

Handbuch

DHWcalc

Werkzeug zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis

Version 2.02b (März 2017)

*Ulrike Jordan, Klaus Vajen
überarbeitet von Hagen Braas*

*Universität Kassel
Institut für Thermische Energietechnik
Solar und Anlagentechnik
D - 34109 Kassel
solar@uni-kassel.de*

Das Programm ist kostenlos unter folgender Internet-Adresse erhältlich:

<http://www.solar.uni-kassel.de/>

DHWcalc wurde im Rahmen des *Solar Heating and Cooling Program* der Internationalen Energieagentur (IEA-SHC), Task 26: *Solar Combisystems*, mit finanzieller Unterstützung des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)* entwickelt.

Die Autoren sind dankbar für Anmerkungen zum Programm sowie über Informationen zu Artikeln, Berichten und anderen wissenschaftlichen Arbeiten für die die Zapfprofile verwendet wurden.

DHWcalc

Handbuch

Es gibt keine speziellen Hardware-Beschränkungen zur Verwendung von DHWcalc. Um das Programm zu starten, wird die *DHWcalc_2-02.exe* gestartet. Alle Ausgabedateien werden in einem neuen Unterverzeichnis im Verzeichnis der Exe-Datei gespeichert.

Inhalt

Änderungen ab Version 2.0	3
1 Einführung	5
2 Interface	6
2.1 Hauptfenster (FormMain).....	6
2.2 Fenster: Definition von Randbedingungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	9
2.3 Fenster, in denen Randbedingungen für Zapfereignisse definiert werden	14
2.4 Erstellen einer Zapfprofil-Serie.....	16
2.5 Laden/Speichern von Eingaben.....	17
2.6 Excel-Tool.....	17
3 Mathematisches Verfahren: <i>Kumulierte Häufigkeiten</i>	18
4 Ausgabe-Dateien.....	19
5 Beispiele von Tagesverteilungen der Zapfvolumina	22

Änderungen ab Version 2.0

In diesem Abschnitt werden alle ab der Version 2.0 vorgenommenen Änderungen dokumentiert.

Version 2.02b (März 2018):

Fehler von Version 2.02 korrigiert: Bei der Verteilung der Zapfungen über den Gesamtzeitraum wurde nur jeder 400-ste Zeitschritt berücksichtigt. Dadurch wurden höhere Zapfmengen über eine stark reduzierte Anzahl von Zeitschritten verteilt.

Fehler von Version 2.02-2.0a korrigiert: Wenn Profile direkt nach dem Laden von Werten **aus einer Ini-Datei** generiert wurden, ohne dass anschließend weitere Werte geändert wurden, dann wurde der geänderte (geladene) Wert für das mittlere tägliche Zapfvolumen nicht aktiviert.

Version 2.02a (Oktober 2017):

Fehler von Version 2.02 korrigiert: Bei der Berechnung von Urlaubsperioden für die Erstellung von Profilen für Einfamilienhäuser kam es zum Abbruch des Programms.

Version 2.02 (August 2017):

Mit der Version 2.02 von DHW_calc wurden bestehende Funktionen des Programmes überarbeitet und neue Funktionen implementiert.

Einige wesentliche Änderungen sind im Folgenden aufgeführt:

Parametervariation und Zufallszahleninitialisierung

Eine neue Funktion ermöglicht es, anstatt eines einzelnen Zapfprofils, eine Serie von Profilen zu erstellen. Dabei kann einer der drei Parameter *mittlerer täglicher Verbrauch*, *maximaler Volumenstrom* und *mittlerer Volumenstrom* (nur für eine Kategorie) in einer vom Nutzer gewählten Schrittweite verändert werden. Eine weitere Neuerung ist, dass der *mittlere tägliche Verbrauch* in die Initialisierung des Zufallsgenerators für die statistische Verteilung von Volumenströmen einfließt. So kann über die Parametervariation eine Serie von Zapfprofilen mit ähnlichem Verbrauch bei unterschiedlichen Zufallsverteilungen generiert werden.

Nähere Informationen zur Initialisierung und Parametervariation siehe Seiten 16 und 19. Durch die veränderte Initialisierung des Zufallsgenerators können Profile, die mit Version 1.10 erstellt wurden, nicht mit der neuen Version reproduziert werden.

Laden/Speichern der Eingabe

Eine weitere neue Funktion ermöglicht das Speichern aller vom Nutzer getätigten Eingaben in eine *Ini-Datei*. So können nach Beenden und erneutem Öffnen des Programmes alle Eingaben des Nutzers aus der *Ini-Datei* wiederhergestellt werden. Zudem wird ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt, mit dem eine entsprechende *Ini-Datei* generiert werden kann. Mehr Informationen siehe Seite 17.

Korrektur der Gaußverteilung zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten von Volumenströmen

In der Gauß-Funktion zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten von Volumenströmen hat sich ein Fehler eingeschlichen. Dieser ist ab Version 2.01 korrigiert.

Fehlerhafte Funktion:	Korrigierte Funktion:
$prob(\dot{V}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V} - \dot{V}_{mean}}{\sigma}\right)^2}$	$prob(\dot{V}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(\dot{V} - \dot{V}_{mean})^2}{2 \cdot \sigma^2}}$

Urlaubsperioden

Die Eingabe der Urlaubsperioden für Einfamilienhäuser wurde überarbeitet, so dass beliebig viele Urlaubsperioden mit unterschiedlichen relativen Verbräuchen berücksichtigt werden können. Dies wird auf Seite 13 näher beschrieben. Zudem wurde ein Fehler, der zur Fehlermeldung „X is not a valid floating point value“ führte, behoben.

Fortschrittsbalken

Ab Version 2.02 zeigt ein Fortschrittsbalken den Stand der Berechnung des Zapfprofils an.

Saisonale Schwankungen

Eine zusätzliche Funktion zur Einstellung der saisonalen Schwankungen der Verbrauchswahrscheinlichkeit wurde implementiert. Dabei können die Wahrscheinlichkeiten für jeden Monat einzeln und somit Abweichungen von Sinusfunktionen vorgegeben werden. Diese wird ab Seite 12 beschrieben.

Bei der Berechnung der saisonalen Wahrscheinlichkeitsfunktion wurde zudem ein Fehler korrigiert. In früheren Programmversionen wurde die Funktion fälschlicherweise zeitlich verschoben.

Änderung von Parametern im Hauptfenster

In der Version 1.10 führten einige Eingabeänderungen, wie z.B. die Änderung des mittleren täglichen Volumenstromes im Hauptfenster dazu, dass alle Eingaben aus den Fenstern *Probability Distributions* und *Draw-off features* zurückgesetzt wurden. Dies ist ab Version 2.02 nicht mehr der Fall. Lediglich eine Änderung des Zeitschrittes führt dazu, dass die Eingaben in den *Draw-off features* Fenstern zurückgesetzt werden.

Sommerzeit

In Version 1.10 führte die Aktivierung des Radio-Buttons „Daylight saving time“ nicht zu einer Berücksichtigung der Sommerzeit im erstellten Zapfprofil. Dieser Fehler ist ebenfalls ab Version 2.0x behoben. Wie auf Seite 7 beschrieben, werden bei einer Aktivierung der Sommerzeit alle Zapfungen vom 1. April bis einschließlich dem 31. Oktober um eine Stunde verschoben.

1 Einführung

DHWcalc ist ein Programm, mit dem Warmwasser-Zapfprofile (**D**omestic **H**ot **W**ater profiles) erstellt werden können. Die generierten Profile werden als Text-Dateien gespeichert. Diese enthalten jeweils eine Liste mit einem Volumenstrom-Wert für jeden Zeitschritt innerhalb des vorher eingegebenen Zeitraumes. Für Einfamilienhäuser ergibt sich für die meisten Listeneinträge der Wert Null, da nur wenige Zapfereignisse über den jeweiligen Zeitraum verteilt sind. Ein Beispiel-Profil einer Drei-Tagesperiode ist in Abb. 1.1 dargestellt.

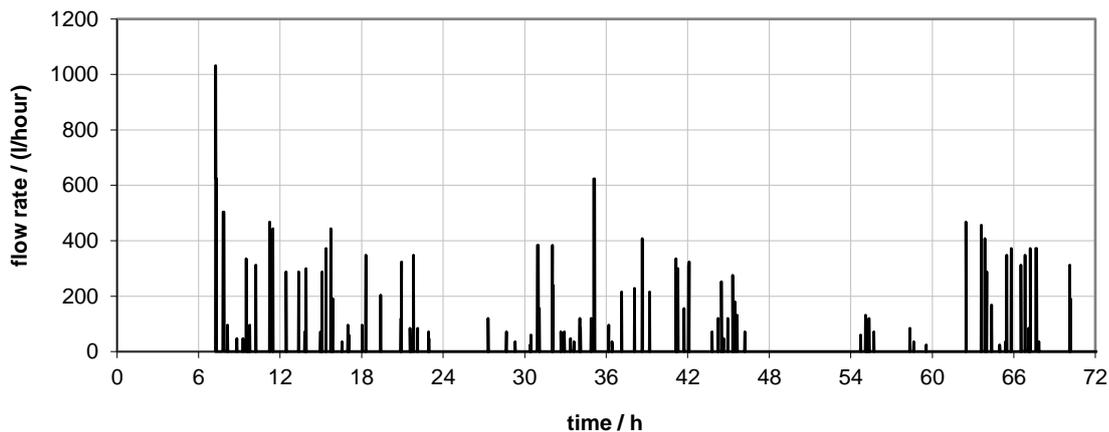


Abb. 1.1: Beispiel eines Trinkwasser-Profils für ein Einfamilienhaus. Zeitschritt: 1 Minute.

Das Programm verteilt Trinkwasser-Zapfungen in Abhängigkeit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion statistisch über das Jahr. Sowohl Randbedingungen für die Zapfereignisse (Volumenströme, Zapfdauern, usw.), als auch für die Wahrscheinlichkeitsfunktion (tägliche, wöchentliche, saisonale Verteilung der Zapfereignisse usw.) können benutzerseitig gewählt werden.

Um das Programm zu starten, wird die *DHWcalc_2-02.exe* Datei ausgeführt.

Das Programm beginnt mit dem Hauptfenster *FormMain*. Dieses besteht aus den Bereichen *House type*, *Settings*, *Single load profile*, *Series of load profiles* und *Save/Load properties*, die im folgenden Kapitel näher beschrieben sind.

2 Interface

2.1 Hauptfenster (FormMain)

FormMain

Tool to Generate Domestic Hot Water (DHW) Profiles **A21** EXIT

DHWcalc

Version 2.02

by: Ulrike Jordan and Klaus Vajen
http://www.uni-kassel.de/~solar/
Developed in the framework of the IEA-SHC Task 26.
Supported by the German Federal Ministry of
of Economics and Labour (BMWA)

House type

Single-Family House (or functional building) **A1**

Multi-Family Houses **A1**

No. of households **A2**

Settings **A7**

No. of categories **A3**

Time step duration min **A4**

Startday of profile **A5**

Total duration (profile) days **A6**

Total mean daily draw-off volume l/day **A7**

Daylight saving time (1. Apr. - 31. Oct.) apply **A8**
 dont apply

File name of profile **A9**

A10 set probability distribution

A11 set flow rates, etc.

Single Loadprofile

A12 Generate Loadprofile

Series of Loadprofiles

A13 set series range

A14 Generate Series

Save/Load properties to/from file

A15 **A18** Save

A16 **A17** **A19** Load

A20

Abb. 2.1: Hauptfenster: FormMain.

Das Hauptfenster (Abb. 2.1) besteht aus:

- Radio-Buttons (**A1**), um zwischen den Optionen ‘Einfamilienhaus’ (Single-Family House) und ‘Mehrfamilienhaus’ (Multi-Family Houses) zu wählen,
- einem Editier-Feld (**A2**) in dem die Anzahl der Haushalte festgelegt werden kann,
- zwei Drop-Down-Menüs (**A3-A4**) und drei Editier-Felder (**A5-A7**), um Parameter einzugeben,
- Radio-Buttons, um die Option Sommerzeit (Daylight saving time) ein-/auszuschalten (**A8**),
- einem Editier-Feld, in dem der Name des Zapfprofils eingegeben werden kann (**A9**),
- drei Buttons, um weitere Fenster zu öffnen (**A10, A11, A13**),
- einem Button, um den Algorithmus für ein einzelnes Zapfprofil zu starten (**A12**),
- einem Button, um den Algorithmus für eine Reihe von Zapfprofilen zu starten (**A14**),
- zwei Editier-Feldern (**A15-A16**), einem Browse-Button (**A17**), und zwei Buttons zum Speichern (**A18**) und Laden (**A19**) aller Eingaben in eine bzw. aus einer ini-Datei,
- einem Fortschrittbalken (**A20**), der den Fortschritt der Berechnung darstellt und
- einem Button zum Schließen des Programmes (**A21**).

Folgende Randbedingungen und Funktionen gibt es im Hauptfenster:

- **Ein- oder Mehrfamilienhaus (Single or Multi Family House, A1):**
Der einzige Unterschied zwischen diesen beiden Optionen besteht in der Festlegung der Urlaubsperioden, beschrieben in Abschnitt 2.2.4. Alle Eingaben bzgl. Urlaubszeiten erfolgen im Fenster *FormProb1*, das sich öffnet, sobald der Button `set probability distribution` (A9) angeklickt wird. Wenn der Radio-Button für 'Multi Family House' gewählt wurde, kann die Anzahl Haushalte angegeben werden (A2). Es wird eine Urlaubsperiode pro Haushalt berücksichtigt. Der Default-Wert für die Anzahl Haushalte ist eins.
- **Anzahl Kategorien (Number of categories, A3):**
Es können entweder eine oder vier Kategorien mit unterschiedlichen durchschnittlichen Volumenströmen, Zapfdauern und Häufigkeiten definiert werden. Diese Werte werden in weiteren Fenstern eingegeben, die sich öffnen, wenn der Button `set flow rates etc.` (A10) angeklickt wird (siehe Abschnitt 2.3).
- **Zeitschrittweite (Time step duration, A4) in Minuten:**
Mit dieser Angabe wird das minimale Zeitintervall zwischen zwei Zapfungen und damit auch die minimale Dauer einer Trinkwasser-Zapfung festgelegt. Ein erstelltes Profil besteht aus einem ganzzahligen Volumenstrom-Wert mit der Einheit Liter/Stunde für jeden Zeitschritt des gewählten Zeitraumes. Es können festgelegte Werte zwischen 1 und 60 Minuten für die Zeitschritte ausgewählt werden. Die Dauer einer Zapfung, die in einem der beiden Fenster 'FormFlow_1Cat' oder 'FormFlow_4Cat' definiert wird, muss ein ganzzahliges Vielfaches des Zeitschritts sein.
- **Start-Tag des Profils (Start day of the profile, A5):**
Das Profil kann an jedem beliebigen Tag des Jahres beginnen. Die Veränderung des Start-Tages beeinflusst die Wahrscheinlichkeiten (saisonal, Wochentag, Urlaubsperiode) für Zapfereignisse. Start-Tag 1, 2, usw. bedeuten jeweils, die Simulation beginnt mit Montag, Dienstag, usw.
- **Gesamt-Dauer des Profils (Total duration, A6) in Tagen:**
Die Dauer eines Jahresprofils beträgt üblicherweise 365 Tage. Sie hat Auswirkungen auf die Größe der Ausgabedateien. Die Anzahl der Werte in der Ausgabedatei *Dateiname_DHW.txt* ist gleich der Gesamtdauer (in Minuten) geteilt durch die Zeitschrittweite.
- **Durchschnittlicher Tagesverbrauch (Total mean daily draw-off volume, A7) in Liter/Tag:**
Für ein Mehrfamilienhaus wird hier nicht der durchschnittliche Verbrauch eines Haushaltes, sondern der **Gesamtverbrauch** des Mehrfamilienhauses angegeben.
- **Sommerzeit (Daylight saving time, A8):**
Ist der Radio Button „*apply*“ aktiviert, so wird bei der Berechnung des Zapfprofils die Sommerzeit berücksichtigt, indem die Zapfungen im Zeitraum zwischen dem 1. April und 31. Oktober (Tag 90 bis einschließlich Tag 304) um eine Stunde vorverlegt werden.
- **Dateiname des Zapfprofils (File name of profile, A9):**
Der Dateiname darf nur aus Zahlen, Buchstaben und Unterstrichen bestehen. Die vier Ausgabedateien werden in einem Unterverzeichnis mit dem Dateinamen gespeichert und jeweils durch folgende Endungen ergänzt: *_DHW.txt*, *_Vdot.txt*, *_log.txt*, bzw. *_sum.txt*. Für weitere Informationen zu den Ausgabedateien siehe Abschnitt 4.

- **Wahrscheinlichkeitsfunktionen und Zapfereignisse** (Zapfmengen und -dauern):
Werden in separaten Fenstern definiert, die geöffnet werden, indem die Buttons `set probability distribution` (A10) und `set flow rates etc.` (A11) angeklickt werden. Nähere Informationen zu diesen Fenstern sind in den Abschnitten 2.2 und 2.3 enthalten.
- **Serie von Zapfprofilen (A14):**
Beim Erstellen einer Serie von Zapfprofilen wird ein Parameter schrittweise verändert. Der Parameter der verändert werden soll, wird im durch Klicken auf den Button `set series range` (A13) geöffneten Fenster ausgewählt. Dieses wird in Abschnitt 2.4 näher erläutert. Variiert werden kann das *mittlere tägliche Zapfvolumen*, der *maximale Volumenstrom* oder der *mittlere Volumenstrom pro Zapfung* bei einem Zapfprofil mit nur einer Kategorie.
- **Speichern/Laden der Eingabe (A15-A19):**
Dieser Bereich ermöglicht es, alle vom Nutzer vorgenommenen Eingaben (in allen Fenstern), abzuspeichern und sie zu einem späteren Zeitpunkt wiederherzustellen. Diese Funktion ist in Abschnitt 2.5 näher beschrieben.
- **Fortschrittbalken (A20):**
Der Fortschrittbalken stellt den Fortschritt der Berechnung dar. Wird eine Reihe von Zapfprofilen erstellt, zeigt der Fortschrittbalken lediglich den Fortschritt der einzelnen Zapfprofile, nicht den Gesamtfortschritt.

Um das Programm zu verlassen, muss der `EXIT` Button in der oberen rechten Ecke des Fensters (A21) angeklickt werden.

2.2 Fenster: Definition von Randbedingungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Abb. 2.2: Fenster zur Definition von Randbedingungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Um Zapfereignisse über die gewählte Zeitperiode zu verteilen, wird die Methode der Kumulierten Häufigkeiten verwendet. Die Methode basiert auf der Integralfunktion einer Wahrscheinlichkeitsfunktion, beschrieben in Abschnitt 3.

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion, die das Eintreffen eines Zapfereignisses beschreibt, setzt sich als Produkt der saisonalen, tageszeitlichen, und Wochentags-Verteilungen, sowie einer Treppenfunktion zur Berücksichtigung von Urlaubsperioden zusammen:

$$p(t) = p_{day}(t) \cdot p_{weekday}(t) \cdot p_{season}(t) \cdot p_{holiday}(t)$$

In den folgenden Unterabschnitten ist erläutert, welche Randbedingungen für die Wahrscheinlichkeitsfunktion definiert werden können.

2.2.1 Wahrscheinlichkeit im Tagesverlauf (Probability during the day, B1):

Eine von drei Optionen kann gewählt werden:

- 1) **Standard-Verteilungen nach IEA-Task 26** (Default distributions): Es handelt sich hierbei um vordefinierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die sich aus Gaußschen Normalverteilungen und Treppenfunktionen zusammensetzen, Abb. 2.3. Es wurden vier Kategorien definiert. Für zwei Kategorien, die kleine bzw. mittlere Zapfungen repräsentieren, werden jeweils tagsüber und während der Nacht konstante Wahrscheinlichkeiten angesetzt. Die Wahrscheinlichkeitsfunktionen der anderen beiden Kategorien, Dusche und Bad, setzen sich jeweils aus zwei Gaußkurven sowie konstanten Werten zusammen. Profile der vier Kategorien werden jeweils getrennt generiert und dann superponiert.

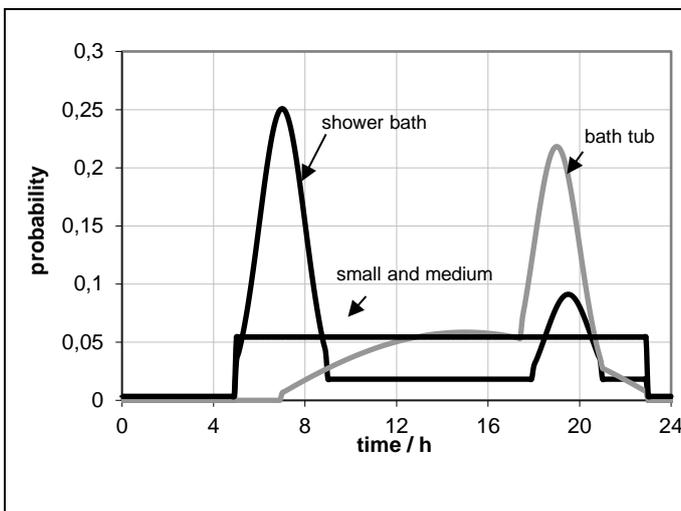


Abb. 2.3: Wahrscheinlichkeitsverteilungen im Tagesverlauf. Kategorie 1 und 2: Für kleine und mittlere Zapfungen ist die Entnahmewahrscheinlichkeit zwischen 5:00 und 23:00 Uhr gleichverteilt. Kategorie 3: Bad
Kategorie 4: Dusche

Weekdays		Weekend-days	
time interval	volume in each interval	time interval	volume in each interval
22:00 - 06:30	2 %	23:00 - 07:00	3,8 %
06:30 - 07:30	50 %	07:00 - 09:00	47,5 %
07:30 - 12:00	6 %	09:00 - 15:00	7,1 %
12:00 - 13:00	16 %	15:00 - 17:00	23,8 %
13:00 - 18:00	6 %	17:00 - 20:00	3,6 %
18:00 - 22:00	20 %	20:00 - 23:00	14,3 %

Abb. 2.4: Fenster, in dem Tages-Wahrscheinlichkeitsfunktionen mit Hilfe zweier Treppenfunktionen (für Werk- und Wochenendtage) definiert werden können. Die Treppenfunktionen bestehen aus bis zu 6 Zeitintervallen.

!!! Achtung !!!

Die Standard-Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Tagesverlauf (Abb. 2.3) ist nur aktivierbar, wenn die Anzahl der gewählten Kategorien im Hauptmenü gleich vier ist.

- 2) **Treppenfunktionen für Werktage (ohne Samstag) und Wochenend-Tage:** Abb. 2.4. Mit dieser Option können zwei Tages-Wahrscheinlichkeitsfunktionen definiert werden, eine für Werktage (Mo.-Fr.) und die zweite für Wochenend-Tage. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass zu einer bestimmten Tageszeit eine Trinkwasser-Entnahme stattfindet, jeweils an den Werktagen (Mo.-Fr.) und an den Wochenend-Tagen gleich ist. Bis zu sechs Zeitintervalle können für beide Zeiträume definiert werden.

Die Werte p_{step} in den Kästen mit gelbem Hintergrund zeigen den Anteil des Zapfvolumens während einer Zeitperiode am durchschnittlichen Tagesverbrauch in Prozent an. Diese Werte

erhöhen sich, wenn entweder das entsprechende Zeitintervall verlängert wird oder der Schieberegler nach rechts geschoben wird.

p_{step} wird folgendermaßen berechnet:

$$p_{step}^i = \frac{\Delta t_{step}^i \cdot pos^i}{\sum_{j=1}^6 (\Delta t_{step}^j \cdot pos^j)}, \text{ mit } i, j = 1 \dots 6 \text{ und } pos^i \in [0, 100]$$

pos^i : Schieberegler-Position der sechs Zeitintervalle i mit Werten zwischen 0 und 100.

Δt_{step}^i : Zeitintervall, Zeit 2 (weißer Zeitkasten) – Zeit 1 (grauer Zeitkasten) Wenn der Radio-Button im oberen Bereich des Fensters die Option `use scroll bars` markiert, dann können die Editier-Felder rechts des Schiebereglers nicht mehr editiert werden.

- 3) **Unterschiedliche Treppenfunktionen für jeden Wochentag:** Abb. 2.5. Die dritte Option stellt die Möglichkeit zur Verfügung, spezielle Verbrauchsprofile, die sich stark z.B. an verschiedenen Wochentagen unterscheiden, wie sie zum Beispiel in Sporthallen oder Krankenhäusern auftreten können, zu erstellen. Es können Wahrscheinlichkeiten für jede Stunde der Woche definiert werden.

Wenn der `Default` Button angeklickt wird, nimmt die Wahrscheinlichkeitsfunktion die in Abb. 2.5 dargestellten Werte an.

Wenn der `Apply` Button angeklickt wird oder das Fenster geschlossen wird, werden die Werte normiert. Das Gesamt-Zapfvolumen nimmt dann den Wert des durchschnittlichen Gesamtvolumens an. (In dem in Abb. 2.5 dargestellten Beispiel: 1400 Liter/Woche, tägliches durchschnittliches Zapfvolumen: 200 Liter/Tag).

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0
04:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	8,72	8,72
05:00	26,17	26,17	26,17	26,17	26,17	39,25	39,25
06:00	43,61	43,61	43,61	43,61	43,61	65,42	65,42
07:00	26,17	26,17	26,17	26,17	26,17	39,25	39,25
08:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
09:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
10:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
11:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
12:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
13:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
14:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
15:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
16:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
17:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	8,72	8,72
18:00	13,08	13,08	13,08	13,08	13,08	21,81	21,81
19:00	13,08	13,08	13,08	13,08	13,08	21,81	21,81
20:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
21:00	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
22:00	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0
Sum	178,79	178,79	178,79	178,79	178,79	252,94	252,94

all values in l/day

mean weekly draw-off volume 1400

Abb. 2.5: Fenster, in dem die Tages-Wahrscheinlichkeitsfunktionen als unterschiedliche Treppenfunktionen für jeden Wochentag mit einem Zeitschritt von einer Stunde definiert werden können.

NB: Wenn `'daily step functions'` (tägliche Treppenfunktionen) gewählt wurde, dann sollte `Probability Weekend-day/Weekday` (B2) den Wert 100 % erhalten.

2.2.2 Wahrscheinlichkeitsverhältnis Wochenend-/Werktag (Probability weekend-day/weekday, **B2**):

Über das Textfeld oder den Schieberegler kann das Verhältnis der Durchschnittsverbrauchswahrscheinlichkeit an Wochenend-Tagen zu der an Werktagen im Bereich von 0 bis 300 % variiert werden.

Beispiel:

$$\frac{p_{\text{weekend-day}}}{p_{\text{weekday}}} = 120 \% \text{ and } \bar{V}_{\text{day}} = 200 \frac{l}{\text{day}}$$

=> Tägliches Durchschnitts-Zapfvolumen: $\bar{V}_{\text{Mon}} = \bar{V}_{\text{Tue}} = \bar{V}_{\text{Wed}} = \bar{V}_{\text{Thu}} = \bar{V}_{\text{Fri}} \approx 189 l$
 $\bar{V}_{\text{Sa}} = \bar{V}_{\text{Su}} \approx 227 l$

2.2.3 Saisonale Schwankungen:

Für Saisonale Schwankungen kann eine von zwei Optionen gewählt werden:

1) Sinusfunktion für Saisonale Schwankungen (**B3**):

Mit dieser Option werden Saisonale Schwankungen mit einer Sinusfunktion (mit einer Periode von 365 Tagen) beschrieben. Die Amplitude der Sinusfunktion und der Tag des Jahres, an dem die Funktion ihr Maximum annimmt, können nutzerseitig definiert werden (Abb. 2.6).

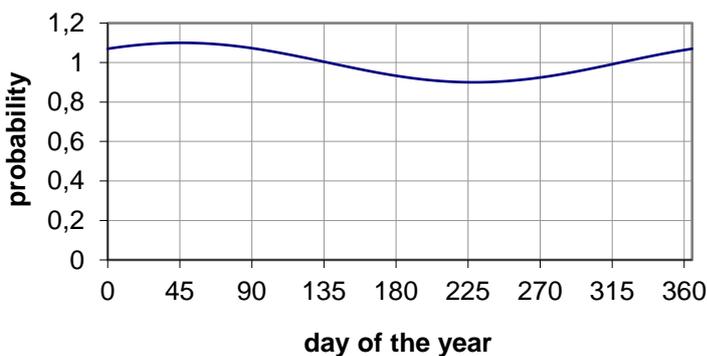


Abb. 2.6: Beispiel einer Sinusfunktion zur Beschreibung saisonaler Wahrscheinlichkeitsschwankungen.

Voreingestellte Werte

- Amplitude: 10 %;
- Position des Maximums: Tag 45

2) Schrittfunktion für Saisonale Schwankungen (Step function for months, **B4**):

Diese Option kann über die CheckBox ‚Step function for months‘ ausgewählt werden. Mit Aktivierung öffnet sich ein neues Fenster (Abb. 2.7). In diesem kann über zwölf Schieberegler die Wahrscheinlichkeit für jeden Monat (Bereich: 0...200%) eingestellt werden.

Mit Hilfe des Editier-Feldes und des Drop-Down Menüs oben kann eine Sinusfunktion mit definierter Amplitude und definiertem Zeitraum für das Maximum voreingestellt werden. Diese Funktion ist als Hilfe gedacht, um Abweichungen von der Sinusfunktion einzustellen.

Für den Fall, dass es keine Abweichungen von einer Sinusfunktion gewünscht sind, wird empfohlen die 1. Option zu wählen, da diese eine höher aufgelöste Sinusfunktion berechnet.

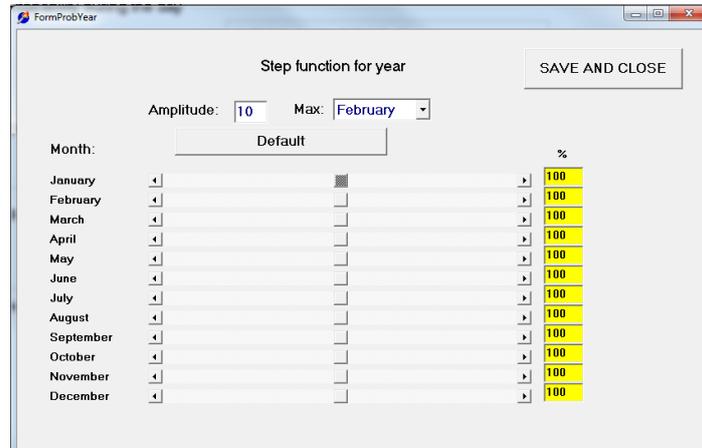


Abb. 2.7: Schrittfunktion über das für Saisonale Schwankungen (Step function for year)

2.2.4 Urlaubsperioden

Während einer Urlaubsperiode kann ein verminderter Warmwasserverbrauch berücksichtigt werden. Dabei wird der Verbrauch auf bis zu 0 l/d reduziert und auf die übrige Zeit (außerhalb der Urlaubsperiode) verteilt. Die Wahrscheinlichkeit des Verbrauchs wird in Prozent der regulären Wahrscheinlichkeit für eine Zapfung in einem Editier-Feld (Abb. 2.8, C1) angegeben.

Für Einfamilienhäuser können beliebig viele Urlaubsperioden definiert werden. Die Eingabe des jeweiligen Datums (Beginn und Ende) ist über 4 Drop-Down-Boxen möglich (C2). Für jede Periode kann ein anderer Warmwasser-Verbrauch definiert werden. Letztes muss vor dem Hinzufügen der jeweiligen Urlaubsperiode erfolgen. Mit dem Button **Add** kann eine eingestellte Urlaubsperiode der Liste (C3) hinzugefügt werden. Überlagerte Urlaubsperioden werden in Einfamilienhäusern wie normale Urlaubsperioden behandelt, dabei wird nur der relative Verbrauch der Urlaubsperiode berücksichtigt, die sich in der Liste weiter unten befindet.

Mit dem Button **Delete** wird die Urlaubsperiode in der Liste die markiert (blau hinterlegt) ist, aus der Liste entfernt.

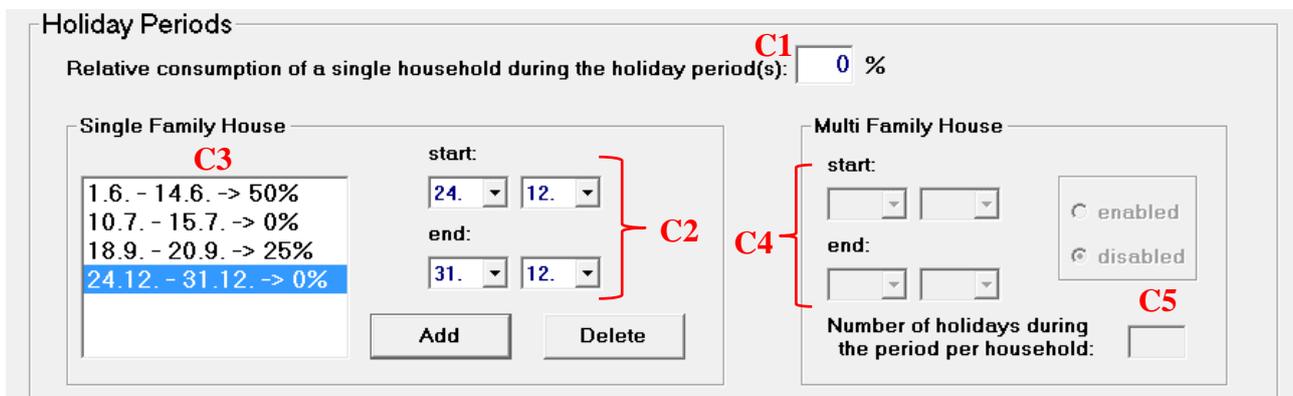


Abb. 2.8: Einstellung der Urlaubsperioden. Ausschnitt aus dem Fenster zur Definition von Randbedingungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Für Mehrfamilienhäuser wird eine Gesamt-Urlaubsperiode für alle Haushalte definiert (C4), während der einzelne Urlaubsperioden für alle Haushalte vorgesehen werden. Der Beginn der einzelnen Urlaubsperioden innerhalb der Gesamtperiode wird statistisch bestimmt. Die Dauer der Urlaubsperioden einzelner Haushalte kann in dem danebenstehenden Editier-Feld festgelegt (C5) werden (voreingestellter Wert: 14 Tage). Der reduzierte Anteil für die Urlaubsperioden kann hier ebenfalls über das Editier-Feld (C1) eingestellt werden.

2.3 Fenster, in denen Randbedingungen für Zapfereignisse definiert werden

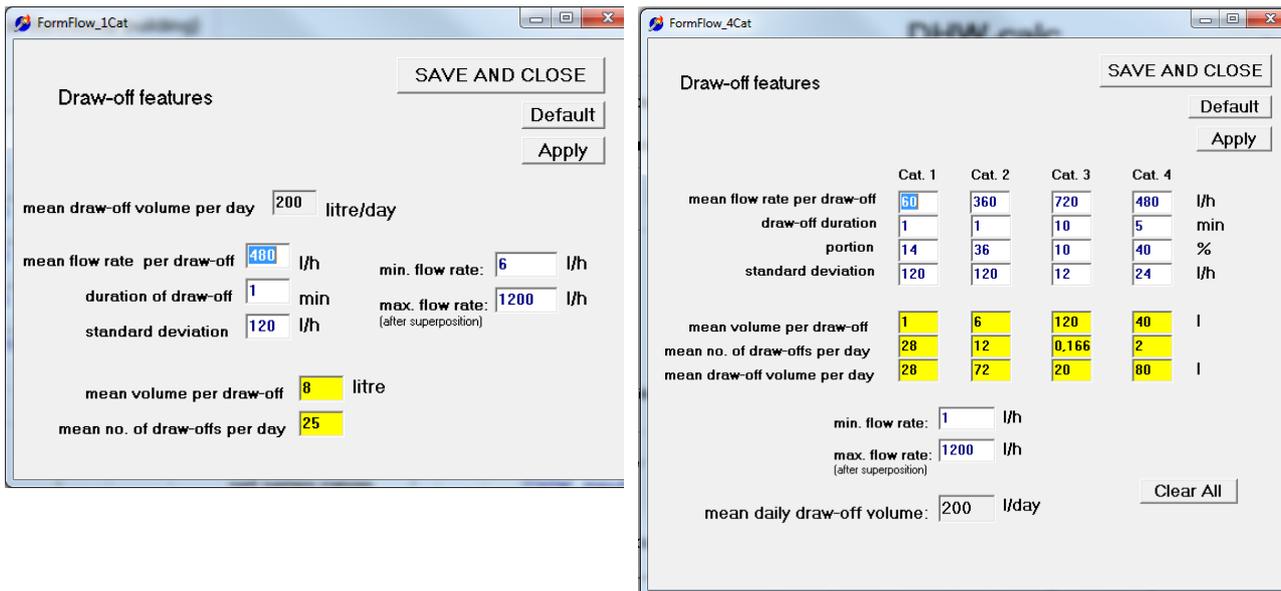


Abb. 2.9 a) und b): In den dargestellten Fenstern können Volumenströme, Zapfdauern, und Standardabweichungen für Volumenströme für eine Kategorie (a) oder für bis zu vier Kategorien (b) definiert werden.

Wenn der Button **Set flow rates** (A11) im Hauptfenster angeklickt wird, öffnet sich ein weiteres Fenster zur Eingabe von Randbedingungen für die Zapfereignisse:

- Wenn im Hauptfenster **eine Kategorie** gewählt wurde (**Number of categories** = 1) öffnet sich das Fenster FormFlow_1Cat (Abb. 2.9 a) und
- wenn **vier Kategorien** berücksichtigt werden sollen (**Number of categories** = 4) öffnet sich das Fenster FormFlow_4Cat (Abb. 2.9 b).

Werte können nur in die weißen Editier-Felder eingetragen werden. Die Angabe des Wertes für den durchschnittlichen Tagesverbrauch dient nur zu Informationszwecken. Dieser muss im Hauptfenster (A7) eingetragen werden. Die Werte in den übrigen gelben Feldern werden automatisch berechnet. In einigen Fällen werden sie nicht sofort berechnet, sondern erst nach Klicken des **Apply-Buttons**. Das Klicken des **Apply-Buttons** ist jedoch optional. Alle Werte werden automatisch aktualisiert und gespeichert, sobald ein Fenster geschlossen wird.

Die folgenden Randbedingungen können definiert werden:

- **Durchschnittlicher Volumenstrom** (Mean flow rate): Peak der Normalverteilungen, s. Abb. 2.10.
- **Zapfdauer** (*Draw-off duration*): Ganzzahliges Vielfaches der Zeitschrittweite.
- **Standardabweichung der Gaußfunktionen** (*Standard deviation*): Legt die Breite der Gaußkurve um den durchschnittlichen Volumenstrom fest.
- Minimaler Volumenstrom (Minimum flow rate)
- **Maximaler Volumenstrom** (*Maximum flow rate*): Für Mehrfamilienhäuser der Gesamtvolumenstrom (als Summe der gleichzeitigen Zapf-Volumenströme aller Haushalte).

Falls Anzahl der Kategorien gleich 4:

- **Prozentsatz** (*Portion*): Anteil des Zapfvolumens der jeweiligen Kategorie am Gesamt-Zapfvolumen.

Für jede Kategorie wird ein durchschnittlicher Volumenstrom definiert. Die Werte aller Volumenströme der jeweiligen Kategorie \dot{V} sind um diesen durchschnittlichen Volumenstrom Gaußverteilt:

$$prob(\dot{V}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(\dot{V} - \dot{V}_{mean})^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

mit σ : Standardabweichung.

Die Volumenstromwerte sind in Intervalle von 0.1 l/min = 6 l/h diskretisiert.

In Abb. 2.10 sind die Gaußverteilungen dargestellt, die verwendet werden, wenn im Fenster „*draw-off features*“ die Default-Werte gewählt werden. Die vier Kategorien, die dieser Standardverteilung (nach IEA-SHC Task 26) hinterlegt sind, repräsentieren: kleinen und mittleren Verbrauch, Dusche und Badewanne. Die Abbildung stellt die Gesamt-Zapfdauer in Abhängigkeit vom Volumenstrom dar.

Default-Werte für vier Kategorien:

Mittlerer Volumenstrom:	1, 6, 8 und 14 l/min;
Standardabweichungen (für alle Kategorien):	2 l/min;
Zapfdauer:	1, 1, 5 und 10 min;

(Hinweis: Bei Änderung des Simulationszeitschritts wird das Produkt aus Standardabweichung und Zapfdauer konstant gehalten. Die Werte lassen sich auch unabhängig voneinander ändern.)

Die minimalen und maximalen Volumenströme \dot{V}_{min} und \dot{V}_{max} ergeben sich aus dem mittleren Volumenstrom \dot{V}_{mean} und der zweifachen Standardabweichung σ :

$$\dot{V}_{min} = \dot{V}_{mean} - 2 \cdot \sigma \quad \text{und} \quad \dot{V}_{max} = \dot{V}_{mean} + 2 \cdot \sigma .$$

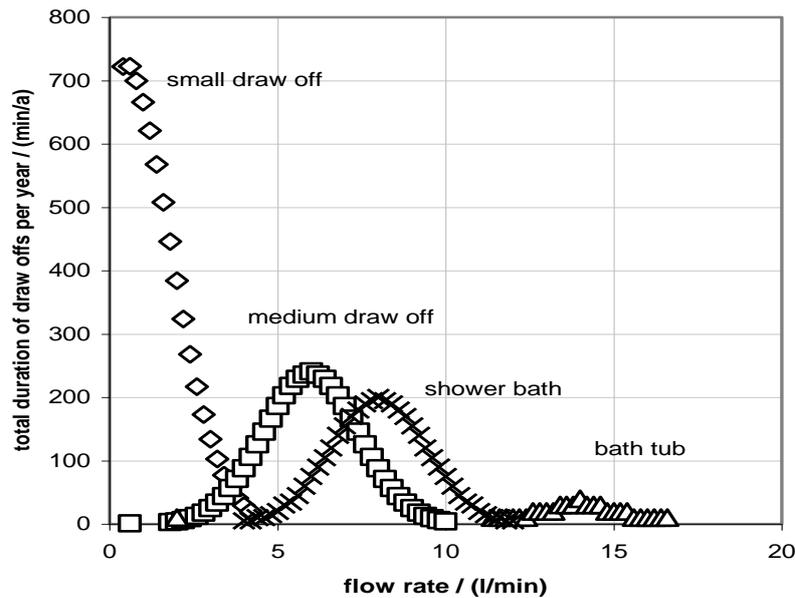


Abb. 2.10: Beispiel der Volumenstrom-Verteilungen der vier Kategorien für den Standardfall.

2.4 Erstellen einer Zapfprofil-Serie

FormParChange

SAVE AND CLOSE

Total mean daily draw-off volume

min. Volume: l/day

max. Volume: l/day

Step: l/day

max. flow rate

first max. flow rate: l/h

last max flow rate: l/h

Step: l/h

mean flow rate

min. mean flow rate: l/h

max. mean flow rate: l/h

Step: l/h

Abb. 2.11: Fenster in dem die Parametervariation für eine Reihe von Zapfprofilen eingestellt werden kann.

Seit der Version 2.02 gibt es die Möglichkeit nicht nur ein Profil, sondern mehrere Zapfprofile gleichzeitig zu erstellen. Hierbei kann einer von drei möglichen Parametern schrittweise variiert werden. Die Einstellung dieses Parameters (Abb. 3.11) lässt sich durch den Button `set series range` im Hauptfenster öffnen (A11).

Die drei Parameter, die variiert werden können, sind

1. der durchschnittliche Tagesverbrauch,
2. der maximale Volumenstrom und
3. der mittlere Volumenstrom (gilt nur für eine Kategorie).

Es kann jeweils nur einer der drei Parameter variiert werden. Die Wahl geschieht über die Radio-Buttons. Anschließend können der erste und der letzte Wert sowie die Schrittweite der Parametervariation angegeben werden. Aus diesen Werten ergibt sich auch die Anzahl der Zapfprofile, die erstellt werden. Dabei ist zu beachten, dass eine hohe Anzahl an Profilen zu langen Rechenzeiten führen kann.

Die Werte, die für den zu variiierenden Parameter zuvor im Hauptfenster oder dem Fenster für die Randbedingungen der Zapfereignisse vorgenommen wurden, werden von der Parametervariation überschrieben.

Das Erstellen der Serie geschieht über den Button `Generate Series` im Hauptfenster. Die Funktion fügt am Ende des vom Nutzer eingegebenen Dateinamens eine laufende Nummerierung ein.

2.5 Laden/Speichern von Eingaben

Seit Version 2.02 besteht die Möglichkeit die Nutzereingaben in einer ini-Datei zu speichern, sodass nach erneutem Starten des Programms die Eingaben wiederhergestellt werden können.

Zum Speichern muss im Hauptfenster (Abb. 2.1) im Editier-Feld neben dem **S**ave Button ein Name für die Datei eingegeben werden. Alle Eingaben (aus allen Fenstern) werden dadurch in der Datei „Dateiname.ini“ gespeichert. Diese wird automatisch in dem Pfad abgespeichert, in dem sich die *DHWcalc_2-02.exe* Datei befindet.

Zum Wiederherstellen der Eingabe gibt es zwei Möglichkeiten. Es kann entweder der Name der Datei in das Editier-Feld vor dem **L**oad Button eingegeben werden. Dabei ist zu beachten, dass die Endung *.ini* mitgeschrieben werden muss und dass, sofern kein Pfad angegeben ist, automatisch im Pfad der *DHWcalc_2-02.exe* nach der Datei gesucht wird. Des Weiteren kann über den Browse-Button (**A16**) am Ende des Editier-Feldes der Dialog zum Öffnen einer Datei aufgerufen werden. Wird diese Variante genutzt, so wird auch der Dateipfad in das Editier-Feld übernommen und es können auch Dateien ausgewählt werden, die nicht denselben Pfad besitzen wie die *DHWcalc_2-02.exe* Datei.

Anschließend werden mit Klick auf den Button **L**oad alle Eingaben aus der gewählten ini-Datei wiederhergestellt.

2.6 Excel-Tool

Eine ini-Datei, aus der Eingaben geladen werden können, kann mithilfe eines Excel-Tools auch manuell erstellt oder abgeändert werden. Hierfür müssen im Excel-Tool die Eingaben in den orange markierten Feldern gemacht werden. Anschließend muss die automatisch generierte Ausgabe des Excel-Tools kopiert und in einer ini-Datei gespeichert werden. Diese kann dann wie oben beschrieben zum Laden der Eingaben verwendet werden. Nähere Erläuterungen sind im Excel-Tool enthalten.

Die Eingaben im Excel-Tool werden nicht auf Plausibilität geprüft. Nicht plausible Eingaben können zu Fehlern und im schlimmsten Fall zum Absturz des Programmes führen.

3 Mathematisches Verfahren: Kumulierte Häufigkeiten

Die zeitabhängige Gesamt-Wahrscheinlichkeitsfunktion setzt sich aus dem Produkt der Tages-, Wochen-, und saisonalen Wahrscheinlichkeits-Verteilungen, sowie der Treppenfunktion zur Beschreibung von Urlaubsperioden zusammen:

$$p(t) = p_{day}(t) \cdot p_{weekday}(t) \cdot p_{season}(t) \cdot p_{holiday}(t)$$

Für die Tages-Wahrscheinlichkeitsfunktion $p_{day}(t)$ kann zwischen drei Optionen gewählt werden:

- 1.) Einer Superposition, die sich aus Gaußverteilungen zusammensetzt, Abb. 2.3.
- 2.) Zwei Treppenfunktionen, von denen eine die Wahrscheinlichkeiten an Werktagen (ohne Samstag) und die andere die Wahrscheinlichkeiten an Wochenend-Tagen beschreibt. Bis zu sechs Zeitschritte können mit den Treppenfunktionen definiert werden (s. Abb. 2.4).
- 3.) Eine Treppenfunktion, mit der die Wahrscheinlichkeiten jeder Stunde der Woche zugewiesen werden können (s. Abb. 2.5).

Mit $p_{weekday}(t)$ wird das Verhältnis des Durchschnitts-Verbrauchs an Werktagen (ohne Samstag) im Vergleich zu Wochenend-Tagen beschrieben. Wenn zum Beispiel der Schiebepfeil neben der Bezeichnung *Probability Weekend-/Weekday* auf den Wert 120 % geschoben wird, folgt

$$p_{weekday}(t) = \begin{cases} 0.95 & \text{für } t \in \text{Werktag Mo.} - \text{Fr.} \\ 1.15 & \text{für } t \in \text{Wochenend} - \text{Tage} \end{cases}$$

Wenn 'step function for each day' (tägliche Treppenfunktionen) gewählt wurde (dritter Radio-Button für $p_{day}(t)$), dann sollte Probability Weekend-day/Weekday den Wert 1 erhalten.

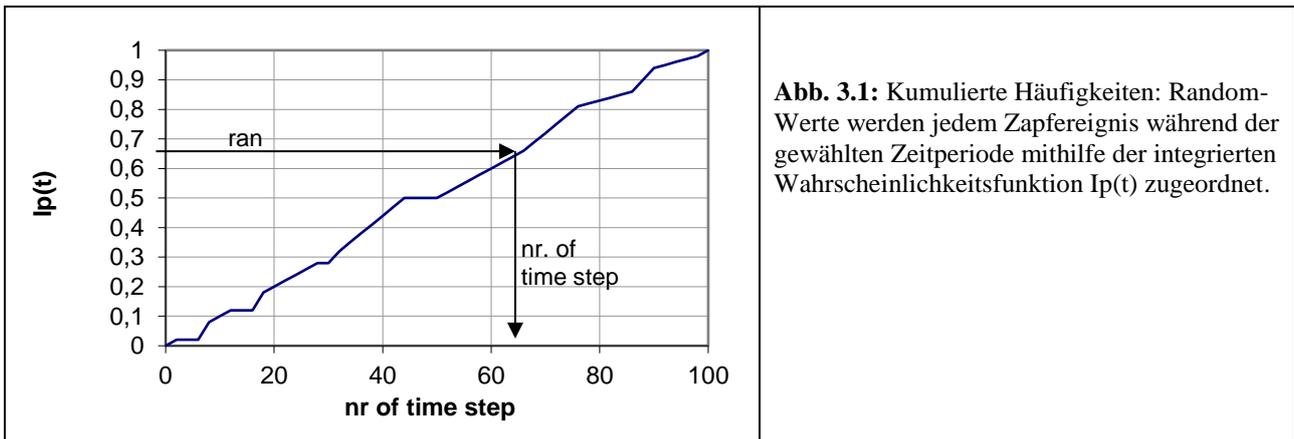
$p_{season}(t)$ beschreibt eine Sinusfunktion oder eine vom Nutzer gewählte Schrittfunktion, die den saisonalen Anteil der Wahrscheinlichkeitsverteilung abbildet (Abb. 2.7).

$p_{holiday}(t)$ beschreibt eine Treppenfunktion, die in der Regel den Wert 1 hat und nur in den definierten Urlaubsperioden abweicht, in denen sie den Wert annimmt, der für die Urlaubsperiode vorgegeben wurde.

Das Integral $I(t)$ über die Wahrscheinlichkeitsfunktion $p(t)$ von der Startzeit t_{min} bis zur Zeit t

$$I(t) = \int_{t_{min}}^t p(t) dt$$

wird dann normalisiert. Für jedes Zapfereignis wird ein Random-Wert mit $ran \in [0,1]$ generiert. Der Zeitschritt t , in dem ein Zapfereignis stattfindet, wird durch die abhängige Variable der Integralfunktion $ran = I(t)$ gefunden (siehe Abb. 3.1).



NB: Die Random-Werte werden durch einen Zufallsgenerator generiert. Dieser wird über das Produkt aus dem durchschnittlichen Verbrauch und der Nummer der Kategorie (1-4) initialisiert. D.h. um mehrere Zapfprofile mit ähnlichem Verbrauch, jedoch unterschiedlicher Verteilung zu erhalten, kann der durchschnittliche Verbrauch z.B. auf $199,9 \rightarrow 200,0 \rightarrow 200,1$ l/d eingestellt werden.

4 Ausgabe-Dateien

Vier Dateien werden ausgegeben und einem neuen Unterverzeichnis gespeichert, welches in dem Verzeichnis erstellt wird, in dem sich die Datei *DHWcalc_2-02.exe* befindet.

- Dateiname_DHW.txt
- Dateiname_Vdot.txt
- Dateiname_sum.txt
- Dateiname_log.txt

Die Datei *Dateiname_DHW.txt* enthält einen Wert des Trinkwasser-Volumenstroms in Liter/Stunde für jeden Zeitschritt während der gewählten Zeitperiode. Zum Beispiel enthält ein Jahresprofil mit einem Zeitschritt von 6 Minuten 87.600 Zeilen mit ebenso vielen ganzzahligen Werten. Für Einfamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser sind die meisten Werte in dieser Datei Null.

Die Datei *Dateiname_Vdot.txt* fasst die Zapfereignisse zusammen: Es enthält in jeder Zeile zwei Werte, die durch ein Semikolon getrennt sind. Der erste Wert ist jeweils der Volumenstrom (in Liter/Stunde), der zweite, der Zeitschritt, in dem der entsprechende Volumenstrom gezapft wird.

Die Datei *Dateiname_sum.txt* enthält fünf Listen:

- 1) Summe aller Tages-Zapfvolumina,
- 2) die Summe aller Zapfvolumina, die jeweils zur gleichen Stunde im **Gesamtzeitraum** entnommen wurden,
- 3) die Summe aller Zapfvolumina, die jeweils zur gleichen Stunde an **Wochentagen** entnommen wurden,
- 4) die Summe aller Zapfvolumina, die jeweils zur gleichen Stunde an **Wochenendtagen** entnommen wurden und
- 5) alle Tage, die Urlaubstage sind. Für Mehrfamilienhäuser werden die Urlaubstage jedes Haushalts nacheinander aufgelistet.

<pre> 0 130 0 269 183 0 0 0 0 53 0 0 0 0 ...</pre>	<pre> 130;28 269;30 183;31 53;36 43;53 63;72 61;74 66;77 60;81 222;124 69;125 125;126 58;127 54;169 60;172 60;174</pre>	<pre> sums of daily draw-off volumes 124,4 139,9 93,8 138,8 78,1 278,5 308,5 sums of draw-off volumes of each hour of the day 8,4 0 0 7,3 9,8 8,6 0 875 179,8 15,8 31,5 29,2 222,4 0 0 115,8 89,5 0 81,3 120 90,7 101,4 13,5 0 holidays of household(s), numbers correspond to day of year 1 2 3 4 5</pre>
<p>Abb. 4.1: Beispiel: Ausschnitt der Ausgabedatei <i>Dateiname_DHW.txt</i>.</p>	<p>Abb. 4.2: Beispiel einer Ausgabedatei <i>Dateiname_Vdot.txt</i>.</p>	<p>Abb. 4.3: Beispiel einer Ausgabedatei <i>Dateiname_sum.txt</i>. Dauer: 7 Tage. Summen für Wochentage und Wochenendtage sind nicht im Bild.</p>

Die Sommerzeit (European Daylight Saving Time) wird in der Liste *Dateiname_sum.txt* nicht berücksichtigt. Da sich die Tages-Wahrscheinlichkeitsverteilung während der Sommermonate aber um eine Stunde verschiebt, spiegeln die Werte in der Liste nicht mehr die ursprünglichen Tages-Wahrscheinlichkeitsverteilung wider.

Die Datei *Dateiname_log.txt* enthält sämtliche Informationen über Eingangsdaten, die nutzerseitig gewählt wurden. Ein Beispiel ist in Abb. 4.4 dargestellt.

LOGFILE DHW0001_log.txt

for a single family house

Total duration: 10 days
Start day : 1. day of the year
Mean daily draw-off vol.: 200 l/day
No. of categories: 1
Time step duration: 1 min

FLOW RATE SETTINGS

Mean flow Rate: 480 l/h
Duration of draw-off: 1 min
sigma: 120 l/h
min. flow rate: 6 l/h
max. flow rate: 1200 l/h

PROBABILITY FUNCTION SETTINGS

Step function probability distribution for weekdays + weekend-days

Mean DHW-volume tapped during 6 time periods:

weekdays

time period ratio of daily DHW-volume

22:00-06:30	2 %
06:30-07:30	50 %
07:30-12:00	6 %
12:00-13:00	16 %
13:00-18:00	6 %
18:00-22:00	20 %

weekend-days

time period ratio of daily DHW-volume

23:00-07:00	3,8 %
07:00-09:00	47,5 %
09:00-15:00	7,1 %
15:00-17:00	23,8 %
17:00-20:00	3,6 %
20:00-23:00	14,3 %

Ratio of the mean daily draw-off volume tapped

on weekend-days/on weekdays: 120 %

Seasonal Variations:

Sine amplitude: 10 %

Day of sine maximum: 45

Holiday Periods:

1.1. - 5.1. -> 50%

Abb. 4.4: Beispiel einer Ausgabedatei *Dateiname_log.txt*.

5 Beispiele von Tagesverteilungen der Zapfvolumina

Einfamilienhaus. Tagesverbrauch im Jahresverlauf.

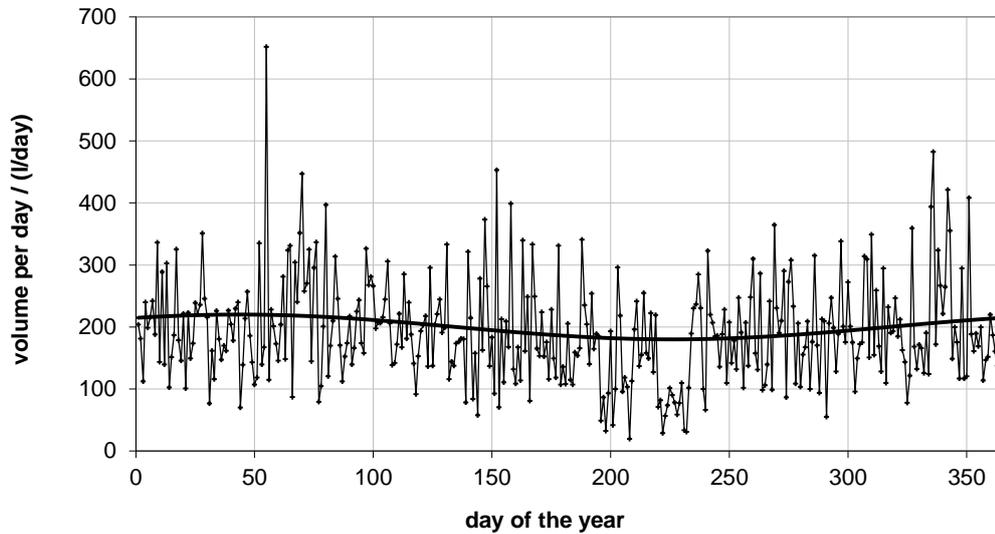


Abb. 5.1: Verteilung des täglichen Zapfvolumens im Jahresverlauf (Durchschnittswert an Urlaubstagen: 100 l/Tag, an anderen Tagen: 200 l/Tag). Die Sinusfunktion mit einer Amplitude von 20 l/Tag (10% des durchschnittlichen täglichen Zapfvolumens), die zur Berechnung der saisonalen Wahrscheinlichkeitsverteilung endet wird, ist fett gedruckt dargestellt. Es wurden zwei Zeiträume mit reduziertem Verbrauch berücksichtigt, einer vom 1. Juli (196. Tag) bis zum 28. Juli, der andere vom 8. August (221. Tag) bis zum 22. August (markiert durch graue Balken).

Zehnfamilienhaus. Tagesverbrauch im Jahresverlauf.

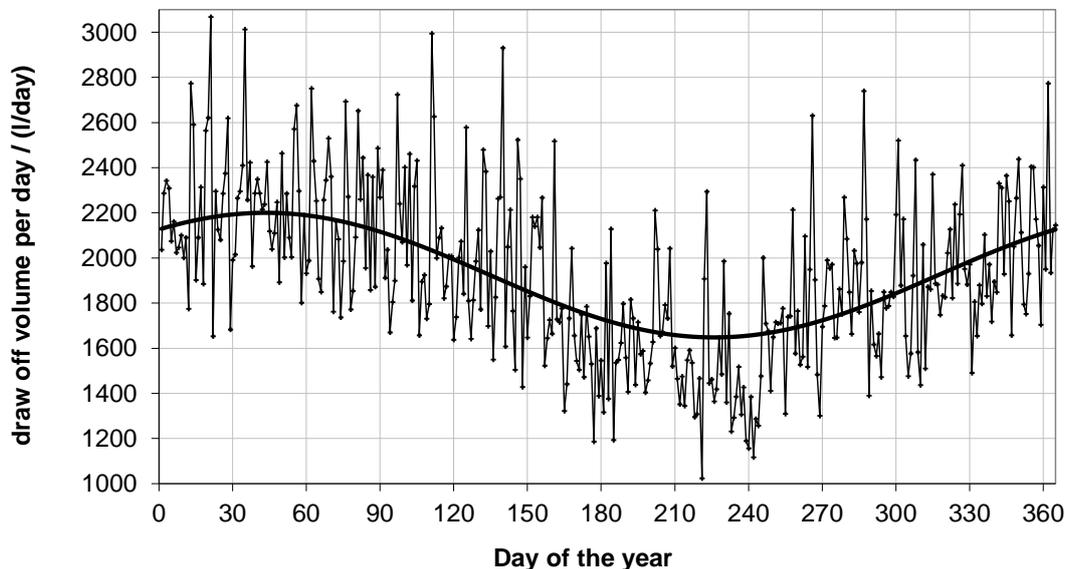


Abb. 5.2: Tagesverbräuche des Zapfprofils eines Zehnfamilienhauses (Durchschnittsverbrauch: 2000 l/day). Fett gedruckte Linie: Durchschnittlicher Tagesverbrauch im Jahresverlauf. Zwei Urlaubswochen zwischen 1. Juni und 30. September für jeden Haushalt.