/1. Sie soll mit dieser kompatibel sein und die ergänzende Berechnung des Energieverbrauchs für die Wassererwärmung und –verteilung ermöglichen.

Anders als bei der Norm SIA 380/1 steht beim Warmwasser nicht die Bedarfsbestimmung (Q_{WW}) sondern die Energie für die Bereitstellung des Warmwassers (E_{WW}) im Vordergrund. Für den Warmwasserverbrauch sollen Standard-Nutzerprofile verwendet werden.

Mit der Methode muss also nicht der effektive (benutzerabhängige) Verbrauch bestimmt werden können. Die Berechnung soll vielmehr zu einer korrekten Optimierung des Warmwassersystems für "Normalverbraucher" führen. Als Zielpublikum für die Anwendung der Methode werden in erster Linie Sanitär- und Heizungsplaner anvisiert.

3. Vorgehen

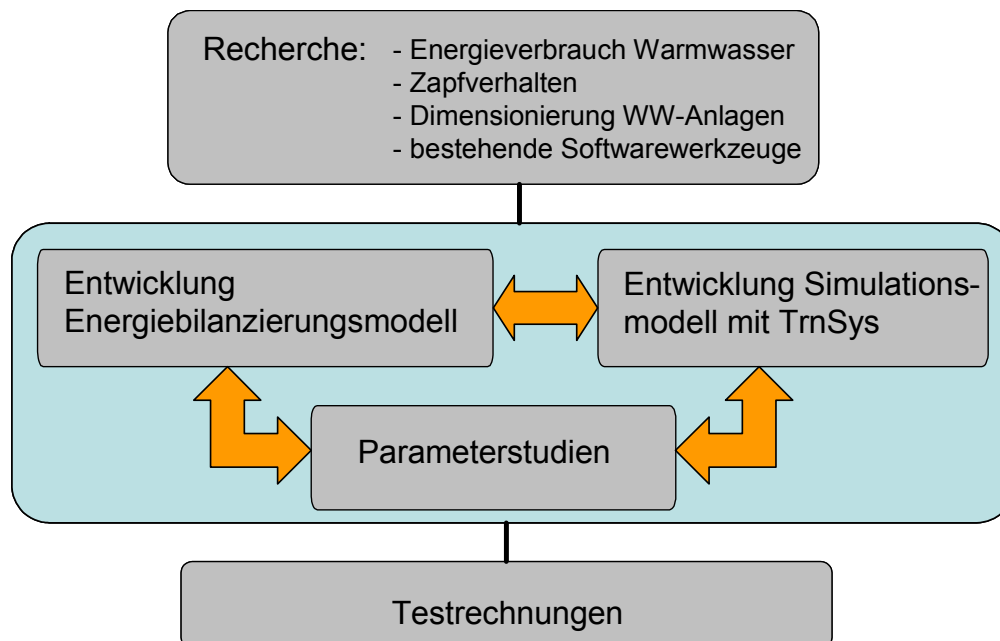


Abbildung 3.1 Vorgehensschema

4. Grundlagen

4.1. Pflichtenheft

Die Vorgaben für die vorliegende Arbeit sind im Pflichtenheft [1] definiert. Die für die Entwicklung der Rechenmethode nötigen Anforderungen werden in den folgenden Kapiteln wiedergegeben.

4.1.1. Systemabgrenzung

Die Rechenmethode soll einfache Warmwasseranlagen für Wohn- und Dienstleistungsgebäude resp. -Überbauungen umfassen. Komplexe Anlagen wie Hallenbäder, Spitäler, Mischwassersysteme mit verschiedenen Temperaturbereichen sind nicht abzudecken. Folgende SIA-380/1-Standardnutzungen sind zu berücksichtigen:

- I: Wohnen MFH
- II: Wohnen EFH
- III: Verwaltung
- IV: Schulen
- XI: Sportbauten

Folgende Systeme sind abzudecken:

Erwärmung:

- Wassererwärmung über Ladekreislauf mit konventionellen Wärmeerzeugern wie Gas- und Ölheizungen (ein- oder zwei-stufig, mit Rücklaufhochhaltung, gleitend oder kondensierend), Holzheizungen (Schnitzel- oder Stückholzfeuerungen, Pelletöfen, Holzöfen mit Heizregister)
- Wassererwärmung mit Öl- oder Gas-Kombikessel
- Wassererwärmung mit Wärmepumpen (Luft-/Wasser-WP, Wasser-/Wasser-WP, Abluft- und Abwärme-WP)
- Solare Wassererwärmung mit typischen Kollektorsystemen
- Direkte zentrale und dezentrale elektrische Wassererwärmung
- Kombination von zwei der genannten Wärmeerzeugern

Vorderhand nicht zu berücksichtigen sind: WKK und Kombination von mehr als zwei Wärmeerzeugern, Durchflusswassererwärmer, Abwärmenutzung aus Abwässern.

Speicherung und Speichersystem:

- Typische Speichergrössen und –formen für Zentral- und Einzelspeicher,
- Ladekreislauf und Heizregister
- Typische Verlustfaktoren (Wärmedämmung und Wärmebrücken, heizwirksam, nicht heizwirksam)
- Versorgung ab Zentralspeicher, dezentrale Speicher, dezentrale Speicher mit Vorwärmung, in Serie geschaltete Speicher

Nicht zu berücksichtigen sind Latentwärme-Speichersysteme

Verteilung:

- Einzelversorgung, Gruppenversorgung und Einzelleitungssystem ab Verteiler
- Zirkulationssysteme (zentral oder mit Einzel-, Gruppen- oder Einzelleitungssystem kombiniert), Zirkulation konventionell oder Rohr an Rohr-System
- Temperaturhochhaltung mit Begleitheizung

Typische Dämmstandards für Verteilsysteme und die Heizwirksamkeit der Wärmeverluste müssen berücksichtigt werden können.

Verbraucher:

- Standardnutzungsprofile (aufgeteilt auf typische Zapfstellen) für Haushalte, Dienstleistungsgebäude inkl. WC-Anlagen, Schulhausbauten und Turnhallen

Übriges:

- Wie bei SIA 380/1 müssen monatliche Energiebilanzen berechnet werden können. Dabei sind die jeweiligen Kennwerte den Monaten anzupassen.
- Für die Bestimmung der Kaltwassertemperaturen und solaren Kollektorströme sind SIA 380/1 Klimadaten zu verwenden.
- Die heizwirksamen Warmwasserverluste sollen bei der Wärmebedarfsrechnung gemäss SIA 380/1 berücksichtigt werden können.

4.1.2. In- und Output

Da die Berechnung von Warmwassersystemen gesetzlich nicht wie die Wärmebedarfsrechnung nach SIA 380/1 reglementiert ist, muss ein Planungsinstrument genügend einfach und benutzerfreundlich gestaltet sein, damit es die notwendige Verbreitung findet. Ob dazu eine dynamische Systemsimulation benötigt wird oder ob auch eine statische Berechnung genügt, muss aufgrund einer Beschreibung möglicher Rechenverfahren entschieden werden. Für den Anwender soll dies jedoch keine wesentlichen Auswirkungen haben.

**Input:**

Die Systembeschreibung hat modular zu erfolgen. Das heisst, dass der Anwender seine Komponenten aus einer Bibliothek auswählen kann. Zu jeder Komponente gibt es einen Satz Default-Values, die in einer Maske eingesehen und bei Bedarf verändert werden können. Dazu gehören Dimensionierung, Betriebskennwerte (Zeiten, Mengen, Temperaturen) und Abhängigkeiten (Regelstrategien).

Die Warmwassermengen müssen sowohl als Standardnutzungsprofile von Haushalten und anderen Nutzungseinheiten (z.Bsp. Liter/Nutzer) wie auch pro Zapfstelle (z.Bsp. Liter und Zapfprofil pro Zapfstelle) inkl. zeitliche Verteilung definierbar sein und in Übereinstimmung gebracht werden können.

Nebst den Anlagen gemäss Systemdefinition sind folgende Komponenten zu berücksichtigen:

- Verteiler
- Pumpen
- Wärmetauscher
- Zapfstellen

Output:

Die Berechnung soll folgende Aussagen ermöglichen:

- Übersicht Systembeschreibung zu Kontrollzwecken
- monatlicher und jährlicher Energieverbrauch auf Endenergie- und Primärenergiestufe (Umrechnung mit Faktoren gemäss Passivhaus); Aufteilung in heizwirksame und nicht heizwirksame Wärmeverluste
- Systemwirkungsgrad und mittlere Zapftemperaturen gesamthaft, soweit möglich und sinnvoll auch für die einzelnen Zapfstellen
- Evtl. Risikobeurteilung für Legionellen

4.2. Mengenbemessung und Zapfmodelle

4.2.1. Aufgabe der Zapfmodelle

Die zu verwendenden Zapfmodelle repräsentieren für die geforderten Nutzungen Wohnen, Verwaltung, Schule und Sport typische Zapffolgen mit entsprechenden Mengen an entsprechenden Zapfstellen.

Das in Kapitel 5 vorgestellte Rechenmodell basiert auf der Superposition von Energieverlusten einzelner Systemkomponenten wie Leitungsabschnitte, Speicher etc. Für die Verluste der Warmwasser-Verteilung sind die Zapfprofile von entscheidender Bedeutung. Die Auswahl sollte also repräsentativ sein für die abzudeckenden Fälle. In allen Fällen wird von einem Wochenprofil ausgegangen. Die entsprechenden Resultate dienen als Grundlage für die Hochrechnung auf Monats- bzw. Jahresbilanzen.

4.2.2. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Wohnen

In dieser Nutzung wird als Einheit die Einzelwohnung betrachtet. Bezüglich Verbrauchsmengen werden folgende Unterscheidungen vorgenommen:

- Wochenprofil, Aufteilung auf Arbeitstage und Wochenende
- Kleinwohnung mit typischem Ein- oder Zweipersonenhaushalt
- Durchschnittswohnung, Drei bis Vier-Personenhaushalt
- Grosse Wohnung, Mehrpersonenhaushalt mit gehobenem Verbrauch
- Für Verteilleitungen grösserer Dimensionen und für Simulationen an grösseren Systemen werden Zapfprofile für mehrere Wohnungen generiert.

Für die Unterscheidung von zapfprofilabhängigen Energieverlusten werden insgesamt sieben Zapfungs-Typen entwickelt:

- Bad/Dusche mit wenigen mengenintensiven Zapfungen. Der Nutzenergieanteil liegt im Bereich von 40% bis 70%
- Küche mit relativ vielen mengenarmen Zapfungen und einem Nutzenergieanteil im Bereich zwischen einem Drittel und einem Viertel
- Lavabo mit weniger mengenarmen Zapfungen und einem Nutzenergieanteil von weniger als einem Viertel.

In modernen Wohnungen werden Dusche und Bad mit separaten Zapfleitungen installiert. Ebenso werden mehr als ein Lavabo mit Warmwasser versorgt. Sogar in Küchen grosser Wohnungen finden sich manchmal zwei WW-Zapfstellen. Diese Umstände führen zu weiteren Zapfprofilen, mit denen die Verlustberechnungen verfeinert werden können:

- Bad separat
- Dusche separat
- Zapfprofil Lavabo halbiert
- Zapfprofil Küche halbiert

Die Zapfprofile wurden mit einem Programm von Ulrike Jordan [2, 3, 4] generiert und nach Erkenntnissen der Arbeiten von Nipkow [6, 12] manipuliert. Sie werden in EXCEL-Tabellen in Minutenschritten dargestellt

und dienen als Input-Daten für die TRNSYS-Simulationen und für die grafische Auswertung gemäss nachstehenden Abbildungen.

Die Zapftypen und der Nutzenergieanteil pro Zapftyp wurden anhand der Studien von Nipkow überprüft, auch die absolute Anzahl Zapfungen liegen im Bereich dieser Untersuchungen. Im Vergleich dazu sind bei den EU-Referenz-Zapfzyklenzahlen [5] die Nutzenergieanteile von Bad/Dusche noch höher.

Die Zapfprofile werden auf den folgenden Seiten mit Tagesmengen und Anzahl Zapfungen sowie in grafischen Darstellungen abgebildet.

Durchschnittswohnung

Die Wochenbilanz für die gesamte Durchschnittswohnung ist in der Abbildung 4.1 dargestellt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Menge pro Tag [l/d]	150	150	150	150	150	210	190	1150	164
Anzahl Zapfungen [-]	25	25	25	25	25	32	31	188	27

Abbildung 4.1 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen der Durchschnittswohnung

Abbildung 4.2 zeigt, wie die Zapfungen mengenmässig auf die Teil-Zapfstellen verteilt sind.

		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Bad/Dusche	Menge pro Tag [l/d]	69	69	69	69	69	115	95	555	79
	Anzahl Zapfungen [-]	2	2	2	2	2	3	2	15	2
Bad	Menge pro Tag [l/d]	0	0	0	0	0	45	55	100	14
	Anzahl Zapfungen [-]	0	0	0	0	0	1	1	2	0.3
Dusche	Menge pro Tag [l/d]	69	69	69	69	69	70	40	455	65
	Anzahl Zapfungen [-]	2	2	2	2	2	2	1	13	1.9
Küche	Menge pro Tag [l/d]	50	50	50	50	50	55	55	360	51
	Anzahl Zapfungen [-]	14	14	14	14	14	16	16	102	15
1/2 Küche	Menge pro Tag [l/d]	25	25	25	25	25	28	28	180	26
	Anzahl Zapfungen [-]	7	7	7	7	7	8	8	51	7
Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	31	31	31	31	31	40	40	235	34
	Anzahl Zapfungen [-]	9	9	9	9	9	13	13	71	10
1/2 Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	13	13	13	13	13	20	20	105	15
	Anzahl Zapfungen [-]	4	4	4	4	4	6	6	32	5

Abbildung 4.2 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen aller Teil-Zapfprofile der Durchschnittswohnung

Abbildung 4.3 zeigt das komplette Wochenprofil über der Zeitachse dargestellt. Dieses Profil wird dann auf den Abbildungen 4.4 bis 4.17 aufgeteilt auf alle Zapfstellentypen und auf Wochentage bzw. Wochenende abgebildet.

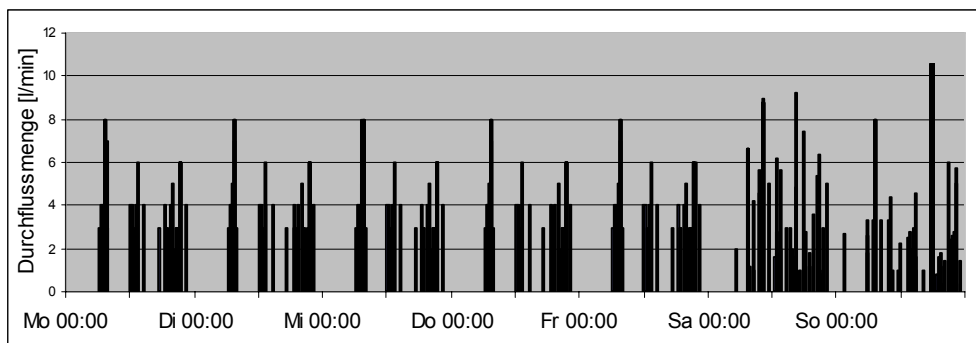


Abbildung 4.3 komplettes Zapfprofil der Durchschnittswohnung

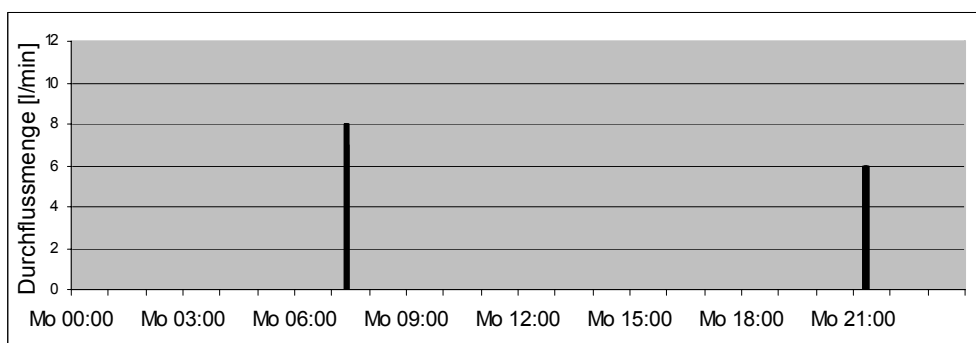


Abbildung 4.4 Wochentag-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Durchschnittswohnung

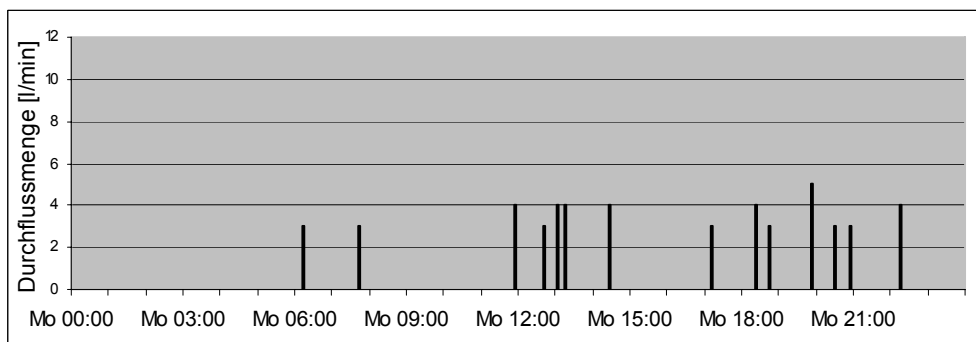


Abbildung 4.5 Wochentag-Zapfprofil "Küche" der Durchschnittswohnung

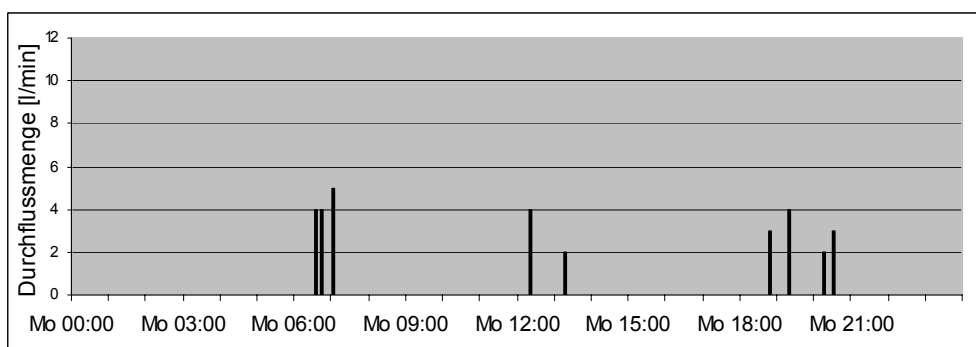


Abbildung 4.6 Wochentag-Zapfprofil "Lavabo" der Durchschnittswohnung

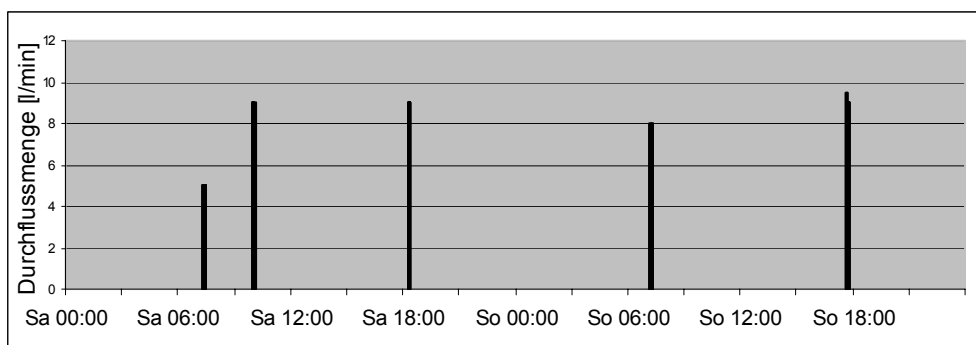


Abbildung 4.7 Wochenende-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Durchschnittswohnung

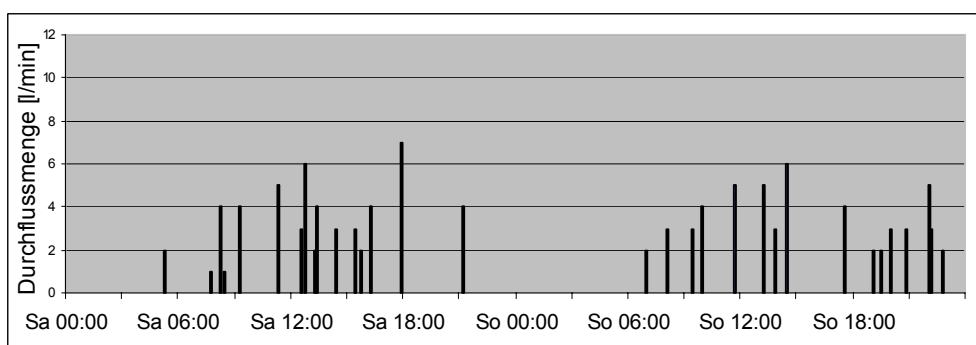


Abbildung 4.8 Wochenende-Zapfprofil "Küche" der Durchschnittswohnung

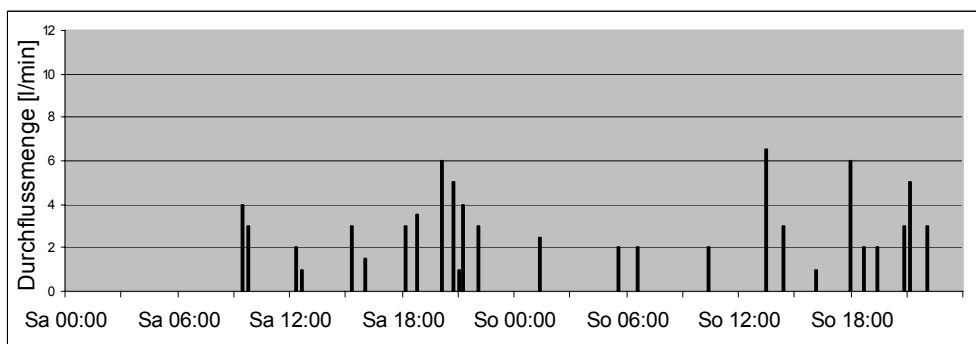


Abbildung 4.9 Wochenende-Zapfprofil "Lavabo" der Durchschnittswohnung

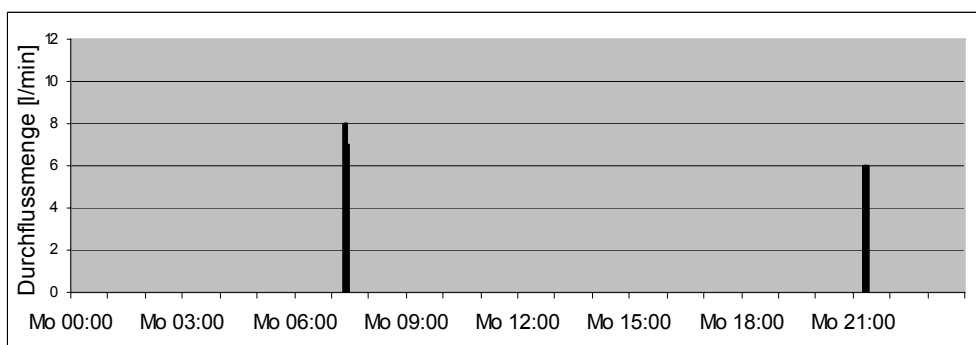


Abbildung 4.10 Wochentag-Zapfprofil "Dusche" der Durchschnittswohnung

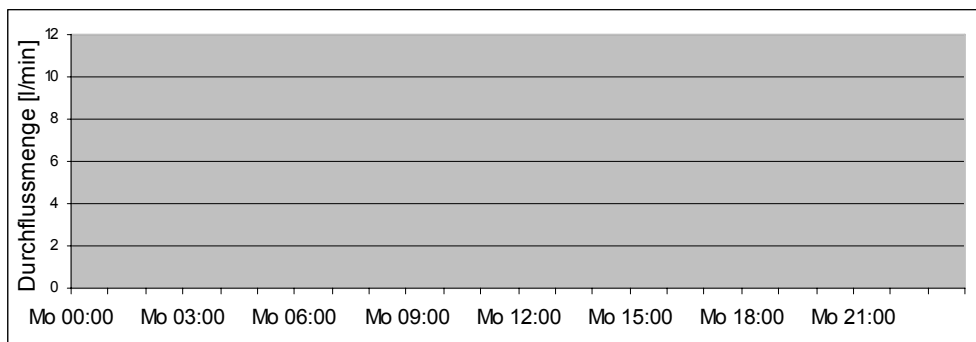


Abbildung 4.11 Wochentag-Zapfprofil "Bad" der Durchschnittswohnung

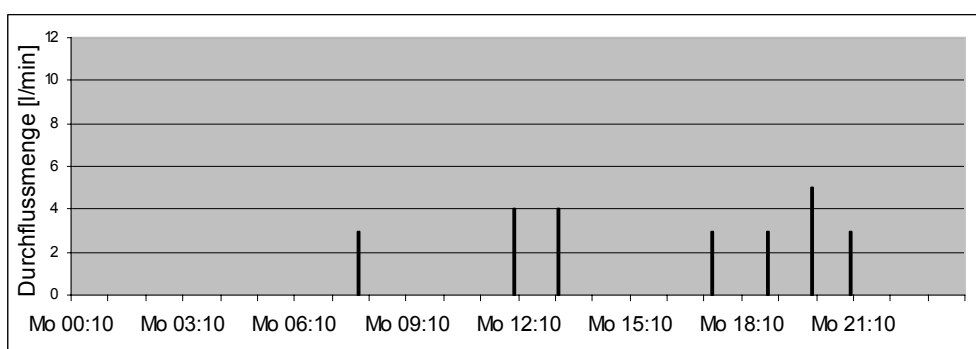


Abbildung 4.12 Wochentag-Zapfprofil "1/2Küche" der Durchschnittswohnung

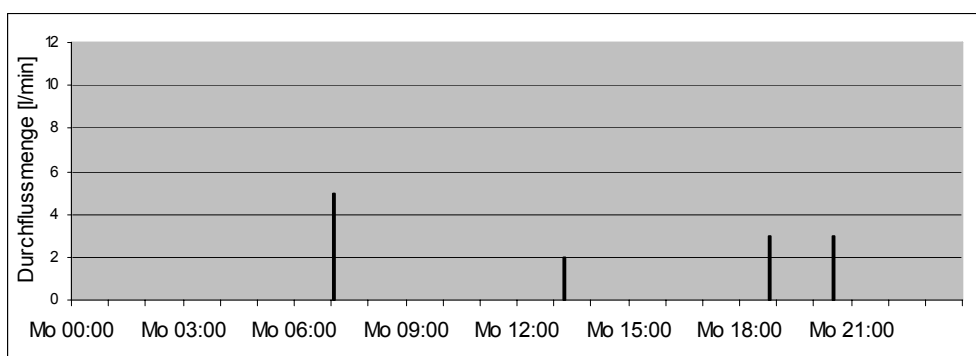


Abbildung 4.13 Wochentag-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Durchschnittswohnung

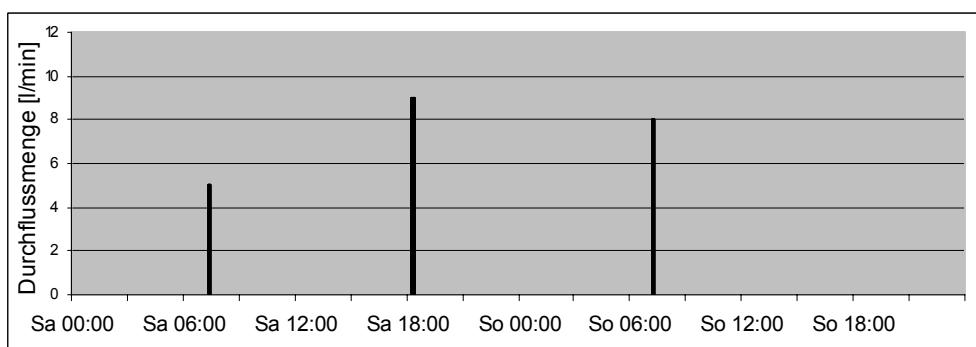


Abbildung 4.14 Wochenende-Zapfprofil "Dusche" der Durchschnittswohnung

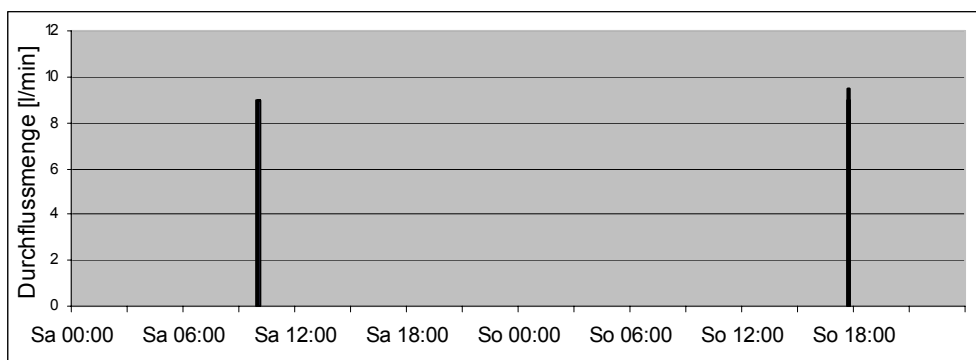


Abbildung 4.15 Wochenende-Zapfprofil "Bad" der Durchschnittswohnung

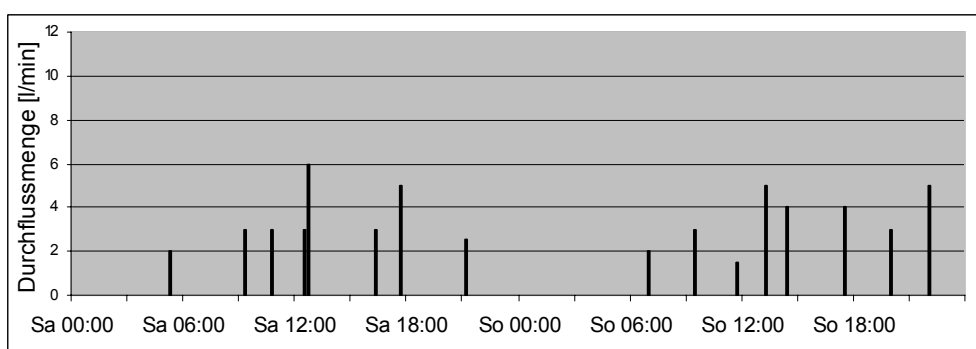


Abbildung 4.16 Wochenende-Zapfprofil "1/2Küche" der Durchschnittswohnung

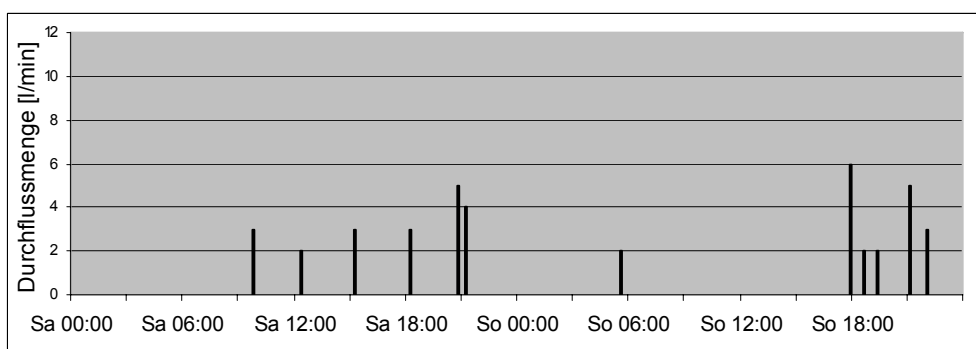


Abbildung 4.17 Wochenende-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Durchschnittswohnung

Kleinwohnung

Die Wochenbilanz für die gesamte Kleinwohnung ist in der Abbildung 4.18 dargestellt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Menge pro Tag [l/d]	50	50	50	50	50	100	100	450	64
Anzahl Zapfungen [-]	13	13	13	13	13	18	18	101	14

Abbildung 4.18 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen der Kleinwohnung

Abbildung 4.19 zeigt, wie die Zapfungen mengenmässig auf die Teil-Zapfstellen verteilt sind.

		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Bad/Dusche	Menge pro Tag [l/d]	24	24	24	24	24	65	50	235	34
	Anzahl Zapfungen [-]	1	1	1	1	1	2	2	9	1
Bad	Menge pro Tag [l/d]	0	0	0	0	0	45	0	45	6
	Anzahl Zapfungen [-]	0	0	0	0	0	1	0	1	0.1
Dusche	Menge pro Tag [l/d]	24	24	24	24	24	20	50	190	27
	Anzahl Zapfungen [-]	1	1	1	1	1	1	2	8	1.1
Küche	Menge pro Tag [l/d]	13	13	13	13	13	20	32	118	17
	Anzahl Zapfungen [-]	7	7	7	7	7	9	9	53	8
1/2 Küche	Menge pro Tag [l/d]	7	7	7	7	7	10	16	60	9
	Anzahl Zapfungen [-]	3	3	3	3	3	4	4	23	3
Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	13	13	13	13	13	15	18	97	14
	Anzahl Zapfungen [-]	5	5	5	5	5	7	7	39	6
1/2 Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	6	6	6	6	6	8	9	49	7
	Anzahl Zapfungen [-]	3	3	3	3	3	3	3	21	3

Abbildung 4.19 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen aller Teil-Zapfprofile der Kleinwohnung

Abbildung 4.20 zeigt das komplette Wochenprofil über der Zeitachse dargestellt. Dieses Profil wird dann auf den Abbildungen 4.21 bis 4.34 aufgeteilt auf alle Zapfstellentypen und auf Wochentage bzw. Wochenende abgebildet.

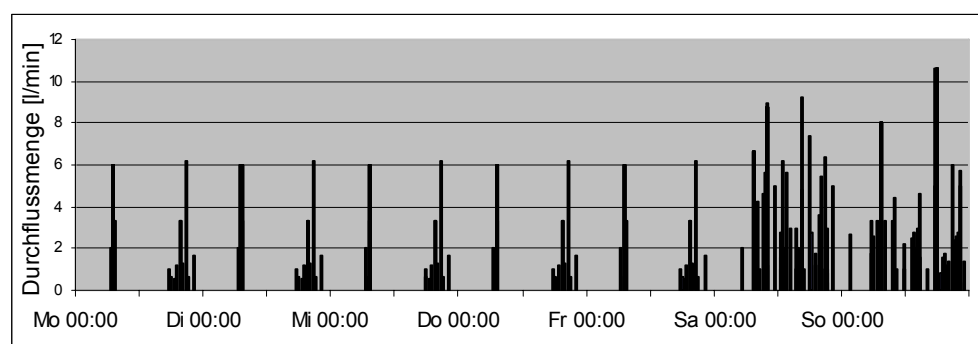


Abbildung 4.20 komplettes Zapfprofil der Kleinwohnung

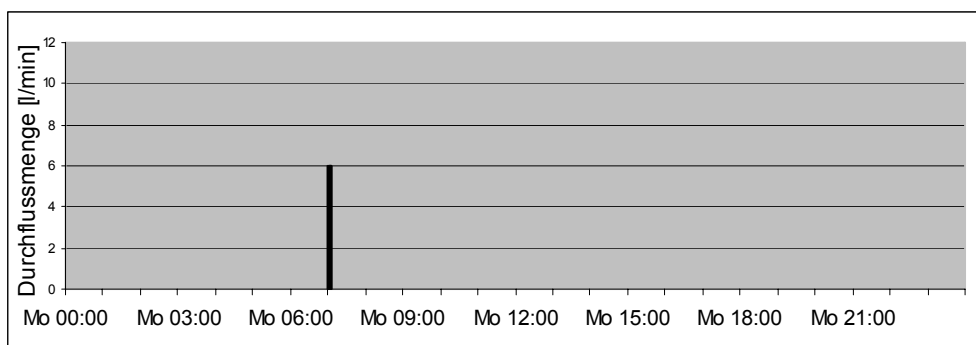


Abbildung 4.21 Wochentag-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Kleinwohnung

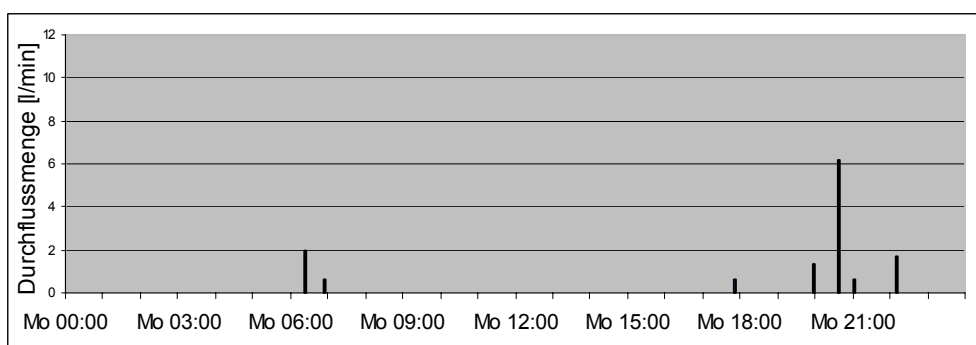


Abbildung 4.22 Wochentag-Zapfprofil "Küche" der Kleinwohnung

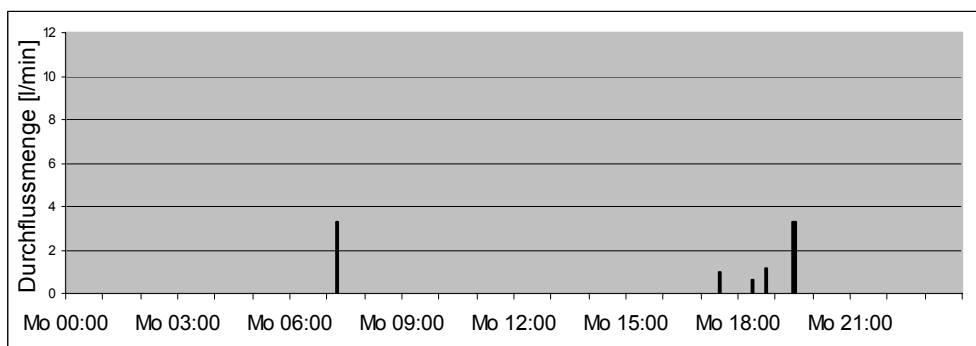


Abbildung 4.23 Wochentag-Zapfprofil "Lavabo" der Kleinwohnung

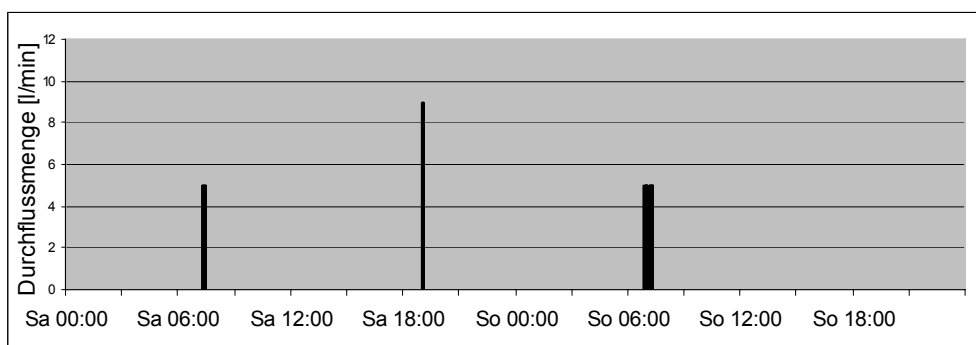


Abbildung 4.24 Wochenende-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Kleinwohnung

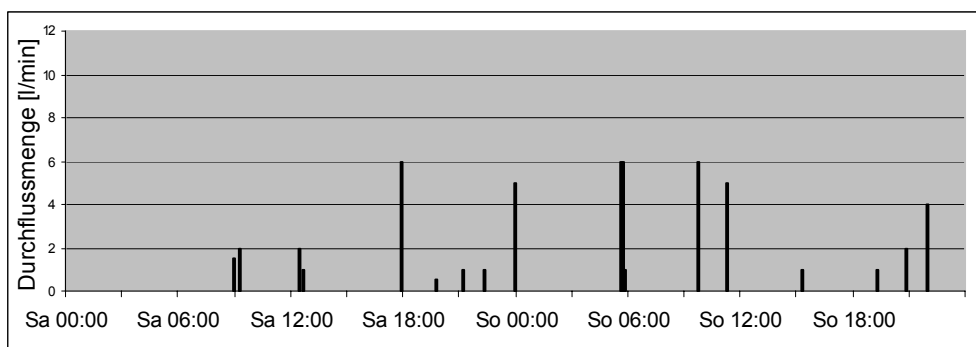


Abbildung 4.25 Wochenende-Zapfprofil "Küche" der Kleinwohnung

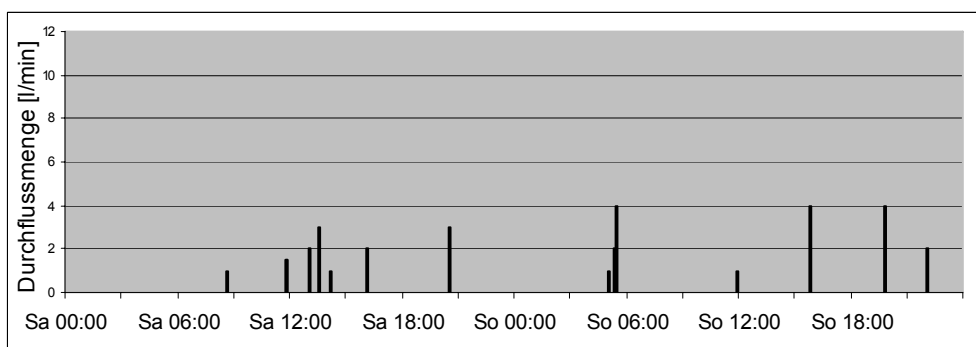


Abbildung 4.26 Wochenende-Zapfprofil "Lavabo" der Kleinwohnung

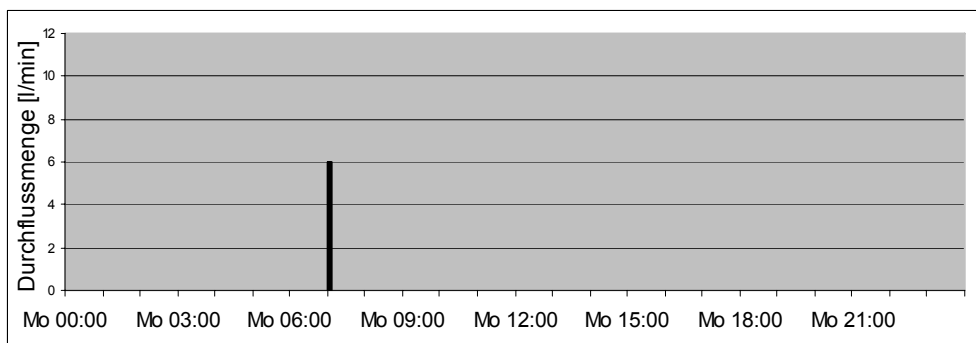


Abbildung 4.27 Wochentag-Zapfprofil "Dusche" der Kleinwohnung

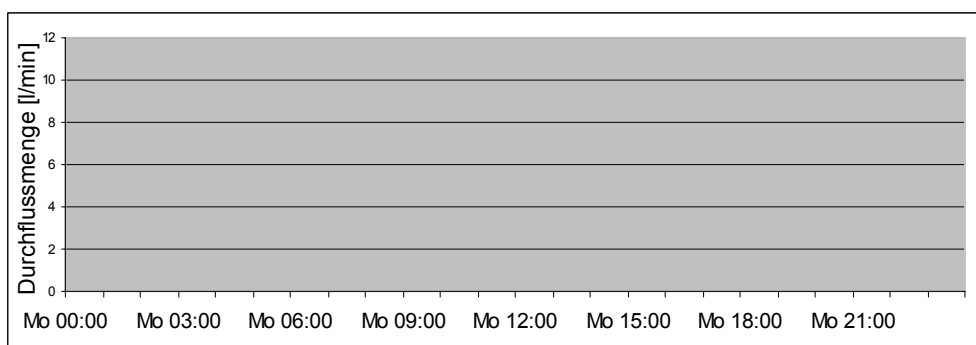


Abbildung 4.28 Wochentag-Zapfprofil "Bad" der Kleinwohnung

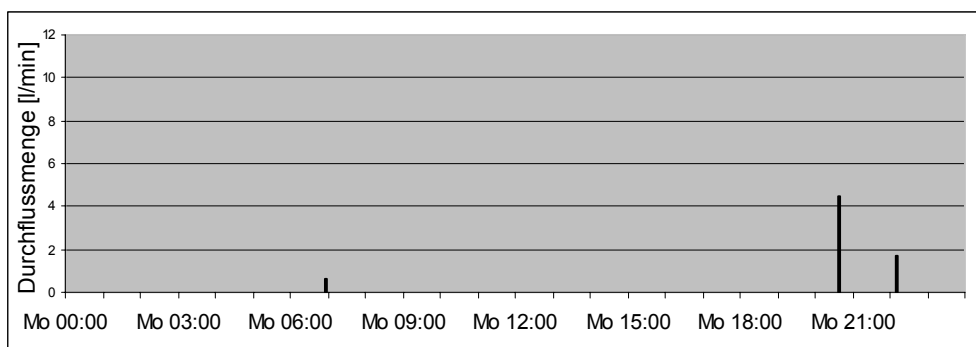


Abbildung 4.29 Wochentag-Zapfprofil "1/2Küche" der Kleinwohnung

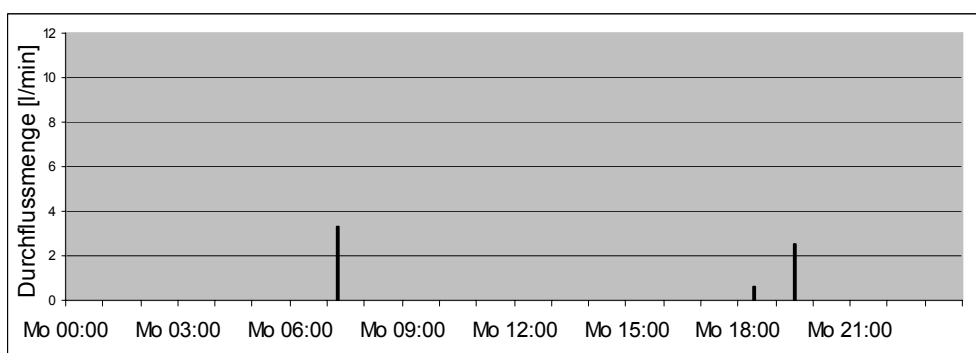


Abbildung 4.30 Wochentag-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Kleinwohnung

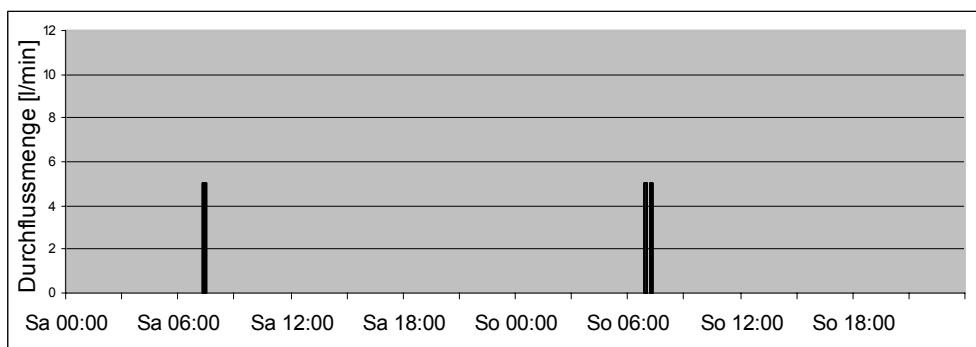


Abbildung 4.31 Wochenende-Zapfprofil "Dusche" der Kleinwohnung

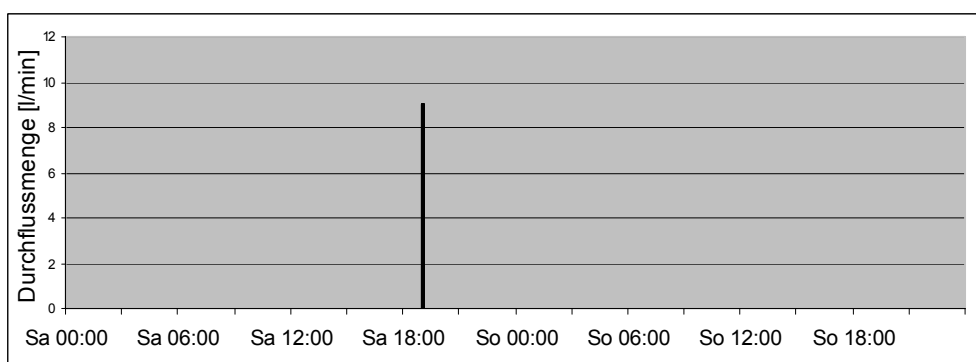


Abbildung 4.32 Wochenende-Zapfprofil "Bad" der Kleinwohnung

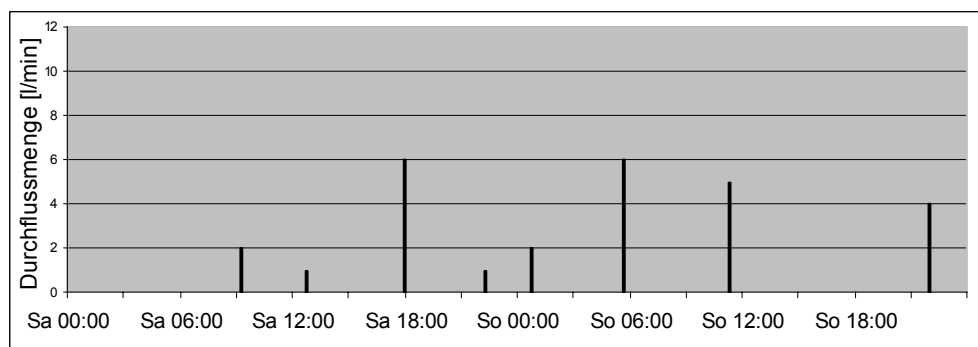


Abbildung 4.33 Wochenende-Zapfprofil "1/2Küche" der Kleinwohnung

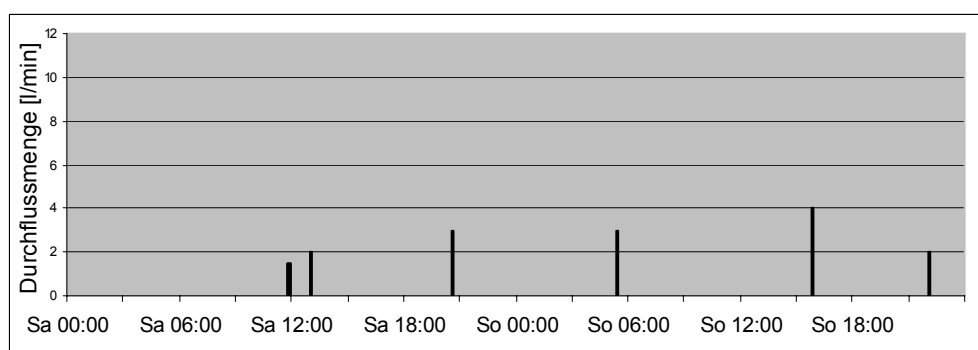


Abbildung 4.34 Wochenende-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Kleinwohnung

Grosse Wohnung

Die Wochenbilanz für die gesamte Grosse Wohnung ist in der Abbildung 4.35 dargestellt.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Menge pro Tag [l/d]	250	250	250	250	250	330	300	1880	269
Anzahl Zapfungen [-]	34	34	34	34	34	43	43	256	37

Abbildung 4.35 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen der grossen Wohnung

Abbildung 4.36 zeigt, wie die Zapfungen mengenmässig auf die Teil-Zapfstellen verteilt sind.

		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Total	Mittelwert
Bad/Dusche	Menge pro Tag [l/d]	125	125	125	125	125	200	185	1'010	144
	Anzahl Zapfungen [-]	4	4	4	4	4	5	5	30	4
Bad	Menge pro Tag [l/d]	0	0	0	0	0	117	59	176	25
	Anzahl Zapfungen [-]	0	0	0	0	0	2	1	3	0.4
Dusche	Menge pro Tag [l/d]	125	125	125	125	125	83	126	834	119
	Anzahl Zapfungen [-]	4	4	4	4	4	3	4	27	3.9
Küche	Menge pro Tag [l/d]	85	85	85	85	85	85	70	580	83
	Anzahl Zapfungen [-]	18	18	18	18	18	23	23	136	19
1/2 Küche	Menge pro Tag [l/d]	40	40	40	40	40	40	36	276	39
	Anzahl Zapfungen [-]	9	9	9	9	9	11	11	67	10
Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	40	40	40	40	40	45	45	290	41
	Anzahl Zapfungen [-]	12	12	12	12	12	15	15	90	13
1/2 Lavabo	Menge pro Tag [l/d]	20	20	20	20	20	23	22	145	21
	Anzahl Zapfungen [-]	6	6	6	6	6	8	7	45	6

Abbildung 4.36 Tagesmengen und Anzahl Zapfungen aller Teil-Zapfprofile der grossen Wohnung

Abbildung 4.37 zeigt das komplette Wochenprofil über der Zeitachse dargestellt. Dieses Profil wird dann auf den Abbildungen 4.38 bis 4.51 aufgeteilt auf alle Zapfstellentypen und auf Wochentage bzw. Wochenende abgebildet.

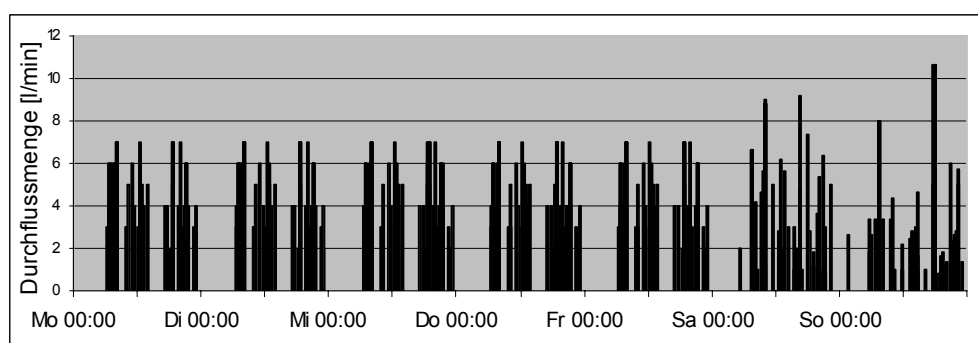


Abbildung 4.37 komplettes Zapfprofil der Grossen Wohnung

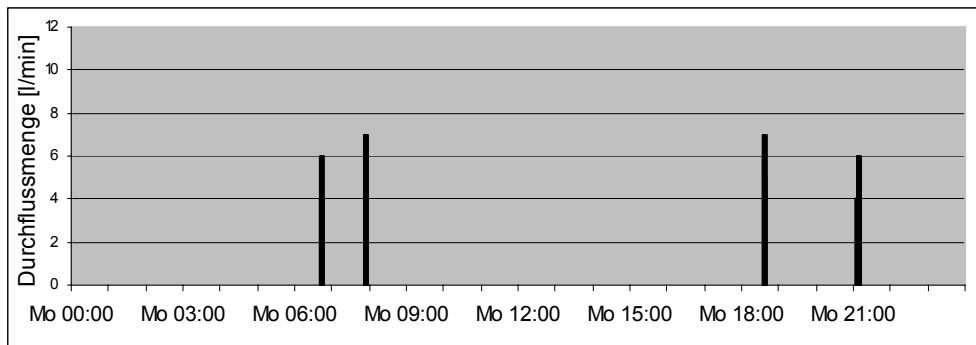


Abbildung 4.38 Wochentag-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Grossen Wohnung

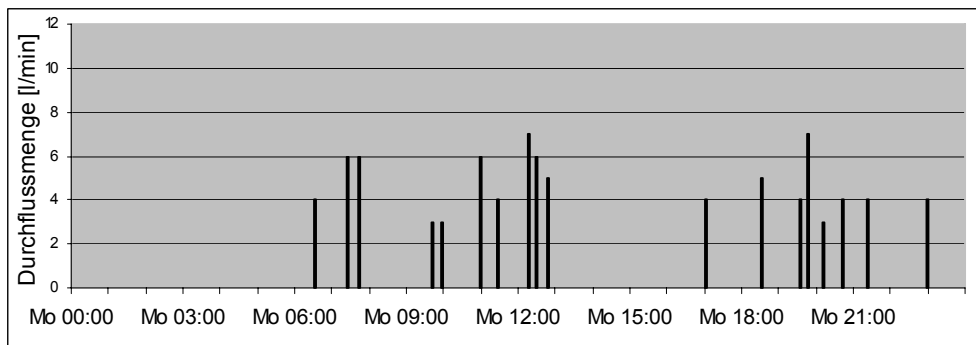


Abbildung 4.39 Wochentag-Zapfprofil "Küche" der Kleinwohnung

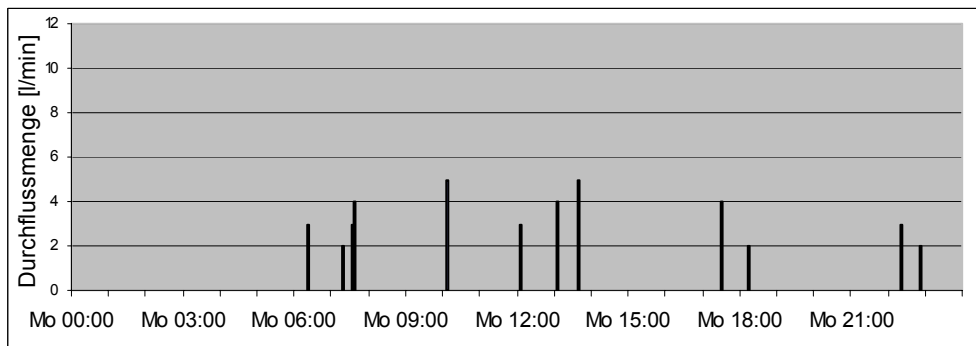


Abbildung 4.40 Wochentag-Zapfprofil "Lavabo" der Grossen Wohnung

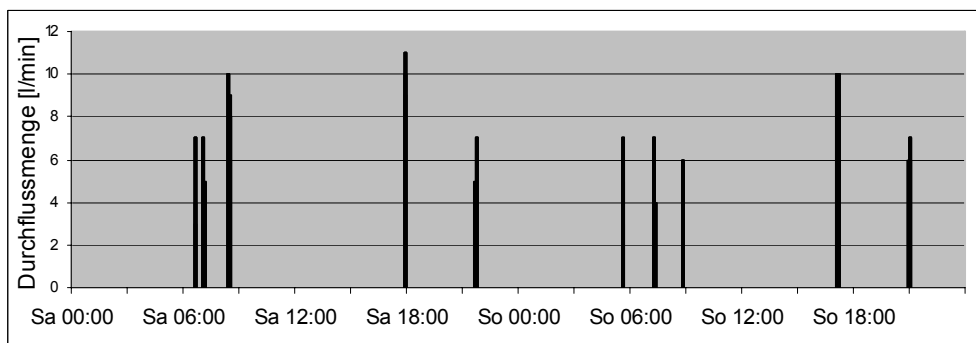


Abbildung 4.41 Wochenende-Zapfprofil "Bad/Dusche" der Grossen Wohnung

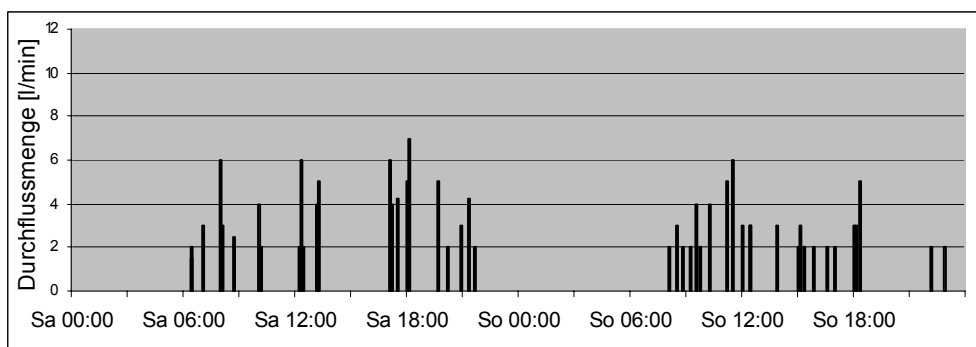


Abbildung 4.42 Wochenende-Zapfprofil "Küche" der Grossen Wohnung

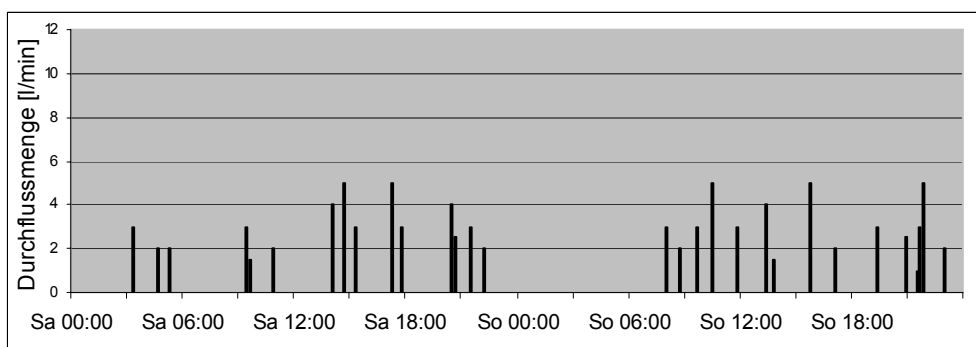


Abbildung 4.43 Wochenende-Zapfprofil "Lavabo" der Grossen Wohnung

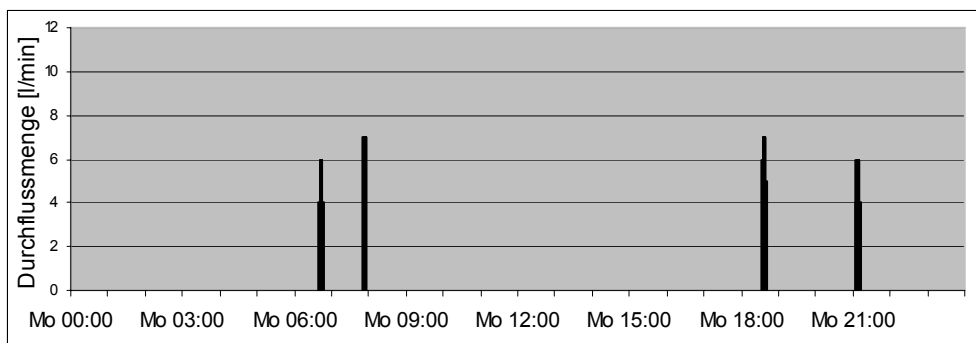


Abbildung 4.44 Wochentag-Zapfprofil "Dusche" der Grossen Wohnung

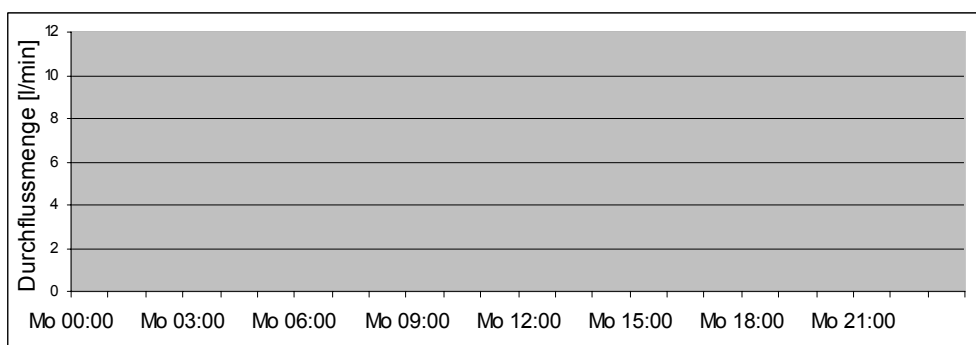


Abbildung 4.45 Wochentag-Zapfprofil "Bad" der Grossen Wohnung

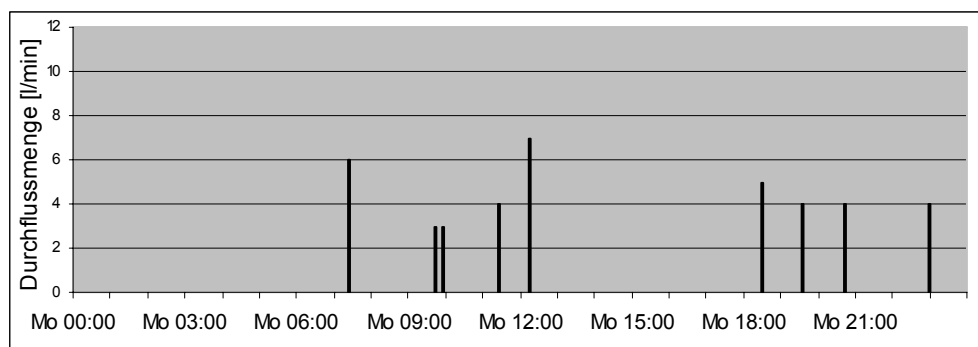


Abbildung 4.46 Wochentag-Zapfprofil "1/2Küche" der Grossen Wohnung

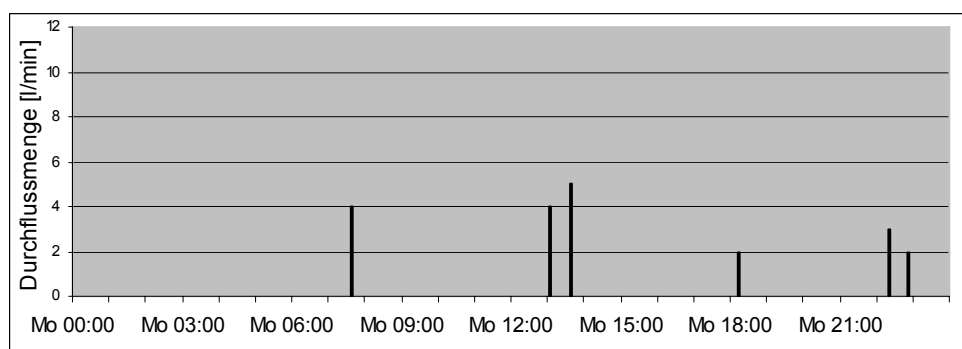


Abbildung 4.47 Wochentag-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Grossen Wohnung

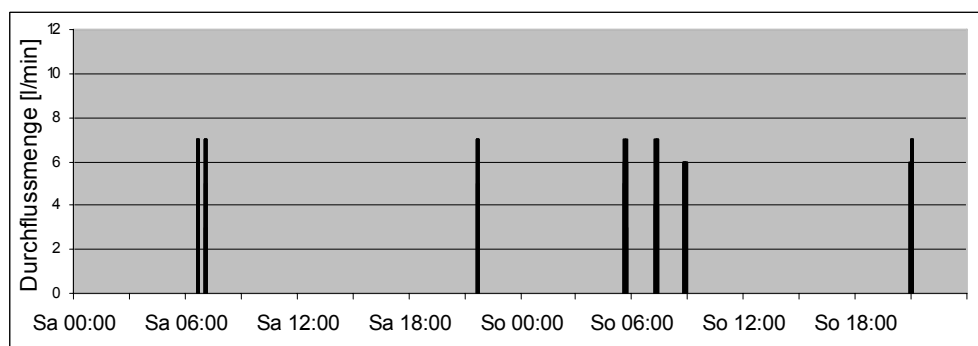


Abbildung 4.48 Wochenende-Zapfprofil "Dusche" der Grossen Wohnung

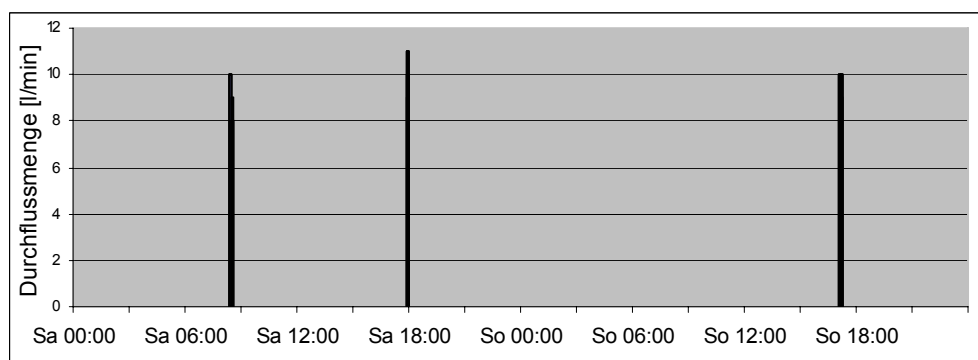


Abbildung 4.49 Wochenende-Zapfprofil "Bad" der Grossen Wohnung

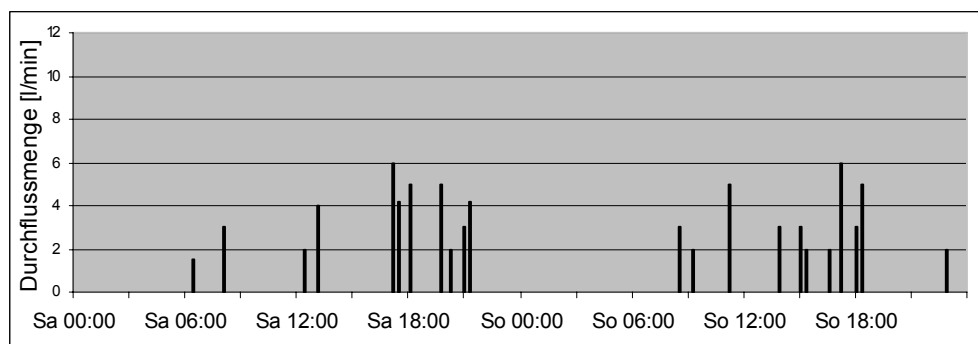


Abbildung 4.50 Wochenende-Zapfprofil "1/2Küche" der Grossen Wohnung

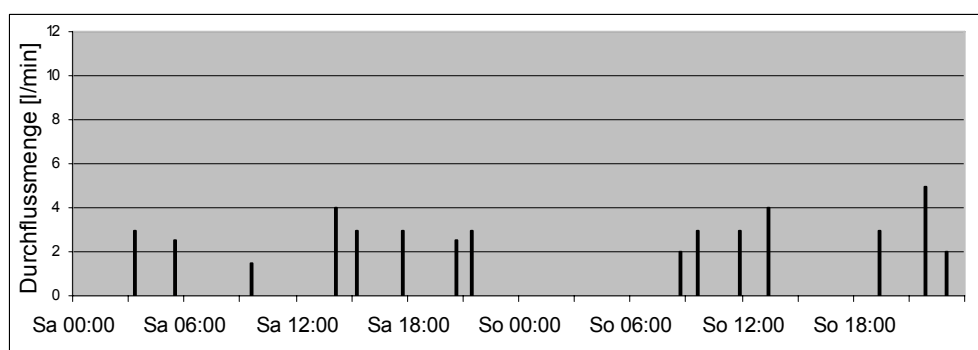


Abbildung 4.51 Wochenende-Zapfprofil "1/2Lavabo" der Kleinwohnung

Die beiden folgenden Grafiken 4.52 und 4.53 zeigen die Resultate der in den Tabellen 4.2, 4.19 und 4.36 dargestellten Werte. Die Daten der halbierten Zapfprofile sind dabei einer besseren Übersichtlichkeit zuliebe ausgenommen.

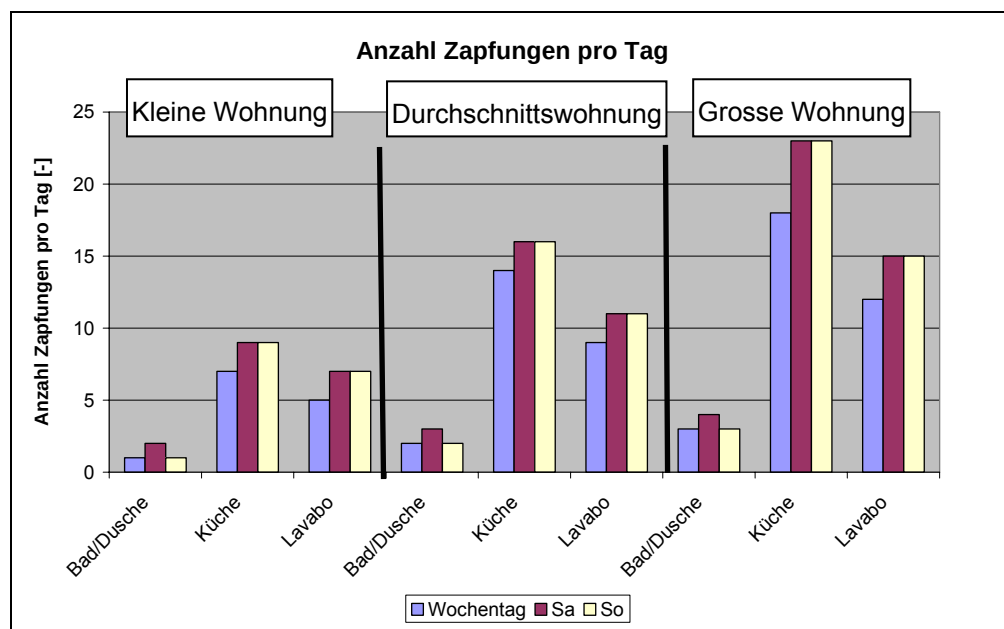


Abbildung 4.52 Übersicht Anzahl Zapfungen für alle Wohnungstypen und die Haupt-Zapfstellen

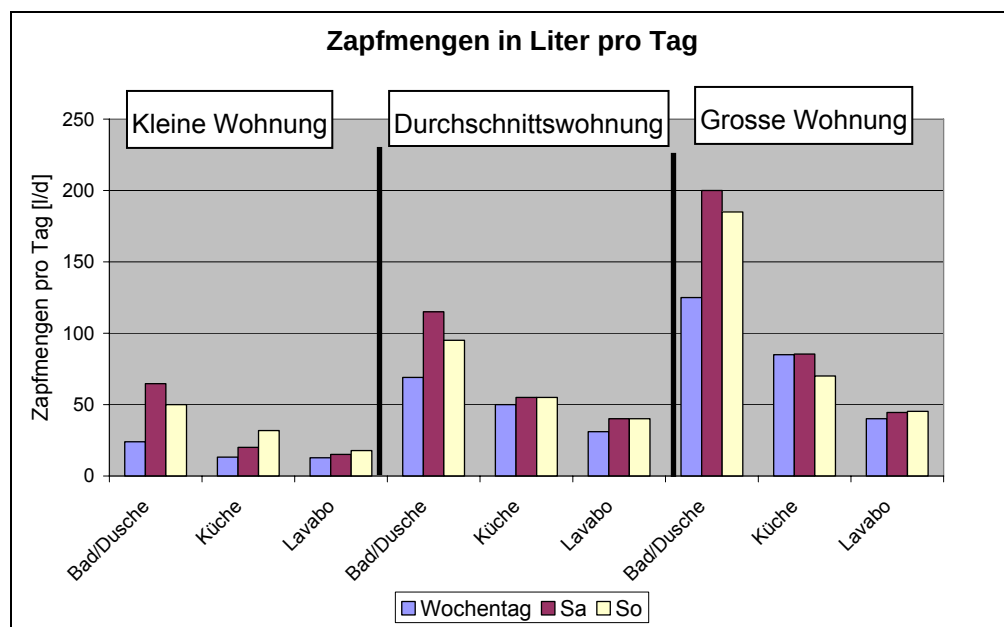


Abbildung 4.53 Übersicht Zapfmengen für alle Wohnungstypen und die Haupt-Zapfstellen

Überlagerung mehrerer Wohnungen

Für die Beurteilung der Verluste in der warmgehaltenen Verteilung werden überlagerte Zapfprofile benötigt. Damit werden die Unterschiede gerechnet, die sich ergeben für Leitungsabschnitte, die mehr oder weniger Wohnungen speisen. Mit einem von Jordan et al [3] entwickelten Algorithmus können Zapfprofile für beliebige Anzahl Wohnungen überlagert werden.

Bei den Parameterstudien zeigte sich, dass neben dem kompletten Wochenprofil der Durchschnittswohnung (Abbildung 4.3) ein Profil mit drei überlagerten Wohnungen genügt für die Fallunterscheidung im Rechenmodell. In Abbildung 4.53 ist dieses vollständige Zapfmodell (alle Zapfstellen sind enthalten) von 3 (Durchschnitts-) Wohnungen dargestellt. Die aus Simulationen ermittelten Verlustfaktoren dieser beiden Profile werden benutzt für die Verlustberechnung warmgehaltener Verteilungen, wie es im Rechenmodell Kap. 5 beschrieben ist.

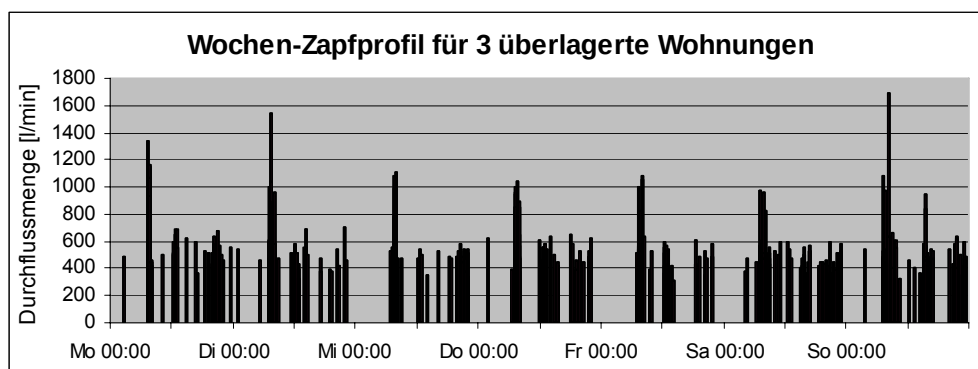


Abbildung 4.53 Wochen-Zapfprofil für 10 Durchschnitts-Wohnungen

4.2.3. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Schulen

Wie bei der Verwaltung werden für Schulen die Zapfmodelle anhand von Planungsrichtwerten entwickelt, weil für den effektiven Warmwasserbedarf keine auf Messungen basierenden Grundlagen zur Verfügung stehen.

Für die Dimensionierung vom Warmwasserbedarf gibt es im Recknagel Sprenger [17] folgende bescheidenen Angaben:

WW-Bedarf für Schulen, an 250 Tagen pro Jahr

- Ohne Duschanlagen 5...15 l/d und Schüler à 45°C
- Mit Duschanlagen 30...50 l/d und Schüler à 45°C

Weiter können die Planungsrichtwerte der Geberit für die Anzahlen von Waschtischen benutzt werden:

	WC		Waschtisch		Urinal	Dusche	
Anzahl Personen							
10	1-2	1-2	2	2	1-2		
20	2	2	2	3	2		
25	2	3-4	2	3-4	2		
35	2-3	4-5	2-3	4	2-3		
50	3	5-6	3	4-5	3	8	8
75	3-4	6-7	3-4	5-6	3-4	8	8
100	4	7-8	4	6-7	4	10	10
125	4-5	8-9	4-5	7-8	4-5	10	10
150	5	9-10	5	9-10	5	12	12
175	5-6	10-11	5-6	10-12	5-6	12	12
200	6	11-12	6	10-12	6	12	12

Abbildung 4.54 Bedarfszahlen der Geberit von Sanitärapparaten für Schulen

Aus diesen beiden Grundlagen und unter Einbezug von praktischen Überlegungen werden für die folgenden Waschtisch-Typen Wochentags-Zapfprofile definiert.

1. Waschtisch in Schulzimmern
2. Waschtisch in Lehrerzimmer
3. Waschtisch im Toiletten
4. Reinigungsbecken für den Abwart

Die Profile 1. bis 3. haben gemeinsam, dass sie im Rhythmus des Lektionsablaufs stattfinden; entweder wird während der Lektionen oder zwischen den Lektionen Wasser gebraucht. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilverluste nicht stark von der Schülerzahl abhängt, die Nutzmenge ist hingegen direkt gekoppelt. Deshalb können die wochenbezogenen Verlustfaktoren anhand von jeweils einem typischen Zapfprofil pro

Waschtischtyp ermittelt werden, indem für die Simulation fünf Tagesprofile aneinandergehängt werden und der sechste und siebente Wochentag ohne Verbrauch mitsimuliert werden.

Die Mengenverteilung auf die Waschtischtypen wird anhand eines Modell-Schulhauses ohne Duschanlagen mit folgenden Daten ermittelt:

- 10 Zimmer à 20 SchülerInnen à 7Liter/d à 60°C=1400Liter/d à 60°C
- 2 Etagen mit je einem Reinigungsbecken für den Abwart
- 1 Lehrerzimmer
- je eine WC-Anlage für Schüler und Schülerinnen

	Klassen- zimmer	Lehrer- zimmer	WC- Anlagen	Reinigungs- becken
Mengenverteiler: Liter à 60°C	400	100	800	100
Anzahl Waschbecken	10	1	16	2
Tagesmenge pro Zapfstelle	40	100	50	50

Abbildung 4.55 Ermittlung der Zapfmengen pro Schultag für vier Zapftypen

Die mit den vorgegebenen Anforderungen zusammengestellten Zapfprofile sind in den folgenden Abbildungen 4.56 bis 4.60 grafisch abgebildet.

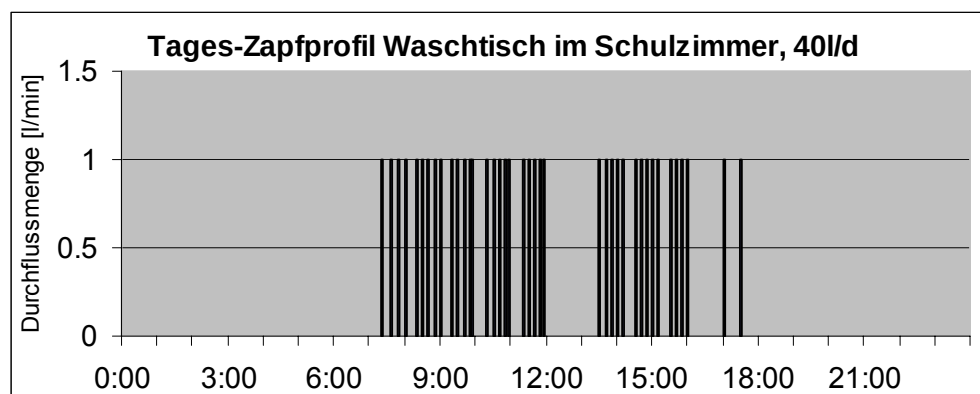


Abbildung 4.56 Tages-Zapfprofil für ein Schulzimmer

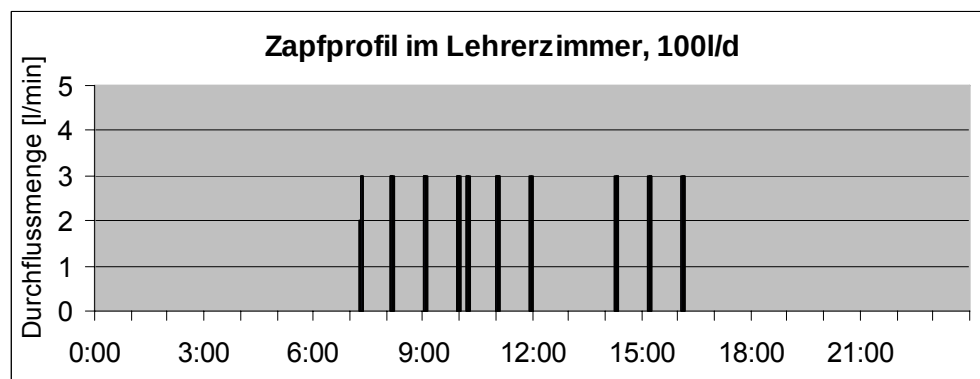


Abbildung 4.57 Tages-Zapfprofil für das Lehrerzimmer

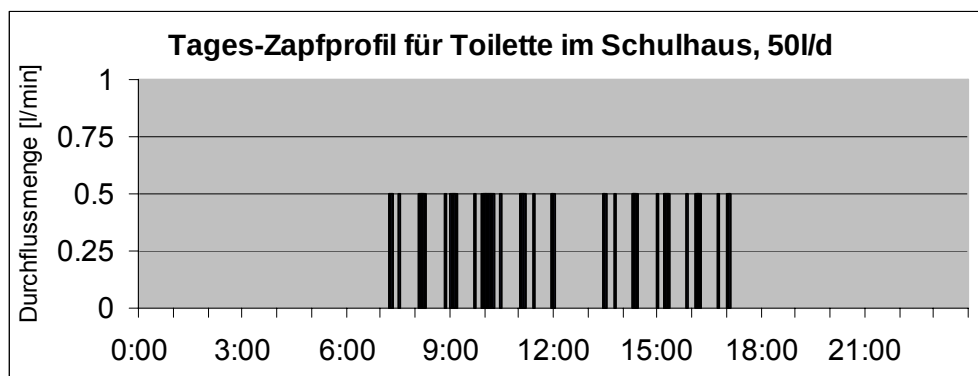


Abbildung 4.58 Tages-Zapfprofil für ein Lavabo in einer Schulhaustoilette

Für das Reinigungsbecken kann davon ausgegangen werden, dass nicht viele Zapfungen gemacht werden, die Verlustfaktoren der Anschlussleitungen werden dementsprechend tief sein.

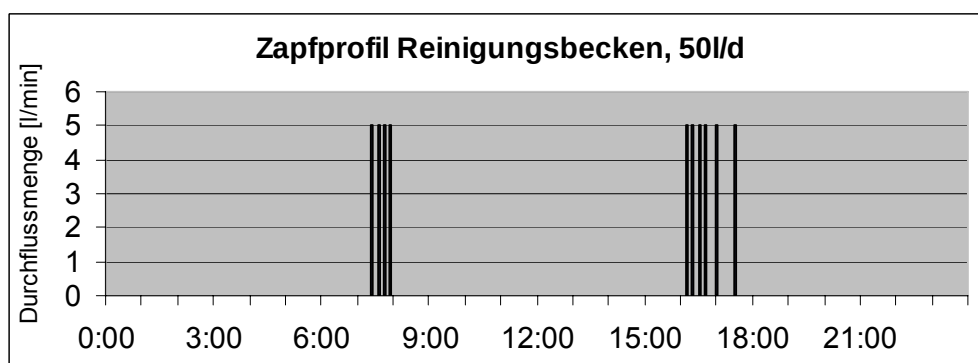


Abbildung 4.59 Tages-Zapfprofil für ein Abwart-Waschbecken

Für die Verlustberechnung der warmgehaltenen Verteilung wird für Leitungen grösserer Dimension ein Profil benutzt, welches die vier genannten Profile überlagert (Abbildung 4.59).

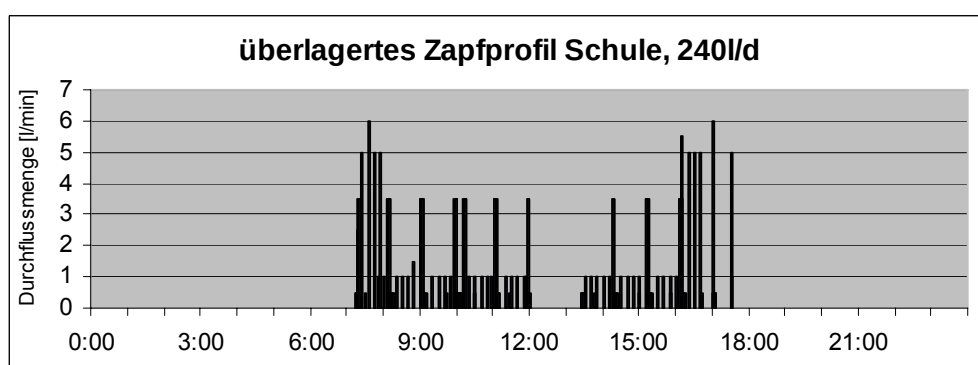


Abbildung 4.60 überlagertes Zapfprofil für die warmgehaltene Verteilung

Duschanlagen in Schulhäusern werden gleich behandelt wie im Kap. 4.2.4 (Sportanlagen) beschrieben, es braucht also keine Zapfprofile.

4.2.4. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Sportbauten

Bei Sportbauten geht es primär um den Warmwasserbedarf für Duschen. Während dem Duschbetrieb wird viel Wärme bezogen, dann stehen die Verteilleitungen wieder still und kühlen aus. Der Anteil der Verluste am Nutzenergieverbrauch ist deshalb gering. Bei der Auslegung von Duschanlagen steht die Speicher- und Heizleistungs-Dimensionierung im Vordergrund. Diese müssen anlagenspezifisch beurteilt werden. Auf eine Abbildung von Zapfprofilen und damit auch auf eine Simulation von Verteilverlusten wird verzichtet. Für die Mengenberechnung werden pro Dusche 25 Liter Warmwasser à 60°C eingesetzt.

4.2.5. Mengen und Zapfmodelle für die Nutzung Verwaltung

Für die Nutzung Verwaltung werden die Zapfmodelle wie bei der Schule anhand von Planungsrichtwerten entwickelt, weil für den effektiven Warmwasserbedarf keine auf Messungen basierenden Grundlagen zur Verfügung stehen.

Für die Dimensionierung vom Warmwasserbedarf gibt es im Recknagel Sprenger [17] folgende bescheidene Angabe:

WW-Bedarf für Bürogebäude: 10...40 l/d und Person à 45°C

Man kann davon ausgehen, dass die grosse Streuung damit zusammenhängt, welche Form der Verpflegungsmöglichkeit bei der entsprechenden Nutzung angeboten wird. Verbrauchsangaben für Restauration bewegen sich in folgenden Grössenordnungen:

Recknagel Sprenger [17]:

WW-Bedarf für Gaststätten: 12...30 l/d und Person à 45°C

Ravel [9]:

Gewerbeküchen, je nach Nutzung 20...45 l à 60°C pro Sitzplatz

Der Ansatz für die Mengenverteilung wird nun so gewählt, dass je nach Restaurationsbetrieb der Verbrauch zwischen 10 und 40 l/d und Person à 45°C liegt. Es werden 3 Typen von Verpflegungseinrichtungen unterschieden:

- "Teeküche" oder "Kaffeecke" mit Mikrowellenofen zum Aufwärmen von Mitgebrachtem oder Fertigménues mit WW-Zapfstellen zum Auswaschen von Geschirr.
- Kantine mit Catering-Service und Abwaschanlage
- Kantine mit Küche

Weiter können die Planungsrichtwerte der Geberit für die Anzahlen von Waschtischen gemäss Abbildung 4.61 benutzt werden.

	WC		Waschtisch		Urinal	Dusche	
Anzahl Personen							
10	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2		
20	2	2-3	2	2-3	2-3		
25	2-3	3-4	2-3	3-4	3	1	1
35	3	4	3	4	3	1	1
50	3-4	4-5	3-4	4-5	3-4	2	2
75	4	5-6	4	5-6	4-5	2	2
100	4-5	6	4-5	6	5-6	2	2
125	5	6-7	5	6-7	6-7	2	2
150	5-6	7-8	5-6	7-8	7-8	2	2
175	6-7	8	6-7	8-9	8-9	3	3
200	7-8	9	7-8	9-10	9	3	3
250	8	10	8-10	10-12	10	3	3

Abbildung 4.61 Bedarfszahlen der Geberit von Sanitärapparaten für Verwaltungsbauten

Aus diesen Grundlagen und unter Einbezug von praktischen Überlegungen werden für fünf Typen von Warmwasser-Zapfstellen Wochen-Zapfprofile mit 5 Arbeitstagen definiert.

1. WW-Zapfstelle in Kantine
2. Kleinküche/Office
3. Waschtische bzw. Lavabo in Toiletten
4. Dusche
5. Reinigungsbecken für Gebäudereinigung

Die Mengenberechnung erfolgt über Anzahl Arbeitsplätze, einem Planungs-wert, der relativ klar ausgewiesen werden kann (siehe Abbildung 4.62). Für die Auslegung der Zapfprofile wird ebenfalls der Mengemix in Abbildung 4.62 verwendet. Diese Abbildung zeigt in der zweiten und dritten Spalte die minimale Anzahl Arbeitsplätze, die pro Zapfungstyp mindestens angegeben werden müssen und die Tagesmengen pro Zapfungstyp und Arbeitsplatz. Dann folgen zwei Spalten mit typischen Tagesengen, welche für die Ermittlung der Zapfprofile dienen. Die letzte Spalte zeigt ein Beispiel eines Verwaltungsbaus mit 300 Arbeitsplätzen.

Zapfungstyp	minimale Anzahl AP	Tagesmenge in Liter à 60°C pro Arbeitsplatz (AP)	Anzahl Arbeitsplätze pro (Doppel-) Einheit	Menge pro (Doppel-) Zapfstelle [l/d AP]	Rechenbeispiel für 300 Arbeitsplätze [l/d]
Kantine mit Küche	100	19	200	3800	5700
Kantine mit Catering	50	10	100	1000	3000
Kleinküche/Office ohne Kantine	20	5	30	150	1500
Kleinküche/Office mit Kantine	20	2	30	60	600
WC-Anlagen (1 Damen + 1 Herren)	10	4	15	60	1200
Duschen (1 Damen + 1 Herren)	10	1.5	50	75	450
Abwart-Waschbecken	10	1.5	50	75	450
Summe Minimum: ohne Verpflegung		7			2100
Summe Maximum: mit Kleinküchen+Kantine mit Küche		28			8400

Abbildung 4.62 Mengenverteilung der WW-Verbraucher in Verwaltungsbauten

Pro Arbeitsplatz und Tag werden also zwischen 10 und 40 Liter Warmwasser à 60°C verteilt, je nach Verpflegungseinrichtung.

Die in den Abbildungen 4.63 bis 4.70 dargestellten Zapfprofile werden benutzt, um die Verlustfaktoren von entsprechenden Anschlussleitungen mittels Simulation zu ermitteln. Die zeitliche Folge von Zapfungen ist dabei viel wichtiger als die eigentliche Menge, die an den Zapfstellen verbraucht wird. Deshalb kann bei der Menge auch mit einem grosszügigen Durchschnitt gerechnet werden.

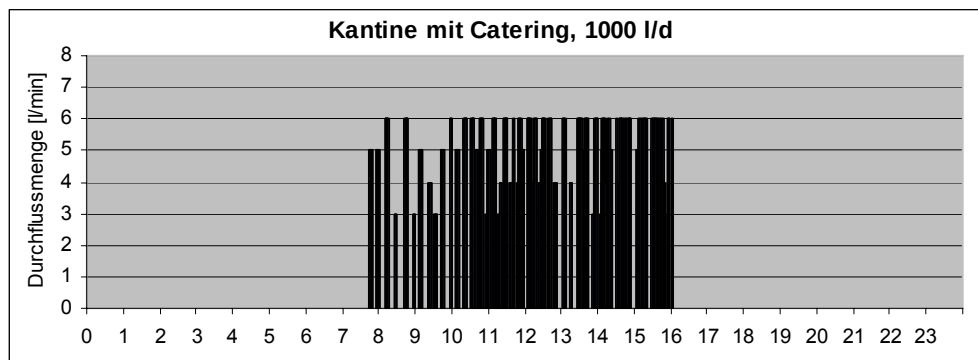


Abbildung 4.63 Tages-Zapfprofil für eine Kantine mit Catering in einem Büro mit 100 Arbeitsplätzen

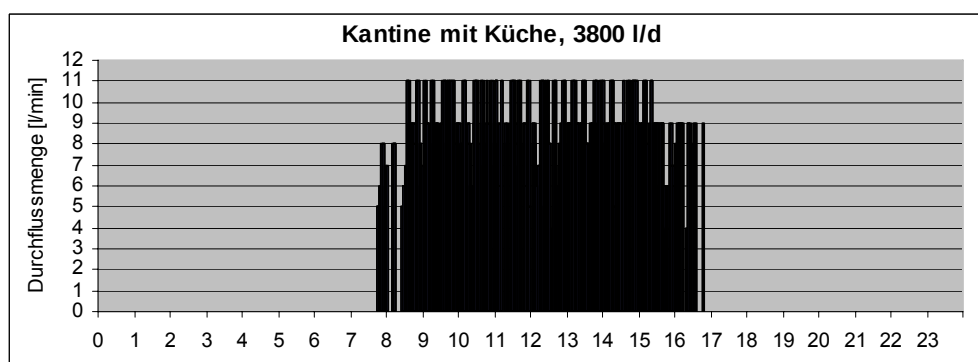


Abbildung 4.64 Tages-Zapfprofil für eine Kantine mit Küche in einem Gebäude mit 200 Arbeitsplätzen

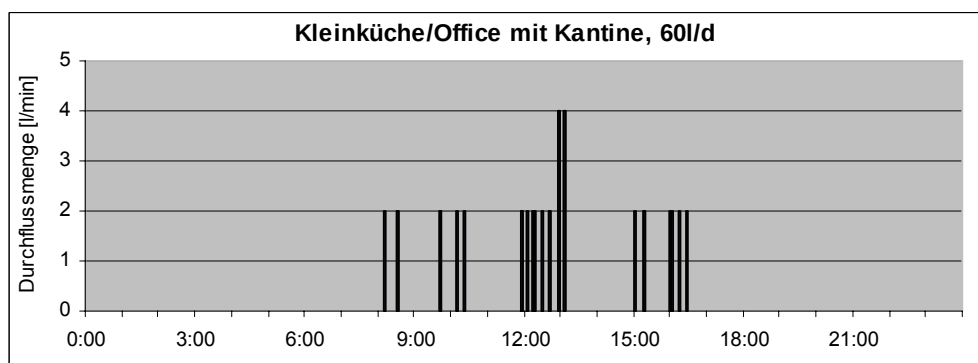


Abbildung 4.65 Tages-Zapfprofil für eine Kleinküche in einem Gebäude mit Kantine

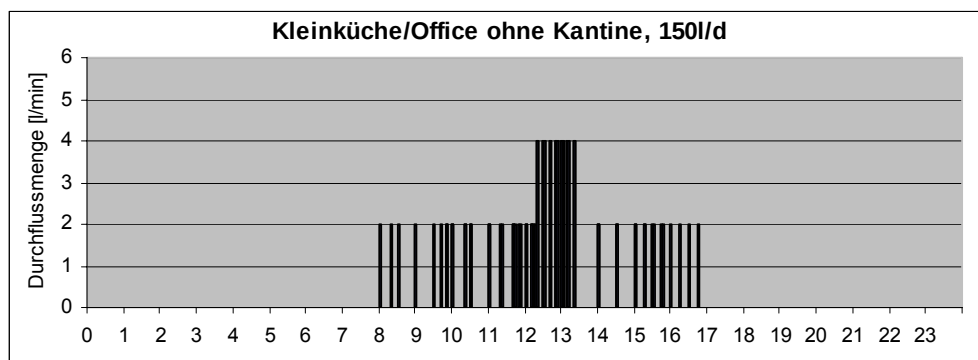


Abbildung 4.66 Tages-Zapfprofil für eine Kleinküche in einem Gebäude ohne Kantine

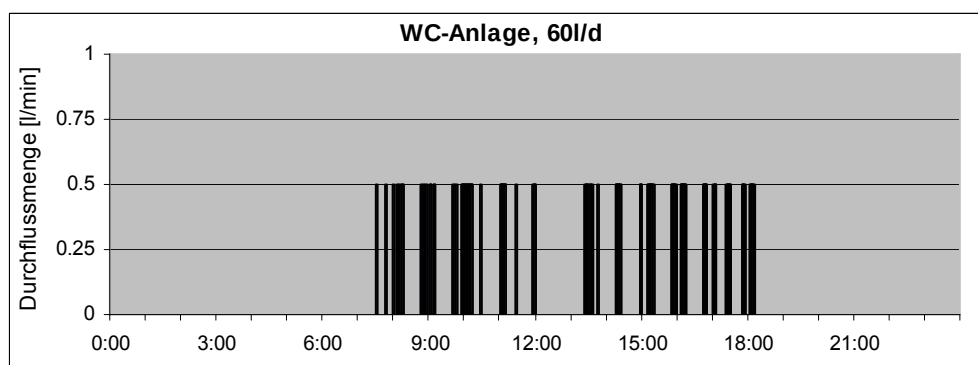


Abbildung 4.67 Tages-Zapfprofil für ein Lavabo in einem WC

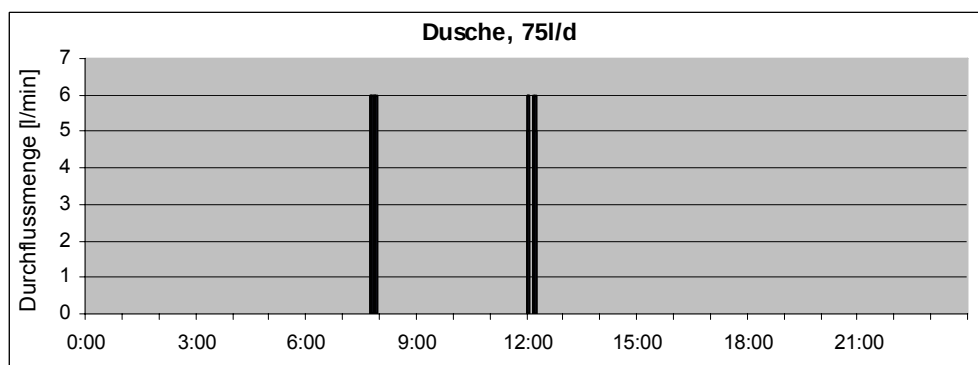


Abbildung 4.68 Tages-Zapfprofil für eine Dusche in einem Bürogebäude

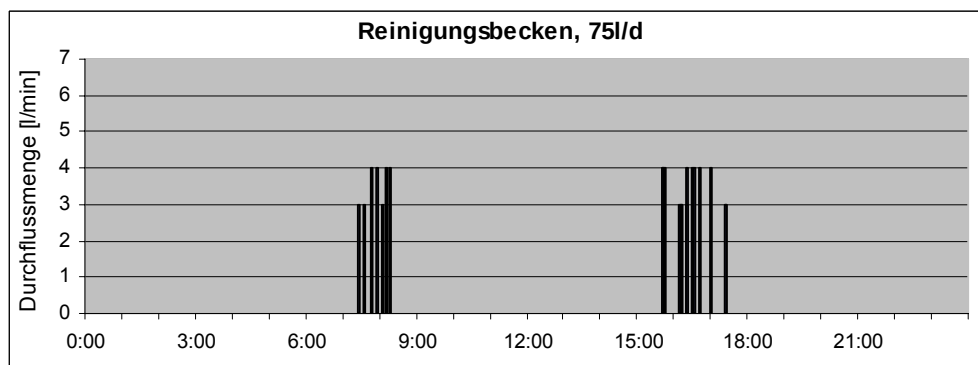


Abbildung 4.69 Tages-Zapfprofil für ein Reinigungsbecken in einem Bürogebäude

Für die Verlustberechnung der warmgehaltenen Verteilung wird ein Profil benutzt, welches die fünf genannten Profile überlagert (Abbildung 4.70).

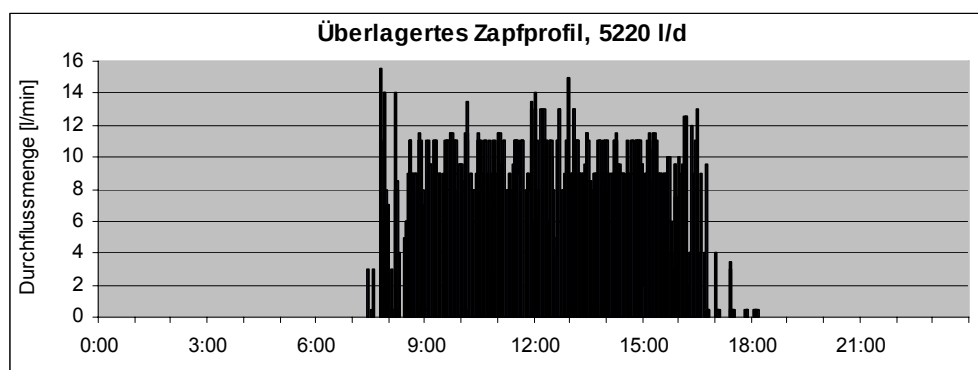


Abbildung 4.70 Überlagertes Zapfprofil über ein Tag

5. Energiebilanzierungs-Modell

5.1. Voraussetzungen und Einsatzgrenzen

Die angestrebten Einsatzgebiete der Berechnungsmethode sind:

- Planung Neubau, ev. Einsatz für behördliche Nachweise oder MINERGIE-Nachweise.
- Planung von Sanierungen, ev. Einsatz für behördliche Nachweise oder MINERGIE-Nachweise
- Variantenstudien für Neubau oder Sanierungen

Weil mit dem vorgestellten Modell versucht wird, die Verluste in der Verteilung möglichst genau abzubilden, ist das Wissen über die Topologie wichtig.

Bei Neubauten wird vorausgesetzt, dass seitens der Architektur Pläne im Massstab von mindestens 1:100 bestehen (mindestens ein Vorprojekt). Weil für Sanierungen nicht automatisch davon ausgegangen werden kann, dass Pläne existieren, muss allenfalls mit Aufnahmen am Bau gearbeitet werden.

Das Modell basiert zwar in wichtigen Teilen auf dynamischen Simulationen, es ist aber ein statisches Berechnungsverfahren. Die berechneten Energieverbrauchszahlen können zwar benutzt werden für die Dimensionierung vom Speicher und von der erforderlichen Heizleistung, die Resultate gelten jedoch nur für die zugrunde gelegten Zapfprofile.

Zum Thema Legionellen liefert die Methode keine konkreten Anhaltspunkte.

5.2. Grafische Darstellungen und Definitionen

5.2.1. Prozess- und Energieflussschema

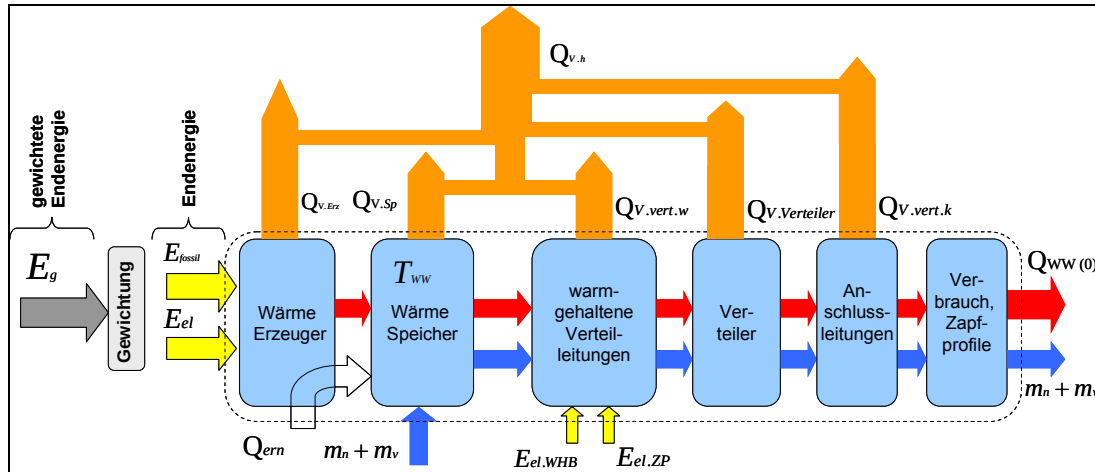


Abbildung 5.1 Prozess- und Energiefluss-Schema

5.2.2. grafisches Input-Output-Schema

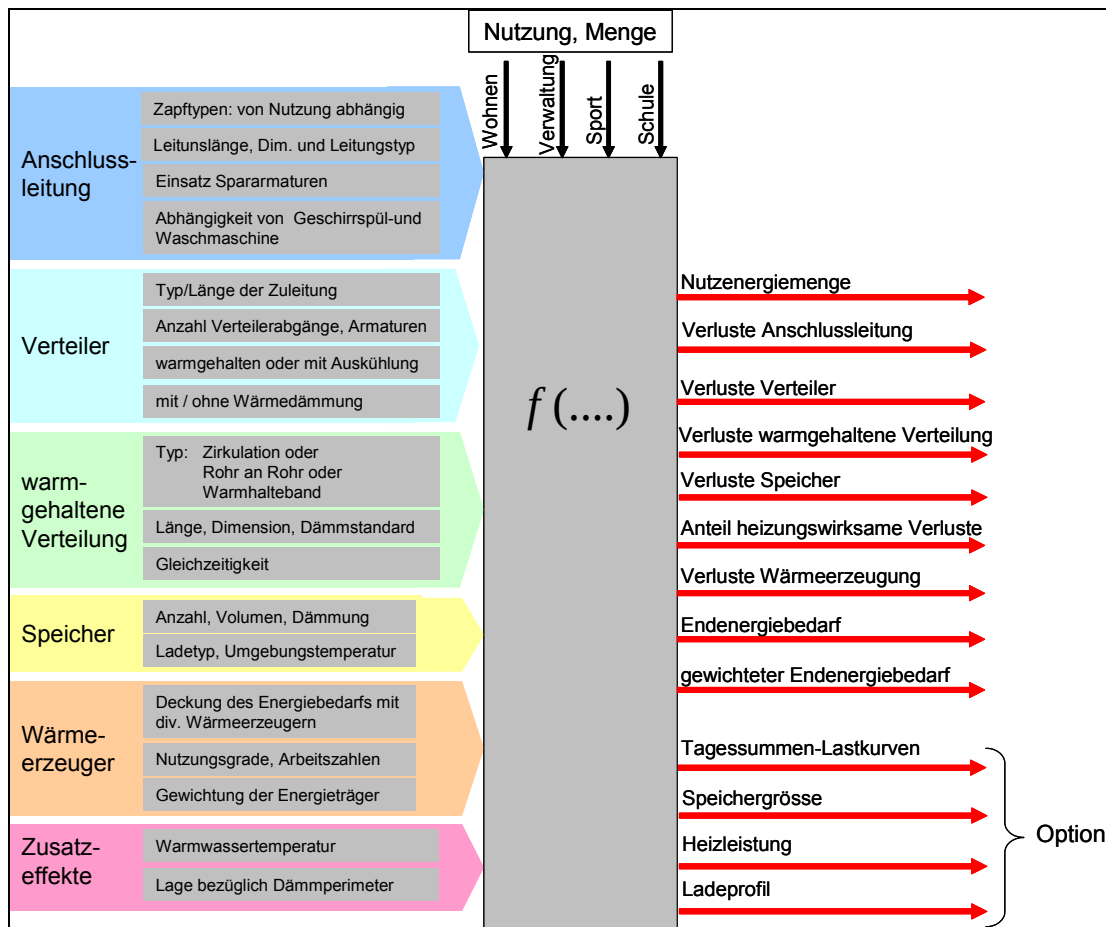


Abbildung 5.2 Input - Output - Schema des Rechenmodells

5.2.3. Energiebilanz

Die dem System in Form von fossiler, elektrischer und erneuerbarer Energie zugeführte Energiemenge ist gleich der Summe aller Wärmeverluste und der als Zapfung genutzten Wärmemenge.

$$E_{input} = \sum Q_V + Q_{WW} \quad (\text{Gl.5.1})$$

$$E_{input} = E_{fossil} + E_{el} + Q_{ern} + E_{el.WHB} + E_{el.ZP} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

$$\sum Q_V = Q_{V.vert.k} + Q_{V.Verleiter} + Q_{V.vert.w} + Q_{V.Sp} + Q_{V.Erz} \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Die einzelnen Summanden dieser Gleichungen werden im folgenden Definitionsteil und bei den einzelnen Berechnungsvorschriften beschrieben.

Als **System-Nutzungsfaktor** wird der Quotient aus der genutzten Wärmemenge und der zugeführten Energiemenge bezeichnet

$$\eta_n = \frac{Q_{WW}}{E_{input}} \quad (\text{Gl. 5.4})$$

Entsprechend kann auch ein **Nutzungsfaktor für gewichtete Endenergie** angegeben werden

$$\eta_{ng} = \frac{Q_{WW}}{E_g} \quad (\text{Gl. 5.5})$$

5.2.4. Definitionen von Rechengrössen und Systemkomponenten

Q_{WW0} , Q_{WW}

Die Nutzenergie Q_{WW0} errechnet sich aus dem Produkt von der Nutzmenge m_n mit der Wärmekapazität vom Wasser c_p und der Temperaturdifferenz von 50K (60°C-10°C). Die effektive Nutzenergie Q_{WW} weicht von Q_{WW0} ab, wenn T_{WW} grösser oder kleiner als 60°C ist.

m_n , m_v

Die Nutzmenge m_n ist definiert durch das angewendete Zapfprofil. Die Ausstossmenge m_v entspricht der pro Zapfung auszustossenden Menge bis am Ausfluss der Anschlussleitung 35°C erreicht sind.

$Q_{V.Vert.k}$: Ausstossverluste

Die Verluste in den nicht warmgehaltenen Anschlussleitungen werden als Ausstossverluste bezeichnet. Wenn zwei Zapfungen zeitlich weit auseinanderliegen, kühlt das Wasser in der Anschlussleitung ab und muss bei der folgenden Zapfung ausgestossen werden, bevor an der Zapfstelle brauchbares Warmwasser austritt. Das stellt einen energetischen Verlust dar, weil diese Wassermenge im Wassererwärmer auf die Solltemperatur aufgeheizt werden musste.

In den der vorliegenden Untersuchung zu Grunde liegenden Simulationen werden die Verluste der Anschlussleitung wie folgt modelliert:

Wenn das Wasser in der Anschlussleitung ausgekühlt ist, muss zuerst die Ausstossmenge m_v abfließen, bis das Warmwasser ab einer Temperatur von 35°C als brauchbar erachtet wird. Dann wird die Nutzwasser-Zapfmenge m_n ausgestossen. Danach kühlt die Leitung wieder aus. Falls zu Beginn der nächsten Zapfung die Temperatur von 35°C noch nicht unterschritten ist, muss keine Ausstossmenge abfließen.

Als Verlust $Q_{v,vert.k}$ wird während der ganzen Zeit der Wärmefluss der Anschlussleitung gegenüber der Umgebungstemperatur von 20°C über die Zeit aufintegriert. Zusätzlich wird die Energiemenge zur Erwärmung der Ausstossmenge m_v von der Kaltwassertemperatur auf die Umgebungstemperatur mitgezählt.

Das TRNSYS-Modell mit den entsprechenden Berechnungen ist in Kap. 6 ausführlich beschrieben.

Es wird unterschieden zwischen Verlusten innerhalb oder ausserhalb des Wärmedämmperimeters.

Anschlussleitungs-Typen

Als **Leitungstypen** stehen vier Systeme für die Berechnungen zur Verfügung. Alle werden in den Dimensionen DN12, DN15 und DN20 angegeben.

1. "MEPLA", Metallplast-Rohr, welches direkt im Boden verlegt wird.
2. "PEX", Kunststoffrohr, welches in einem Schutzrohr verlegt wird.
3. mit 10mm Weichschaum isoliertes MEPLA oder PEX
4. Chromstahlrohr unisoliert, von Luft umgeben

Die ersten beiden entsprechen den typischen Praxis-Anwendungen, das dritte soll Aufschluss geben über energetische Optimierungsmöglichkeiten, die vor allem bei Zapfprofilen mit vielen Zapfungen zu erwarten sind. Der vierte Typ, das Chromstahlrohr in Luft findet seine typische Anwendung in vormontierten Sanitärapparaten. Die Abbildung 5.3 zeigt die Wärmeverlustkoeffizienten. Für den Typ 2 wurden sie anhand technischer Angaben der Hersteller ermittelt und dann mit den Berechnungsgrundlagen für Wärmeverluste von Rohren auf die Typen 2 und 3 umgerechnet. Für den Typ 4 wurden die Grundlagen von Konvektionsströmungen senkrechter und waagrechter Rohre in Luft angewendet.

	k_r Wärmeverlustkoeffizient [W/mK]		
Typ	DN12	DN15	DN20
1	0.950	1.10	1.27
2	0.358	0.455	0.575
3	0.173	0.209	0.237
4	0.31	0.37	0.43

Abbildung 5.3 Wärme-Verlustkoeffizienten der ausgewählten Anschlussleitungen

$Q_{V, \text{Verteiler}}$: Energieverluste des Verteilers

Sie setzen sich zusammen aus den Betriebsverlusten des Verteilers mit seiner Anschlussleitung und allfälligen Armaturen. Es wird unterschieden zwischen Verlusten innerhalb oder ausserhalb des Wärmedämmperimeters.

$Q_{V, \text{vert.w}}$: Energieverluste vom warmgehaltenen Verteilsystem

Diese entsprechen den Transmissions- und Abstrahlungsverlusten der beteiligten Leitungen und Armaturen. Es wird unterschieden zwischen Verlusten innerhalb oder ausserhalb des Wärmedämmperimeters.

Zur warmgehaltenen Verteilung gehören alle Leitungen und Armaturen, die mit gezielten Massnahmen mindestens zeitweise warmgehalten werden, um die Ausstosszeiten an den Zapfstellen zu begrenzen. Die typischen Einrichtungen, welche im Modell berücksichtigt werden, sind die mit einer Schaltuhr gesteuerte Zirkulationsleitung und das selbstregulierende Warmhalteband. Die Zirkulationsleitung kann als separate Leitung oder als Leitung, die an einer Verteilleitung angebunden und mit ihr zusammen isoliert wird (RaR-System), ausgeführt werden.

Diese drei Systemtypen werden wie folgt charakterisiert:

- **Zirkulationsleitung mit Zirkulationspumpe:** Die Verteilleitung und die Zirkulationsleitung, die sich normalerweise in ihrer Dimension unterscheiden, haben unterschiedliche Wärme-Verlustfaktoren. Diese Verlustfaktoren repräsentieren eine hydraulisch abgegliche Zirkulation, deren Rücklauf-Temperatur beim Speicher auf 50°C (bei $T_{WW}=60^\circ\text{C}$) reguliert wird. Eine richtig dimensionierte Zirkulationspumpe braucht, um diese Anforderung zu erfüllen, im Verhältnis zu den Wärmeverlusten sehr wenig Energie. Deshalb wird für die Leistung der Zirkulationspumpe lediglich zwischen zwei Stufen unterschieden. Die angenommenen Werte 25W und 50W entsprechen den Leistungen typischer Produkte aus dem Handel. Die elektrische Energiemenge $E_{el,ZP}$ (Laufzeit mal Leistung) wird als thermischer Verlust zu $Q_{V, \text{vert.w}}$ addiert. Diese Bilanzierung ist nicht ganz korrekt. Einerseits wird ein Teil von $E_{el,ZP}$ als Abstrahlungs- und Konvektionsenergie in den Raum abgegeben. Der Rest wird dem Warmwasser übergeben und verteilt sich im System auf die verschiedenen Verluste und als zusätzliche Nutzenergie. Eine genaue Bilanzierung ist schwierig und aufwändig. Der Mengenanteil dieser Energie ist klein im Vergleich mit $Q_{V, \text{vert.w}}$ und wird deshalb dieser zugeordnet. Damit bleiben die Energiebilanzgleichungen (Gl. 5.1, 5.2, 5.3) konsistent.
- **RaR (Rohr-an-Rohr)-System:** Dieses System wird im Prinzip gleich behandelt wie die Zirkulation. Der Unterschied ist, dass der Wärmeverlust der separaten Zirkulationsleitung fehlt.
- **Warmhalteband (WHB):** Dieses benötigt elektrische Energie für eine definierte Temperaturhaltung. Diese Energiemenge muss nicht im Speicher aufbereitet werden. Die Regulierungscharakteristik von realen WHB's ist nicht optimal, was zu unerwünschtem Nachheizen führen kann. In der Praxis werden Optimierungen mit Leistungsstellern und Zeitsteuerungsprogrammen angeboten. Für das Modell wurde die Nachheizenergie $E_{el,WHB}$ für die Temperaturhaltung auf 60°C mit einem

Zweipunkt-Regler bestimmt. Eine präzise Berechnung dieser Nachheiz-Energie ist sehr komplex und schwierig in ein statisches Modell einzubinden, weil die Energiemenge stark vom Zapfprofil und vom Inhalt des entsprechenden Leitungsabschnittes abhängt. Deshalb wird eine Annäherung an die wirklichen Begebenheiten durch die Berücksichtigung vom Verhältnis vom Rohrinhalt zur Zapfmenge gemacht (Gl. 5.15).

Leitungsdimension und Dämmstandard: Es werden drei Abstufungen des Wärmedämmstandards definiert für die Berechnungen. In der Abbildung 5.4 sind die Leitungskennwerte angegeben, welche für die Simulationen benutzt wurden. "mittel" entspricht den Dämmvorschriften der MuKEN, simuliert wurde mit dem Mittelwert aus dem tiefsten und dem höchsten Wert. "hoch" und "tief" können z.Bsp. für Sensitivitätsbetrachtungen benutzt werden.

	DN	d_i	α_i	d_a	λ_{St}	d_A	α_A	λ_{isol}	U_{rohr}
		[mm]	[W/m ² K]	[mm]	[W/mK]	[mm]	[W/m ² K]	[W/mK]	[W/mK]
Dämmung gemäss MuKEN, tiefster und höchster Wert	15	16.0	1000	21.3	45	81	15	0.03	0.135
						101		0.05	0.193
	20	21.6		26.9		107		0.03	0.133
						127		0.05	0.195
	25	27.2		33.7		114		0.03	0.150
						134		0.05	0.219
	32	35.9		42.2		122		0.03	0.172
						142		0.05	0.249
	40	41.8		48.3		148		0.03	0.164
						168		0.05	0.244
Dämmstandard "tief"	50	53.0		60.3		160		0.03	0.188
						180		0.05	0.277
	15	16.0	1000	21.3	45	61	15	0.04	0.219
	20	21.6		26.9		87		0.04	0.203
	25	27.2		33.7		94		0.04	0.231
	32	35.9		42.2		102		0.04	0.268
Dämmstandard "hoch"	40	41.8		48.3		128		0.04	0.247
	50	53		60.3		140		0.04	0.285
	15	16.0	1000	21.3	45	101	15	0.03	0.118
	20	21.6		26.9		127		0.03	0.119
	25	27.2		33.7		134		0.03	0.133
	32	35.9		42.2		142		0.03	0.152
	40	41.8		48.3		168		0.03	0.148
	50	53		60.3		180		0.03	0.169

Abbildung 5.4 Leitungsspezifikationen für die warmgehaltene Verteilung

Q_{v.sp}: Speicherverluste

Auch bei den Speicherverlusten wird berücksichtigt, ob sie heizungswirksam sind, abhängig von der Lage bezüglich des Dämmperimeters. Das Modell ermöglicht die Berechnung der Verluste von einem oder mehreren Speichern. Die Speicher werden über den Inhalt, die maximale Speicherhöhe, die Dämmstärke und deren Wärmeleitungskoeffizienten bestimmt. Zudem können die Verluste mittels "warmen Speicheranschlüssen" und des Ladungstyps beeinflusst werden. Die Methode wird hier in Definitionsteil beschrieben, weil für alle Nutzungen dieselbe Berechnung angewendet wird:

Die Berechnungsmethode geschieht in zwei einfach nachvollziehbaren Schritten:

1. Berechnung der Verluste des voll aufgeheizten Speichers

Zuerst werden die Transmissions-Verluste für einen mit T_{WW} gefüllten Speicher pro 24h mit den Eingaben T_{WW} , Speichervolumen, Speicher-Umgebungstemperatur, Wärmedämmstärke- und -Leitfähigkeit und der Anzahl "warmer" Anschlüsse berechnet. Als warme Anschlüsse gelten im Prinzip jene, die am Mantel oder Deckel des Speichers angebracht sind. Für die Speichergeometrie wird vereinfachend von einem Zylinder mit typischen Verhältnissen ausgegangen, damit der Benutzer mit dem Volumen arbeiten kann und sich nicht um Höhe und Durchmesser kümmern muss. Als Grundlage wird ein Verhältnis der Höhe zum Durchmesser von 3 zu 1 angenommen mit der Einschränkung der Maximalhöhe, die vorgegeben werden kann.

Die Speicherverluste des voll aufgeheizten Speichers werden mit folgender Formel berechnet:

$$Q_{V,Sp.100} = (u_{Mantel} \cdot h + 2 \cdot u_{Deckel} \cdot A_{Deckel} + a \cdot b) \cdot (T_{WW} - T_{Umg.Sp}) \cdot 24/1000 \text{ (Gl. 5.6)}$$

$Q_{V,Sp.100}$ [kWh/24h]

U_{mantel} [W/mK] : U-Wert für einen Zylinder, Berechnung mit der Gleichung des Wärmedurchgangs durch eine Rohrwand

$$U_{Mantel} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i \cdot d_i} + \frac{1}{\alpha_a \cdot d_a} + \frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_d}{d_i}}$$

$\alpha_i \cong 1000 \text{ W/m}^2\text{K}$: Wärmeübergangskoeffizient zwischen Speichermantel und Dämmung

$\alpha_a \cong 15 \text{ W/m}^2\text{K}$: Wärmeübergangskoeffizient aussen am Speicher

d_i/d_a [m] : Mantel-Innen/aussen-Durchmesser

$\lambda =$ [W/mK] : Wärmeleitfähigkeit des Isolationsmaterials

h [m] : Speicherhöhe (Zylinder-Mantellänge inkl. einfache Dämmstärke)

U_{Deckel} [W/m²K] : U-Wert für Flächen

$$U_{Deckel} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{d}{\lambda}}$$

d [m] : Dämmstärke des Isolationsmaterials

A_{Deckel} [m²] : Fläche des Zylinderdeckels mit Mantel-Aussendurchmesser

a [-] : Anzahl "warme" Anschlüsse

b [W/K] : Verlustbeiwert im Bereich von 0.0...1.0 (siehe Abb. 5.20)

Abbildung 5.5 zeigt die Verlustkurven für 6 verschiedene Dämmkonfigurationen.

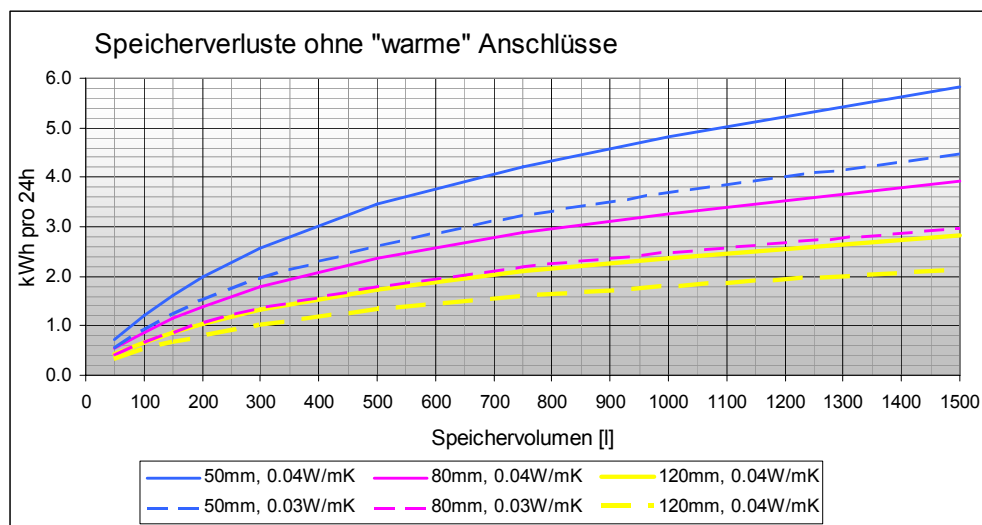


Abbildung 5.5 Speicherverluste mit verschiedenen Dämmstandards

Als Verlustbeiwerte b für warme Speicheranschlüsse verwendet POLYSUN [15] bei einem Kombispeicher als Standardwerte folgende Beziehungen:

Anschlusstyp	Verlustbeiwert [W/K]
Kessel-Vor/Rücklauf	0.20
Kaltwassereintritt, Warmwasseraustritt	0.40
Heizungs-Vor/Rücklauf	0.20
Flansch	0.30

Abbildung 5.6 Standard-Verlustbeiwerte für warme Speicheranschlüsse

2. Korrektur der Speicherverluste anhand der Lademethode und dem Verhältnis Speichergroße zum Verbrauch

Aufgrund der Lademethode und dem Verhältnis vom Verbrauch zur Speichergroße wird mit einer Korrekturfunktion berücksichtigt, dass die Durchschnittstemperatur im Speicher über die 24h nicht der WW-Temperatur entspricht. Es werden drei Typen von Lademethoden diskutiert:

- **Rohr-Register**, welches vom Ladeprinzip dem **Elektro-Heizeinsatz** entspricht
- **Magroladung**: Mit einem externen Wärmetauscher wird das Wasser direkt auf Nutztemperatur erwärmt und oben im Speicher eingespeist.
- **Stufenladung** Diese Ladung verwendet auch einen externen Wärmetauscher, mit dem aber nicht oben im Speicher, sondern im unteren Bereich eingespeist wird. Für Wärmepumpen ist es sinnvoll, solange wie möglich tiefe Temperaturen zu fahren, die Temperatur wird also "stufenweise" hochgefahren.

Ein wesentlicher Unterschied dieser Methoden zeigt sich darin, dass die Magro-Ladung gegenüber den anderen beiden weniger Bereitschaftsvolumen benötigt. Dieser Unterschied wird mit folgendem Modell berücksichtigt:

$$Q_{V.Sp} = Q_{V.Sp.min} + \left[\frac{Q_{V.Sp.100} - Q_{V.Sp.min}}{1 + x} \right] \quad (\text{Gl. 5.7})$$

x ist das Verhältnis des totalen Speichervolumens (Summe der Volumina bei Mehrspeicheranlagen) zum Tages-Verbrauch. Der Tagesverbrauch wird aus den vorher berechneten Grössen Q_{WW} , $Q_{V.vert.k}$, $Q_{V.verteiler}$, $Q_{V.vert.w}$ und $Q_{V.Sp.100}$ berechnet.

$$x = \frac{V_{Sp}}{Q_{WW} + \sum Q_V} \cdot \frac{\rho \cdot c_p \cdot (T_{WW} - 10^\circ\text{C})}{1}$$

$$Q_{V.Sp.min} = \begin{cases} 0.333 \cdot Q_{V.Sp.100} & \text{für MAGRO - Ladung} \\ 0.5 \cdot Q_{V.Sp.100} & \text{für REGISTER - und STUFEN - Ladung} \end{cases}$$

Bildlich gesprochen heisst das in etwa, dass der Temperaturfühler, der die Ladung startet, beim internen Rohr-Register auf halber Höhe des Speichers eingebaut ist, während jener bei der Magroladung auf zwei Drittel der Höhe sitzt. Abbildung 5.7 zeigt die besprochene Abhängigkeit grafisch.

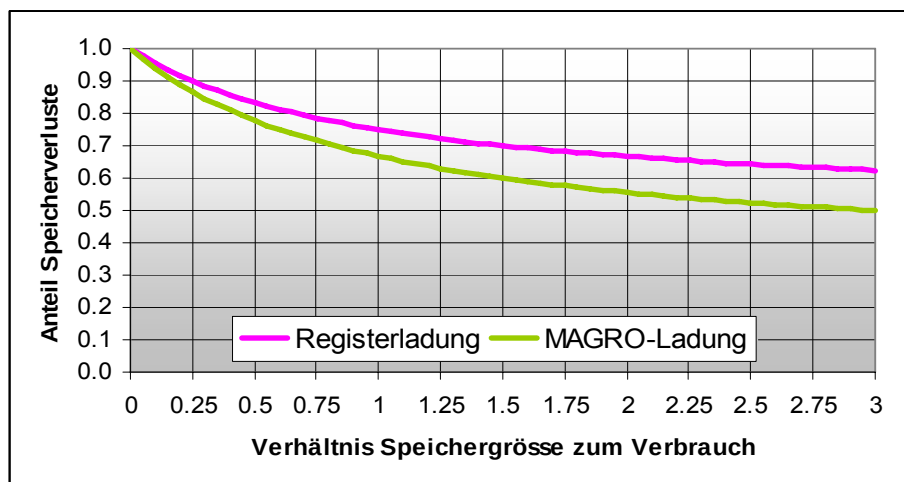


Abbildung 5.7 Speicherverluste in Funktion vom Verhältnis Speichergrosse zu Verbrauch für verschiedene Ladeschaltungen

$Q_{an.Sp}$: Energie an Speicher

Diese systeminterne Bilanzgrösse definiert die Energiemenge, welche dem Speicher abgegeben werden muss.

$Q_{V.Erz}$: Erzeugerverluste

Dies sind die bei der Wärmeerzeugung verursachten Energieverluste. Es wird unterschieden zwischen Verlusten innerhalb oder ausserhalb des Wärmedämmperimeters. Bei Feuerungsanlagen innerhalb des Dämmperimeters werden als Annäherung nur die Hälfte der Verluste als

heizungswirksam gerechnet, weil die Abgasverluste auf jeden Fall verloren gehen. Für die Umwandlung von der Endenergie in die Energie, die den Speicher aufheizt, wird die Nutzungsgradtabelle vom MINERGIE-Nachweis verwendet.

Q_{V,H}: Heizungswirksame Verluste

Die Verluste, welche innerhalb des Wärmedämmperimeters entstehen, werden bilanziert und können als heizungswirksame Verluste in sia 380/1 bilanziert werden.

E_{fossil} Endenergie, Systeminput aus fossilen Brennstoffen

E_{el} Elektrische Energie, Systeminput

E_{el,ZP} Elektrische Energie für die Zirkulationspumpe

E_{el,WHB} Elektrische Energie für das Warmhalteband

Q_{ren} Wärmeinput aus erneuerbaren Energiequellen

E_g gewichteter Endenergieinput

T_{ww} Warmwassertemperatur, auf welche der Speicher aufgeheizt wird. Das Temperaturniveau beeinflusst die Energieverluste und die Menge der Nutzenergie. Signifikante Abhängigkeiten werden im Rechnungsmodell berücksichtigt.

5.3. Statisches Energie-Bilanzierungsmodell für Wohnbauten

Die folgenden Unterkapitel 5.3.1 bis 5.3.5 behandeln die Berechnungen der einzelnen Funktionselemente gemäss dem Prozess- und Energieflussschema in Abbildung 5.1 für die Nutzung „Wohnen“.

5.3.1. Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen

Am Objekt werden alle Zapfstellen mit den entsprechenden Anschlussleitungen positionsweise aufgenommen. Daraus werden Q_{WW} und Q_{V,vert,k} mit dem entsprechenden Anteil heizungswirksamer Verluste berechnet. Abbildungen 5.8 und 5.9 zeigen das Beispiel einer Tabelle mit den entsprechenden Eingabe- und den Resultatfeldern.

EINGABE											
Pos.	Whg.-Nr.	Beschreibung	Länge	Lei- tungs- Typ	Dimen- sion	Zapfungs- Typ	Wohnungs- typ	Lage bezüglich Dämm- perimeter	Küche: Geschirrspül- maschine mit KW- Anschluss	Wohnung: Wasch- maschine mit WW- Anschluss	Einsatz Spar- armaturen
			[m]								
1	1	Whg1: Küche EG	6.0	Pex	DN15	1/2 Küche	kleine Whg.	innen	nein	nein	Neutral nur KW
2	1	Whg1: Küche EG	4.0	Pex	DN15	1/2 Küche	kleine Whg.	innen	nein	nein	Neutral nur KW
3	1	Whg1: Bad EG	2.5	Pex	DN15	Bad	kleine Whg.	innen	nein	nein	ohne
4	1	Whg1: Lavabo 1 EG	8.5	Pex	DN15	1/2 Lavabo	kleine Whg.	innen	nein	nein	Neutral nur KW
5	1	Whg1: Dusche EG	9.5	Pex	DN15	Dusche	kleine Whg.	innen	nein	nein	ohne
6	1	Whg1: Lavabo 2 EG	1.0	Pex	DN15	1/2 Lavabo	kleine Whg.	innen	nein	nein	Neutral nur KW

Abbildung 5.8 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der Zapfstellen für Wohnnutzung

RESULTATE									
Pos.	Whg.-Nr.	Beschreibung	$Q_{V,vert.k}$	Anteil heizungs-wirksam	Zapfmenge Bad/Dusch	Zapfmenge Küche	Zapfmenge Lavabo	Zapfmenge Wohnung	Q_{ww}
			[kWh/w]	[kWh/w]	[l/w]	[l/w]	[l/w]	[l/w]	[kWh/w]
1	1	Whg1: Küche EG	2.6	2.6		47.2			2.7
2	1	Whg1: Küche EG	1.7	1.7		47.2			2.7
3	1	Whg1: Bad EG	0.0	0.0	45.0				2.6
4	1	Whg1: Lavabo 1 EG	2.4	2.4			38.8		2.3
5	1	Whg1: Dusche EG	1.2	1.2	190.0				11.0
6	1	Whg1: Lavabo 2 EG	0.3	0.3			38.8		2.3

Abbildung 5.9 Resultatfelder der Berechnung der Zapfmengen, der Nutzenergie und der Verluste von Anschlussleitungen

Die **Nutzenergie** Q_{WW0} und die **effektive Nutzenergie** Q_{WW} berechnen sich aus der bilanzierten Nutz-Warmwassermenge m_n nach Gleichung 5.8 bzw. 5.9.

$$Q_{WW0} = c_p \cdot (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.8})$$

$$Q_{WW} = c_p \cdot (T_{WW} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.9})$$

Q_{WW0} [kWh/w] : wöchentliche Nutzenergie für 60°C warmes Wasser

Q_{WW} [kWh/w] : wöchentliche Nutzenergie für Wasser mit T_{WW} .

m_n [kg/w] wird aufgrund der am Objekt gezählten Zapfstellen bilanziert, mit zusätzlicher Berücksichtigung von Spararmaturen und Geschirrspühl und Waschmaschine gemäss den Gleichungen 5.10 und 5.11 und den folgenden Beschrieben.

$$m_n = \sum_i m_{zi} \quad (\text{Gl. 5.10})$$

$$m_z = (m_z(\text{Zapfung-; Wohnungs-Typ}) \cdot k_{\text{Spararmaturen}} - 7 \cdot r_{\text{Geschirrspühler}} + 7 \cdot r_{\text{Waschmaschine}}) \quad (\text{Gl. 5.11})$$

Die **Wärmeverluste einer Anschlussleitung** werden mit einer linearen Beziehung zur Leitungslänge berechnet. Die Verlustfaktoren wurden für alle Fälle mit Simulationen ermittelt.

$$q_{V,vert.k} = a_k \cdot l \quad (\text{Gl. 5.12})$$

$q_{V,vert.k}$ [kWh/w] : Wärmeverlust einer Anschlussleitung pro Woche

a_k [kWh/wm] : Wärmeverlustfaktor für Leitungstyp, Wohnungstyp, Zapfprofiltyp gemäss Abbildung 5.10

l [m] : Leitungslänge

		Verlustfaktoren a_k [kWh/wm] pro Leitungstyp											
		DN12				DN15				DN20			
	Zapftyp	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4
Grosse Wohnung	Dusche/Bad	0.29	0.23	0.20	0.22	0.47	0.39	0.36	0.38	0.77	0.68	0.54	0.66
	Dusche	0.26	0.20	0.18	0.20	0.42	0.35	0.32	0.34	0.69	0.61	0.49	0.59
	Bad	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.08	0.07	0.07	0.07
	Küche	0.90	0.71	0.52	0.67	1.49	1.10	0.71	1.02	2.37	1.73	0.96	1.48
	1/2Küche	0.47	0.41	0.37	0.41	0.81	0.72	0.58	0.69	1.36	1.21	0.82	1.11
	Lavabo	0.62	0.54	0.43	0.53	1.01	0.88	0.63	0.82	1.72	1.41	0.97	1.24
	1/2Lavabo	0.32	0.31	0.26	0.30	0.54	0.50	0.43	0.46	0.98	0.84	0.71	0.80
Durchschnitts-Wohnung	Dusche/Bad	0.14	0.11	0.10	0.11	0.24	0.20	0.19	0.20	0.38	0.35	0.33	0.34
	Dusche	0.12	0.10	0.09	0.10	0.20	0.18	0.17	0.17	0.33	0.31	0.29	0.30
	Bad	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04
	Küche	0.71	0.62	0.50	0.58	1.17	0.97	0.77	0.93	2.00	1.61	0.91	1.47
	1/2Küche	0.36	0.34	0.33	0.34	0.61	0.59	0.55	0.58	1.09	1.07	0.75	1.07
	Lavabo	0.50	0.40	0.33	0.39	0.82	0.67	0.47	0.63	1.28	1.08	0.73	0.89
	1/2Lavabo	0.23	0.22	0.21	0.22	0.38	0.37	0.34	0.37	0.69	0.65	0.56	0.63
Kleine Wohnung	Dusche/Bad	0.08	0.06	0.06	0.06	0.13	0.11	0.11	0.11	0.21	0.19	0.18	0.18
	Dusche	0.07	0.05	0.05	0.05	0.12	0.10	0.09	0.10	0.18	0.16	0.16	0.16
	Bad	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
	Küche	0.36	0.34	0.27	0.31	0.56	0.49	0.42	0.47	0.77	0.68	0.53	0.66
	1/2Küche	0.16	0.16	0.15	0.16	0.26	0.26	0.26	0.26	0.40	0.40	0.34	0.39
	Lavabo	0.27	0.24	0.20	0.24	0.43	0.40	0.31	0.38	0.63	0.59	0.45	0.54
	1/2Lavabo	0.15	0.15	0.14	0.15	0.23	0.22	0.22	0.22	0.38	0.38	0.34	0.37

Abbildung 5.10 Wärme-Verlustfaktoren von Anschlussleitungen für Wohnnutzung

Als **Leitungstypen und Dimensionen** stehen die vier im Kap. 5.2.4 beschriebenen Systeme mit je drei Dimensionen zur Verfügung.

Als **Zapfungstypen** kommen die in Kapitel 4.2 definierten Profile zur Anwendung. Es sind 7 Typen für Bad/Dusche, Dusche und Bad separat, Küche und ½ Küche, Lavabo und ½ Lavabo.

Beim **Wohnungstyp** kann zwischen den drei Varianten "Kleine Wohnung", "Durchschnittswohnung und "Grosse Wohnung" gewählt werden. Abbildung 5.11 zeigt die Zuordnung zur Wohnungsgrösse.

Wohnungstyp	Beschreibung	Grösse
"Kleine Wohnung"	typische Ein-oder Zweipersonenhaushalte	1Zi ... 2½Zi
"Durchschnitts-wohnung"	typische Familienwohnung bis 4 Personen mit durchschnittlichem Verbrauch	3Zi ... 4½Zi
"Grosse Wohnung"	Familienwohnungen mit überdurchschnittlichem Verbrauch, Wohngemeinschaften	ab 5Zi

Abbildung 5.11 standardisierte Zuordnung vom Wohnungstyp zur Wohnungsgrösse

Behandlung mehrerer Zapfstellen gleichen Typs in derselben Wohnung: Vor allem in grösseren Wohnungen ist es nicht untypisch, dass z.Bsp. mehrere Lavabos Warmwasseranschluss haben. Die Nutzenergie wird entsprechend dem Zapfprofil für ein Lavabo ermittelt. Für die Verluste der

Anschlussleitungen wird folgende Festlegung gemacht: Jedes Lavabo oder - wenn vorhanden- jeder Küchenanschluss wird mit Verlusten gerechnet, die den halbierten Zapfprofilen entsprechen.

Energieanteil im Dämmperimeter: Es wird angenommen, dass die für die Heizung frei werdende Wärme dem $Q_{V,vert.k}$ entspricht, wenn die entsprechende Anschlussleitung innerhalb des Dämmperimeters liegt.

Geschirrspülmaschine mit Kaltwasseranschluss → Reduktion der Zapf-Menge in der Küche : Es wird davon ausgegangen, dass eine Geschirrspülmaschine mit KW-Anschluss eine Reduktion des WW-Konsums im Küchen-Zapfprofil bewirkt. Die Verluste der Anschlussleitung werden jedoch nicht reduziert, weil die Anzahl der Zapfungen auch bei vermindertem Verbrauch nicht erheblich zurückgeht. Für die angenommene Verbrauchsreduktion wird eine Abschätzung gemacht. Die Vorgabe von 0.7kWh pro Waschgang für WW wird der Studie von Jürg Nipkow und Eric Bush [16] entnommen. Der Mengenbedarf wird aus sia 380/4 "Standardnutzungswerte für den Haushaltgerätebetrieb" sinngemäss abgeleitet.

Wohnungstyp	Waschgänge pro Jahr	Zusätzliche Energie für WW	Mengenreduktion $r_{\text{Geschirrspüler}}$
"Kleine Wohnung"	150	0.29kWh/d	5l/d
"Durchschnitts-Wohnung"	225	0.43kWh/d	7.5l/d
"Grosse Wohnung"	300	0.58kWh/d	10l/d

Abbildung 5.12 Reduktion der Küchen-Zapfmenge beim Einsatz von Geschirrspüern.

Waschmaschine mit Warmwasseranschluss → Erhöhung der Zapf-Menge pro Wohnung: Gemäss derselben Studie [16] liegt der Energiebedarf vom Warmwasser beim Anschluss an eine Waschmaschine im Bereich von 0.5 bis 0.9kWh pro 5kg-Waschgang. Der Mengenbedarf wird aus sia 380/4 "Standardnutzungswerte für den Haushaltgerätebetrieb" sinngemäss abgeleitet. Abbildung 5.13 zeigt die entsprechende Umrechnung auf Zapfmengen.

Wohnungstyp	Jährliche Wäschemenge	Zusätzliche Energie für WW	Zusätzliche Zapf-Mengen $r_{\text{Waschmaschine}}$
"Kleine Wohnung"	365kg (1kg/d)	0.07kWh/d	1.2l/d
"Durchschnitts-Wohnung"	913kg (2.5kg/d)	0.175kWh/d	3.0l/d
"Grosse Wohnung"	1460kg (4kg/d)	0.28kWh/d	4.8l/d

Abbildung 5.13 Erhöhung der Zapfmengen pro Wohnung beim WW-Anschluss von Waschmaschinen.

Spararmaturen und "Grossverbrauchs"-Armaturen:

Der Einsatz von Spararmaturen wird wie folgt berücksichtigt:

- Beim Zapfprofil **Bad/Dusche** wird kein Spareffekt angenommen. Beim Bad hängt die Energiemenge nicht von der Armatur ab und die heute handelsüblichen Duschbrausen liegen mit einem Durchfluss von 12l/min oder weniger alle im Bereich des GEEA-Labels für Warmwasserarmaturen.

- Bei den Zapfprofilen **Küche und Lavabo** wird ein Spareffekt mittels eines Reduktionsfaktors bezüglich der Verbrauchsmenge berücksichtigt beim Einsatz gewisser Armaturen, wie in Abbildung 5.14 dargestellt. Die Ausstossverluste bleiben gleich, die Reduktion beeinflusst also nur die Nutzenergie.

Beschrieb der Armatur	Einsatzort (Kü, La)	Reduktionsfaktor $k_{\text{Spararmaturen}}$
Einhebelmischer, die in Neutralstellung nur Kaltwasser liefern (Druckpunkt)	Kü, La	0.8
Einhebelmischer mit Neutralstellungs- und Mengen-Bremse (Druckpunkt)	Kü, La	0.7
Einschraub-Durchflussbegrenzer werden nicht berücksichtigt. Ihr Einsatz ist aus regelungs-technischer Sicht problematisch. Die Mengenreduktion sollte vor oder am Ventil selbst vorgenommen werden.	-	-

Abbildung 5.14 Reduktionsfaktoren für Spararmaturen

Im Gegensatz zu Spararmaturen gibt es auch relativ neue Formen von "Komfort"-Duscheinrichtungen mit sehr viel Wasserverbrauch (Der Körper wird von allen Seiten gleichzeitig bebraust). Diese werden natürlich bezüglich Energieverhalten als nicht sinnvoll eingestuft. Deren Marktverbreitung ist beschränkt, es findet keine konkrete Umsetzung im Rechenmodell statt.

5.3.2. Berechnung von Verlusten des Verteilers

Der Verteiler umschreibt das geometrisch komplexe Gebilde mit der Verteilerzuleitung und den Abgängen der einzelnen Zapfleitungen. Als typisches Beispiel kann man sich einen Wohnungsverteiler denken, dessen Zuleitung von einer Steigzone abgezweigt wird und der mit einer Absperrung und einem Wärmezähler bestückt ist. In der Praxis kann es sein, dass diese Verteiler bewusst so angeschlossen werden, dass sie immer auf "Betriebs-temperatur" bleiben durch rohrinterne Zirkulation in den Anschlussleitungen. Diese Temperatur ist dann abhängig von der Temperatur der warmgehaltenen Verteilung. Andererseits kann ein Verteiler durch Siphonierung der Anschlussleitung absichtlich so angeschlossen werden, dass er auskühlt, wenn kein Warmwasser gezapft wird. Der Verteiler wird durch folgende Parameter beschrieben, die in der Eingabe- und Berechnungstabelle in Abbildung 5.15 eingetragen sind:

- Verteiler mit Auskühlung oder dauernd warmgehalten
- Anschlussleitung DN20 mit der Länge x : Wird der Verteiler warmgehalten, dann gelten für die Verlustberechnung die Abhängigkeiten der warmgehaltenen Verteilung, sonst jene der Anschlussleitung für ein den Abgängen entsprechendes komplettes Zapfprofil.
- Leitungstyp: Es stehen die von der Anschlussleitung bekannten Typen 1 bis 3 mit DN 20 zur Verfügung
- Anzahl Verteilerabgänge: Diese werden pro Abgang mit einem Verlustbeiwert für den Verteiler mit Auskühlung oder dauernd warmgehalten berechnet. Bei der Variante mit Auskühlung wird die

Anordnung der Abgänge vernachlässigt, welche in der Praxis optimiert werden kann, indem die oft gezapften Abgänge zuerst kommen.

- Entsprechend den Verteilerabgängen werden die Existenz einer Absperrarmatur und/oder eines Wärmezählers behandelt.
- Der ganze Energieverlust liegt entweder innerhalb oder ausserhalb des Wärmedämmperimeters mit entsprechender heizungswirksamer Energiemenge
- Der Verteiler kann in ungedämmter oder wärmegeämmter Ausführung gerechnet werden

EINGABE Verteiler										RESULTATE	
Pos.	Beschreibung	wird warm gehalten	Länge der Anschlussleitung	Leitungstyp	Anzahl Verteilerabgänge	Absperrarmatur	Wärmezähler	Lage bezüglich Dämmperimeter	Ausführung wärmegeämmt	$Q_{V, Abox}$	Anteil heizungswirksam
			[m]		[-]					[kWh/w]	[kWh/w]
1	EG Bäder	ja	1	isoliert	4	ja	ja	ausser	nein	7.8	
2	1.OG Bäder	ja	1	unisoliert	4	ja	nein	innen	ja	3.0	3.0
3	3.OG Bäder	nein	2	Schutzrohr	4	ja	ja	ausser	nein	4.6	
4	4.OG Bäder	nein	2	isoliert	4	ja	nein	innen	nein	3.7	3.7
5											
n											
Total										19.1	6.7

Abbildung 5.15 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der Anschlussbox

Die Energieverluste des Verteilers werden aufgrund vernünftiger Annahmen mit der Gleichung 5.13 berechnet. Sie wurden mit Trnsys nur rudimentär simuliert. Das Arbeitsteam schlägt vor, zur Verifikation solcher Verluste eine Labor-Messreihe durchzuführen, zum Beispiel im Rahmen einer Studien- oder Diplomarbeit an der HTA.

$$Q_{V, Verteiler} = \left[a_k \cdot l + (m \cdot p_{VAbgang} + n \cdot p_{VArmatur}) \cdot 24 \cdot 7 / 1000 \right] \cdot k_{Auskühlung} \cdot k_{Dämmung}$$

(Gl. 5.13)

$Q_{V, Verteiler}$ [kWh/w]: Wärmeverluste des Verteilers pro Woche
 a_k [kWh/wm]: Wärmeverlustfaktor gemäss Abbildung 5.16 Die angegebenen Werte entsprechen den Verlustfaktoren für das komplette Zapfprofil einer Durchschnittswohnung

	a_k [kWh/wm]
Anschlussleitung unisoliert	1.7
Anschlussleitung im Schutzrohr	1.3
Anschlussleitung isoliert	1.1

Abbildung 5.16 Wärmeverlustfaktoren für die Anschlussleitung des Verteilers

l [m] : Länge der Anschlussleitung an den Verteiler

m [-] : Anzahl Abgänge

n [-] : Anzahl Armaturen (Absperrhahnen oder Mengenzähler)

$p_{VAbgang}=2.5W$: Verlustleistung pro Abgang, entspricht der Konvektionsströmung eines Rohrabschnittes von ca. 50mm Länge und 50mm Durchmesser bei einem Delta T von 60°C zu 20°C.

$p_{VArmatur}=6W$: Verlustleistung pro Armatur (Kugelhahnen, Wärmezähler), entspricht der Konvektionsströmung eines Rohrabschnittes



von ca. 80mm Länge und 80mm Durchmesser bei einer Temperaturdifferenz von 60°C zu 20°C

$$k_{\text{Auskühlung}} [-] : \begin{cases} = 1, \text{ wenn der Verteiler warm gehalten wird} \\ = 0.3, \text{ wenn der Verteiler auskühlt} \end{cases}$$

$$k_{\text{Dämmung}} [-] : \begin{cases} = 1, \text{ wenn der Verteiler nicht wärme – gedämmt ist} \\ = 0.25, \text{ wenn der Verteiler wärme – gedämmt ist} \end{cases}$$

5.3.3. Verlust-Berechnung der warmgehaltenen Verteilung

Wenn eine warmgehaltene Verteilung vorhanden ist, wird sie spezifiziert und in Leitungsabschnitten gleicher Dimension aufgenommen. Daraus resultieren je nach Systemwahl die Grössen $E_{\text{el.WHB}}$, $E_{\text{el.ZP}}$ und $Q_{\text{V.vert.w}}$ sowie der entsprechende Anteil heizungswirksamer Verluste. Während bei den Zirkulationssystemen die Energieverluste durch Wärme aus dem Speicher gedeckt werden, wird beim Warmhalteband oder bei einer Zirkulationsnachheizung zusätzliche Energie eingespiessen. Die Zirkulationsnachheizung ist eine Spezialanwendung und wird deshalb im Rechnungsmodell nicht behandelt.

Abbildung 5.17 zeigt eine Eingabe- und Berechnungstabelle für die warmgehaltene Verteilung

Pos.	Beschreibung	EINGABE						RESULTATE			
		Zirkulations- typ	Länge	DN	Dämm- Standard	Lage bezüglich Dämm- perimeter	Gleichzeitig- keit des Zapfprofils	$Q_{\text{V.vert.w}}$	$E_{\text{el.ZP}}$	$E_{\text{el.WHB}}$	Anteil heizungs- wirksam
			[m]	[mm]				[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]
1	Strang UG gemeinsam	Zirkulation	11	25	tief	aussen	bis 5 Whg.	39.7	4.2		
2	Strang UG SW	Warmhb.60	17	15	mittel	aussen	bis 5 Whg.	1.3		17.6	
3	Steigleitung SW	RaR	4	15	hoch	innen	bis 5 Whg.	3.6	4.2		4
4	Steigleitung Mitte	RaR	15	20	mittel	innen	bis 5 Whg.	16.4	4.2		16
5											
n											
Total								58.94	4.20	17.56	20.05

Abbildung 5.17 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der warmgehaltenen Verteilung

Die Zirkulationstypen sind im Kapitel 5.2.4 bei der Definition von $Q_{\text{V.vert.w}}$ erklärt

Leitungsdimension und Dämmstandard sind im Kap. 5.2.4 beschrieben.

Lage bezüglich dem Dämmperimeter

Abhängig von der Lage bezüglich des Dämmperimeters werden die Verluste der Verteilungen bzw. der Zirkulationsleitungen gegenüber einer Umgebungstemperatur von 20°C bzw. 10°C gerechnet, gemäss den Gleichungen 5.14 und 5.15.

Gleichzeitigkeit der Zapfprofile:

Sowohl die Wärmeverluste wie die nötige Menge Nachheizenergie werden vom Zapfprofil mitbeeinflusst. Bei der Zirkulation wird die durchschnittliche Temperatur in der Verteilung mehr oder weniger abgesenkt, für das Warmhalteband gilt dagegen: je mehr Energie durch die Zapfungen eingebracht wird, desto weniger muss das WHB nachgeheizt werden. Das

Modell stellt bei der Wohnnutzung zwei (oder drei, noch in Bearbeitung) Profiltypen zur Verfügung, entsprechend einer Wohnung oder mehrerer Wohnungen. Die Simulationen haben gezeigt, dass eine feinere Auflösung nicht nötig ist.

Armaturen

Es wird davon ausgegangen, dass in der warmgehaltenen Verteilung praktisch keine Armaturen wie Schieber oder Abgleichorgane eingebaut werden, das entsprechende Leitungssystem also durchgehend wärme-gedämmt werden kann.

Die Berechnung

Die Verluste in der warmgehaltenen Verteilung werden nach folgender Formel berechnet:

$$Q_{V,vert.w} = k_{T_{Um}} \cdot \left(\sum_i a_{ki} \cdot l_i + \sum_j a_{zj} \cdot l_j + \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \right) + Q_{V,ZP} \quad (\text{Gl. 5.14})$$

$Q_{V,vert.w}$ [kWh/w]: Gesamtverluste der warmen Verteilung pro Woche

$$k_{T_{Um}} = \begin{cases} = 1, & \text{wenn Leitung innerhalb Dämm - Perimeter} \\ = 1.25, & \text{wenn Leitung ausserhalb Dämm - Perimeter} \end{cases}$$

Die Verlustberechnungen wurden mit einer Umgebungs-temperatur von 20°C simuliert, deshalb ist $k_{T_{Um}}=1$, wenn die Leitungen innerhalb des Dämmperimeters liegen. Der andere Fall $k_{T_{Um}}=1.25$ ist eine Annäherung, er entspricht der Leitungsführung in einer Umgebung mit einer Jahresdurchschnitts-Temperatur um 10°C.

a_{ki} [kWh/wm] : Wärmeverlustfaktoren der Verteilungen. Sie sind abhängig von der Leitungsdimension, dem Dämmstandard und von verschiedenen Gleichzeitigkeiten gemäss Abbildung 5.18.

a_{zj} [kWh/wm] : Wärmeverlustfaktoren der Zirkulationsleitung. Sie sind abhängig von der Leitungsdimension und vom Dämmstandard gemäss Abbildung 5.19. Die verschiedenen Gleichzeitigkeiten in der Verteilung haben in der Zirkulationsleitung keinen Einfluss, wenn die Zirkulation immer in Betrieb ist. Die a_{zj} sind etwas kleiner als die a_{ki} , weil die Durchschnitts-Temperatur in der Zirkulationsleitung etwas tiefer ist (per Definition 55°C).

a_{WHBk} [kWh/wm] : Wärmeverlustfaktoren der Leitung mit Warmhalteband. Weil die Leitung per Definition auf 60°C gehalten wird wie beim Zirkulationssystem, sind die a_{WHBk} gleich den a_{ki} gemäss Abbildung 5.18. Die verschiedenen Gleichzeitigkeiten von Zapfungen in der Verteilung beeinflussen zwar die nötige elektrische Energie, um das Rohr nachzuheizen, nicht aber die Verluste.

$l_{i,j,k}$ [m] : Länge einzelner Leitungsabschnitte der warmen Verteilung bzw. der Zirkulationsleitung oder der Leitung mit Warmhalteband.

$$Q_{V,ZP} = E_{el,ZP} \text{ [kWh/w]} : \begin{cases} = 0, & \text{wenn Systemwahl WHB} \\ = 0.05 \text{ kW} \cdot b_{ZP} & \text{für } DN \geq 40, \text{ sonst } 0.025 \text{ kW} \cdot b_{ZP} \end{cases}$$

Im Kapitel 5.2.4 wurde bereit erläutert, dass der Input an elektrischer Energie für die Zirkulationspumpe als Verluste der warmgehaltenen Verteilung definiert wird und dass damit gewisse Fehler in Kauf genommen werden. Mit dieser Massnahme wird erreicht, dass die Energiebilanz-Gleichungen aufgehen.

b_{ZP} [h] : Bei der Wohnnutzung werden die Warmhaltesysteme dauernd, also 168h pro Woche betrieben. Spezialfälle bilden Einfamilienhäuser, allenfalls Zweifamilienhäuser, wo unter den Bewohnern ein Konsens besteht für gewisse abschaltbare Zeitblöcke. Der Normalfall, der hier abgebildet wird, ist jedoch die volle Betriebszeit, einerseits um vollen Komfort zu gewährleisten, andererseits um unnötige Ausstossmengen zu verhindern.

Die Nachheiz-Energie des Warmhaltebandes wird nach folgender Formel berechnet:

$$E_{el,WHB} = k_{T_{Umg}} \cdot \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \cdot k_{red} \quad (\text{Gl. 5. 15})$$

$E_{el,WHB}$ [kWh/w]: Nachheiz-Energie des Warmhaltebandes. Diese Energie wird hinter dem Speicher ins System eingespiesen. Der Eintrag dieser Energie hat zur Folge, dass entsprechend weniger an den Speicher abgegeben werden muss (s. Gl. 5.16).

k_{red} [-] : Dieser Reduktionsfaktor wird gebildet als Funktion des Leitungsinhaltes vom betroffenen Abschnitt zur Zapfmenge in diesem Abschnitt. Die Zapfprofile können nur als Annäherung angenommen werden, weil in der Installation beliebige Kombinationen möglich sind. Die k_{red} wurden mit diversen Simulationen ermittelt. Die Herleitung ist im Kapitel 6 dokumentiert. Für die Nutzung Wohnen wird mit drei Typen von überlagerten Profilen gearbeitet für 1 Wohnung, (5 Wohnungen und 10 Wohnungen, noch in Arbeit).

Die Wärmeverlust- und Energieverbrauchs-Faktoren

Die folgenden Tabellen 5.18 und 5.19 enthalten die Verlustfaktoren a_k , a_z und a_{WHB} .

a_k und a_{WHB} [kWh/wm] für Umgebungstemperatur von 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.78	1.08	1.43
20	0.79	1.08	1.33
25	0.88	1.21	1.50
32	0.99	1.36	1.72
40	0.97	1.32	1.59
50	1.10	1.50	1.81



Abbildung 5.18 Wärmeverlustfaktoren für die warmgehaltenen Verteil-Leitungen in Wohnbauten für Zirkulationssysteme und Warmhalteband.

az [kWh/wm] für Umgebungstemperatur von 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.76	1.04	1.36
20	0.77	1.04	1.27
25	0.84	1.14	1.40
32	0.94	1.26	1.55

Abbildung 5.19 Wärmeverlustfaktoren für die Zirkulationsleitungen in Wohnbauten

Abbildung 5.20 Reduktions-Faktoren für die Berechnung der Nachheizenergie für das Warmhalteband in Wohnbauten.

5.3.4. Berechnung von Speicherverlusten

Abbildung 5.21 zeigt die Eingabe- und Resultattabelle für die Berechnung der Speicherverluste $Q_{v.sp.}$. Die Methode ist im Kapitel 5.2.4 ausführlich beschrieben.

Pos.	Speicher- volumen	Max. Speicher- höhe	Speicher- Umgebungs- temperatur	Wärme- dämm- stärke	Wärmeleit- fähigkeit Dämmmaterial	Anzahl "warme" Speicher- anschlüsse	Ladetyp des Speichers	im Dämm- perimeter	$Q_{v.sp}$ bei 60°C WW- Temp.	$Q_{v.sp}$	Anteil im Dämm- perimeter
	[m ³]	[m]	[°C]	[m]	[W/mK]	[-]			[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]
1	0.8	2.5	18	0.16	0.04	3	innenl. WT	ausser	17.67	17.66	
2	0.5	2.5	18	0.16	0.04	2	externer WT	innen	1.78	1.78	1.78
3											
4											
Total									19.5	19.4	1.8

Abbildung 5.21 Tabelle für die Ermittlung der Speicherverluste

5.3.5. Berechnung der Wärmeerzeugung

Nach der Eingabe und Berechnung der Zapfstellen mit der Verteilung und der Speicheranlage ist klar, wieviel Wärme vom Erzeugersystem an die Speicheranlage abgegeben werden muss:

$$Q_{an.Sp} = Q_{WW} + Q_{V.vert.k} + Q_{Verteiler} + Q_{V.vert.w} + Q_{V.Sp} - E_{el.WHB} - E_{el.ZP} \quad (Gl. 5. 16)$$

Diese Menge kann auf verschiedene Erzeuger verteilt werden. Falls eine thermische Solaranlage betrieben werden soll, wird zuerst deren Deckungsanteil bestimmt.

Abbildung 5.22 zeigt die Eingabetabelle für die Berechnung der Inputenergie E_{Input} .

Pos	Text	Nutzungs-grad		Gewich-tung	Innerhalb Dämperimeter	Deckungs-Anteil [%]
		reine WW-Erzeugung	kombiniert mit Heizung			
1	Ölfeuerung, m./o. Wärmeverbund	85	85	1.00	Nein	
2	Ölfeuerung kondensierend	88	91	1.00	Nein	
3	Gasfeuerung, m./o. Wärmeverbund	85	85	1.00	Nein	
4	Gasfeuerung kondensierend	92	95	1.00	Ja	58%
5	Gas - Wassererwärmer	70	-	1.00	Nein	
6	Holzfeuerung, m./o. Wärmeverbund	75	75	0.50	Nein	
7	Pellets-Feuerung	85	85	0.50	Nein	
8	Abwärme (inkl. Fernwärme aus KVA, ARA, Industrie)	100	100	0.60		
9	Elektro-Wassererwärmer	90	-	2.00	Nein	
10	Wärmepumpe, Aussenluft monovalent	230	-	2.00		
11	Wärmepumpe, Erdwärmesonde und Erdregister	270	-	2.00		0%
12	Wärmepumpe, Abwasser	k. Vorgabe	-	2.00		
13	Wärmepumpe, Oberflächengewässer, indirekt	280	-	2.00		
14	Wärmepumpe, Grundwasser, indirekt	270	-	2.00		
15	Wärmepumpe, Grundwasser, direkt	290	-	2.00		
16	Solarenergie thermisch, nur Warmwasser	100		0.00		42%
						100.0%

Abbildung 5.22 Tabelle für die Verteilung der Wärmeerzeugung

Berechnung Erträge thermischer Sonnenkollektoren

Die vorgestellte Methode errechnet den Ertrag einer Solaranlage anhand der Fläche und des Bruttowärmeertrags vom Kollektor gemäss LTS-Katalog von SPF Rappeswil. Die aus Gleichung 5.17 hervorgehende Funktion g_s wurde für verschiedene Konfigurationen mit POLYSUN-Simulationen entwickelt (siehe Kap 7). Die Funktion g_s ist von Q_{ww} abhängig. Damit sind die wichtigsten Grössen für die solare Ertragsermittlung (Kollektortyp, Absorberfläche und WW-Bedarf) in der Methode erfasst. Der so errechnete Jahresertrag Q_{gs} wird für die Monatsbilanzierung gemäss Globalstrahlungsverteilung nach Abbildung 5.23 umgerechnet.

Der Ertrag wird wie folgt berechnet :

$$Q_{gs} = g_s \cdot BWE_{40} \cdot A_{abs} \quad (\text{Gl. 5.17})$$

Q_{gs} [kWh/a] solarthermischer Ertrag für Warmwasser

$$g_s [-] = y_0 + a \cdot \frac{BWE_{40} \cdot A_{abs}}{Q_{ww} + Q_{v.i}} \quad \text{Gewinnfaktor} = f \{BWE_{40}, Q_{ww}\}$$

	y_0	a
MFH, Flachkollektor	1.3	-0.69
MFH, Vakuum-Röhrenkollektor	1.1	-0.41
EFH, Flachkollektor	1.1	-0.4
EFH, Vakuum-Röhrenkollektor	0.92	-0.22

Abbildung 5.23 Funktions-Parameter für den solarthermischen Gewinnfaktor

BWE_{40} [kWh/m²a] Bruttowärmeertrag des Kollektors für 40°C gemäss LTS-Katalog

A_{abs} [m²] Absorberfläche des Kollektors gemäss LTS-Katalog

$$Q_{v.i} = Q_{v.Vert.k} + Q_{v.Verleiter} + Q_{v.Vert.w} + Q_{v.Sp}$$

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Globalstrahlung 30° Süd	30	55	85	100	115	125	135	135	115	100	50	30	1075
Anteil am Jahrestotal	2.8%	5.1%	7.9%	9.3%	10.7%	11.6%	12.6%	12.6%	10.7%	9.3%	4.7%	2.8%	100.0%

Abbildung 5.24 Verteilung des jährlichen Solarertrages auf die Monatsbilanz

Grenzen und Korrekturmöglichkeiten dieser Methode: Die vorgestellte Methode berücksichtigt keine Systemparameter des Energietransports, der Energiespeicherung, der Kollektorausrichtung und der Steuerung. Diese Berücksichtigung dieser Parameter würden das Rechenmodell erheblich komplizieren. Weil die ganze Energiebilanzierung auf Monatswerten aufbaut, könnten die mit POLYSUN oder einem anderen Simulationsprogramm effektiv errechneten Monatswerte in die Bilanzierung übernommen werden.

Einfluss der Solaranlage auf die Speicherverluste: Der Einsatz einer thermischen Solaranlage bedingt im Prinzip eine ergänzende Beurteilung der Speicherverluste, weil die Durchschnittstemperatur der Speicheranlage erhöht wird. Weil die vorgestellte Methode sich auf die nutzbare Energie bezieht, ist dieser Effekt im Modell berücksichtigt. Es wird deshalb keine Korrektur der Speicherverluste gerechnet.

Bilanzierung von Deckungsanteilen verschiedener Wärmeerzeuger: Bei der Berechnung der Deckungsanteile kann neben den Nutzungsgraden verschiedener Wärmeerzeuger auch eine Gewichtung vorgenommen werden, analog der MINERGIE-Bilanzierung (Abbildung 5.22).

5.3.6. Monatsbilanzierung

Analog zur sia 380/1 wird ein Monats-Bilanzierungsverfahren vorgeschlagen. Damit können saisonale Unterschiede sowohl von der Nutzerseite (z.Bsp Ferien, siehe Zapfprofile) wie von der Erzeugerseite (Bsp. Solaranlagen) berücksichtigt werden.

Die Simulationen werden mit den in Kap. 4.2 beschriebenen Zapfmodellen für eine "Einheitswoche" durchgeführt. Die Monats- und Jahresbilanzierung der Energieflüsse kann aus den Resultaten dieser "Einheitswoche" für Wohnnutzung gemäss Abbildung 5.25 hochgerechnet werden:

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Anz. Tage	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Berücksichtigung von Ferientagen	0	7	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0
Vielfaches der Einheitswoche	4.4	3.0	4.4	4.3	4.4	4.3	3.4	3.4	4.3	4.4	4.3	4.4
in Prozent	100%	68%	100%	97%	100%	97%	77%	77%	97%	100%	97%	100%

Abbildung 5.25 Hochrechnungsfaktoren der Einheitswoche

Für die Verluste von warmgehaltener Verteilung, von Speicher(n) und der Wärmeerzeugung werden keine Ferientage berücksichtigt, es ergeben sich also die Werte gemäss Abbildung 5.26.

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Anz. Tage	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Berücksichtigung von Ferientagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vielfaches der Einheitswoche	4.4	4.0	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4
in Prozent	100%	90%	100%	97%	100%	97%	100%	100%	97%	100%	97%	100%

Abbildung 5.26 Hochrechnungsfaktoren der Einheitswoche ohne Ferientage

5.3.7. Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System

Die WW-Temperatur muss zwar aus Sicherheitsgründen gemäss Empfehlung des SVGW auf mindestens 60°C eingestellt sein. Aus energetischer Sicht kann aber einsichtig abgeleitet werden, dass tiefere Temperaturen sinnvoll wären. Im Berechnungsmodell soll eine Möglichkeit geschaffen werden, T_{WW} zu variieren, um allfällige Potentiale abschätzen zu können. Die Absenkung bzw. Erhöhung der WW-Temperatur soll dem Anwender helfen, die energetische Sensitivität bezüglich der WW-Temperatur berechnen zu können, um allfällige Steuer-Strategien wie Legionellen-Schaltungen beurteilen zu können. In den folgenden Ausführungen wird gezeigt, mit welchen Berechnungen das vorgestellte Berechnungsmodell zu diesem Zweck ergänzt wird.

- **Q_{WW} (Gl. 5.8 bis 5.10):** Es ändert natürlich T_{WW} . Zusätzlich wird m_n angepasst, indem die Zapfmengen von Bad/Dusche umgekehrt proportional zur Temperaturänderung angepasst werden ($m_n \cdot (60-10)/(T_{WW}-10)$). Der Grund dafür ist, dass bei Bad/Dusche die Zielgrösse eine Energieportion ist. Wenn also die WW-Temp. abgesenkt wird, erhöht sich die Zapfmenge und umgekehrt. Bei Küche und Lavabo dagegen sind die Mengen selbst die Zielgrösse.
- **$Q_{V,vert.k}$ und $Q_{V,verteiler}$ (Gl.5.12 und 5.13):** Die Verluste der kalten Verteilung ändern sich proportional zur Temperaturänderung gegenüber 20°C Umgebungstemperatur (Multiplikation mit $(T_{WW}-20)/(60-20)$)
- **$Q_{V,vert.w}$ (Gl. 5.14)** Bei der warmgehaltenen Verteilung muss unterschieden werden, ob mit Zirkulation oder mit Warmhalteband gearbeitet wird. Bei den Zirkulationssystemen kann man auch von einer linearen Abhängigkeit ausgehen bezüglich der Änderung gegenüber der Differenz zur Umgebungstemperatur. Diese wird für Leitungsabschnitte ausserhalb des Dämmperimeters vereinfachend auf 10°C festgelegt und auf 20°C für jene innerhalb des Dämmperimeters. In Gl. 5.12 werden also die ersten beiden Summanden entweder mit $(T_{WW}-10)/(60-10)$ oder mit $(T_{WW}-20)/(60-20)$ multipliziert. Für das System des Warmhaltebandes wird auf eine Korrektur verzichtet. Im Prinzip ist der Energieaufwand für das Warmhalteband zur Änderung von T_{WW} gegenläufig. Die Abhängigkeit kann nicht mit einfachen Proportionalitätsrechnungen festgestellt werden und würde relativ viele zusätzliche Simulationen bedingen. Zwei weitere Umstände unterstützen den Entscheid, hier keine Korrekturen anzubringen: Das angewendete Modell des Warmhaltebandes ist idealisiert mit einem perfekt funktionierenden 2-Punkt-Regler ohne Hysterese und liefert in der Praxis Abweichungen. Zudem bieten die Systemlieferanten von Warmhaltebändern verschiedene Systeme zur Optimierung des Energieverbrauchs, die im Modell aufgrund erhöhter Komplexität nicht berücksichtigt wurden.

5.4. Statisches Modell für Schulen und Sportanlagen

5.4.1. Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen

Die Nutzenergie Q_{WW0} und die effektive Nutzenergie Q_{WW} berechnen sich aus der bilanzierten Nutz-Warmwassermenge m_n nach derselben Gleichung 5.8 bzw. 5.9 wie bei der Wohnnutzung.

$$Q_{WW0} = c_p \cdot (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.8})$$

$$Q_{WW} = c_p \cdot (T_{WW} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.9})$$

Q_{WW0} [kWh/w] : wöchentliche Nutzenergie für 60°C warmes Wasser

Q_{WW} [kWh/w] : wöchentliche Nutzenergie für Wasser mit T_{WW}

Der Unterschied zur Wohnnutzung liegt in der Mengenberechnung:

$$m_n = 5 \cdot \left[(40 \cdot n_{KZ} + 100 \cdot n_{LZ} + 50 \cdot n_{To}) \cdot k_{Spararmaturen} + 50 \cdot n_{RB} + 25 \cdot n_{Du} \right] \quad (\text{Gl. 5.18})$$

m_n [kg/w] Zapfmenge einer Woche

n_{KZ} [-] Anzahl Klassenzimmer mit WW-Zapfstellen

n_{LZ} [-] Anzahl Lehrerzimmer mit WW-Zapfstellen

n_{To} [-] Anzahl Warmwasserzapfstellen in Toiletten

$k_{Spararmaturen}$ siehe Abbildung 5.14

n_{RB} [-] Anzahl Reinigungsbecken mit WW-Zapfstelle

n_{Du} [-] Anzahl Duschgänge: diese müssen vom Planer pro Tag geschätzt werden. Ein Duschgang verbraucht 25 Liter Wasser à 60°C.

Q_{WW0} , Q_{WW} werden also durch die Aufnahme der WW-Zapfstellen und eine Schätzung der Anzahl Duschgänge berechnet (Abbildung 5.27).

Pos.	Zone	EINGABE						Resultate	
		Anzahl Klassen- zimmer mit WW- Zapfstellen	Anzahl Lehrer- zimmer mit WW- Zapfstellen	Anzahl WW- Zapfstellen in Toiletten	Einsatz Spar- armaturen	Anzahl Reinigungs- becken mit WW-Zapfstellen	Anzahl Duschgänge	Zapfmenge Schule	Q_{ww}
								[l/w]	[kWh/w]
1	alle WC-Waschtische			8	ohne			2800.0	162.6
2	Lehrerzimmer		1		ohne			700.0	40.7
3	Abwart-Reinigungsbecken				ohne	2		700.0	40.7
4	Duschen				ohne				
5	Klassenzimmer	16			ohne			4480.0	260.2
6									
-									
n								8680.0	504.2

Abbildung 5.27 Tabelle zur Aufnahme von Zapfstellen und Mengenberechnung



Am Objekt werden alle Anschlussleitungen positionsweise aufgenommen. Daraus werden $Q_{V,vert,k}$ mit dem entsprechenden Anteil heizungswirksamer Verluste berechnet. Abbildung 5.28 zeigt das Beispiel einer Tabelle mit den entsprechenden Eingabe- und den Resultatfeldern für ein Schulhaus.

Pos.	Beschreibung	EINGABE						RESULTATE	
		Länge [m]	Leitungs- Typ	Dimension	Zapfungs- Typ	Lage bezüglich Dämm- perimeter	Einsatz Spar- armaturen	$Q_{V,vert,k}$ [kWh/w]	Anteil heizungs- wirksam [kWh/w]
1	Waschtisch WC, EG	3.0	10mm iso.	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	1.2	1.2
2	Waschtisch WC, EG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
3	Waschtisch WC, 1.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
4	Waschtisch WC, 1.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
5	Waschtisch WC, 2.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
6	Waschtisch WC, 2.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
7	Waschtisch WC, 3.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
8	Waschtisch WC, 3.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5
9	Waschtisch WC, 4.OG	3.0	Pex	DN15	Zapfstelle in der Toilette	innen	ohne	2.5	2.5

Abbildung 5.28 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der Anschlussleitungen

Als **Leitungstypen** stehen die im Kap. 5.2.4 beschriebenen vier Typen zur Auswahl.

Als **Zapfungstypen** kommen die vier in Kapitel 4.2.3 definierten Profile zur Anwendung:

- Waschtisch im Schulzimmer
- Waschtisch im Lehrerzimmer
- Zapfstelle in der Toilette
- Reinigungsbecken im Abwartraum

Wärmeverlustfaktoren

Es gilt die bereits beschriebene Beziehung von Gl. 5.12

$$q_{V,vert,k} = a_k \cdot l \quad (\text{Gl. 5.12})$$

Die in Abbildung 5.28 dargestellten Verlustfaktoren a_k wurden mit den genannten Zapfungstypen als zusammengesetzte Wochenprofile simuliert.

Zapftyp	Verlustfaktoren a_k [kWh/wm] pro Leitungstyp											
	DN12				DN15				DN20			
	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4
Schulzimmer	1.28	0.55	0.33	0.48	1.38	0.73	0.43	0.64	2.03	0.93	0.49	0.80
Lehrerzimmer	0.43	0.34	0.32	0.34	0.66	0.57	0.32	0.56	1.11	1.03	0.47	0.61
Zapfstelle Toilette	0.86	0.56	0.30	0.53	1.12	0.82	0.40	0.66	1.50	1.19	0.49	0.74
Reinigung Abwart	0.32	0.19	0.13	0.17	0.40	0.28	0.19	0.23	0.59	0.40	0.30	0.35

Abbildung 5.28 Wärme-Verlustfaktoren von Anschlussleitungen für Schulen

Energieanteil im Dämmperimeter: Es wird angenommen, dass die für die Heizung frei werdende Wärme dem $Q_{V,vert,k}$ entspricht, wenn die entsprechende Anschlussleitung innerhalb des Dämmperimeters liegt.

Spararmaturen: Der Einsatz von Spararmaturen wird bei den Waschtischen in den Toiletten und im Lehrerzimmer gemäss der bei der Wohnnutzung bereits eingeführten Vorschrift berücksichtigt (Abbildung 5.14): Für Duschen beziehen sich die Mengen ohnehin auf Brausen mit einem Durchfluss $\leq 12\text{l/min}$ und beim Waschbecken des Abwärts wird die gezapfte Menge durch den Bedarf bestimmt und mit Spararmaturen nicht beeinflusst.

5.4.2. Berechnung von Verlusten des Verteilers

Im Gegensatz zur Wohnnutzung hat der Verteiler in Schul- und Verwaltungsgebäuden keine Bedeutung, sie werden deshalb im Modell nicht berücksichtigt. Die einzelnen Warmwasser-Zapfstellen liegen normalerweise weit auseinander und werden deshalb durch normale Abzweigungen angeschlossen.

5.4.3. Berechnung von Verlusten der warmgehaltenen Verteilung

Abbildung 5.29 zeigt eine Eingabe- und Berechnungstabelle für die warmgehaltene Verteilung

Pos.	Beschreibung	EINGABE						RESULTATE			
		Zirkulationstyp	Länge	DN	Dämm-Standard	Lage bezüglich Dämm-perimeter	Gleich-zeitigkeit (nur für WHB nötig)	QV.vert.w	Eel.ZP	Eel.WHB	Anteil heizungs-wirksam
			[m]	[mm]				[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]
1	Steigleitung WC 1	Warmhb.60	100	25	mittel	innen	2 Toilette	55.0		55.0	55.0
2	Steigleitung WC 2	Warmhb.60	200	25	mittel	innen	2 Toilette	110.0		110.0	110.0
3	Verteilung UG	RaR	25	40	mittel	ausser	4 Gesamtprofil	22.4	8.4		
4											
Total								187.4	8.4	165.0	165.0

Abbildung 5.29 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der warmgehaltenen Verteilung

Für die warmgehaltene Verteilung wird für Schul- und Verwaltungsbauten dasselbe Modell verwendet wie für Wohnungsbauten (Kap. 5.3.3). Es gelten also auch die Gleichungen 5.14 und 5.15.

$$Q_{V.vert.w} = k_{T_{Umg}} \cdot \left(\sum_i a_{ki} \cdot l_i + \sum_j a_{zj} \cdot l_j + \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \right) + Q_{V.ZP} \quad (\text{Gl. 5.14})$$

$$E_{el.WHB} = k_{T_{Umg}} \cdot \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \cdot k_{red} \quad (\text{Gl. 5.15})$$

Der wesentliche Unterschied liegt in der Betriebszeit der Zirkulation bzw. des Warmhaltebandes. Beide werden lediglich 5 mal 12h pro Woche betrieben, es gilt also $b_{ZP} = 60\text{h}$. Entsprechend dieser Änderung ergeben sich andere Verlustfaktoren $a_k = a_{WHB}$ und a_z , welche in den folgenden Tabellen (Abbildungen 5.30 und 5.31) angegeben sind.

Der Unterschied der Zapfprofile wirkt sich auf k_{red} aus, welches für diese Nutzung separat ermittelt worden ist (Dokumentation in Kap. 6).

ak und a _{WHB} [kWh/wm] Umgebungstemperatur 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.32	0.43	0.56
20	0.36	0.47	0.56
25	0.44	0.56	0.66
32	0.54	0.69	0.82
40	0.57	0.72	0.82
50	0.70	0.88	1.01

Abbildung 5.30 Wärmeverlustfaktoren für die warmgehaltenen Verteil-Leitungen bei Anwendung von Zirkulation und WHB in Schulbauten.

az [kWh/wm] Umgebungstemperatur 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.32	0.42	0.53
20	0.35	0.45	0.53
25	0.42	0.52	0.62
32	0.51	0.63	0.74
40	0.53	0.65	0.73

Abbildung 5.31 Wärmeverlustfaktoren für die Zirkulationsleitungen bei Schulbauten

Abbildung 5.32 Reduktions-Faktoren für die Berechnung der Nachheizenergie für das Warmhalteband bei Schulbauten.

5.4.4. Berechnung von Speicherverlusten

Es wird das im Kap. 5.2.4 vorgestellte Modell verwendet.

Pos.	Speicher- volumen	Max. Speicher- höhe	Speicher- Umgebungs- temperatur	Wärme- dämm- stärke	Wärmeleit- fähigkeit Dämmmaterial	Anzahl "warme" Speicher- anschlüsse	Ladetyp des Speichers	im Dämm- perimeter	Q _{v.sp} bei 60°C WW- Temp.	Q _{v.sp}	Anteil im Dämm- perimeter
	[m ³]	[m]	[°C]	[m]	[W/mK]	[]			[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]
1	0.8	2.5	18	0.16	0.04	3	innenl. WT	ausser	17.67	17.66	
2	0.5	2.5	18	0.16	0.04	2	externer WT	innen	1.78	1.78	1.78
3											
4											
Total									19.5	19.4	1.8

Abbildung 5.33 Tabelle für die Ermittlung der Speicherverluste

5.4.5. Berechnung der Wärmeerzeugung

Das Verfahren ist gleich wie bei Wohnnutzung und also in Kap. 5.3.5 beschrieben. Der Unterschied ist, dass in Gl. 5.16 die Verluste von Verteilern Q_{Verteiler} fehlen. Für thermische Solarerträge werden in der Gl. 5.15 die Koeffizienten y₀ und a für Mehrfamilienhäuser eingesetzt.

5.4.6. Monatsbilanzierung

Die Monatsbilanzierung unterscheidet sich im Vergleich zur Wohnnutzung durch die Berücksichtigung grösserer Ferienzeiten gemäss Abbildung 5.34.

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Anz. Tage	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Berücksichtigung von Ferientagen	0	7	7	7	7	0	21	14	0	14	0	14	91
Vielfaches der Einheitswoche	4.4	3.0	3.4	3.3	3.4	4.3	1.4	2.4	4.3	2.4	4.3	2.4	39

Abbildung 5.34 Hochrechnungsfaktoren der Einheitswoche

Es wird davon ausgegangen, dass während der Ferien die warmgehaltene Verteilung abgeschaltet wird, die angegebene Monatsbilanzierung gilt also für die Nutzenergie, die Anschlussleitungen und die warmgehaltene Verteilung, während Speicher und Erzeugung durchgehend in Betrieb bleiben gemäss Abbildung 5.26.

5.4.7. Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System

Sinn gemäss zur Methode, die in Kap. 5.3.7 für die Wohnnutzung beschrieben ist, werden folgende Berechnungen angepasst:

- **Q_{ww} :** Es ändert natürlich T_{ww} . in Gl. 5.9. An m_n (Gl. 5.18) wird nur der Anteil vom Duschwasser angepasst, indem die Zapf-Grundmenge von 25 Litern umgekehrt proportional zur Temperaturänderung angepasst wird ($25 \cdot (60-10)/(T_{ww}-10)$). Der Grund dafür ist, dass bei der Dusche die Zielgrösse eine Energieportion ist. Wenn also die WW-Temp. abgesenkt wird, erhöht sich die Zapfmenge und umgekehrt.
- **$Q_{v,vert.k}$ (Gl. 5.12):** Die Verluste der kalten Verteilung ändern sich proportional zur Temperaturänderung gegenüber 20°C Umgebungstemperatur (Multiplikation mit $(T_{ww}-20)/(60-20)$)
- **$Q_{v,vert.w}$ (Gl. 5.14)** Es gelten dieselben Überlegungen wie bei der Wohnnutzung Kap. 5.3.7: In Gl. 5.14 werden also die ersten beiden Summanden entweder mit $(T_{ww}-10)/(60-10)$ für Leitungen ausserhalb des Dämmperimeters oder mit $(T_{ww}-20)/(60-20)$ multipliziert. Für das System des Warmhaltebandes wird mit derselben Begründung wie in Kap. 5.3.7 auf eine Korrektur verzichtet

5.5. Statisches Modell für Verwaltung

5.5.1. Aufnahme der Zapfstellen, Berechnung von Nutzenergie und Verlusten der Anschlussleitungen

Die Nutzenergie Q_{ww0} und die effektive Nutzenergie Q_{ww} berechnen sich aus der bilanzierten Nutz-Warmwassermenge m_n nach derselben Gleichung 5.8 bzw. 5.9 wie bei der Wohnnutzung.

$$Q_{ww0} = c_p \cdot (60^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.8})$$



$$Q_{WW} = c_p \cdot (T_{WW} - 10^\circ\text{C}) \cdot m_n \quad (\text{Gl. 5.9})$$

Q_{WW0} [kWh/w] : wöchentliche Nutzenergie für 60°C warmes Wasser

Q_{WW} [kWh/wm] : wöchentliche Nutzenergie für Wasser mit T_{WW}

Der Unterschied zur Wohnnutzung und zur Nutzung Schule liegt in der Mengenermittlung:

$$m_n = 5 \cdot AP \cdot \left[(19 \cdot n_{Kü} + 10 \cdot n_{Cat} + 1.5 \cdot n_{Du} + 1.5 \cdot n_{RB}) + k_{Spararmaturen} (4 \cdot n_{To} + 5 \cdot n_{off.o.Kü} + 2 \cdot n_{off.m.Kü}) \right] \quad (\text{Gl. 5.19})$$

AP [-] Anzahl Arbeitsplätze

m_n [kg/w] Zapfmenge einer Woche

$v_{Kü} = 19$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Kantine mit Küche

$v_{Cat} = 10$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Kantine mit Catering

$v_{Du} = 1.5$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Duschen

$v_{RB} = 1.5$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Reinigungsbecken

$k_{Spararmaturen}$ siehe Abbildung 5.14

$v_{To} = 4$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Toiletten

$v_{off.o.Kü} = 5$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Kleinküchen in Betrieben ohne Kantine

$v_{off.m.Kü} = 2$ l/d Tagesmenge pro Arbeitsplatz für Kleinküchen in Betrieben mit Kantine

Q_{WW0} , Q_{WW} werden also durch die Auswahl von WW-Zapfstellen und die Anzahl Arbeitsplätze berechnet (Abbildung 5.35).

Pos.	Zone	EINGABE							Zapfmenge Schule	Q_{ww}
		Anzahl AP für Kantine mit Küche	Anzahl AP für Kantine mit Catering	Anzahl AP für Kleinküchen ohne Kantine	Anzahl AP für Kleinküchen mit Kantine	Anzahl AP für WW Zapfstellen in Toiletten	Anzahl AP für Duschen	Anzahl AP für Reinigungsbecken		
1	Kantine mit Catering		1						[l/w]	[kWh/w]
2	Teeküchen			2					1000	58.1
3	Abwart-Reinigungsbecken			1					300	17.4
4	Duschen				1				150	8.7
5	Duschen					1			60	3.5
									60	3.5

Abbildung 5.35 Tabelle zur Bestimmung der Nutzmenge anhand der Zapfstellen und Anzahl Arbeitsplätze

Am Objekt werden alle Anschlussleitungen positionsweise aufgenommen. Daraus werden $Q_{V,vert.k}$ mit dem entsprechenden Anteil heizungswirksamer Verluste berechnet. Abbildung 5.36 zeigt ein Beispiel einer Tabelle mit den entsprechenden Eingabe- und den Resultatfeldern.

Pos.	Beschreibung	EINGABE						RESULTATE	
		Länge	Leitungs-Typ	Dimension	Zapfungs-Typ	Lage bezüglich Dämm-peri-meter	Einsatz Spar-armaturen	$Q_{V,vert.k}$	Anteil heizungs-wirksam
		[m]						[kWh/w]	[kWh/w]
1	Waschbecken, 1.OG	1.0	Mepla	DN12	Abwart-Waschbecken	innen	ohne	0.4	0.4
2	Kantine DG	5.0	Pex	DN12	Kantine mit Catering	innen	ohne	2.8	2.8
3	Kleinküche 2.OG	5.0	Pex	DN12	Kleine Küche ohne Kantine	innen	ohne	2.7	2.7

Abbildung 5.36 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der Anschlussleitungen

Als **Leitungstypen** stehen die im Kap. 5.2.4 beschriebenen vier Typen zur Auswahl.

Als **Zapfungstypen** kommen die sieben in Kapitel 4.2.5 definierten Profile zur Anwendung:

- WW-Zapfstelle in Kantine mit Catering
- WW-Zapfstelle in Kantine mit Küche
- Kleinküche/Office in Betrieb mit Kantine
- Kleinküche/Office in Betrieb ohne Kantine
- Waschtische bzw. Lavabo in Toiletten
- Dusche
- Reinigungsbecken für Gebäudereinigung

Wärmeverlustfaktoren

Es gilt die bereits beschriebene Beziehung von Gl. 5.12

$$q_{V,vert,k} = a_k \cdot l \quad (\text{Gl. 5.12})$$

Die in Abbildung 5.37 dargestellten Verlustfaktoren a_k wurden mit den genannten Zapfungstypen als zusammengesetzte Wochenprofile simuliert.

Zapftyp	Verlustfaktoren a_k [kWh/wm] pro Leitungstyp											
	DN12				DN15				DN20			
	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4	Typ1	Typ2	Typ3	Typ4
Kantine mit Küche	1.68	0.66	0.34	0.58	1.95	0.87	0.43	0.72	2.32	1.13	0.53	0.87
Kantine mit Catering	1.40	0.57	0.31	0.50	1.60	0.76	0.39	0.63	1.96	1.01	0.49	0.78
Kleine Küche ohne Kantine	1.13	0.55	0.29	0.51	1.54	0.70	0.38	0.61	1.89	0.94	0.49	0.75
Kleine Küche mit Kantine	0.62	0.34	0.24	0.33	0.84	0.51	0.36	0.47	1.16	0.76	0.46	0.69
WC	1.07	0.62	0.33	0.58	1.39	0.92	0.44	0.66	1.84	1.06	0.52	0.81
Dusche	0.13	0.09	0.07	0.08	0.20	0.16	0.14	0.15	0.30	0.26	0.23	0.24
Abwart-Reinigungsbecken	0.44	0.24	0.14	0.21	0.54	0.31	0.21	0.28	0.79	0.47	0.33	0.42

Abbildung 5.37 Wärme-Verlustfaktoren von Anschlussleitungen für Verwaltung

Energieanteil im Dämmperimeter: Es wird angenommen, dass die für die Heizung frei werdende Wärme dem $Q_{V,vert,k}$ entspricht, wenn die entsprechende Anschlussleitung innerhalb des Dämmperimeters liegt.

Spararmaturen: Der Einsatz von Spararmaturen wird nur bei den Waschtischen in den Toiletten und in den Kleinküchen gemäss der bei der Wohnnutzung bereits eingeführten Vorschrift berücksichtigt (Abbildung 5.14). Bei den anderen Zapfstellen Küche, Reinigungsbecken und Duschen wird davon ausgegangen, dass die Nutzungsmengen eher nach Energiemenge bemessen werden.

5.5.2. Berechnung von Verlusten des Verteilers

Im Gegensatz zur Wohnnutzung hat der Verteiler in Schul- und Verwaltungsgebäuden keine Bedeutung, sie werden deshalb im Modell nicht berücksichtigt. Die einzelnen Warmwasser-Zapfstellen liegen normalerweise weit auseinander und werden deshalb durch normale Abzweigungen angeschlossen.

5.5.3. Berechnung von Verlusten der warmgehaltenen Verteilung

Abbildung 5.38 zeigt eine Eingabe- und Berechnungstabelle für die warmgehaltene Verteilung

Pos.	Beschreibung	EINGABE						RESULTATE			
		Zirkulationstyp	Länge	DN	Dämm-Standard	Lage bezüglich Dämm-perimeter	Gleich-zeitigkeit (nur für WHB nötig)	QV.vert.w	Eel.ZP	Eel.WHB	Anteil heizungs-wirksam
			[m]	[mm]				[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]	[kWh/w]
1	Steigleitung SW	Zirkulation	50	40	tief	innen	4 Kleine Küche	79.0	8.4		87.4
2	Verteilung 2. OG	Warmhb.60	30	40	tief	innen	4 Kleine Küche	25.1		25.1	25.1
3	Verteilung 3. OG	Warmhb.60	15	50	tief	innen	5 Kantine	15.5		15.5	15.5
4											
		Total						119.6	8.4	40.6	128.0

Abbildung 5.38 Tabelle zur Aufnahme und Berechnung der warmgehaltenen Verteilung

Für die warmgehaltene Verteilung wird für Schul- und Verwaltungsbauten dasselbe Modell verwendet wie für Wohnungsbauten (Kap. 5.3.3). Es gelten also auch die Gleichungen 5.14 und 5.15.

$$Q_{V.vert.w} = k_{T_{Umg}} \cdot \left(\sum_i a_{ki} \cdot l_i + \sum_j a_{zj} \cdot l_j + \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \right) + Q_{V.ZP} \quad (\text{Gl. 5.14})$$

$$E_{el.WHB} = k_{T_{Umg}} \cdot \sum_k a_{WHBk} \cdot l_k \cdot k_{red} \quad (\text{Gl. 5.15})$$

Der wesentliche Unterschied liegt in der Betriebszeit der Zirkulation bzw. des Warmhaltebandes. Beide werden lediglich 5 mal 12h pro Woche betrieben, es gilt also $b_{ZP} = 60h$. Entsprechend dieser Änderung ergeben sich andere Verlustfaktoren $a_k = a_{WHB}$ und a_z , welche in den folgenden Tabellen (Abbildungen 5.39 und 5.40) angegeben sind.

Der Unterschied der Zapfprofile wirkt sich auf k_{red} aus, welches für diese Nutzung separat ermittelt worden ist (Abbildung 5.41, Dokumentation in Kap. 6).

ak und a _{WHB} [kWh/wm] für Umgebungstemperatur von 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.33	0.44	0.57
20	0.36	0.47	0.56
25	0.44	0.56	0.67
32	0.54	0.69	0.83
40	0.57	0.72	0.83
50	0.70	0.89	1.02

Abbildung 5.39 Wärmeverlustfaktoren für die warmgehaltenen Verteil-Leitungen bei Anwendung von Zirkulation und WHB in Verwaltungen

az [kWh/wm] für Umgebungstemperatur von 20°C			
Dämmstandard			
DN	hoch	mittel	tief
15	0.32	0.42	0.54
20	0.36	0.46	0.42
25	0.42	0.53	0.63
32	0.51	0.64	0.76
40	0.53	0.66	0.75

Abbildung 5.40 Wärmeverlustfaktoren für die Zirkulationsleitungen bei Verwaltungen

Abbildung 5.41 Reduktions-Faktoren für die Berechnung der Nachheizenergie für das Warmhalteband bei Verwaltung.

5.5.4. Berechnung von Speicherverlusten $Q_{v.sp}$

Es wird das im Kap. 5.2.4 vorgestellte Modell verwendet.

Pos.	Speicher- volumen [m ³]	Max. Speicher- höhe [m]	Speicher- Umgebungs- temperatur [°C]	Wärmedämm- stärke [m]	Wärmeleit- fähigkeit Dämmmaterial [W/mK]	Anzahl "warme" Speicher- anschlüsse [-]	Ladetyp des Speichers	im Dämm- perimeter	$Q_{v.sp}$ bei 60°C WW- Temp. [kWh/w]	$Q_{v.sp}$ [kWh/w]	Anteil im Dämmperime- ter [kWh/w]
1	1	3	15	0.10	0.04	4	Magroladung	ausser	27.85	27.34	
2											
3											
4											
Total									27.9	27.3	0.0

Abbildung 5.42 Tabelle für die Ermittlung der Speicherverluste

5.5.5. Berechnung der Wärmeerzeugung

Das Verfahren ist gleich wie bei Wohnnutzung und also in Kap. 5.3.5 beschrieben. Der Unterschied ist, dass in Gl. 5.16 die Verluste von Verteilern $Q_{Verteiler}$ fehlen. Für thermische Solarerträge werden in der Gl. 5.15 die Koeffizienten y_0 und a für Mehrfamilienhäuser eingesetzt.

5.5.6. Monatsbilanzierung

Für die Monatsbilanzierung wird der gleiche Ansatz wie bei der Wohnnutzung angewendet (s. Kap. 5.3.6, Abbildungen 5.25 und 5.26).

5.5.7. Einfluss der WW-Temperatur auf das ganze System

Sinngemäss zur Methode, die in Kap. 5.4.7 für Schulen beschrieben ist, werden folgende Berechnungen angepasst:

- Q_{WW} : Es ändert natürlich T_{WW} . in Gl. 5.9. An m_n (Gl 5.19) wird nur der Anteil vom Duschwasser angepasst, indem die Zapf-Grundmenge von 25 Litern umgekehrt proportional zur Temperaturänderung angepasst wird ($25 \cdot (60-10)/(T_{WW}-10)$). Der Grund dafür ist, dass bei der Dusche

die Zielgrösse eine Energieportion ist. Wenn also die WW-Temp. abgesenkt wird, erhöht sich die Zapfmenge und umgekehrt.

- **$Q_{V,vert.k}$ (Gl. 5.12):** Die Verluste der kalten Verteilung ändern sich proportional zur Temperaturänderung gegenüber 20°C Umgebungstemperatur (Multiplikation mit $(T_{WW}-20)/(60-20)$)
- **$Q_{V,vert.w}$ (Gl. 5.14)** Es gelten dieselben Überlegungen wie bei der Wohnnutzung Kap. 5.3.7: In Gl. 5.14 werden also die ersten beiden Summanden entweder mit $(T_{WW}-10)/(60-10)$ für Leitungen ausserhalb des Dämmperimeters oder mit $(T_{WW}-20)/(60-20)$ multipliziert. Für das System des Warmhaltebandes wird mit derselben Begründung wie in Kap. 5.3.7 auf eine Korrektur verzichtet

5.6. Darstellung der Resultate

Die Resultate werden in Tabellenform und als Grafiken übersichtlich dargestellt. Folgende Grössen sollten im Zusammenhang mit Variantenstudien einfach verglichen werden können:

- System-Verluste und Nutzenergie
- System-Nutzungsfaktor und Nutzungsfaktor für gewichtete Endenergie
- Endenergie und/oder gewichtete Endenergie
- Anteil der heizwirksamen Wärme

Die Abbildungen 5.43 bis 5.45 zeigen entsprechende Beispiele.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Anz. Tage	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Feiertage	0	7	7	7	7	0	21	14	0	14	0	14	91
Vielfaches der Einheitswoche	4.4	3.0	3.4	3.3	3.4	4.3	1.4	2.4	4.3	2.4	4.3	2.4	39
$Q_{W,net}$	1595	1090	1235	1183	1235	1543	514	875	1543	875	1543	875	14096
$Q_{V,vert.k}$	645	437	499	478	499	624	208	354	624	354	624	354	5700
$Q_{V,vert.w}$	830	750	830	803	830	803	830	830	803	830	803	830	9773
$Q_{V,sp}$	106	95	106	102	106	102	106	106	102	106	102	106	1244
$Q_{V,Erz}$	198	123	131	118	119	152	22	66	156	81	183	109	1458
$E_{input,sp}$	2407	1669	1902	1824	1902	2330	890	1396	2330	1396	2330	1396	21770
E_{input}	2472	1537	1637	1476	1483	1899	277	829	1950	1009	2284	1368	18221
E_{net}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Q_{W,net}$	141	259	400	471	542	589	636	636	542	471	236	141	5065
$Q_{W,sp}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$E_{el,WWB}$	731	660	731	707	731	707	731	731	707	731	707	731	8605
$E_{el,zp}$	37.2	33.6	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	37.2	36.0	37.2	36.0	37.2	438.0
Ant. im Dämm.	1376	1097	1230	1186	1230	1331	939	1084	1331	1084	1331	1084	15034
Endenergie													32329
gew. Endenergie													36307

Abbildung: 5.43: Resultat-Tabelle mit Monats- und Jahresbilanz

Jahresbilanz	
System-Nutzungsfaktor	43.6%
η für gewichtete Endenergie	38.8%

Abbildung 5.44: Zur Tabelle in 5.43 passende Nutzungsfaktoren

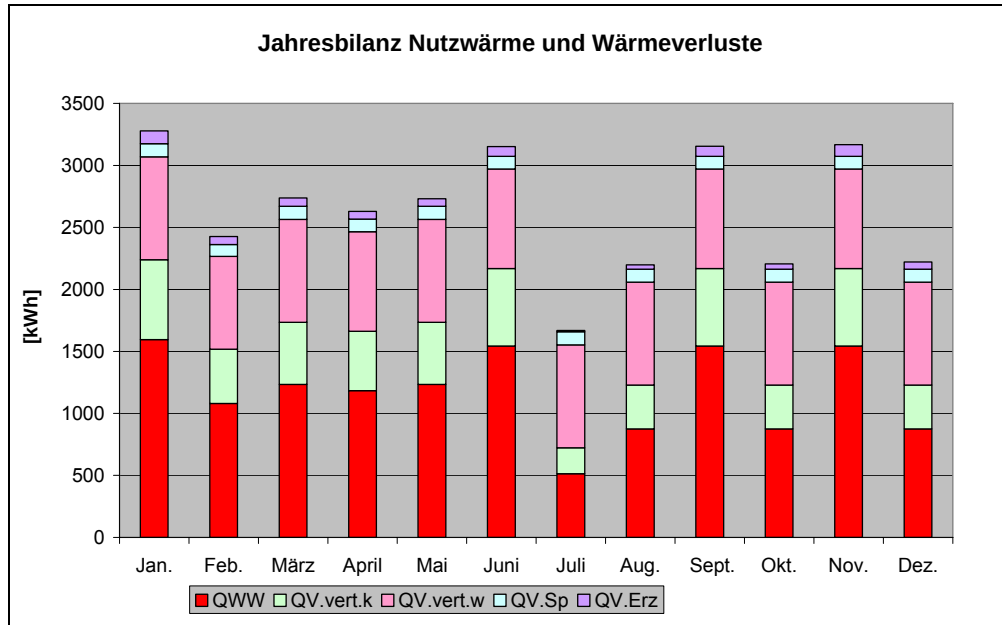


Abbildung 5.45: Zur Tabelle in 5.43 passende Grafik von Q_{WW} und allen Verlusten

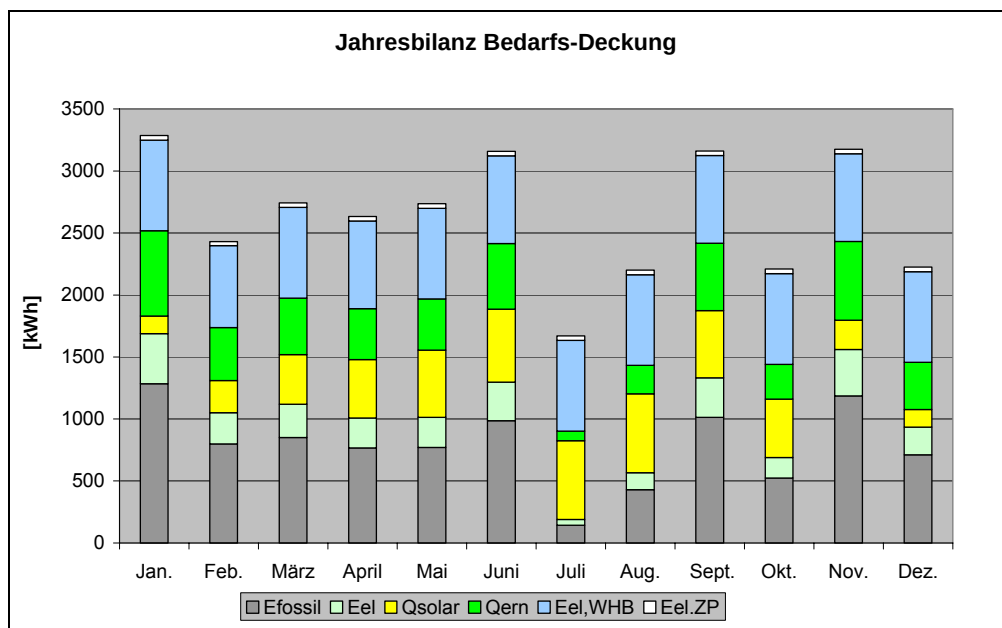


Abbildung 5.46: Zur Tabelle in 5.43 passende Grafik zur Deckung des Energiebedarfs

5.7. Schnittstellen zu anderen Programmen

5.7.1. sia 380/1

Für die Heizwärmebedarfsrechnung nach sia 380/1 sind die Wärmeverluste, welche das Warmwassersystem innerhalb des Wärmedämmperimeters verursacht, von Interesse. Für die Monats-Bilanzierung im sia 380/1 können die wärmewirksamen Verluste von $Q_{V,vert.k}$, $Q_{V,vert.w}$, und $Q_{V.Sp}$ pro Monat brutto übergeben werden (gemäss Pos13 in Abbildung 5.33).. Diese werden vom sia 380/1 als Freie Wärme übernommen und zusammen mit anderen internen Lasten zur effektiv nutzbaren Energie verrechnet.

5.7.2. Minergie

Für Minergie ist angedacht, dass die Energieinputs auf Endenergiestufe E_{fossil} , E_{el} und Q_{ren} dem Minergie-Nachweis-Formular übergeben werden. Die Gewichtung wird dann von Minergie selbst vorgenommen. Mit diesem Instrument kann also für Minergie die etwas mangelhafte Situation bezüglich Warmwasserbedarf verbessert werden, indem an Stelle der Standardwerte eine objektbezogene Grundlage geschaffen wird.