



Energieoptimiertes Bauen – EnEff:Schule
Neubau der St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)
als Nullenergiehaus in Holzbauweise

Abschlussbericht

Teil 12: Frisch-, Regen- und Abwasser

Prof. Dr.-Ing. K. Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) K. Gebhardt, M. Eng.

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Magdeburg, September 2018

unter dem Förderkennzeichen
FKZ 03274300
gefördert durch das:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Projektförderung:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
unter dem Förderkennzeichen FKZ 03274300
Im Förderprogramm Energieoptimiertes Bauen (EnOB) – EnEff: Schule

Projektträger:

Projektträger Jülich (PTJ)
Wilhelm-Johnen-Straße
52428 Jülich

Projektlaufzeit:

01.04.2013 - 31.03.2018

Fördermittelnehmer und Forschungskooperationspartner:



Edith-Stein-Schulstiftung des Bistums Magdeburg
Max-Josef-Metzger-Str. 1
39104 Magdeburg

Verantwortliche Berichtverfasser:



Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) Katharina Gebhardt, M. Eng.
Fachbereich Wasser, Bau, Umwelt und Sicherheit
Hochschule Magdeburg/Stendal
Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

Projektbearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) Katharina Gebhardt, M. Eng.
Maik Erl, M. Eng.
Lukas Hoffmann, M. Eng.
Sandra Jäger, M. Eng.

Heidrun Neumann, B. Eng.
Normen Stottmeister, M. Eng.
Florian Switala, M. Eng.
Xiaoya Wang, M. Eng.
Jana Wohlfahrt, B. Eng.

Datenstand:

Magdeburg, 30.09.2018

Inhalt

Impressum	3
1 Zusammenfassung	7
2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung	17
3 Planung und Ausführung Trinkwassernetz	19
3.1 Pläne Trinkwasser.....	19
3.2 Netzkomponenten Trinkwasser.....	29
3.3 Planung und Ausführung Trinkwassernetz.....	35
4 Planung und Ausführung Brauchwassernetz	39
4.1 Pläne Brauchwasser.....	39
4.2 Netzkomponenten Brauchwasser	45
4.3 Planung und Ausführung Brauchwassernetz.....	52
4.4 Referenzobjekte	53
5 Planung und Ausführung Abwassernetz	55
5.1 Pläne Abwasser.....	55
5.2 Netzkomponenten	65
5.3 Planung und Ausführung	71
6 Trinkwassererwärmung	73
6.1 Schulbetrieb und Nebenräume.....	73
6.2 Hausmeisterwohnung.....	76
6.3 Küche	78
6.4 Erkenntnisse.....	78
7 Trinkwasserhygiene	79
7.1 Rechtliche Randdaten	79
7.2 Warmwassernetz.....	80
7.3 Kaltwassernetz	83
7.4 Erkenntnisse.....	84
8 Kennwerte des Wasserbedarfs	85
8.1 Belegung	85
8.2 Trinkkaltwasser für Hort, Schule und Verwaltung.....	86
8.3 Brauchwasser für Hort, Schule und Verwaltung	87
8.4 Trinkkalt- und Warmwasser für die Küche	88
9 Messergebnisse Wasserverbrauch	91
9.1 Messorte und Messtechnik	91
9.2 Niederschlagsmengen.....	92
9.3 Gesamt- und Regenwasser	93
9.4 Hilfsenergie.....	96
9.5 Wirtschaftliche Einordnung	97
9.6 Fazit	98
10 Messergebnisse Funktion	101
10.1 Monatsverläufe.....	101
10.2 Tagesverläufe	102
10.3 Hilfsenergie der Regenwassernutzung.....	115
10.4 Genauigkeit der Datenerfassung.....	118
10.5 Probleme und Verbesserungsansätze.....	118
11 Anhang	121
11.1 Literatur.....	121
11.2 Nomenklatur	122
11.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	123
11.4 Detailauswertungen	126
11.5 Planer, Ausführende, Projektbeteiligte	134
11.6 Überblick über separate Anhänge.....	134

1 Zusammenfassung

Die St. Franziskus-Grundschule ist mit einem üblichen Trinkwasseranschluss an das Versorgungsnetz ausgestattet. Aus diesem Netz werden alle Waschbecken, Duschen/Wannen, Küchengeräte, Spül- und Waschmaschinen versorgt. Für die WCs und Urinale sind darüber hinaus eine Regenwassernutzungsanlage – siehe Abbildung 2-1 – und ein separates Brauchwassernetz installiert.

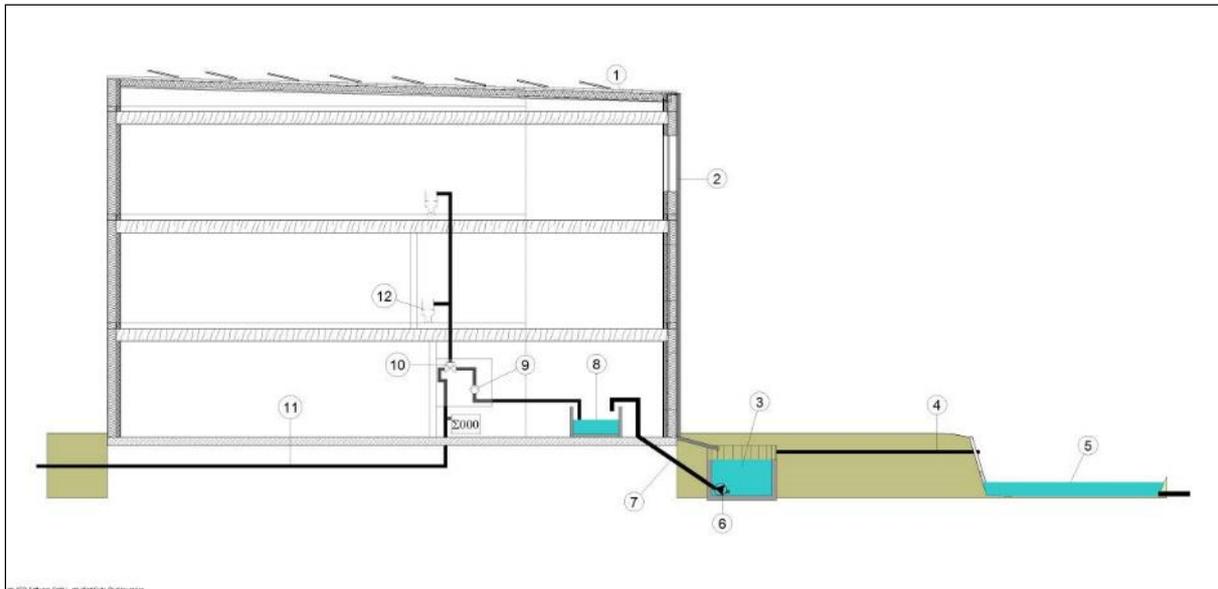


Abbildung 1-1: Konzept Wasser- und Regenwassernutzung

Das Regenwasser wird auf der 1250 m² großen Dachfläche gesammelt. Von dort strömt es in eine Regenwasserzisterne mit 20 m³ Fassungsvermögen. Ist die Zisterne gefüllt, wird das überschüssige Regenwasser über eine unterirdische Leitung in den Überlaufteich geleitet. Dort kann es versickern oder verdunsten.

Für die Nutzung im Gebäude ist die Zisterne der Ausgangspunkt. Mit einer Tauchpumpe wird Regenwasser in einen Zwischenbehälter gepumpt. Er hat 350 Liter Fassungsvermögen und steht im Hausanschlussraum 0.18. Ist der Zwischenbehälter leer, weil auch die Zisterne leer ist, kommt das Toilettenspülwasser vom Versorger.

Pläne und Planung

Aufgrund der Insolvenz des ersten Planers lagen sämtliche Originalpläne nur als PDF-Dateien aus der Bauantragsphase (2011) sowie Papierausdrucke aus der Ausführungsphase (2013) vor. Alle Änderungen bei der Ausführung wurden daher – wenn überhaupt – nur händisch festgehalten.

Daher wurden nach Baufertigstellung alle Planunterlagen im Rahmen des Monitorings neu als CAD-Dateien erstellt und Änderungen eingetragen. Ebenfalls wurde die komplette Planung der Frisch- und Brauchwasseranlage sowie der Abwasseranlagen erneut erstellt [1] [2] [3]. In diesem Zusammenhang wurden die Netze als Isometrien in entsprechender Planungssoftware modelliert, siehe Abbildung 1-2.



Abbildung 1-2: Isometrie der Trinkwasser-, Brauchwasser- und Abwassernetze

Trinkwassernetz und -planung

Im Hausanschlussraum (0.18) befindet sich der Hauptzähler mit Trinkwasserfilter, die Verteilung und Absperrung der Trinkwasserzuleitung sowie die Anschlüsse von Grundschule, Hort, Verwaltung, Küche, Hausmeisterwohnung, Sekundarschule und Turnhalle. Die horizontale Trassenführung innerhalb des Gebäudes erfolgt in der abgehängten Decke in den Fluren. Einzelzuleitungen und Steigleitungen sind in den Zwischendecken bzw. in den Holzständerwänden zu den einzelnen Verbrauchsstellen verlegt.

Die Waschmaschinen und Geschirrspüler des Kindercafés, des Besprechungsraumes sowie der Hausmeisterwohnung sind an das Kaltwassernetz angeschlossen. Darüber hinaus alle Wasch- und Spülbecken, Duschen und die Badewanne in der Hausmeisterwohnung sowie ein Trinkwasserspender. Im Hort (0.06) und in der Küche (0.35) werden je ein Mitarbeiter-WC mit Kaltwassernetz versorgt, nicht wie sonst üblich über Brauchwasser.

Die Spüleinrichtungen in der Küche benötigen höhere Temperaturen und sind an ein – auf die Küche beschränktes – zentrales Warmwassernetz mit Zirkulation angeschlossen. Darüber hinaus gibt es mehrere dezentrale elektrische Durchlauferhitzer und einen Kleinspeicher. Die Hausmeisterwohnung wird zweistufig mit Trinkwarmwasser versorgt: über eine solare Vorwärmung (Speicher) und eine Nachheizung mit Durchlauferhitzer in der Nähe der Zapfstellen.

Für das Trinkwassernetz wurde Edelstahl als Steig- und Horizontalverteilungen (DN 12 ... DN 50, insgesamt 356 m Kaltwassernetz und 72 m Warmwassernetz) sowie Geberit-Verbundrohr für die Abnehmeranschlüsse (DN 12 ... 20, insgesamt 115 m Kaltwassernetz und 37 m Warmwassernetz) eingesetzt.

Die Dämmung der Edelstahlleitungen erfolgte mit alukaschierter Mineralwolle. Für die warmgehenden Leitungen mit 100 % des Rohrdurchmessers, die kaltgehenden mit 75 % - beides vorschriftsmäßig. Die Leitungsteile aus Verbundrohr weisen vermutlich durchgängig PE-Vliesdämmung auf. Die Dämmdicke entspricht nur 25 % des Durchmessers. Das ist nur im Bereich der Warmwasser- und Zirkulationsleitungen in der Küche zu gering.

Das Kaltwassernetz wurde – gegenüber der Nachrechnung – marginal überdimensioniert. Im Bereich der Steigleitungen sowie Versorgungsleitungen für mehrere Verbraucher wurde in einigen Fällen das Rohr um eine Dimension größer gewählt als der Planungsvorschlag (DN 20 statt DN 15, DN 15 statt DN 12). Die Einzelanschlüsse entsprechen der Planung.

Die berechneten Durchmesser des Trinkwarmwassernetzes stimmen ebenfalls in etwa mit der Ausführung; allerdings müssen für die Spülmaschine und die zugehörige Reinigungsbrause die vom Hersteller vorgesehenen Durchflüsse in der Software angesetzt werden. Die Standardwerte der Norm ("Küchenspüle") sind zu gering. Die Zirkulationsleitungen sind in der Realität mit DN 20 deutlich größer bemessen als der Vorschlagswert der Software (DN 12). Hier ist nicht nachvollziehbar, wieso diese Art der Ausführung gewählt wurde.

Brauchwassernetz und -planung

Die Ableitung des Regenwassers vom Dach erfolgt über in der Außenwand befindliche Sammelleitungen bis zu einem Sammelschacht und von dort in 2 Zisternen. Die Falleitungen sind als PE-Rohr, die Außenleitungen als KG-Rohr ausgeführt.

Im Hausanschlussraum (0.18) befindet sich die Regenwasserzuleitung in DN 50 von der Zisterne, die Nachspeisung mit Trinkwasser sowie die zentrale Verteilung und Absperrung des Brauchwassernetzes. Die horizontale Trassenführung innerhalb des Gebäudes erfolgt in der abgehängten Decke in den Fluren. Einzelzuleitungen und Steigleitungen sind in den Zwischendecken bzw. in den Holzständerwänden zu den einzelnen Verbrauchsstellen verlegt.

An das Brauchwassernetz sind die WCs und Urinale angeschlossen. Zwei Ausnahmen gibt es: im Hort (0.06) und in der Küche (0.35) werden je ein Mitarbeiter-WC mit Kaltwassernetz versorgt, nicht wie sonst üblich über Brauchwasser. Bei der Küche ergibt sich dies aus Gründen der Hygiene. Für das Mitarbeiter-WC im Hort ist keine Begründung der Abweichung bekannt. Die Waschmaschinen wurden nicht an das Brauchwassernetz angeschlossen.



Abbildung 1-3: Hausanschlussraum 0.18 – Installationsphase und Endzustand

Das Brauchwassernetz wurde – was Rohr- und Dämmmaterialien angeht – analog dem Kaltwassernetz ausgeführt. Es kam Edelstahl zum Einsatz als Steig- und Horizontalverteilungen (DN 12 ... DN 32, insgesamt 148 m) sowie Verbundrohr für die Abnehmeranschlüsse (DN 12, insgesamt 40 m).

Die Nachplanung ergibt folgendes Ergebnis: die Anschlussleitungen der WCs und Urinale ist identisch mit den vor Ort installierten Rohrleitungsdurchmessern. Die zentralen Verteilleitungen fallen in der umgesetzten Ausführung moderat größer aus als die Planung (meist ein DN größer). Die zentralen Leitungen im Hausanschlussraum wurden jedoch deutlich überdimensioniert (DN 50 statt berechneten DN 25).

Abwassernetz und -planung

Es liegt Schwerkraftentwässerung vor, d. h. Falleitungen führen in Grundleitungen. Die Küchenentwässerung erfolgt mit geeignetem Rohrmaterial für fetthaltige Abwässer, in einen Fettabscheider außerhalb des Gebäudes. Die Falleitungen mit WC erhalten eine Hauptlüftung über Dach, die Falleitungen ohne WC erhalten Be- und Entlüftungsventile. Die Entlüftung der Küchenentwässerung erfolgt separat über Dach. Anschluss-Sammel- und Falleitungen sind aus verschweißtem PE-Rohr gefertigt. Die horizontale Trassenführung der Abwasserleitungen erfolgt weitgehend unter der Bodenplatte.

An das Netz sind alle Trink- und Brauchwasserzapfstellen angeschlossen. Darüber hinaus die Kondensatabläufe von vier Lüftungsanlagen (Hausmeisterwohnung, Grundlüftung Küche, Hauptlüftung Klassentakt, Hauptlüftung Verwaltungstrakt) sowie der Kühlzelle und die Bodeneinläufe in der Küche.

Für das Abwassernetz wurde Polyethylen-Rohr eingesetzt – insgesamt 268 m in DN 20 ... 100. Eine Dämmung für Leitungen in der Konstruktion kann aus Schallschutzgründen erfolgen. Die Vor-Ort-Begehung zeigte – bei allen sichtbaren Leitungen – keine Dämmung. Es ist davon auszugehen, dass dies auch für die Leitungen gilt, die in der Konstruktion untergebracht sind.

Die Fallrohre der Regenwasserentwässerung sind aus PE gefertigt. Sie sind nicht zugänglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie mit einem 9 mm dicken PE-Schutzschlauch versehen sind.

Im Großen und Ganzen kann die Ausführung durch die Nachberechnung gut nachvollzogen werden. Es gibt systematische Abweichungen, welche mit den Datensätzen der Software erklärt werden können. Beispielsweise ergibt die Planung jeweils Leitungen in DN 80, die in der Realität in der Dimension DN 70 ausgeführt wurden. Die WC-Anschlussleitungen sind softwareseitig jeweils in DN 80 vorgesehen, was sich auch in den Fall- und Lüftungsleitungen wiederholt. In der Realität sind jeweils DN 100-Leitungen installiert.

Aus dem vorhandenen Strangschema wird deutlich, dass die Grundleitungen in dem untersuchten Gebäude nur mit Durchmesser DN 100 erstellt wurden. Das Planungsprogramm schlägt DN 80, 100 und 125 vor.

Trinkwassererwärmung

Der Schulbetrieb nutzt nur im Ausnahmefall Warmwasser, welches dezentral in elektrischen Durchlauferhitzern mit 11 kW Leistung erwärmt wird. Sie sind zu finden im Kindercafé 0.03, der Mitarbeiterdusche 1.11, dem Besprechungsraum 1.21 sowie dem Kunstraum 2.14. Im Raum 0.06 wurde ein elektrisch beheizter 5-Liter-Kleinspeicher installiert. Die fehlende Ausstattung der Kinder-WCs mit Warmwasser fällt im Winter negativ auf. Vor allem wenn draußen Minusgrade herrschen und nach der großen Pause mit sehr kaltem Wasser die Hände gewaschen werden sollen. Eine energiesparende Alternativlösung ist nicht bekannt. Es wäre denkbar, Durchlauferhitzer einzusetzen und diese nur im Winterhalbjahr freizuschalten.

Die Hausmeisterwohnung verfügt über einen Anschluss an die zentrale Warmwasserbereitung und hat einen eigenen Trinkwasserspeicher mit einem Speichervolumen von 200 l. Für den Fall, dass die Warmwassertemperatur aufgrund der solaren Vorwärmung nicht ausreichend ist, erfolgt eine (Nach-)Erhitzung über Durchlauferhitzer mit 21 kW (Hauptgerät) sowie 11 kW (in der Küche). Die Geräte sind solartauglich, d. h. können mit Zulauftemperaturen von knapp 70°C versorgt werden. Soweit die Nutzeroaussagen es erkennen lassen, ist von einer problemlosen zweistufigen Trinkwassererwärmung für den Hausmeister (solar zentral, elektrisch dezentral) auszugehen. Es traten keine Beschwerden auf.

Die Trinkwassererwärmung wird im separaten **Bericht 8** näher beschrieben.

Trinkwasserhygiene im Warmwassernetz

Im Trinkwarmwassernetz sind zwei Details näher zu untersuchen: die gesamte zweistufige Warmwasserversorgung für die Hausmeisterwohnung sowie die Zirkulation in der Küche.

Das Teilsystem zur Trinkwarmwasserversorgung in der Hausmeisterwohnung funktioniert wie folgt: solarer Vorwärmerspeicher im EG, von dort aus eine Leitung ins 2. OG, dort die Durchlauferhitzer, danach die Zapfstellen.

Sowohl des DVGW-Arbeitsblatt W 551 als auch die Norm DIN 1988-200 erläutern: "dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer können ohne weitere Maßnahmen verwendet werden, wenn das dem Durchfluss-Trinkwassererwärmer nachgeschaltete Leitungsvolumen 3 Liter nicht übersteigt." Das ist in der Hausmeisterwohnung gegeben.

Da der Solar-Vorwärmerspeicher im EG nur einmal die Woche thermisch desinfiziert wird, ist der Durchlauferhitzer in der Wohnung so eingestellt, dass er eine Erwärmung des Trinkwassers auf $\geq 60^{\circ}\text{C}$ erreicht, so dass jegliches Warmwasser – sollten Keime vorhanden gewesen sein – vor dem Zapfen thermisch desinfiziert wird. Das System kann nur funktionieren, wenn der Haupt-Durchlauferhitzer (21 kW) für die Hausmeisterwohnung das Wasser immer auf über 60°C erwärmt. Er darf nicht nach unten geregelt werden (können), um so einer Vermehrung von z. B. Legionellen entgegen zu wirken.

In der Küche ist ausgehend vom Speicher eine Zirkulation vorgesehen. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich keine Zirkulation ergibt, obwohl die entsprechende Pumpe in Betrieb ist. In der Realität ergibt sich hieraus aber ein potentielles – ggf. künftiges – Hygieneproblem. Bisherige Hygieneprüfungen führten jedoch nicht zum Nachweis einer Legionellenkontamination. Auch gibt es keine Beschwerden der Mitarbeiter bzgl. zu langer Wartezeiten bis das Warmwasser an der Armatur ist.

Die Warmwasserleitungen mit ca. 15 Liter Gesamtfüllvolumen werden jedoch an jedem Betriebstag mit 60°C Wasser jeweils mind. einmal durchspült. Es gibt prinzipiell keine Tottleitungen. Hier wird das Kontaminationsrisiko als gering angesehen.

Fakt ist aber, dass insgesamt ca. 4 Liter Warmwasser in der Zirkulationsleitung ständig stagniert (ca. 31 m, DN 12). Diese Leitung liegt komplett im beheizten Bereich, ist teils nur schwach gedämmt und ist direkt neben der Warmwasserleitung angeordnet, so dass von Wassertemperaturen im Bereich von deutlich über 20°C ausgegangen werden kann. Ein Legionellenwachstum ist nicht ausgeschlossen.

Ein Rückbau der Zirkulation ist nicht zielführend. Zwar wäre dann die Tottleitung entfernt und entsprechende Gefahrenquelle beseitigt. Jedoch entspricht das System nicht der DIN 1988-200 und dem DVGW Arbeitsblatt W 551, da mehr als 3 Liter Füllvolumen enthalten sind. Es wird daher – zur Einhaltung der gesetzlichen Auflagen – empfohlen, die Zirkulation in Betrieb zu nehmen.

Trinkwasserhygiene im Kaltwassernetz

Im Trinkkaltwassernetz sind zwei Details näher zu untersuchen: die Mitarbeiterdusche und das Handwaschbecken im Atelier (Raum 0.01).

Grundsätzlich können Stillstandzeiten in der Trinkwasser-Installation nicht vermieden werden. Stagnationsbedingte Änderungen der Trinkwasserbeschaffenheit durch Aufnahme von Substanzen aus Installationswerkstoffen oder durch Bakterienvermehrung können jedoch durch geeignete Maßnahmen minimiert werden.

Eine Nichtnutzung der Anlagen über mehr als 72 Stunden stellt eine Betriebsunterbrechung dar und ist zu vermeiden. Soweit nachgewiesen werden kann, dass die Trinkwasserbeschaffenheit gemäß TrinkwV auch über einen längeren Zeitraum der Nichtnutzung erhalten bleibt und die Gebäude keinen besonderen Anforderungen unterliegen (z. B. Krankenhaus oder Pflegeeinrichtungen usw.), kann die o. g. Frist auf maximal 7 Tage verlängert werden.

Eine längere Betriebsunterbrechung wird als nicht bestimmungsgemäßer Betrieb der Trinkwasserinstallation bezeichnet und kann die Wasserbeschaffenheit, z. B. durch die Vermehrung von Mikroorganismen und in Lösung gehende Werk- und Betriebsstoffe, beeinträchtigen.

Im Raum 1.11 gibt es eine Dusche, welche nur sporadisch genutzt wird. Durch die unregelmäßige Nutzung der Dusche kann – nicht muss! – es hier zur Stagnation des Trinkwassers (Kaltwasser) und damit zur Vermehrung von Legionellen kommen. Hinsichtlich der genannten Dusche könnte darüber nachgedacht werden, ob diese zurückgebaut werden kann, um dem Risiko einer erhöhten Keimbelastung im Trinkwassernetz entgegen zu wirken. Sofern auf die Dusche nicht verzichtet werden kann oder soll, sollte die Installation einer automatischen Hygienespülung in Erwägung gezogen werden. Diese spült innerhalb eines beliebig bestimmbar Zeitintervalls die entsprechenden Leitungen.

Die Rohrleitung vom Hausanschlussraum 0.18 bis zum letzten Waschbecken im Atelier (Raum 0.01) wird bei der Nachplanung als zu lang erkannt. Durch zu große Wassermengen in den Leitungen besteht die Gefahr der Stagnation. Dies kann zur Vermehrung von Krankheitserregern führen, welche die Qualität des Trinkwassers erheblich verschlechtern.

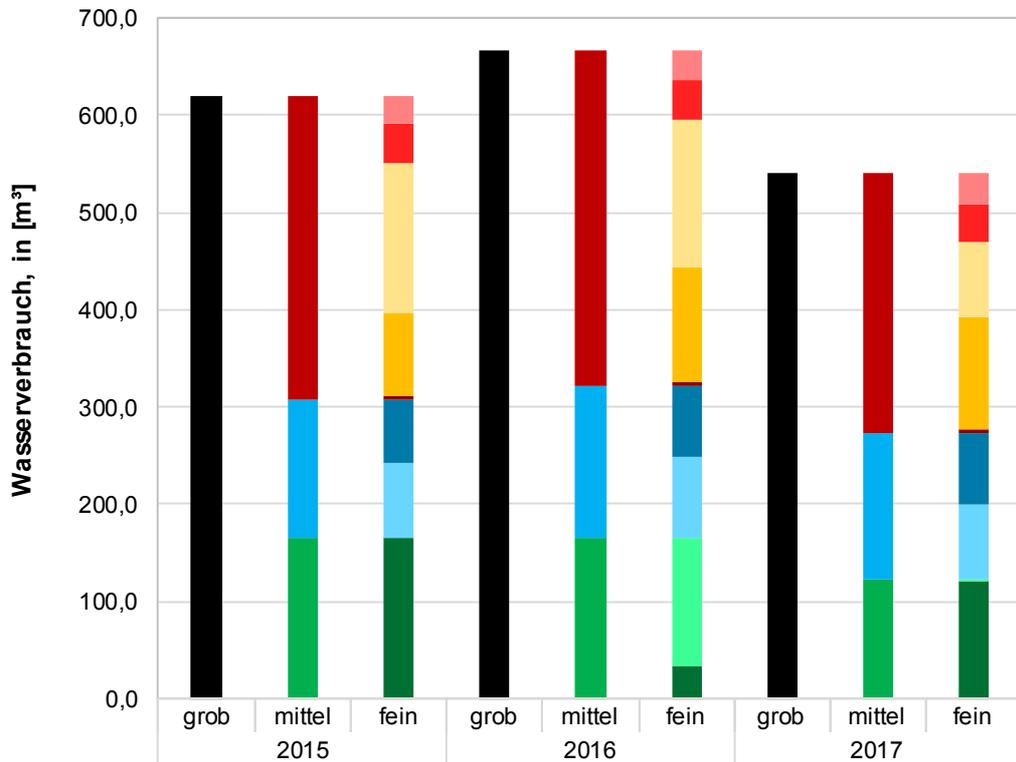
Da diese Zapfstelle jedoch regelmäßig genutzt wird, stellt sich das reale Risiko sicherlich deutlich geringer ein als bei der Dusche. In Bestandsgebäuden sind regelmäßig solche Zapfstellen anzutreffen. Im Rahmen einer Neubauplanung hätte dieses Problem vermieden werden können. Sollte diese Zapfstelle im Rahmen der Hygieneprüfung auffällig werden, sollte die Installation einer automatischen Hygienespülung in Erwägung erfolgen.

Im Rahmen der Neubauplanung empfiehlt sich die Installation einer Ringleitung bzw. Reihenableitung (Durchschleifen) unter Vermeidung von Stichleitungen. Ausgehend von der Hauptleitung werden ausschließlich Stichleitungen mit jeweils weniger als 3 Liter Füllvolumen installiert. An der Wasserentnahmestelle des letzten Verbrauchers wird eine automatische Hygienespülung eingebaut. Bei Stillstandzeiten würde die Hygienespülung dafür sorgen, dass das Trinkwasser in der Leitung in regelmäßigen Abständen vollständig erneuert wird. Auch dies kann dazu beitragen, dass die Vermehrung von Bakterien im Leitungssystem gehemmt wird.

Wasserbilanzen

Die Bilanzen des Trink- und Regenwassers für drei komplette Betriebsjahre zeigen Abbildung 1-4 und Abbildung 1-5. Auf Grundlage der vorhandenen Zählerstruktur erfolgte eine Unterteilung der jeweiligen Gesamtwerte.

Trinkwasserbilanz 2015 - 2017 Jahreswerte



■ Hausmeister WW			28,4			31,1		32,1
■ Hausmeister KW			41,4			40,1		39,1
■ Küche WW			154,0			152,4		78,2
■ Küche KW			85,2			117,3		114,3
■ BTA Verwaltung			3,5			4,0		4,9
■ BTB Hort			65,7			73,0		73,4
■ BTB Schule			76,8			83,2		76,2
■ Nachspeisung Heizung			0,0			132,9		1,5
■ Nachspeisung BW			164,8			33,1		121,3
■ BTA		312,6			345,0			268,6
■ BTB		142,6			156,2			149,6
■ Nachspeisung		164,8			166,0			122,8
■ Hauptwasser	619,9			667,1			541,0	

Abbildung 1-4: Trinkwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017

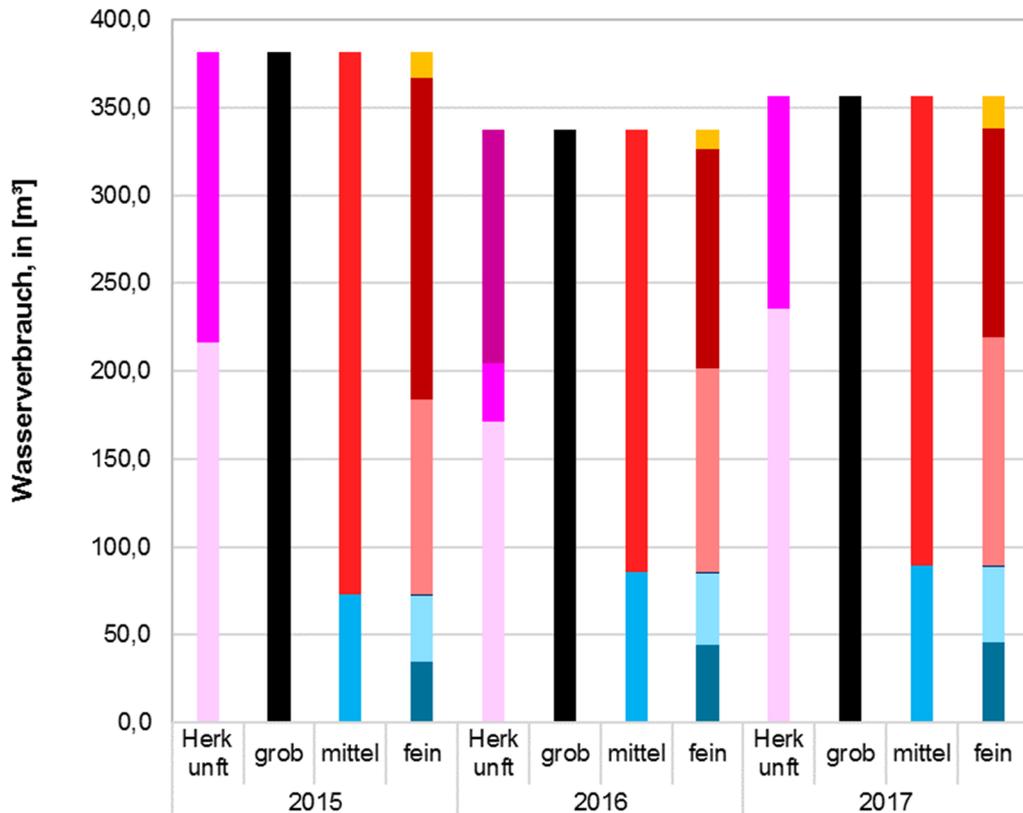
Der Hausmeisterverbrauch ist relativ konstant über die Jahre; das gilt auch für die Aufteilung auf Warm- und Kaltwasser. Der Kaltwasserverbrauch in der Küche ist 2016 aus nicht bekannten Gründen stark gegenüber 2015 gestiegen. Der Warmwasserverbrauch hat 2017 stark abgenommen, was mit der Übernahme des neuen Betreibers zu erklären ist (in der Monatsbilanz erkennbar).

Die Wassermengen für Hort, Schule und Verwaltung sind relativ konstant über die 3 Jahre.

Die Nachspeisung von Trinkwasser in das Brauchwassernetz ist 2017 deutlich geringer als in den beiden Jahren vorher, was durch die höhere Niederschlagsmenge einerseits und den schadensfreien Betrieb der Anlage andererseits erklärt werden kann. In der Zeit des Schadens der Regenwassernutzung im Jahr 2016 wurde über den Zähler "Nachspeisung Heizung" eine Einspeisung von Trinkwasser realisiert

Brauchwasserbilanz 2015 - 2017

Jahreswerte



■ Außenwasser Hof			14,9			11,6			18,1
■ BTB Hort			182,3			124,9			119,1
■ BTB Schule			111,2			115,1			129,6
■ Außenwasser Straße			0,7			0,6			0,7
■ BTA Hausmeister			37,7			41,1			43,1
■ BTA Verwaltung			34,5			44,2			45,7
■ BTB		308,4			251,6			266,8	
■ BTA		72,8			85,9			89,5	
■ Brauchwasser Gesamt		381,2			337,5			356,4	
■ Nachspeisung Heizung	0,0			132,9			0,0		
■ Nachspeisung BW	164,8			33,1			121,3		
■ Regenwasser	216,4			171,6			235,0		

Abbildung 1-5: Brauchwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017

Die geringste Regenwassernutzung war im Jahr 2016 zu verzeichnen, da die Anlage von April bis Oktober defekt war. In der Zeit des Schadens der Regenwassernutzung im Jahr 2016 wurde über den Zähler "Nachspeisung Heizung" eine Einspeisung von Trinkwasser realisiert.

In der Verwaltung hat die Nutzung von Brauchwasser nach 2015 zugenommen. Die Gründe sind nicht bekannt. Der Hausmeisterverbrauch ist relativ konstant bis leicht steigend über die Jahre.

Der Verbrauch an Brauchwasser für die WCs in den Klassenraumetagen ist relativ konstant über die Jahre. Der Verbrauch im Hort hat nach 2015 stark abgenommen und ist dann konstant geblieben. Es sind keine Gründe dafür bekannt.

Die Regenwassernutzung zieht einen Pumpenenergieverbrauch nach sich. Einerseits für die Zisternenpumpe, andererseits für die Brauchwasser-Doppelpumpe im Gebäude. Diese muss auch das nachgespeiste Frischwasser aktiv pumpen, wenn das Regenwasser erschöpft ist. Die Summe beläuft sich im Jahr 2017 auf 4123 kWh/a. Im Jahr 2016 lag aufgrund des Anlagendefektes (April bis Oktober) der Wert entsprechend niedriger.

Fazit aus Sicht der St. Franziskus-Grundschule

Es sei angemerkt: die Dimensionierung der Anlage ist gut gelungen. Um mehr als 66 % Regenwasseranteil für die WC-Spülung zu erreichen, hätte die Zisterne deutlich größer ausgelegt werden müssen – was selbstverständlich die Investitionen erhöht hätte. Die angeschlossene Entwässerungsfläche (Dach) ist mehr als ausreichend für die zu versorgenden Zapfstellen.

Die Anschaffungskosten der Regenwassernutzungsanlage belaufen sich auf 15.700 €. Zur wirtschaftlichen Einordnung des Systems ist ein Frischwasserpreis von 1,3 €/m³ (plus 7 % MwSt.) sowie der Strompreis von 0,27 €/kWh (Netzstrom) bzw. 0,12 €/kWh (Mischkalkulation incl. PV-Strom) relevant. Es ist mit Wartungs- und Reparaturkosten zu rechnen. Der Arbeitsaufwand des Hausmeisters mit der Anlage ist nicht einzuschätzen, jedoch hat die Reparatur mit Nachrüstung von Filtern im Jahr 2016 knapp 790 € gekostet. Der Filtereinsatz selbst kostet deutlich unter 50 €/a.

Mit der Regenwassernutzungsanlage konnten im Jahr 2017 – welches schadensfrei ablief – etwa 30 % des Gesamtwassereinsatzes durch Regenwasser ersetzt werden (235 m³/a von 776 m³/a). Betrachtet man nur die WC-Spülung sowie die Bewässerung der Außenanlagen, so ist eine Regenwasserquote von 66 % erreicht worden (235 m³/a von 356 m³/a).

Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich nur dadurch, dass für diesen Anteil des Wassers keine Frischwasserkosten anfallen. Allerdings sind für die Pumpen sehr hohe Stromverbräuche festzustellen. Dies ergibt sich vor allem, da jegliches Wasser für die WC-Anlagen gepumpt werden muss – das Regenwasser sowie das nachgespeiste Frischwasser. Dies ist durch die Wasserhygiene begründet.

Aus Sicht der St. Franziskus-Grundschule kann kein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage festgestellt werden. Auch dann nicht, wenn der verminderte Strompreis aufgrund der Eigenstromerzeugung angesetzt wird sowie die Kapitalkosten gänzlich vernachlässigt werden, weil es sich um ein gefördertes Projekt handelt.

Es ist mit einem Verlust von mindestens 220 €/a zu rechnen. Dies spricht eher für eine Abschaltung der Anlage und der Verwendung von Trinkwasser für die WC-Anlagen. Die Zisterne kann weiterhin für die Bewässerung der Außenanlagen verwendet werden.

Fazit aus Sicht anderer Schulen

Eine Regenwassernutzungsanlage ist vom Grundgedanken her sehr sinnvoll. Im Zusammenhang mit dem Schulbildungskonzept kann Kindern der nachhaltige Umgang mit Ressourcen beigebracht werden. Jedoch bedeutet die Anlage auch einen großen zusätzlichen technischen und finanziellen Aufwand bei der Umsetzung und vor allem im Betrieb.

Für künftige Projekte – bei denen nicht geförderte Investitionen unterstellt werden – müsste sich die Regenwassernutzung allein über Wasserkosteneinsparungen refinanzieren. Es ist nicht davon auszugehen, dass dies in absehbarer Zeit bei den gegebenen Kostenstrukturen (hoher Strompreis, geringer Wasserpreis, hohe Investitionskosten) wirtschaftlich machbar ist.

Es handelte sich nicht um ein knappes Verfehlen der Wirtschaftlichkeit, sondern um ein sehr deutliches. Daher kann eine solche Anlage für die breite Anwendung in Schulen nicht empfohlen werden – es sei denn außergewöhnlich günstige Randdaten liegen vor.

2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung

Die St. Franziskus-Grundschule ist mit einem üblichen Trinkwasseranschluss an das Versorgungsnetz ausgestattet. Aus diesem Netz werden alle Waschbecken, Duschen/Wannen, Küchengeräte, Spül- und Waschmaschinen versorgt. Für die WCs und Urinale sind darüber hinaus eine Regenwassernutzungsanlage – siehe Abbildung 2-1 – und ein separates Brauchwassernetz installiert.

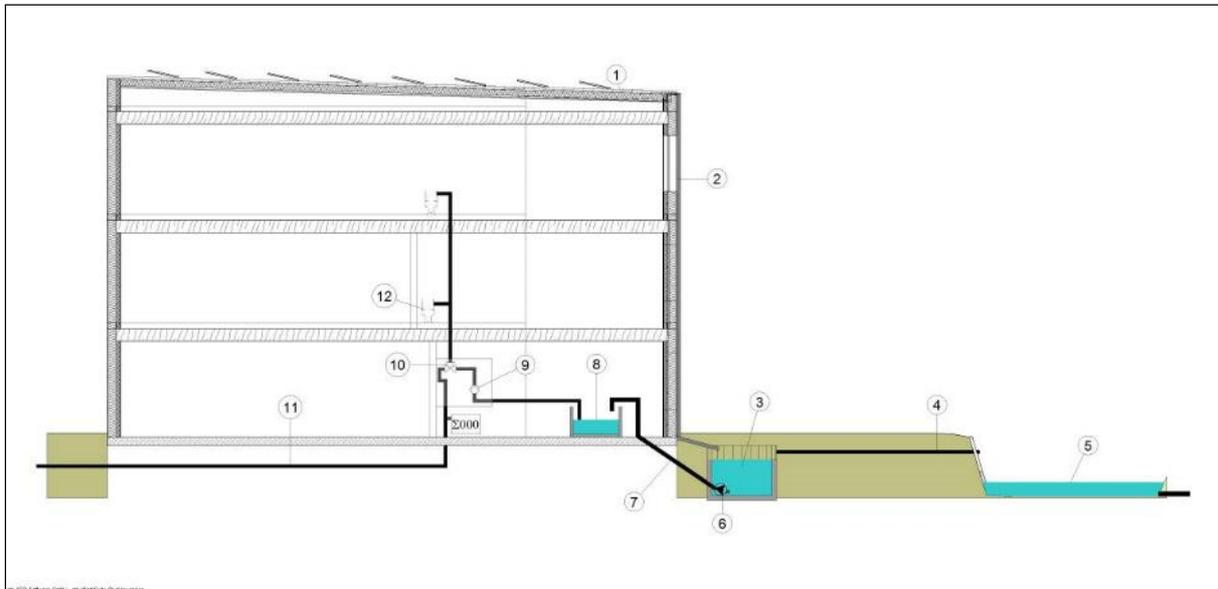


Abbildung 2-1: Konzept Wasser- und Regenwassernutzung

Das Regenwasser wird auf der 1250 m² großen Dachfläche (1) gesammelt und durch Regenrinnen (2) hinter der äußeren Gebäudeverkleidung nach unten geleitet. Dort strömt es in eine Regenwasserzisterne (3) mit 20 m³ Fassungsvermögen. Die Zisterne ist auf der südlichen Gebäudeseite zwischen Haus und Überlaufteich im Erdreich eingebaut.

Ist die Zisterne gefüllt, wird das überschüssige Regenwasser über eine unterirdische Leitung (4) in den Überlaufteich (5) geleitet. Dort kann es versickern oder verdunsten.

Für die Nutzung im Gebäude ist die Zisterne der Ausgangspunkt. Mit einer Tauchpumpe (6) wird Regenwasser über eine Leitung (7) in einen Zwischenbehälter (8) gepumpt. Er hat 350 Liter Fassungsvermögen und steht im Hausanschlussraum 0.18.

Eine zentrale Steuerungseinheit (10) registriert die Wasserzapfung der Verbraucher (12). Solange Wasser im Zwischenbehälter ist, wird dieses mit einer Pumpe (9) gefördert und kann zum Spülen der WCs verwendet werden. Ist der Zwischenbehälter leer, weil auch die Zisterne leer ist, kommt das Toilettenspülwasser vom Versorger (11). Dann wird es gezählt und es fallen die üblichen Frischwasserkosten an.

3 Planung und Ausführung Trinkwassernetz

Der nachfolgende Abschnitt fasst die Daten der Planung und Ausführung für das Trinkwassernetz – Kaltwasser, Warmwasser, Zirkulation – zusammen. Zunächst werden die Planunterlagen vorgestellt, d. h. Grundrisspläne und Strangschemen sowie isometrische Darstellungen des Netzes. Anschließend werden die Netzkomponenten erfasst, insbesondere die Armaturen sowie das Rohrmaterial. Der Abschnitt endet mit einer Zusammenfassung der Netzplanung einschließlich Abgleich zu realen Ausführung.

In den Erläuterungen zur Planung aus der Bauantragsphase [4] wird das Netz wie folgt grob beschrieben:

- im Hausanschlussraum (0.18) befindet sich Gesamtzähler mit Trinkwasserfilter, mit Verteilung und Absperrung der Trinkwasserzuleitung und Anschlüsse von Grundschule, Hort, Verwaltung, Küche, Hausmeisterwohnung, Sekundarschule und Turnhalle
- die horizontale Trassenführung erfolgt in der abgehängten Decke in den Fluren
- Einzelzuleitungen und Steigleitungen sind in den Zwischendecken bzw. in den Holzständerwänden zu den einzelnen Verbrauchsstellen verlegt.

Die Trinkwasserversorgung für das Schulgebäude erfolgt über eine Anschlussleitung (DN80 aus PE) von einer vorhandenen Hauptwasserleitung des Versorgers, welche unter dem nördlichen Gehweg der Murmanker Straße liegt.

Die Waschmaschinen und Geschirrspüler des Kindercafés, des Besprechungsraumes sowie der Hausmeisterwohnung sind an das Kaltwassernetz angeschlossen. Darüber hinaus alle Wasch- und Spülbecken, Duschen und die Badewanne in der Hausmeisterwohnung sowie ein Trinkwasserspender. Im Hort (0.06) und in der Küche (0.35) werden je ein Mitarbeiter-WC mit Kaltwassernetz versorgt, nicht wie sonst üblich über Brauchwasser.

Die Spüleinrichtungen in der Küche benötigen höhere Temperaturen und sind an ein – auf die Küche beschränktes – zentrales Warmwassernetz mit Zirkulation angeschlossen. Darüber hinaus gibt es mehrere dezentrale elektrische Durchlauferhitzer und einen Kleinspeicher. Die Hausmeisterwohnung wird zweistufig mit Trinkwarmwasser versorgt: über eine solare Vorwärmung (Speicher) und eine Nachheizung mit Durchlauferhitzer in der Nähe der Zapfstellen.

3.1 Pläne Trinkwasser

Aufgrund der Insolvenz des ersten Planers lagen sämtliche Originalpläne nur als PDF-Dateien aus der Bauantragsphase (2011) sowie Papierausdrucke aus der Ausführungsphase (2013) vor. Alle Änderungen bei der Ausführung wurden daher – wenn überhaupt – nur händisch festgehalten.

Daher wurden nach Baufertigstellung alle Planunterlagen im Rahmen des Monitorings neu als CAD-Dateien erstellt und Änderungen eingetragen [1] [2] [3].

Für die Planerstellung in CAD gelten folgende Konventionen: alle Leitungen werden immer 10 cm neben der Wand gezeichnet. Um die Netze übersichtlicher darzustellen, werden die Leitungen, die in der Realität untereinander verlegt sind, im 2D-Raum nebeneinander gezeichnet.

Sämtliche Planunterlagen sind im separaten **Anhang A** zu finden.

3.1.1 Grundrisse Trinkwasser

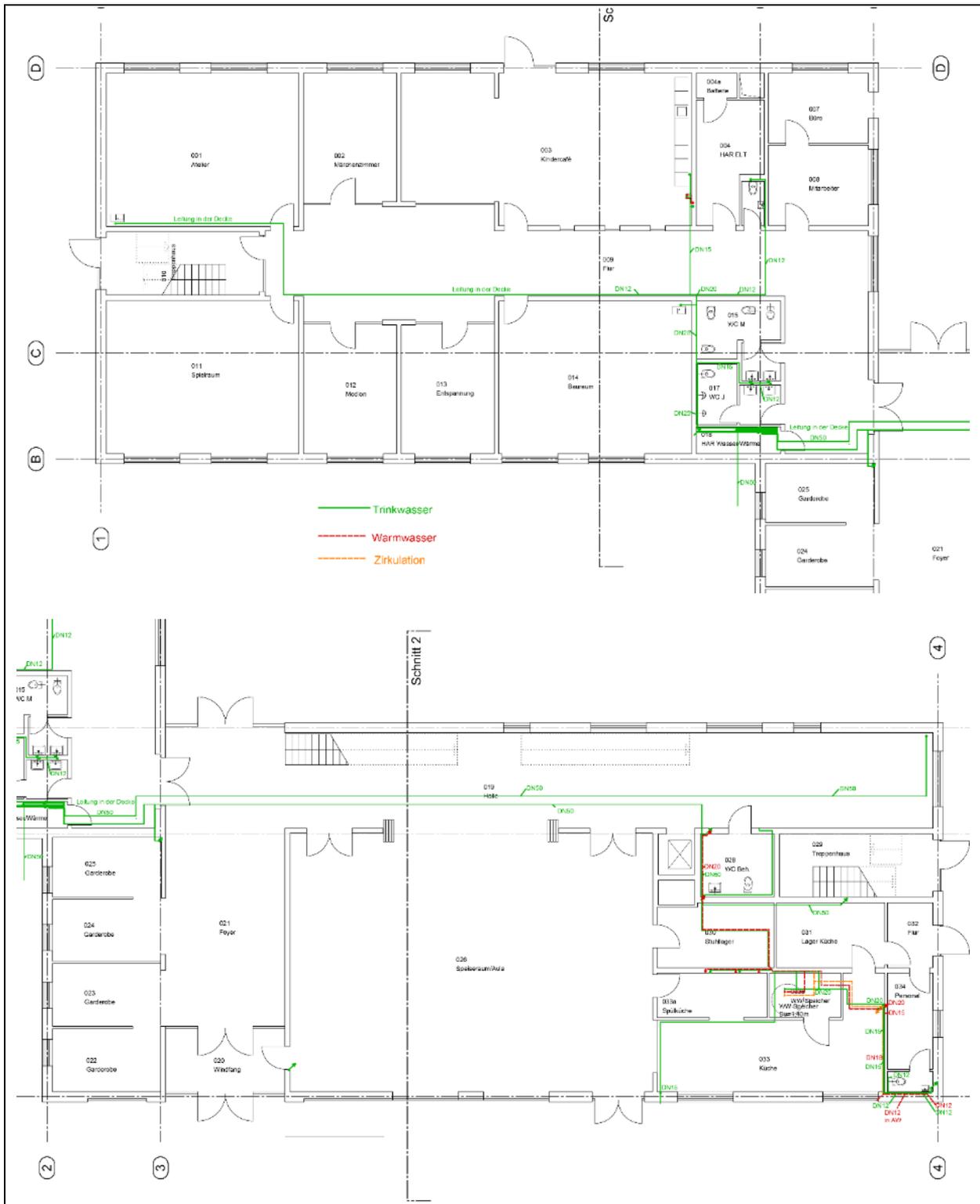


Abbildung 3-1: Grundriss Trinkwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

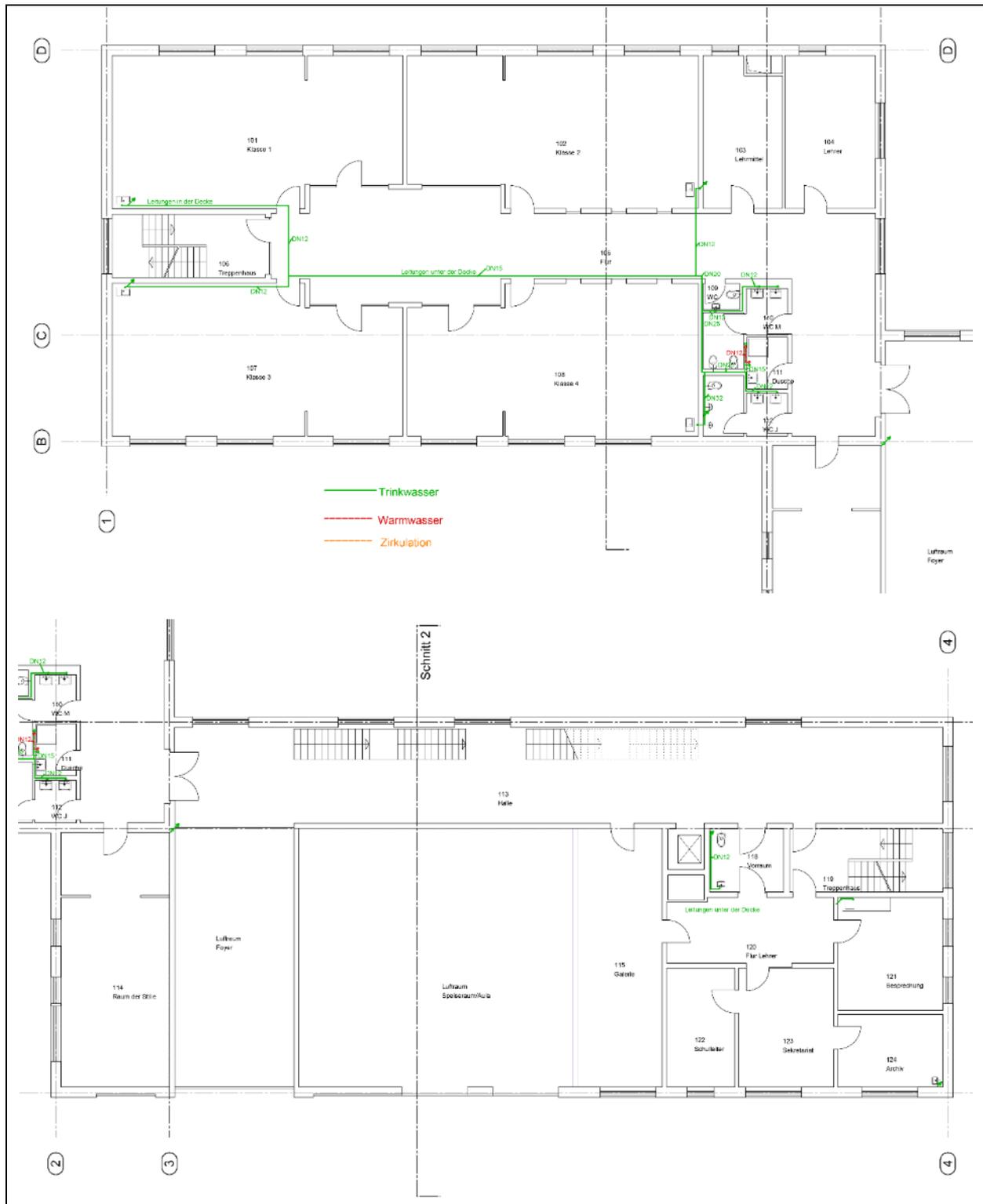


Abbildung 3-2: Grundriss Trinkwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

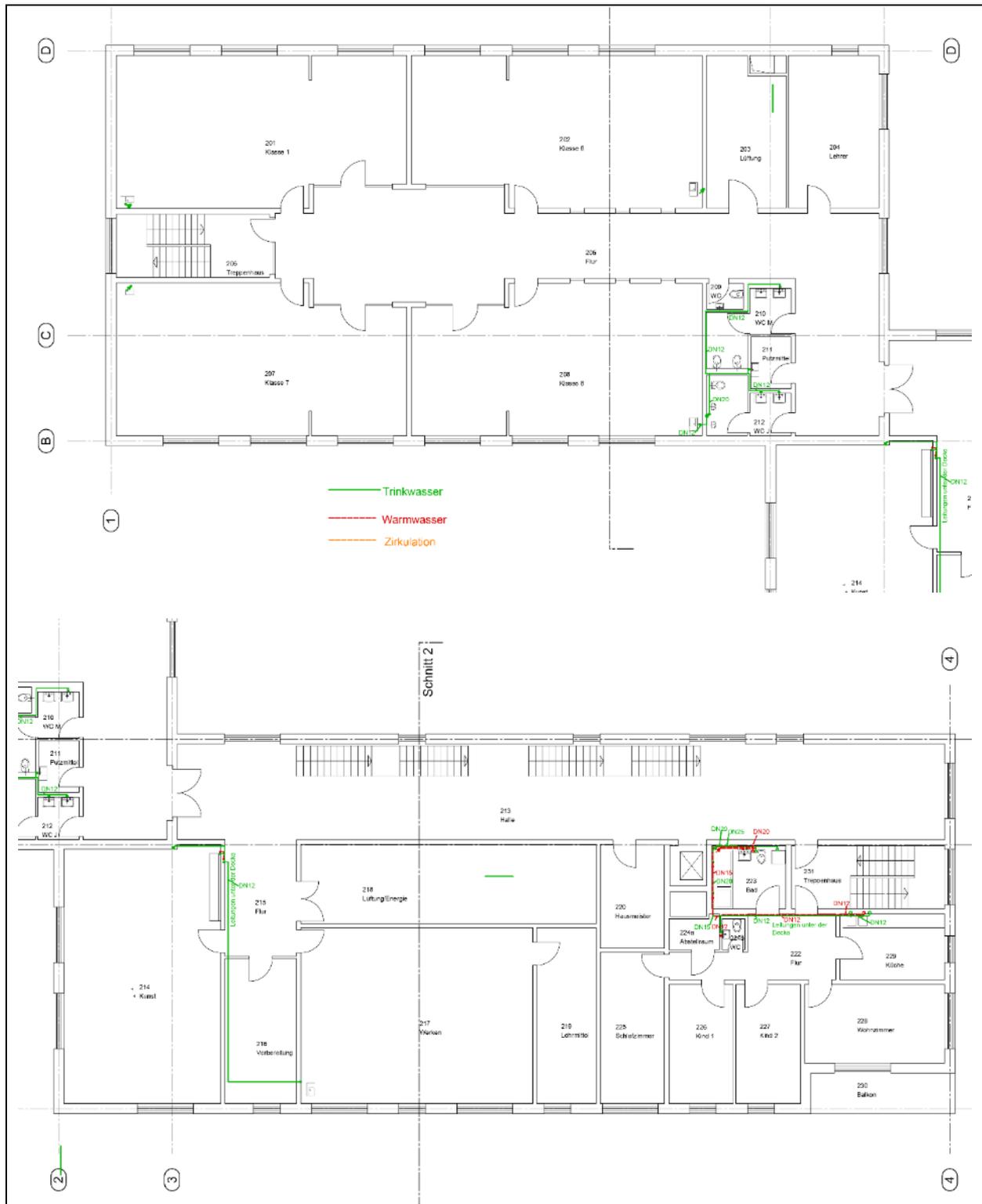


Abbildung 3-3: Grundriss Trinkwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

3.1.2 Strangschema Trinkwasser

Die Übersicht in Abbildung 3-4 dient der Einordnung der Detailschemata aus Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-7.

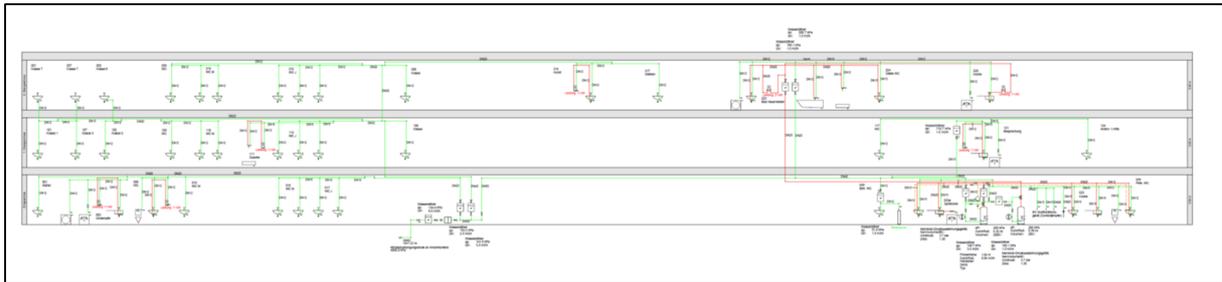


Abbildung 3-4: Strangschema Trinkwassernetz – Gesamtschema

Gegenüber der ursprünglichen Planung gab es folgende Änderungen:

- EG
 - Zusätzlich wurde ein fester Anschluss für den Trinkwasserspender im Flur vor dem Behinderten-WC erstellt.
- 1. OG
 - Das Waschbecken im Archiv (1.24) wird nicht über die Kaltwasserleitung der Küche versorgt, sondern aus dem benachbarten Besprechungsraum (1.21).
 - Das WC in der Verwaltung (1.17) wird nicht aus der Versorgungsleitung der Hausmeisterwohnung versorgt, sondern ist an den Besprechungsraum (1.21) angeschlossen.
- 2. OG
 - Der Versorgungsstrang für Kunst-(2.14) und Werkraum (2.17) vom EG ins 2. OG ist entfallen; die Räume werden über eine horizontale Anschlussleitung aus dem Sanitärstrang versorgt.
 - Das Waschbecken im Kunstraum ist nicht an der Stirn- sondern der Längswand untergebracht.

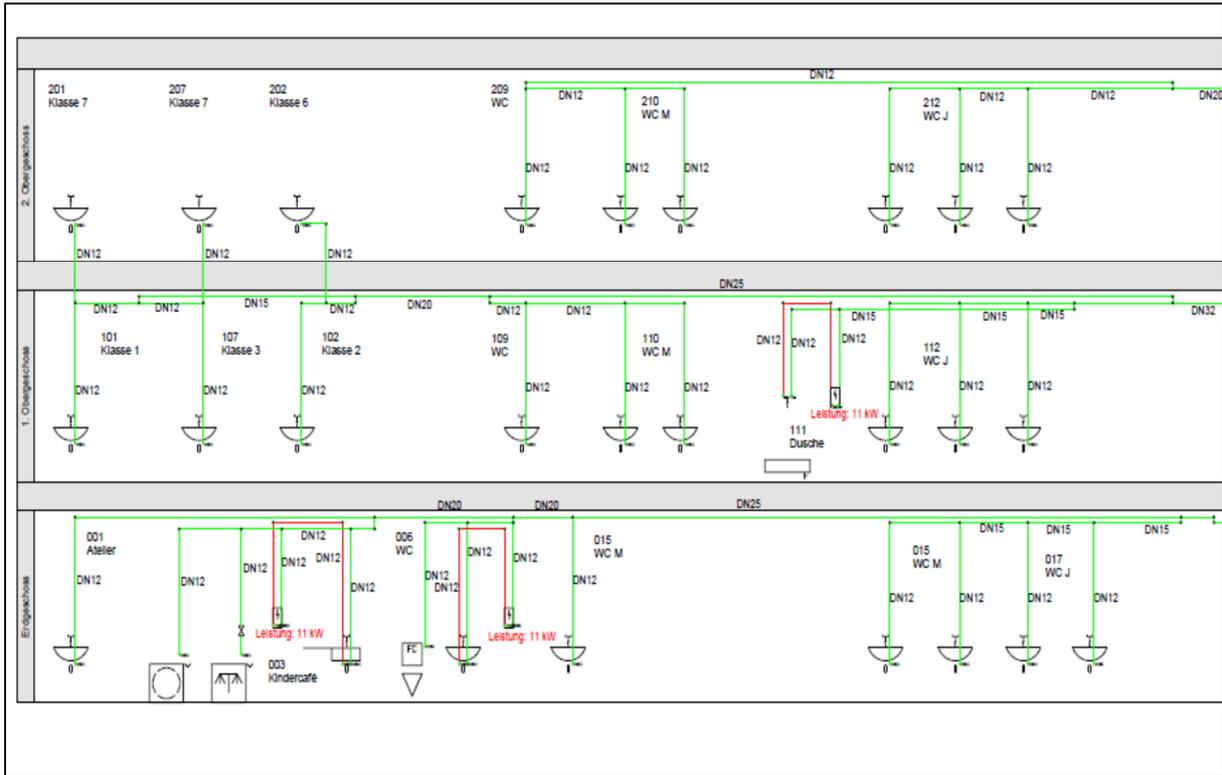


Abbildung 3-5: Strangenschema Trinkwassernetz – Klassen- und WCs (BTB)

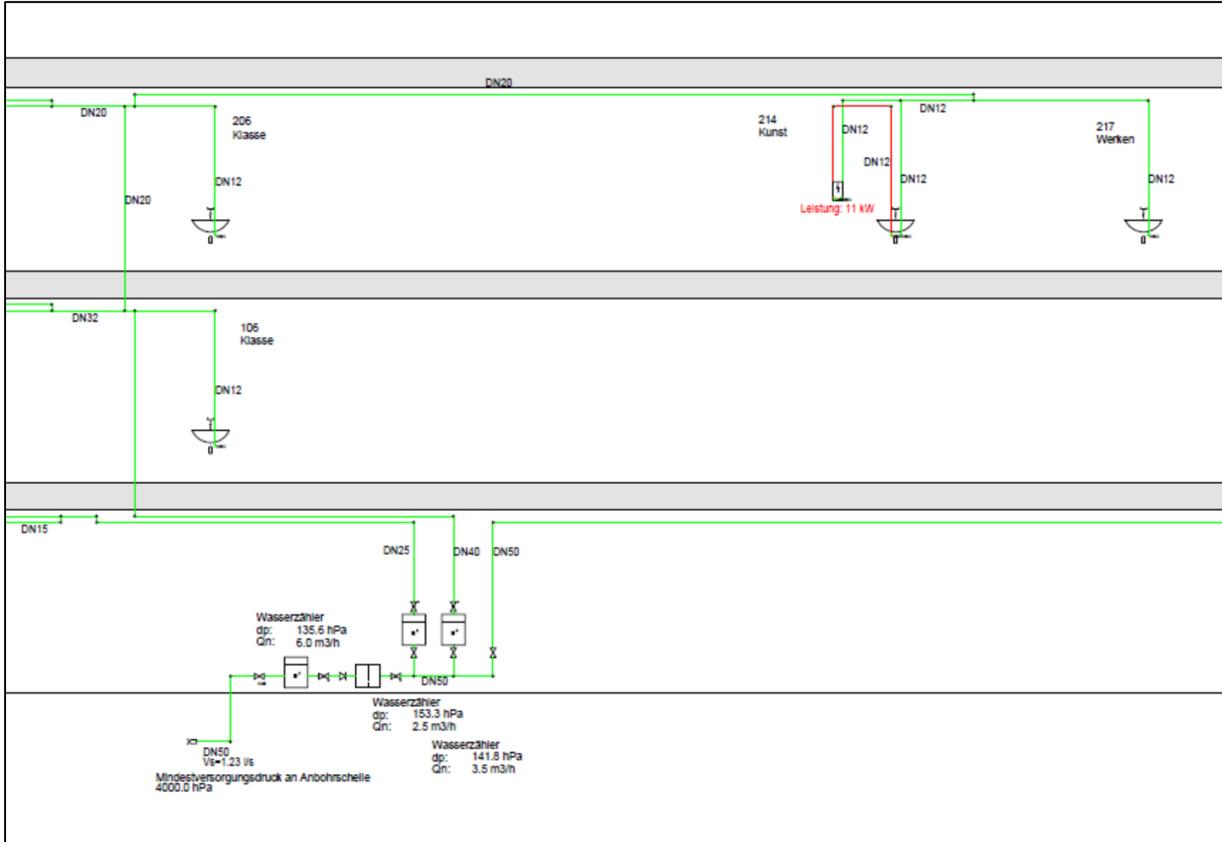


Abbildung 3-6: Strangenschema Trinkwassernetz – Mitte und Hausanschlussraum (BTB)

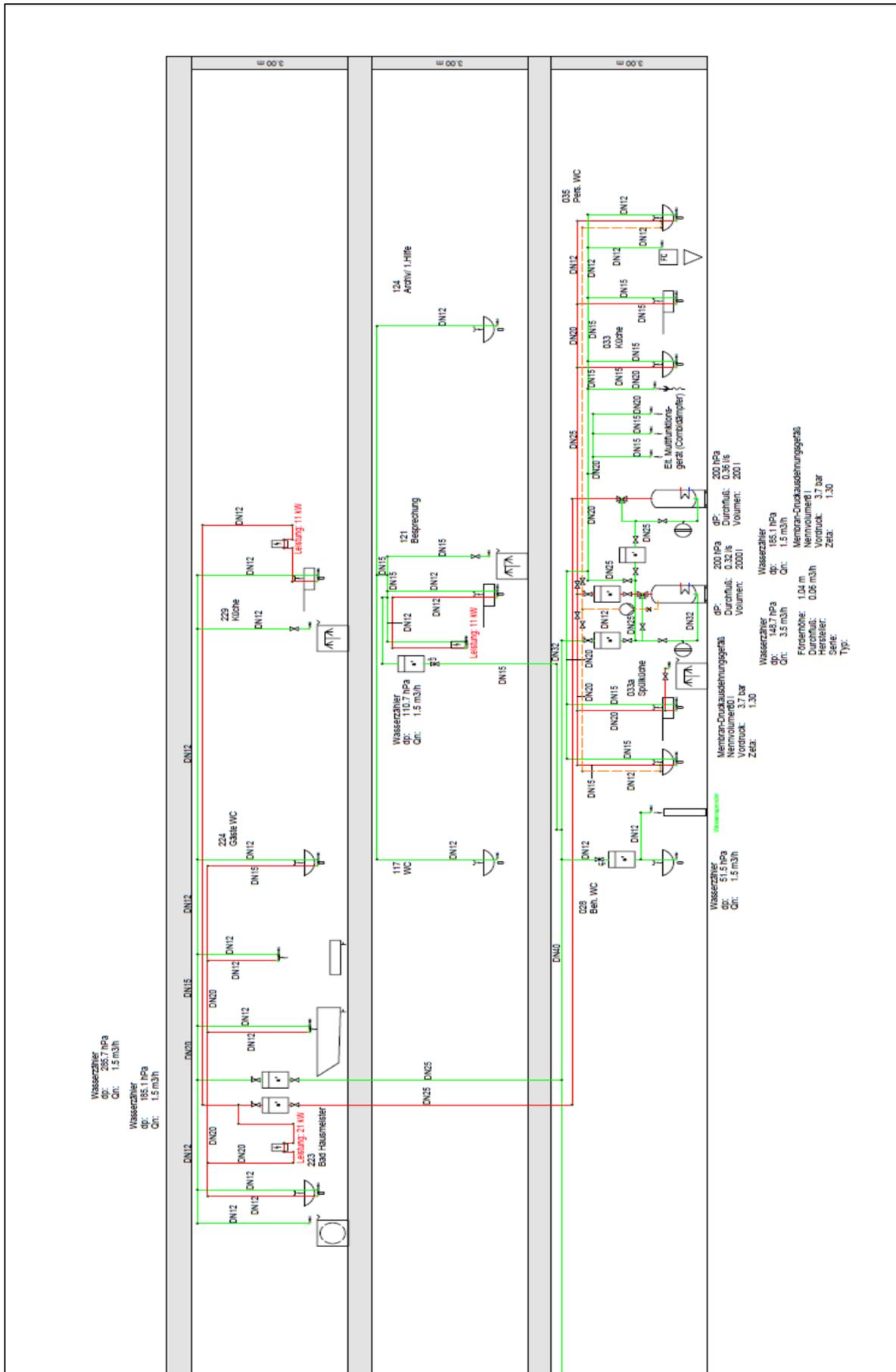


Abbildung 3-7: Strangschema Trinkwassernetz – Ostflügel (BTA)

3.1.3 3D-Netzpläne Trinkwasser

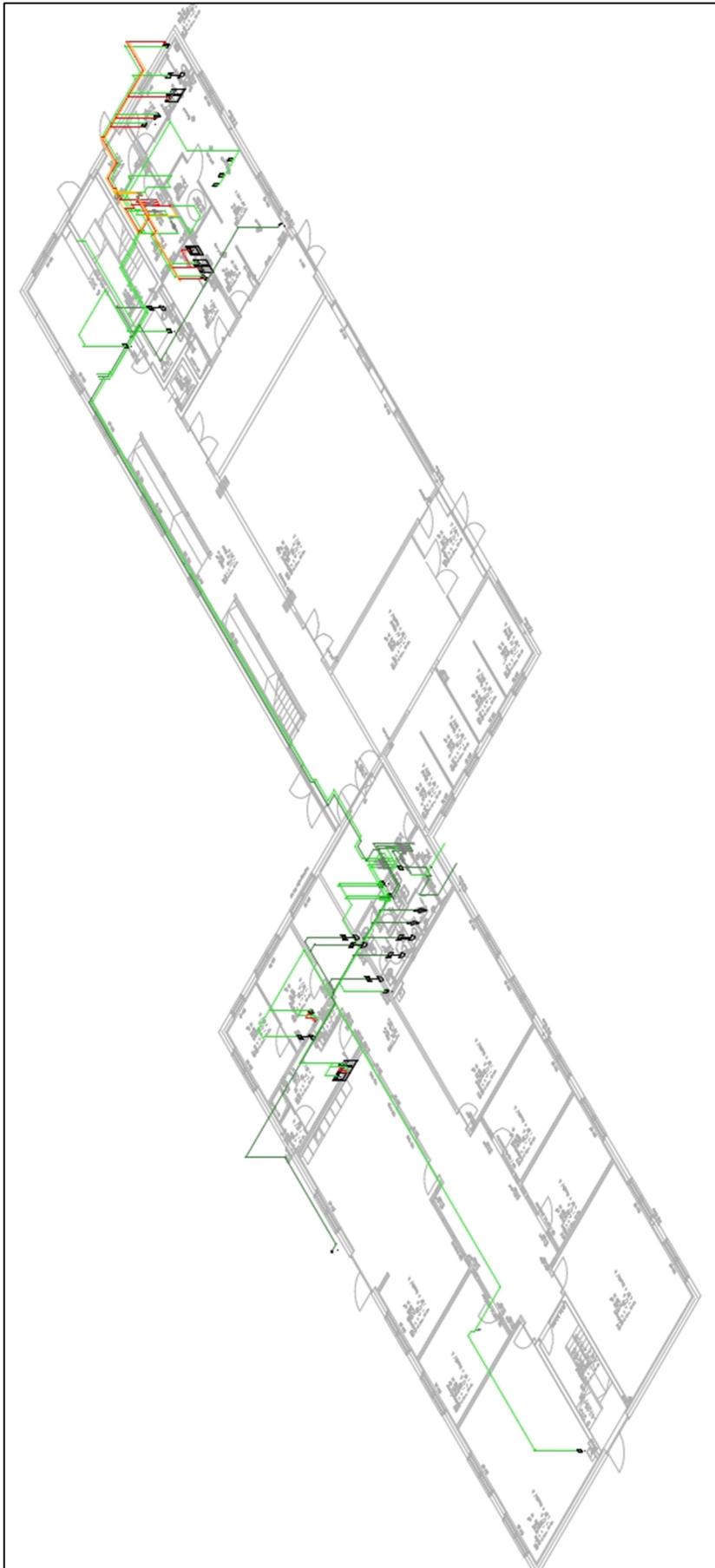


Abbildung 3-8: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – EG

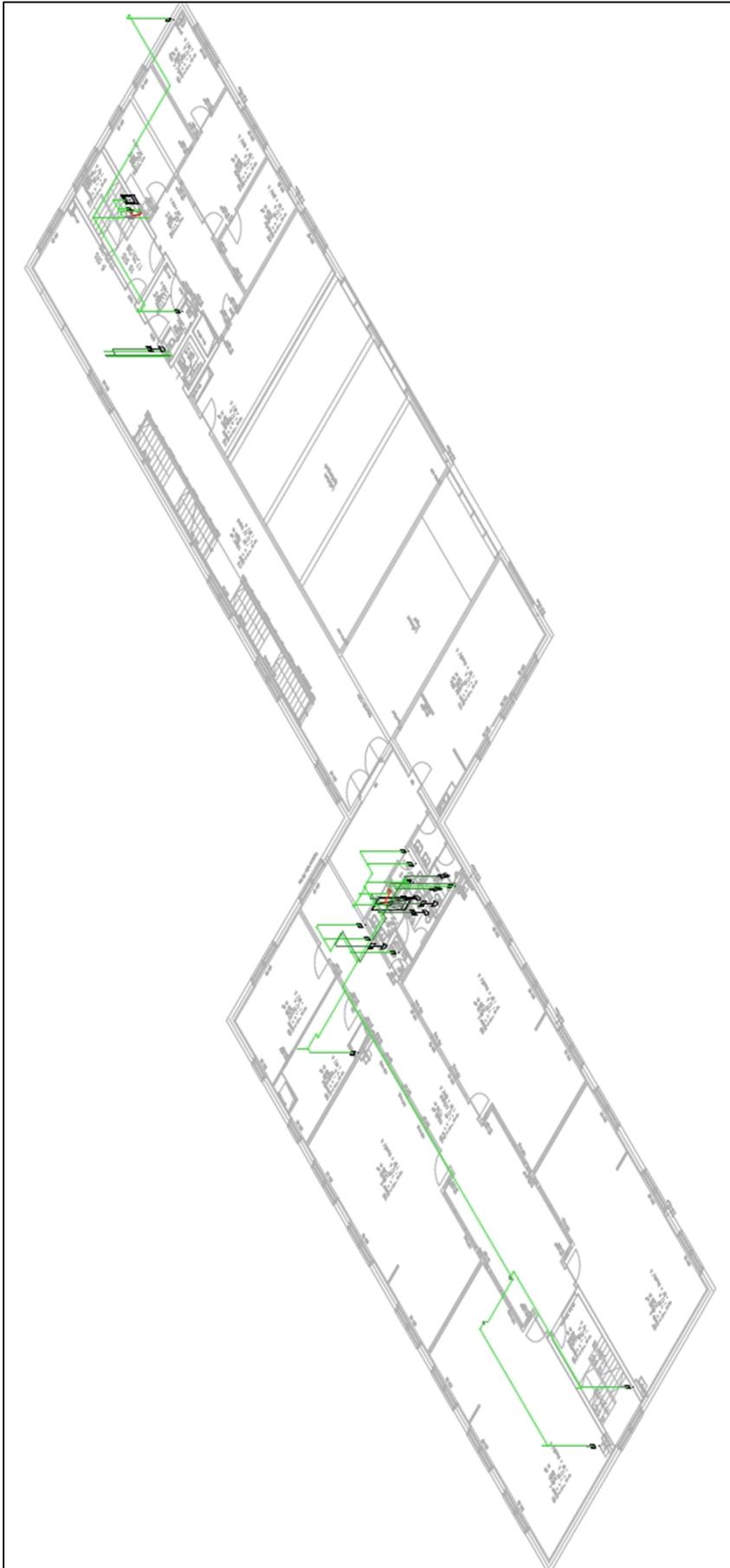


Abbildung 3-9: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – 1. OG

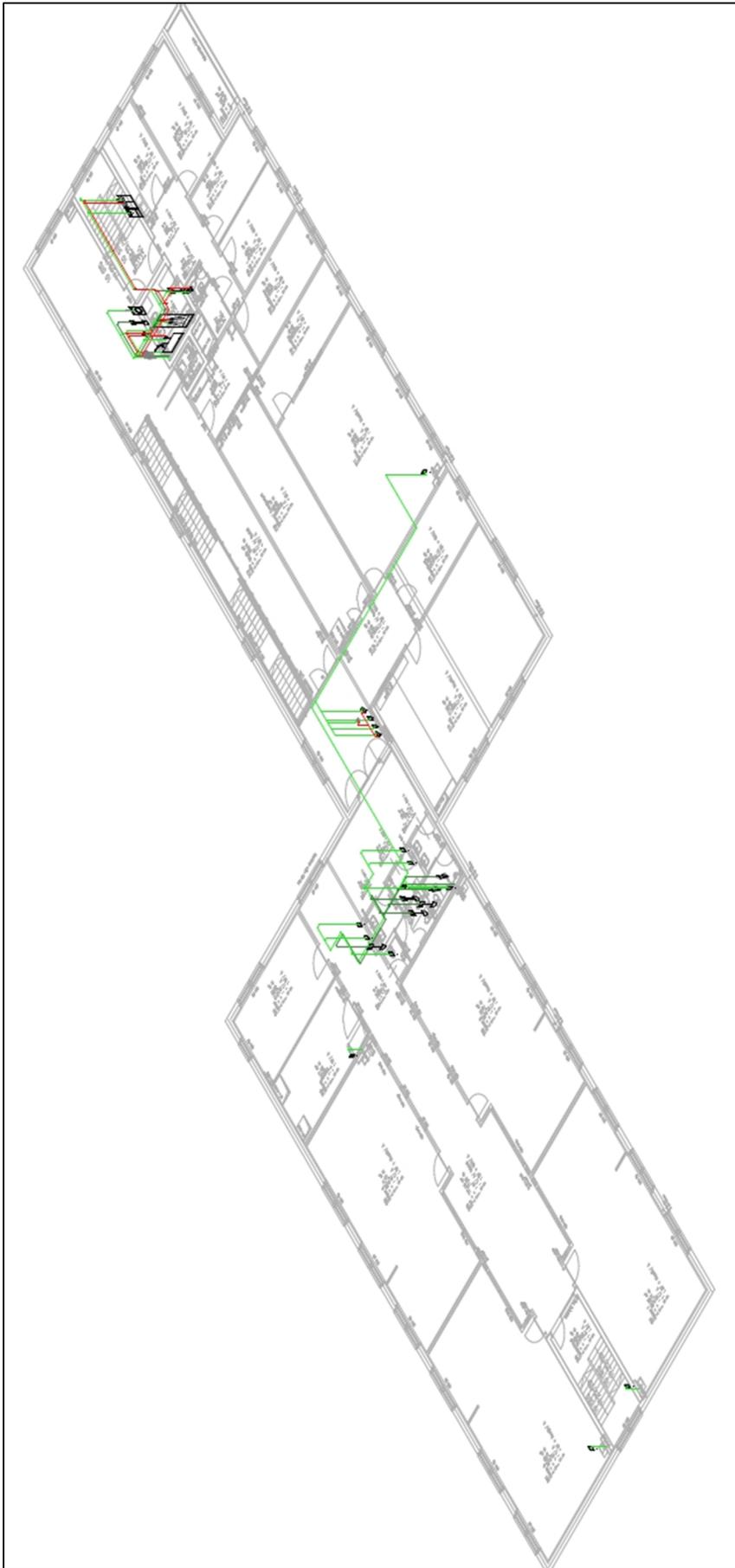


Abbildung 3-10: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – 2. OG

Die 3D-Isometrieschemen wurden mit der Planungssoftware MH erstellt. Die beiden Räume mit zentralen Komponenten – der Hausanschlussraum sowie der Solarspeicherraum - lassen sich näher in Abbildung 3-11 betrachten.

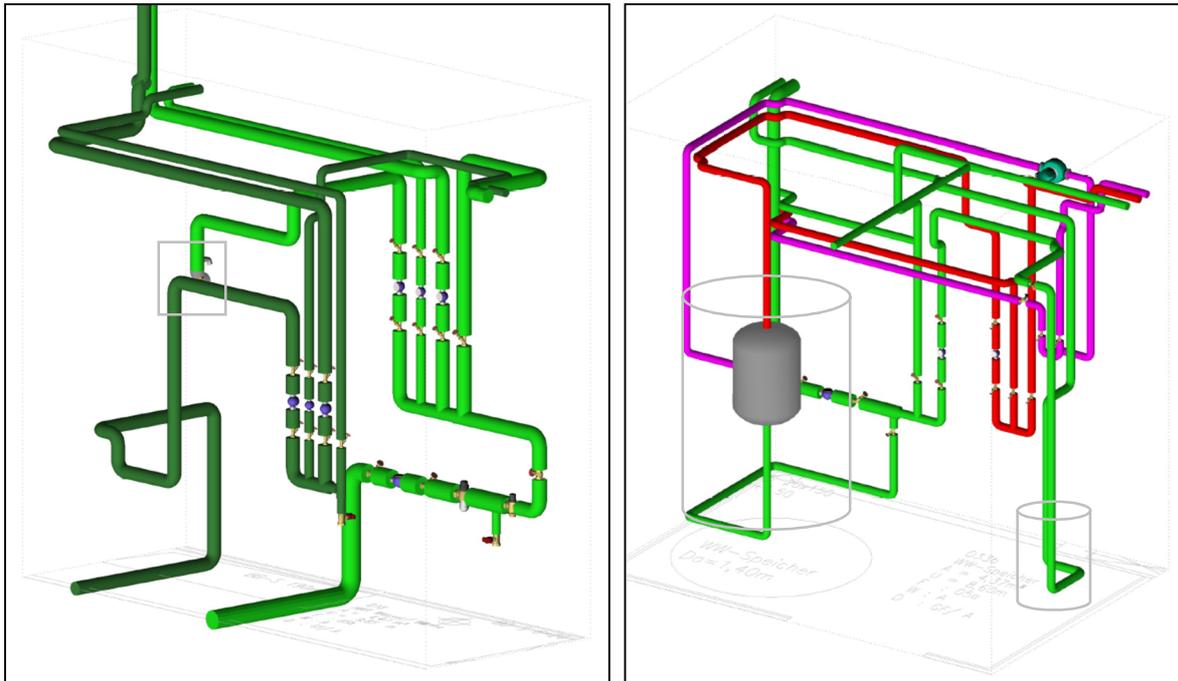


Abbildung 3-11: Isometrisches Schema der Räume 0.18 und 0.33b

Im Hausanschlussraum sind Brauch- und Kaltwasserleitungen dargestellt sowie der zentrale Knotenpunkt beider Netze. Allerdings wurde die Doppelpumpenanlage als in einem Verbindungspunkt gezeichnet.

Im Solarspeicherraum kann die solare Vorwärmstufe für die Hausmeisterwohnung nicht korrekt dargestellt werden – daher ist der Trinkwasserspeicher lediglich als Schleife im Kaltwassernetz modelliert.

3.2 Netzkomponenten Trinkwasser

3.2.1 Armaturen Trinkwasser

Eine Zusammenstellung der Armaturen im Trinkwarm- und Kaltwassernetz zeigt Tabelle 3-1.

Die am häufigsten (29 x) eingesetzte Armatur der Fa. Schell – eine Kaltwasserarmatur mit Drückmechanismus – ist aus verchromten Messing gefertigt. Das gilt auch für die meisten Armaturen der anderen Hersteller. Lediglich die Geschirrwashbrausen in der Spülküche sind aus Edelstahl gefertigt.

Insgesamt sind für die 45 Messingarmaturen etwas mehr als 54 kg Gesamtgewicht festzustellen. Das Gesamtgewicht an Edelstahl beträgt fast 7 kg. Die Massen wurden in die Ökobilanzierung – siehe Bericht 3 – übernommen.

Tabelle 3-1: Zusammenstellung der Trinkwasserarmaturen [5]

Raum		Abnehmer Bezeichnung	Armatur		Doku
Nr.	Bezeichnung		Bezeichnung	Hersteller/Typ	
001	Atelier	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Lioninox	ja
003	Kindercafé	Spülbecken	Küchenarmatur	Pyramis FINO	ja
003	Kindercafé	Spülmaschine	Eckventil	unbekannt	nein
006	WC	Waschbecken	Einhebelmischer	Vigour	ja
014	Bauraum	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
015	WC M	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
017	WC J	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
028	Behinder- ten-WC	Waschbecken	Einhebelmischer lang	unbekannt	ja
033	Küche	Kombidämpfer	Eckventil	unbekannt	nein
033	Küche	Kombidämpfer	Eckventil	unbekannt	nein
033	Küche	Cookingcenter	Eckventil	unbekannt	nein
033	Küche	Gewerbespülschrank Doppelbecken	Einhebelmischer lang	unbekannt	ja
033	Küche	Spültisch, hängend, Einzelbecken	Küchenarmatur	Pyramis FINO	ja
033a	Spülküche	Gläser-/ Geschirrspüler	Eckventil	unbekannt	nein
033	Küche	Bodenreinigung	---	Dr. Weigert neomatik WSG 2	ja
033a	Spülküche	Gewerbespültisch, Einzelbecken	Doppelwasserhahn mit Geschirrwashbrause	unbekannt	ja
033a	Spülküche	Spültisch, stehend, Einzelbecken	Küchenarmatur	Pyramis FINO	ja
035	Pers.-WC	Waschbecken	Einhebelmischer	Webber Joy	ja
035	Pers.-WC	WC	---	---	
101	Klasse 1	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
102	Klasse 2	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
107	Klasse 3	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
108	Klasse 4	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
109	WC	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
110	WC M	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
111	Dusche	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
111	Dusche	Duschwanne	Duscharmatur	Grohe	ja
112	WC J	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
117	WC	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
121	Bespre- chung	Spülbecken	Küchenarmatur	Pyramis FINO	ja
124	Archiv	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
201	Klasse 5	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
202	Klasse 6	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
207	Klasse 7	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
208	Klasse 8	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
209	WC	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
210	WC M	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
211	Putzmittel	Ausgussbecken	Wandarmatur	tecuro	ja
212	WC J	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
214	Kunst	Waschbecken groß	2 x Einzelwasserhahn	Schell	ja
			2 x Einhebelmischer	Webber Joy	ja
217	Werken	Waschbecken	Einzelwasserhahn	Schell	ja
223	Bad	Waschbecken	Einhebelmischer	Webber Joy	ja
223	Bad	Wanne	Duscharmatur	Grohe	ja
223	Bad	Duschwanne	Wannen- und Duscharmatur	Hansgrohe Design Duschset	ja
223	Bad	Waschmaschine	Eckventil	unbekannt	nein
224 b	Gäste WC	Waschbecken	Einhebelmischer	Webber Joy	ja
229	Küche	Spülbecken	Küchenarmatur	Pyramis FINO	ja
229	Küche	Spülmaschine	Eckventil	unbekannt	nein

In der Mehrzahl der Produkte liegen weiterführende technische Informationen vor, siehe separater Anhang G. Nachfolgende Abbildungen geben einen auszugsweisen Überblick über die Ausstattung.



Abbildung 3-12: Armaturen der Kinder-WCs/Klassenräume und Behinderten-WC



Abbildung 3-13: Armaturen in Hort-, Lehrer- und Hausmeisterküchenspüle



Abbildung 3-14: Armaturen der Mitarbeiterdusche und -waschbecken



Abbildung 3-15: Armatur im Putzmittelraum und in der Hausmeisterwohnung



Abbildung 3-16: Armatur zur Bodendesinfektion in der Küche



Abbildung 3-17: Armaturen der Spülbecken in der Küche

3.2.2 Zähler Trinkwasser



Abbildung 3-18: Hauptwasserzähler in Raum 0.18

Neben dem Hauptwasserzähler des Versorgers sind Unterzähler für das Monitoring sowie die interne Abrechnung und Umlage vorhanden, siehe Abbildung 3-19. Es handelt sich in allen Fällen um Flügelradzähler. Sie wurden bei der Netzberechnung berücksichtigt.



Abbildung 3-19: Unterzähler für Trinkwasser in Raum 0.18 und 0.33b

3.2.3 Rohre und Dämmung Trinkwasser

Für das Trinkwassernetz wurde Edelstahl (Typ Mefa) für die Steig- und Horizontalverteilungen sowie Geberit-Verbundrohr (Typ Mepla) für die Abnehmeranschlüsse eingesetzt. Das Verbundrohr ist dreischichtig. Die äußere und innere Schicht besteht aus verschiedenen Polyethylen (PE)-Rohren. Die Schicht zwischen den PE-Rohren besteht aus Aluminium.

Es sind folgende Verlegelängen zu verzeichnen (Angaben für kaltes / warmes Trinkwasser), welche auch in der Ökobilanzierung – siehe Bericht 3 – berücksichtigt wurden [5]:

- Edelstahl
 - DN 12: 141 / 13 m
 - DN 15: 44 / 4 m
 - DN 20: 37 / 38 m
 - DN 25: 29 / 14 m
 - DN 32: 23 / 3 m
 - DN 50: 82 / 0 m

- Verbundrohr
 - DN 12: 94 / 20 m
 - DN 15: 17 / 9 m
 - DN 20: 4 / 8 m

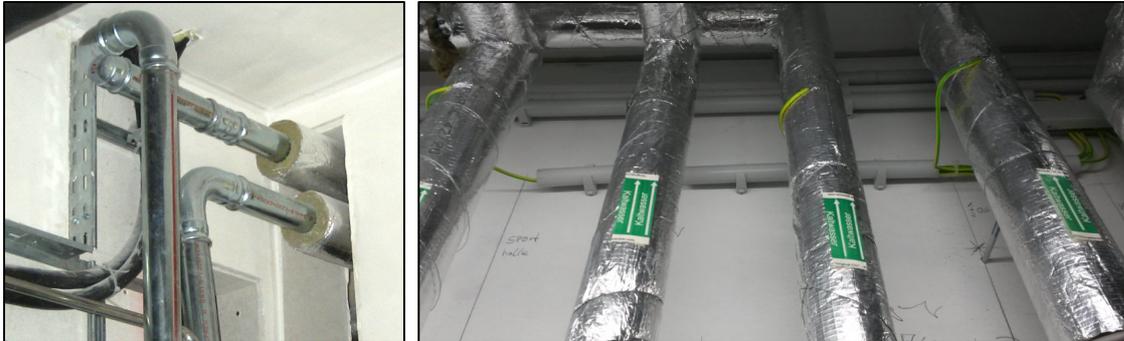


Abbildung 3-20: Dämmung Edelstahl mit alukaschierter Mineralwolle



Abbildung 3-21: Trinkwasserinstallation aus Edelstahl mit Messingarmaturen

Dämmung

Für die Dämmung der Leitungen gelten die DIN 1988-200 (Kaltwasser) sowie die EnEV. Die Regelwerke beschreiben Dämmdicken einerseits vor Erwärmung des kalten Wassers (Schutz vor Legionellen und Bildung von Oberflächenkondensat), andererseits vor Wärmeverlust (Energiesparaspekt). Es konnte durch Stichprobenkontrollen festgehalten werden, dass:

- die Edelstahlleitungen für die Warmwasserversorgung mit alukaschierter Mineralwolle versehen sind; Dämmdicke 100 % des Durchmessers (vorschriftsmäßig)
- die Edelstahlleitungen für die Kaltwasserversorgung mit alukaschierter Mineralwolle versehen sind; Dämmdicke 75 % des Durchmessers (vorschriftsmäßig, teils besser)
- die Einzelanschlussleitungen aus Verbundrohr vermutlich durchgängig PE-Vlies-Dämmung aufweisen, Dämmdicke 25 % (vorschriftsmäßig)



Abbildung 3-22: Dämmung der Verbundrohr-Stichleitungen mit PE-Isolierschlauch

Lediglich in der Küche sind Teile des in den Zirkulationskreislauf eingebundenen Warmwassernetzes ebenfalls nur mit der dünnen Vlies-Dämmung (25 %) versehen, siehe Abbildung 3-23. Dies entspricht nicht der Vorgabe der EnEV. Weitere Analysen hierzu siehe Kapitel 7.2.

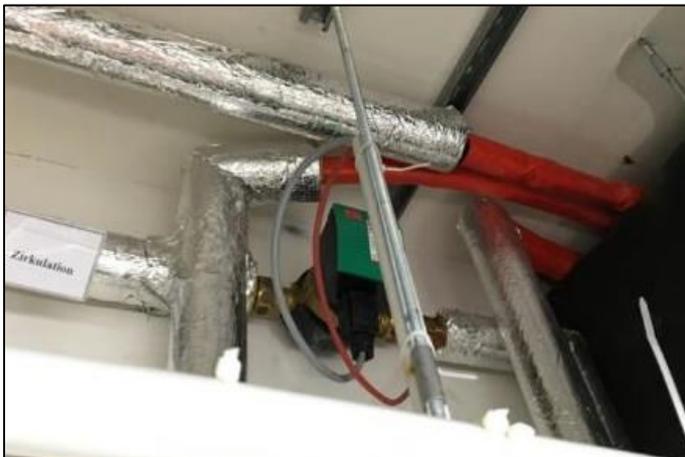


Abbildung 3-23: Dämmung Trink- und Kaltwasserleitungen mit PE-Isolierschlauch

3.3 Planung und Ausführung Trinkwassernetz

Während der Planungsphase des Gebäudes wurden die Netze mit einer Software berechnet. Die Ergebnisse liegen als PDF-Datei vor, siehe separater Anhang I. Die Originalplanung konnte wegen der Planerinsolvenz nicht im Rahmen der Ausführung nachgeführt werden.

Daher erfolgte im Rahmen des Monitorings eine Neuberechnung des Kaltwassernetzes mit der Software mh-SanCALC der Firma mh-Software GmbH im Rahmen einer Bachelorarbeit [1]. Auch eine Vergleichsrechnung mit dem VIPtool der Viega Holding GmbH & Co. KG wurde durchgeführt [3].

Randdaten der Nachrechnung

Grundlage der Nachberechnung nach DIN 1988 waren die nach Bauausführung korrigierten Pläne sowie die Angaben zu Netzdimensionen, Rohrmaterialien, Zählern und Armaturen. Der Versorgungsdruck für die St. Franziskus Grundschule beträgt 4,0 bar.

Für jede Armatur wurden – ausgehend von den Herstellerangaben oder unter Verwendung von Standardwerten der Norm – Mindestfließdrücke und Berechnungsdurchflüsse festgelegt. Die Übersicht ist in Tabelle 3-2 gegeben. Insbesondere die Warmwasserabnehmer in der Küche benötigen teils entweder sehr große Durchflüsse und/oder sehr hohe Fließdrücke.

Unter Berücksichtigung der sich ergebenden Druckverluste wird für jeden Leitungsabschnitt der kleinstmögliche Rohrdurchmesser bestimmt. Hierdurch wird bei Spitzenbelastung des Gesamtnetzes der Mindestdurchfluss an den entsprechenden Entnahmestellen garantiert. Dabei muss in jedem Fall die Versorgungssicherheit gewährleistet werden, so dass die Gesamtdruckverluste den vorliegenden Versorgungsdruck nicht überschreiten.

Tabelle 3-2: Randdaten der Trinkwasserberechnung [1]

Raum		Abnehmer	Abnehmer für Netzberechnung	Mindest- fließdruck $\Delta_{pmin,FI}$ [mbar]	Berechnungsdurchfluss [l/s]		
Nr.	Bezeichnung				Misch		Einzel
				\dot{V}_R TWK	\dot{V}_R TWW	\dot{V}_R	
001	Atelier	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
003	Kindercafé	Spülbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
003	Kindercafé	Spülmaschine	Eckventil	500			0,07
006	WC	Waschbecken	Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
014	Bauraum	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
015	WC M	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
017	WC J	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
028	Behinder- ten-WC	Waschbecken	Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
033	Küche	Kombidämpfer	Eckventil	1000			0,10
033	Küche	Kombidämpfer	Eckventil	1000			0,10
033	Küche	Cookingcenter	Eckventil	1000			0,10
033	Küche	Gewerbespül- schrank Doppelbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
033	Küche	Spültisch, hängend, Einzelbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
033a	Spülküche	Gläser-/ Geschirrspüler	Eckventil	600		1,00	
033	Küche	Bodenreinigung	Wandarmatur mit Schlauch	2000	0,30	0,30	
033a	Spülküche	Gewerbespültisch, Einzelbecken	Brausearmatur mit Schlauch, Küchen- spüle	1000	0,67	0,67	
033a	Spülküche	Spültisch, stehend, Einzelbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
035	Pers.-WC	Waschbecken	Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
035	Pers.-WC	WC	Unterputz-Spülkas- ten 6 l, WCs	500			0,13
101	Klasse 1	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
102	Klasse 2	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
107	Klasse 3	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
108	Klasse 4	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
109	WC	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
110	WC M	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
111	Dusche	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10
111	Dusche	Duschwanne	Mischbatterie, Dusche	1000	0,15	0,15	
112	WC J	Waschbecken	Kaltwasser Selbstschluss-Standventil	1000			0,10

Raum		Abnehmer	Abnehmer für Netzberechnung	Mindest- fließdruck $\Delta_{pmin,FI}$ [mbar]	Berechnungsdurchfluss [l/s]		
Nr.	Bezeichnung				Misch		Einzel
				\dot{V}_R TWK	\dot{V}_R TWW	\dot{V}_R	
117	WC	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
121	Bespre- chung	Spülbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
124	Archiv	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
201	Klasse 5	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
202	Klasse 6	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
207	Klasse 7	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
208	Klasse 8	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
209	WC	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
210	WC M	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
211	Putzmittel	Ausgussbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
212	WC J	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
214	Kunst	Waschbecken groß	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
214	Kunst		Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
217	Werken	Waschbecken	Kaltwasser Selbst- schluss-Standventil	1000			0,10
223	Bad	Waschbecken	Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
223	Bad	Wanne	Mischbatterie, Badewanne/Dusche	1000	0,15	0,15	
223	Bad	Duschwanne	Mischbatterie, Badewanne/Dusche	1000	0,15	0,15	
223	Bad	Waschmaschine	Eckventil	500			0,15
224 b	Gäste WC	Waschbecken	Mischbatterie, Waschtisch	1000	0,07	0,07	
229	Küche	Spülbecken	Mischbatterie, Küchenspüle	1000	0,07	0,07	
229	Küche	Spülmaschine	Eckventil	500			0,07

Der Spitzendurchfluss ist maßgebend zur Berechnung und Bestimmung der Rohrdurchmesser. Er ergibt sich aus den Summendurchflüssen unter Berücksichtigung einer zu erwartenden Gleichzeitigkeit, siehe Abbildung 3-24. Das Netz (incl. Hausmeisterwohnung und Küche) wurde als "Schule" berechnet.

Der im Hausanschlussraum befindliche Nachspeiseanschluss für die Regenwassernutzungsanlage wurde bei der Nachrechnung ebenfalls berücksichtigt. In der Software erfolgt dies durch Hinzufügen eines Einzelverbrauchers im Trinkwassernetz. Der Berechnungsdurchfluss dieses Verbrauchers ergibt sich aus dem Spitzendurchfluss des – vorher separat zu berechnenden – Brauchwassernetzes ($\dot{V}_S = 1,08$ l/s).

Die zweistufige Erwärmung des Trinkwassers für die Hausmeisterwohnung kann in der Software nicht korrekt abgebildet werden. Eine Reihenschaltung von Speicher und Durchlauferhitzer ist nicht vorgesehen. Daher wurde die Leitung zwischen Speicher (EG) und Durchlauferhitzer (OG) als Kaltwasserleitung modelliert.

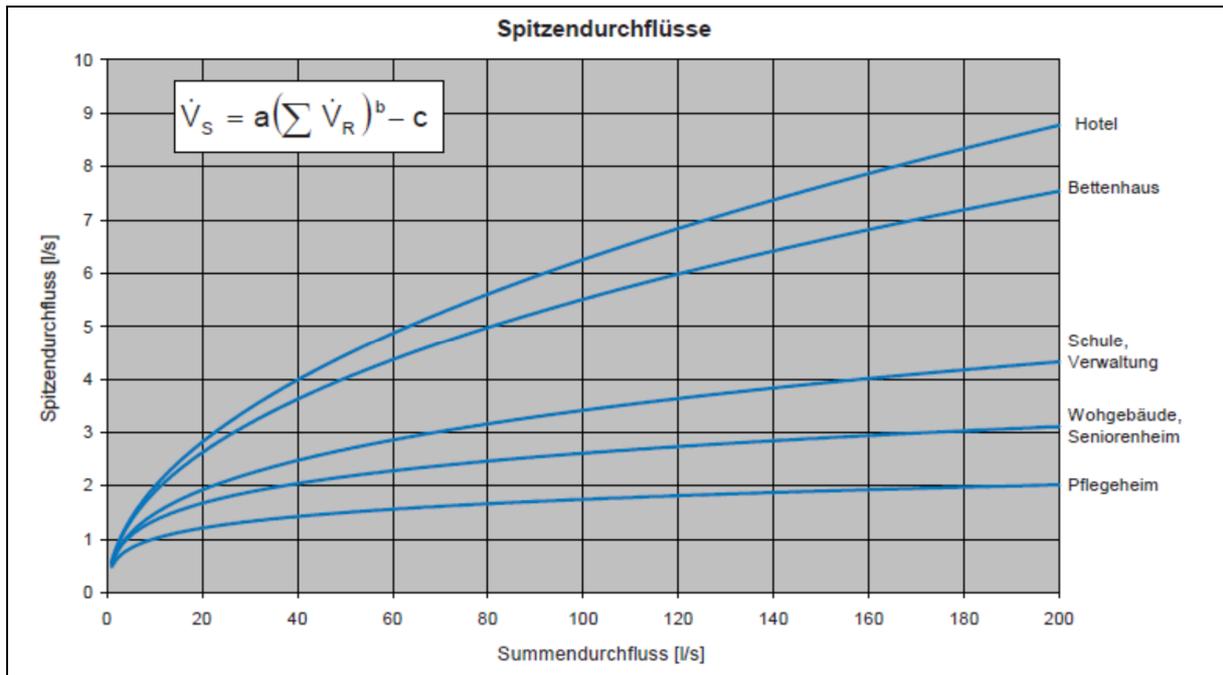


Abbildung 3-24: Spitzendurchfluss für verschiedene Nutzungen [6]

Ergebnisse

Auf eine Einzeldarstellung der Ergebnisse wird verzichtet, lediglich eine Tendenz soll dargestellt werden. Die real installierten Rohrdimensionen können den Strangschemen in Abschnitt 3.1.2 entnommen werden.

Das Kaltwassernetz wurde – gegenüber der Nachrechnung – marginal überdimensioniert. Im Bereich der Steigleitungen sowie Versorgungsleitungen für mehrere Verbraucher wurde in einigen Fällen das Rohr um eine Dimension größer gewählt als der Planungsvorschlag (DN 20 statt DN 15, DN 15 statt DN 12). Die Einzelanschlüsse entsprechen der Planung.

Die berechneten Durchmesser des Trinkwarmwassernetzes stimmen ebenfalls in etwa mit der Ausführung; allerdings müssen für die Spülmaschine und die zugehörige Reinigungsbrause die vom Hersteller vorgesehenen Durchflüsse in der Software angesetzt werden. Die Standardwerte der Norm ("Küchenspüle") sind zu gering.

Die Zirkulationsleitungen sind in der Realität mit DN 20 deutlich größer bemessen als der Vorschlagswert der Software (DN 12). Hier ist nicht nachvollziehbar, wieso diese Art der Ausführung gewählt wurde.

4 Planung und Ausführung Brauchwassernetz

Der nachfolgende Abschnitt fasst die Daten der Planung und Ausführung für das Brauchwassernetz zusammen. Zunächst werden die Planunterlagen vorgestellt, d. h. Grundrisspläne und Strangschemen sowie isometrische Darstellungen des Netzes. Anschließend werden die Netzkomponenten erfasst, insbesondere die Regenwassernutzungsanlage sowie das Rohrmaterial. Der Abschnitt endet mit einer Zusammenfassung der Netzplanung einschließlich Abgleich zur realen Ausführung.

In den Erläuterungen zur Planung aus der Bauantragsphase [4] wird das System wie folgt grob beschrieben:

- Die Ableitung des Regenwassers vom Dach erfolgt über in der Außenwand befindliche Sammelleitungen bis zu einem Sammelschacht und von dort in 2 Zisternen. Fallleitungen aus PE-Rohr, Außenleitungen KG-Rohr.
- Die Versickerungsmulde für überschüssiges Regenwasser muss mit durchlässigem Bodenmaterial in ihrem Aufbau ausgebildet und in vorhandene Kies- und Sandschichten eingebunden werden. Die Größe der Mulde ist abhängig von dem Versickerungswert und ist mit einem Wert von 10^{-6} m/s ca. 200 m² groß, wird aber auch für einen späteren Anschluss der Dachfläche Turnhalle ausgelegt.
- In einem Schutzrohr DN 150 von der Zisterne bis zum Hausanschlussraum wird die Ansaugleitung und die Steuerleitung verlegt.
- Im Hausanschlussraum (0.18) befindet sich die Regenwasserzuleitung in DN 50 von der Zisterne, die Nachspeisung mit Trinkwasser sowie die zentrale Verteilung und Abspernung des Brauchwassernetzes
- Im Hausanschlussraum sind zwei Regenwassergeräte geplant.
- Ein Überlauf DN 50 an die Entwässerung wird vorgesehen.
- Die horizontale Trassenführung innerhalb des Gebäudes erfolgt in der abgehängten Decke in den Fluren.
- Einzelzuleitungen und Steigleitungen sind in den Zwischendecken bzw. in den Holzständerwänden zu den einzelnen Verbrauchsstellen verlegt.

An das Brauchwassernetz sind die WCs und Urinale angeschlossen. Zwei Ausnahmen gibt es: im Hort (0.06) und in der Küche (0.35) werden je ein Mitarbeiter-WC mit Kaltwassernetz versorgt, nicht wie sonst üblich über Brauchwasser. Bei der Küche ergibt sich dies aus Gründen der Hygiene. Für das Mitarbeiter-WC im Hort ist keine Begründung der Abweichung bekannt.

Die Waschmaschinen wurden nicht an das Brauchwassernetz angeschlossen.

4.1 Pläne Brauchwasser

Aufgrund der Insolvenz des ersten Planers lagen sämtliche Originalpläne nur als PDF-Dateien aus der Bauantragsphase (2011) sowie Papierausdrucke aus der Ausführungsphase (2013) vor. Alle Änderungen bei der Ausführung wurden daher – wenn überhaupt – nur händisch festgehalten.

Daher wurden nach Baufertigstellung alle Planunterlagen im Rahmen des Monitorings neu als CAD-Dateien erstellt und Änderungen eingetragen [1] [2] [3].

Für die Planerstellung in CAD gelten folgende Konventionen: alle Leitungen werden immer 10 cm neben der Wand gezeichnet. Um die Netze übersichtlicher darzustellen, werden die Leitungen, die in der Realität untereinander verlegt sind, im 2D-Raum nebeneinander gezeichnet.

Sämtliche Planunterlagen sind im separaten **Anhang A** zu finden.

4.1.1 Grundrisse Brauchwasser

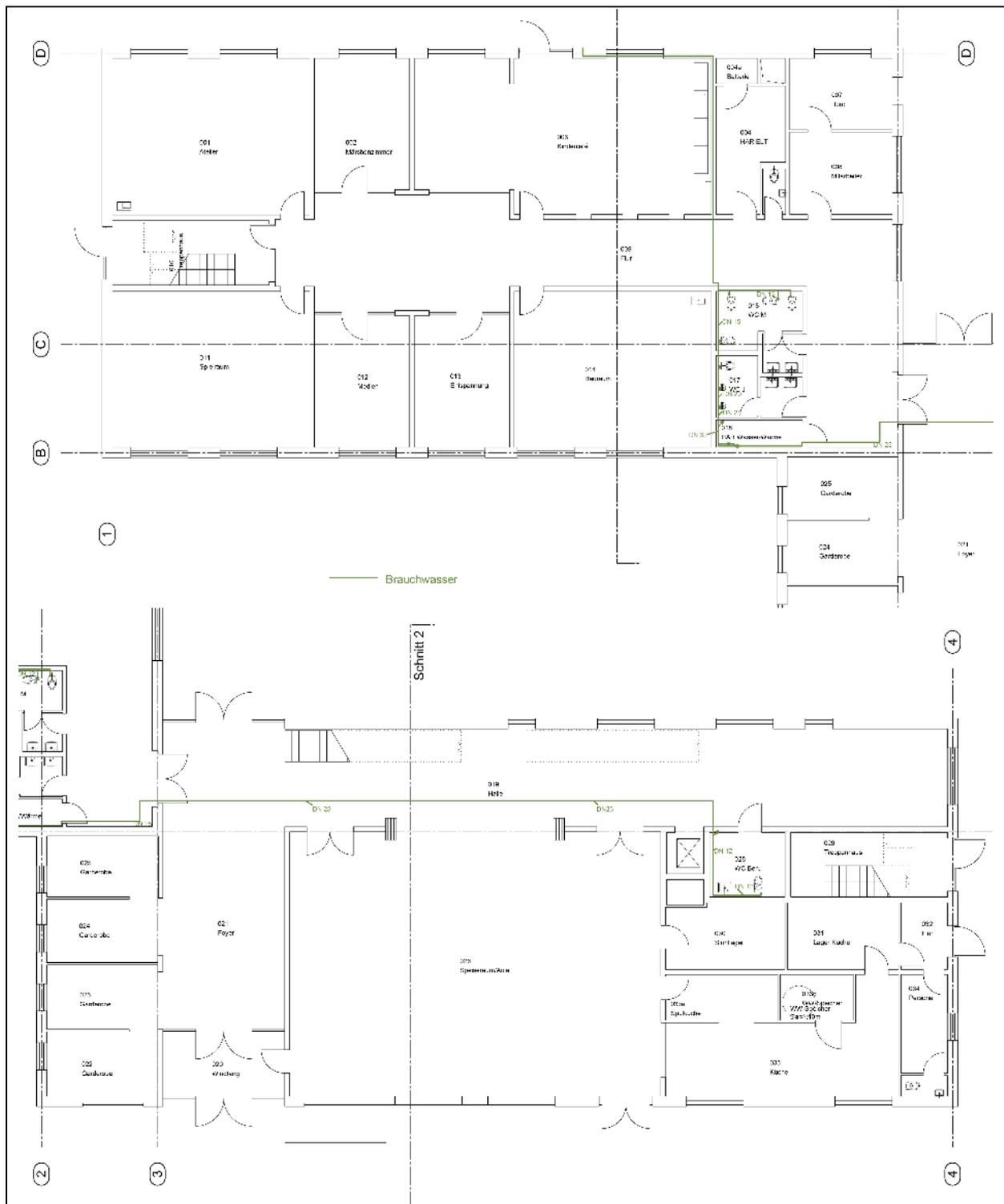


Abbildung 4-1: Grundriss Trinkwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

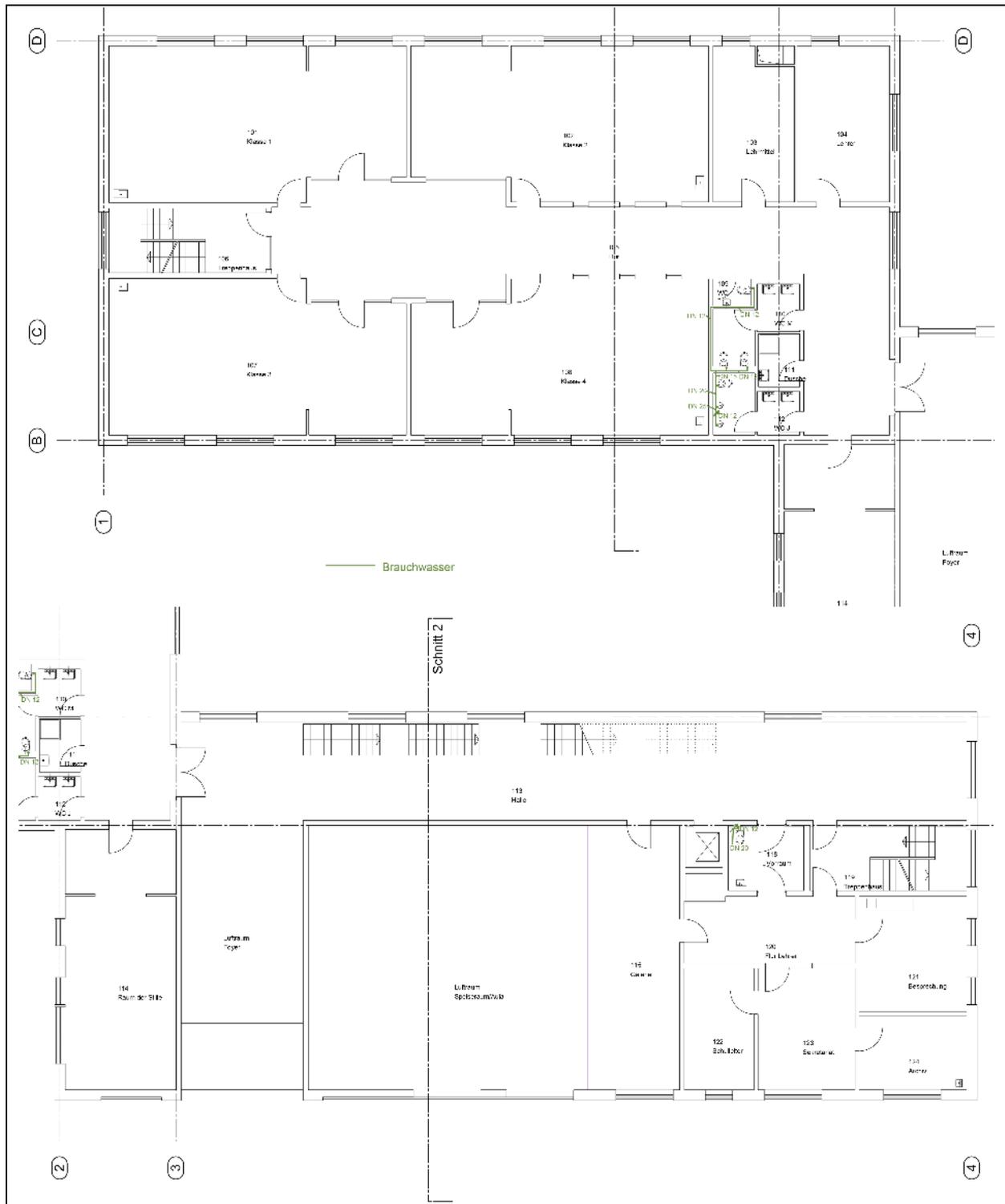


Abbildung 4-2: Grundriss Trinkwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

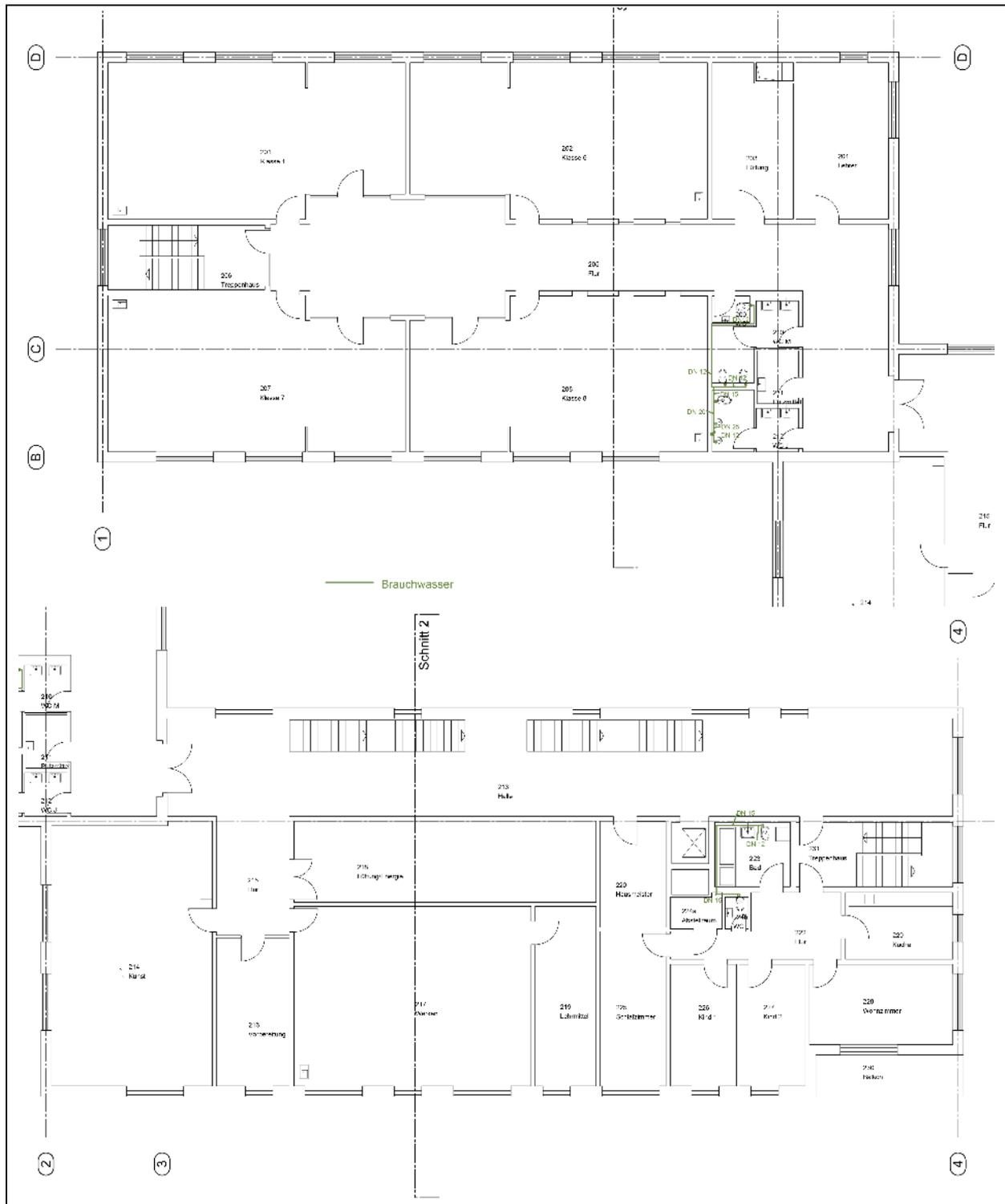


Abbildung 4-3: Grundriss Trinkwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

4.1.2 Strangschema Brauchwasser

Die Übersicht in Abbildung 4-4 dient der Einordnung der Detailschemata aus Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6.

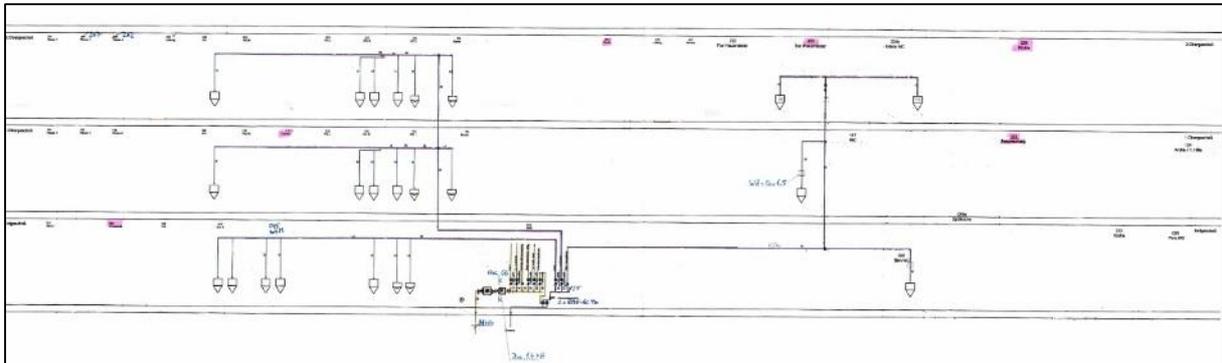


Abbildung 4-4: Strangschema Brauchwassernetz – Gesamtschema

Gegenüber der ursprünglichen Planung gab es folgende Änderungen:

- 2. OG
 - Ursprünglich war der Anschluss der Waschmaschine in der Hausmeisterwohnung als Brauchwasseranschluss geplant. Dies wurde nicht umgesetzt.

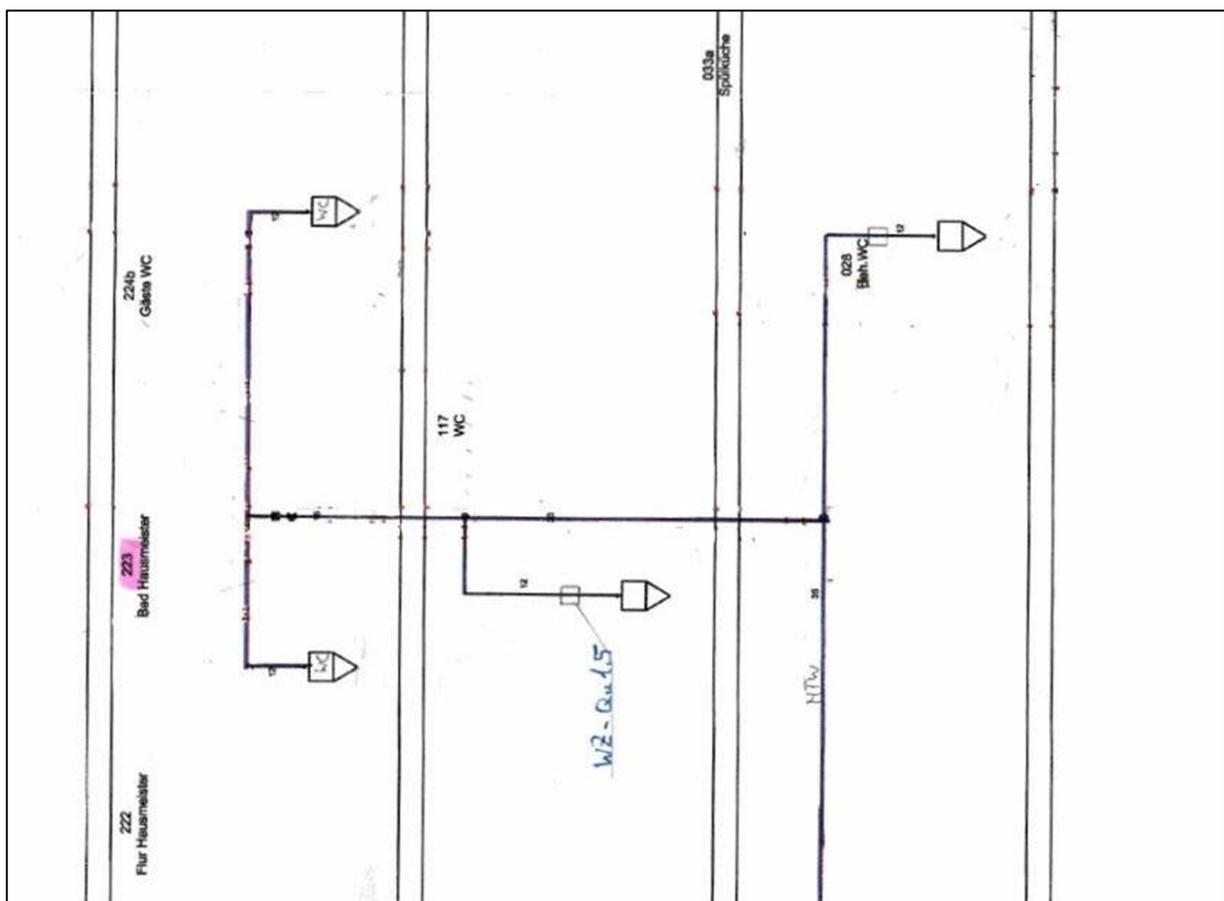


Abbildung 4-5: Strangschema Brauchwassernetz – Verwaltung und Hausmeister (BTA)

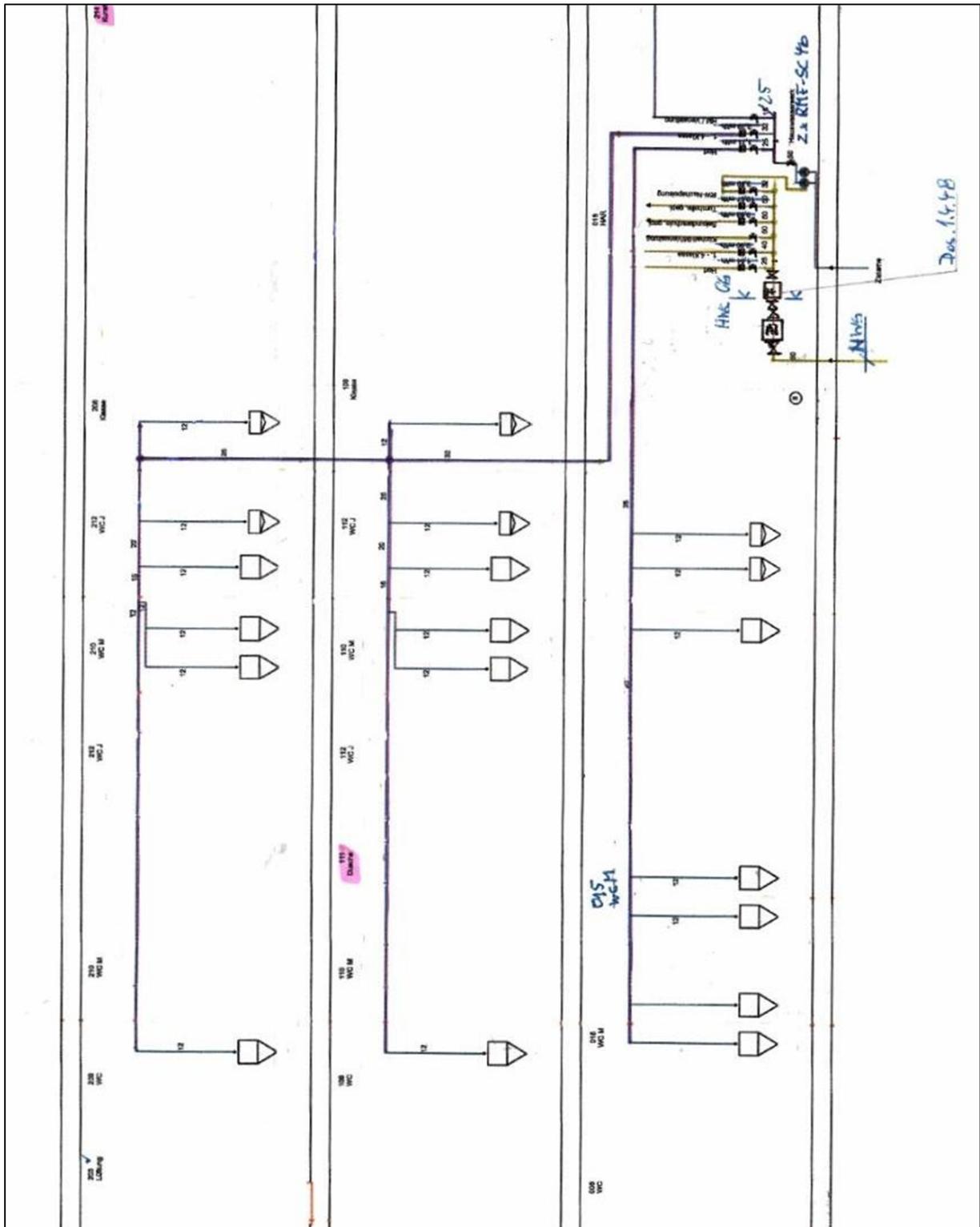


Abbildung 4-6: Strangenschema Brauchwassernetz – Klassen und Hort (BTB)

4.1.3 3D-Netzpläne Brauchwasser

In den Isometrieschemen des Trinkwassernetzes sind die Brauchwasserleitungen mit enthalten, siehe Abschnitt 3.1.3.

4.2 Netzkomponenten Brauchwasser

4.2.1 Regenwassernutzungsanlage

Abbildung 4-7 zeigt das Prinzipschema der Regenwassernutzungsanlage mit den wesentlichen Komponenten. Der Hersteller INTEWA bietet das System mit einer Einzel-, Doppel- und Dreifachpumpe. In der St. Franziskus-Grundschule ist das Doppelpumpensystem RAINMASTER Favorit 40 installiert. Die technischen Daten sind in dem separaten Anhang C hinterlegt.

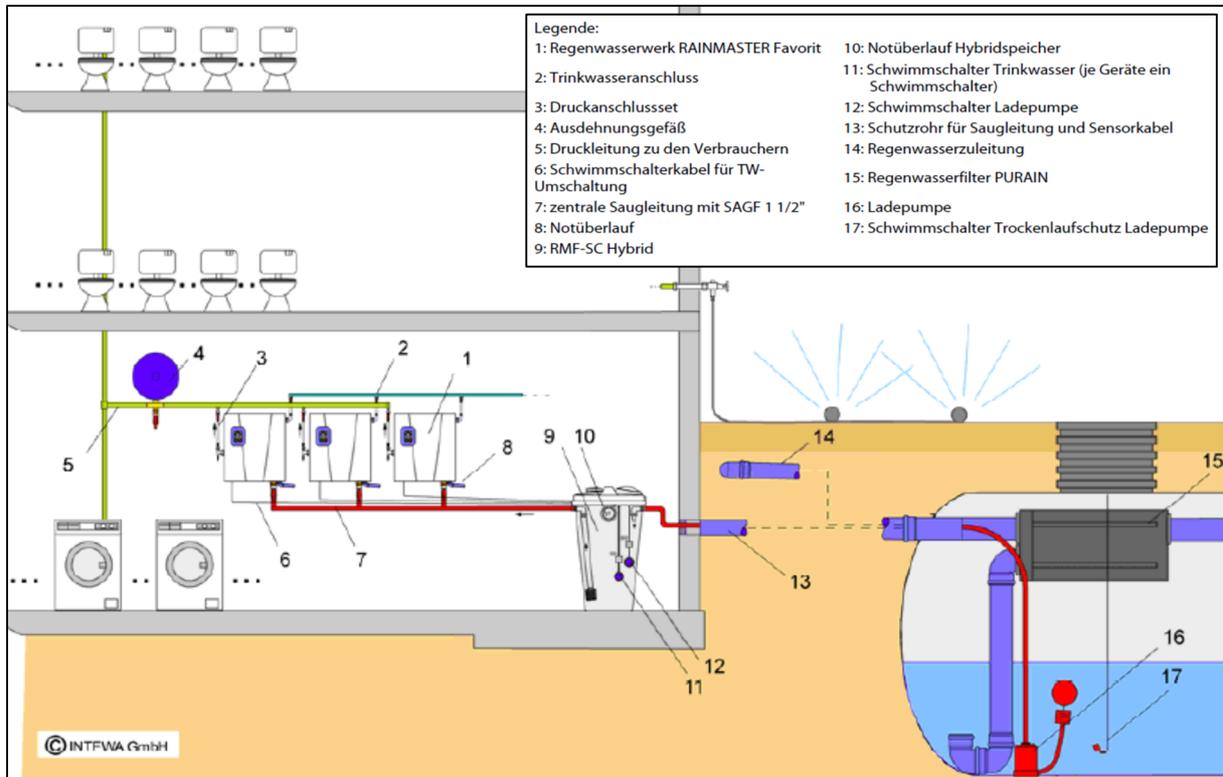


Abbildung 4-7: Prinzipschema Regenwassernutzung [7]

Zisterne, Tauchpumpe und Überlaufbecken



Abbildung 4-8: Einstieg in die Zisterne

Abbildung 4-8 zeigt den Eingang in die Zisterne. Im Bereich südlich des Klassenflügels (BTB) befindet sich im Erdreich die beiden 10 m³ großen Behälter.

Das Wasser wird von dort aus in die Zwischenbehälter innerhalb des Gebäudes gepumpt. Zum Einsatz kommt eine Tauchpumpe der Firma FLOTEC mit 1,6 kW Leistungsaufnahme. Sie kann 450 l/min fördern und hat eine maximale Förderhöhe von 12 m (1,2 bar), siehe Abbildung 4-9.

Die im Jahr 2017 geförderte Regenwassermenge liegt bei 233 m³. Dafür benötigt die Pumpe 518 min Förderdauer und eine Energiemenge von knapp 14 kWh/a.



Abbildung 4-9: Zisternentauchpumpe und Typenschild

Die beiden Überläufe der Zisterne münden im Versickerungsbecken. Abbildung 4-10 sowie Abbildung 4-11 zeigen das Becken kurz nach dem Bau und nach drei Betriebsjahren.



Abbildung 4-10: Überlauf- und Versickerungsbecken 2013



Abbildung 4-11: Überlauf- und Versickerungsbecken 2017

Hausanschlussraum und Zwischenbehälter

Im Hausanschlussraum 0.18 sind die zentralen Komponenten der Regenwassernutzung installiert. Abbildung 4-12 zeigt den Raum während der Installationsphase (Rohre noch unge-dämmt) sowie nach Abschluss der Arbeiten.



Abbildung 4-12: Hausanschlussraum 0.18 – Installationsphase und Endzustand

Der Zwischenbehälter – siehe Abbildung 4-13 – fasst 350 l Wasser und ist mit zwei Schwimmern ausgestattet. Der untere Schalter löst beim Unterschreiten der minimalen Füllhöhe die Nachspeisung mit Frischwasser aus (im Foto unter der Wasseroberfläche).

Der obere Schalter (auf der Wasseroberfläche schwimmend) ist zur Ansteuerung der Zisternentauchpumpe vorgesehen. Weitere technische Daten des Zwischenbehälters siehe Abbildung 4-14.



Abbildung 4-13: Zwischenbehälter – Außen- und Innenansicht

Höhe	1245 mm
Gewicht netto	15 kg
Durchmesser	740 mm
Siebweite	1.2 mm
Länge Schwimmschalterkabel	15 m
Anschlüsse	1 1/2 " AG
Anschluss Notüberlauf	DN 100
Sauganschluss	1 1/2 " AG
Material	PE
Speichervolumen	350 l

Abbildung 4-14: Technische Daten Zwischenspeicher [7]

Pumpen



Abbildung 4-15: Doppelpumpe sowie Display mit Regelungseinstellung

Abbildung 4-16 zeigt die technischen Daten der Doppelpumpe RAINMASTER Favorit-SC 40. Der Volumenstrom liegt bei 80 l/min (1,33 l/s) bei der eingestellten Förderhöhe von ca. 4,5 bar. Die Nachplanung (siehe Abschnitt 4.3) ergab einen Spitzenvolumenstrom von ca. 1,1 l/s. Die Bemessung ist damit nachvollziehbar. Die Anlage ist regelbar.

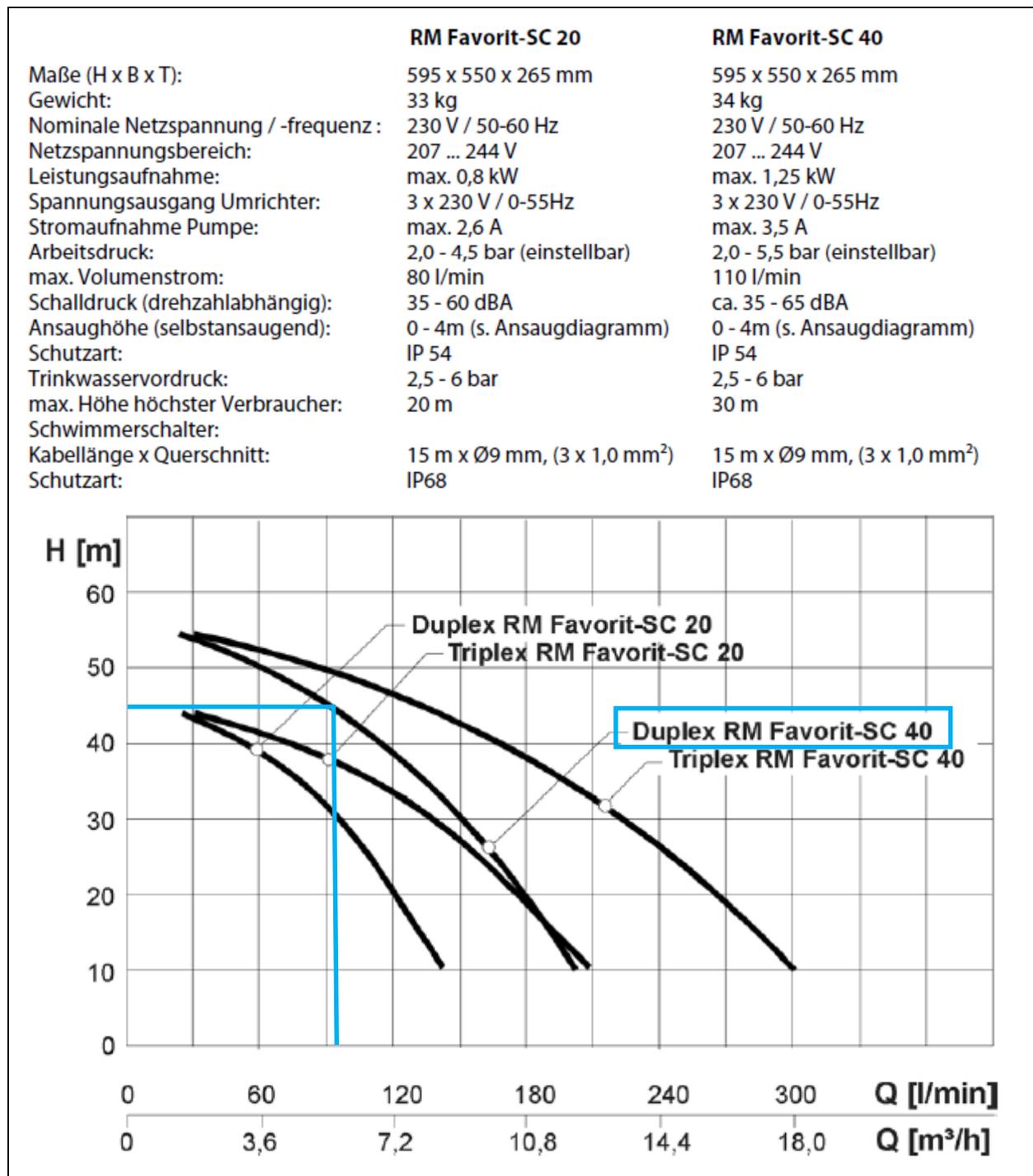


Abbildung 4-16: Technische Daten Doppelpumpe [7]

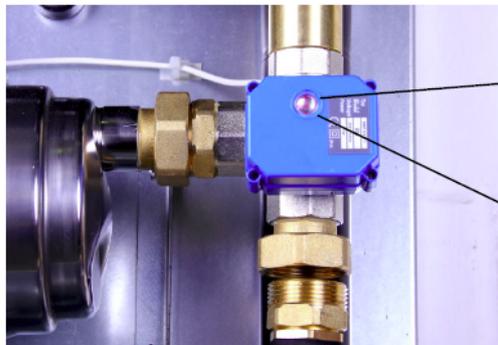
Abbildung 4-15 zeigt das Display der Regelungseinheit einer Pumpe mit Ist- und Sollwert der Förderhöhe (ca. 2,5 bar bzw. 4,0 bar).

In der Regenwassernutzungsanlage mussten Filter (Abbildung 4-17) nachgerüstet werden, weil es 2016 einen ersten Anlagendefekt gab.



Abbildung 4-17: Filteranlage und Einblick in die Frischwassernachspeisung

Der elektrische Kugelhahn schaltet zwischen Regenwasser- und Trinkwasser-Betrieb um. Die jeweilige Stellung ist über eine kleine Anzeige zu erkennen.



Trinkwasserbetrieb
(Pumpe saugt aus dem Nachspeisebehälter)



Regenwasserbetrieb
(Pumpe saugt aus der Regenwasserzisterne)

Abbildung 4-18: Umschaltventil [7]

Wenn kein Regenwasser im Zwischenbehälter verfügbar ist, wird automatisch auf Trinkwasser umgeschaltet, siehe Abbildung 4-18. Es gibt einen freien Auslauf in den Nachspeisebehälter, so dass es nicht zu einer Kontamination des Frischwassers durch rückgestautes Regenwasser kommen kann. Allerdings bedeutet dies, dass der Versorgerdruck vollständig ungenutzt bleibt. Sowohl das Regenwasser als auch das nachgespeiste Trinkwasser werden von der Doppelpumpe unter Aufwand elektrischer Leistung gefördert.

4.2.2 Zähler Brauchwasser

Es sind Unterzähler für das Monitoring sowie die interne Abrechnung und Umlage vorhanden, siehe Abbildung 4-19. Es handelt sich in allen Fällen um Flügelradzähler. Sie wurden bei der Netzberechnung berücksichtigt.



Abbildung 4-19: Unterzähler für Brauchwasser in Raum 0.18

4.2.3 Rohre und Dämmung Brauchwasser

Für das Brauchwassernetz wurde Edelstahl (Typ Mefa) für die Steig- und Horizontalverteilungen sowie Geberit-Verbundrohr (Typ Mepla) für die Abnehmeranschlüsse eingesetzt. Es sind folgende Verlegelängen zu verzeichnen, welche auch in der Ökobilanzierung – siehe Bericht 3 – berücksichtigt wurden [5]:

- Edelstahl
 - DN 12: 29 m
 - DN 15: 9 m
 - DN 20: 6 m
 - DN 25: 83 m
 - DN 32: 21 m
- Verbundrohr
 - DN 12: 40 m

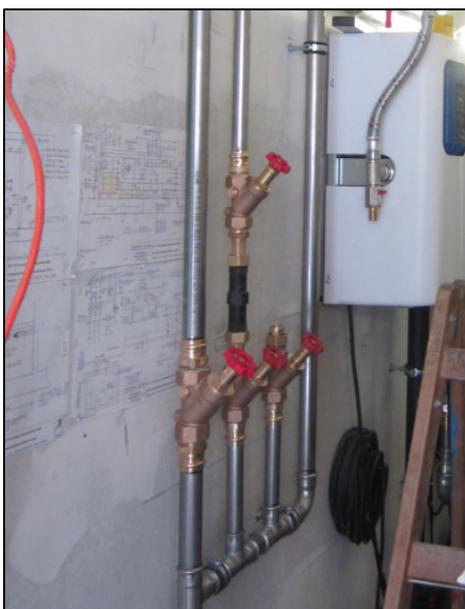


Abbildung 4-20: Regenwassernetz aus Edelstahl mit alukaschierter Mineralwollendämmung

Dämmung

Für die Dämmung der Leitungen gilt die DIN 1988-200. Das Regelwerk definiert Dämmdicken zum Schutz vor Oberflächenkondensat. Es konnte durch Stichprobenkontrollen festgehalten werden, dass:

- die Edelstahlleitungen für die Brauchwasserversorgung mit alukaschierter Mineralwolle versehen sind; Dämmdicke 75 % des Durchmessers (vorschriftsmäßig, teils besser)
- die Einzelanschlussleitungen aus Verbundrohr vermutlich durchgängig PE-Vlies-Dämmung aufweisen, Dämmdicke 25 % (vorschriftsmäßig)

4.3 Planung und Ausführung Brauchwassernetz

Während der Planungsphase des Gebäudes wurden die Netze mit einer Software berechnet. Die Ergebnisse liegen als PDF-Datei vor, siehe separater **Anhang I**. Die Originalplanung konnte wegen der Planerinsolvenz nicht im Rahmen der Ausführung nachgeführt werden.

Daher erfolgte im Rahmen des Monitorings eine Neuberechnung des Brauchwassernetzes mit der Software mh-SanCALC der Firma mh-Software GmbH im Rahmen einer Bachelorarbeit [1].

Randdaten der Nachrechnung

Grundlage der Nachberechnung nach DIN 1988 waren die nach Bauausführung korrigierten Pläne sowie die Angaben zu Netzdimensionen, Rohrmaterialien, Zählern und Armaturen. Für jede Armatur wurden unter Verwendung von Standardwerten der Norm Mindestfließdrücke und Berechnungsdurchflüsse festgelegt. Die Übersicht ist in Tabelle 4-1 gegeben.

Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Brauchwasserarmaturen

Raum		Abnehmer	Abnehmer für Netzberechnung	Mindest- fließdruck	Berechnungs- durchfluss [l/s]
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung		$\Delta_{pmin,FI}$ [mbar]	\dot{V}_R
006	WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
015	WC M	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
017	WC J	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
017	WC J	Urinale	Unterputz-Spülkasten 2 l, Urinale	1000	0,3
028	Behinder- ten-WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
109	WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
110	WC M	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
WC J	WC J	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
WC J	WC J	Urinale	Unterputz-Spülkasten 2 l, Urinale	1000	0,3
117	WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
209	WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
210	WC M	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
212	WC J	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
212	WC J	Urinale	Unterputz-Spülkasten 2 l, Urinale	1000	0,3
223	Bad	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13
224 b	Gäste WC	WC	Unterputz-Spülkasten 6 l, WCs	500	0,13

Die Pumpen zur Druckerhöhung konnten in der Software nicht modelliert werden. Es wurde stattdessen ein fiktiver Berechnungsstartpunkt für das Netz mit einem Versorgungsdruck von 4 bar angelegt.

Ergebnisse

Die Nachplanung ergibt folgendes Ergebnis: die Anschlussleitungen der WCs und Urinale ist identisch mit den vor Ort installierten Rohrleitungsdurchmessern. Die zentralen Verteilleitungen fallen in der umgesetzten Ausführung moderat größer aus als die Planung (meist ein DN größer). Die zentralen Leitungen im Hausanschlussraum wurden jedoch deutlich überdimensioniert (DN 50 statt berechneten DN 25).

4.4 Referenzobjekte

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden Vergleichsobjekte recherchiert [8]. Die Datenlage für Schulen ist eher gering.

Jedoch sind zur Einschätzung der Dimensionierung 4 Vergleichsobjekte vorhanden. Die Verhältnisse von Zisternenvolumen zu angeschlossener Entwässerungsfläche liegen zwischen $0,013 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $0,024 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Die St. Franziskus-Grundschule liegt mit $0,016 \text{ m}^3/\text{m}^2$ im mittleren Bereich.

Die Dimensionierung selbst (Zisternenvolumen oder Entwässerungsfläche je Person) kann kaum beurteilt werden. Es gibt nur ein gut dokumentiertes Vergleichsobjekt, die Pettenkofer-Grundschule in Berlin – ebenfalls eine Ganztagschule. Vergleiche:

- | | | | |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|
| • Schule: | St. Franziskus | Pettenkofer | |
| • Schüler: | ca. 200 | ca. 250 | |
| • Zisterne: | 20 m ³ | 30 m ³ | |
| | 100 l/Person | 120 l/Person | |
| • Entwässerungsfläche: | ca. 1250 m ² | ca. 1700 m ² | |
| | 6,25 m ² /Person | 6,8 m ² /Person | |
| • Einsparung: | 30 % | 20 % | (des Gesamtwassers) |

Mit etwas geringerer Dachfläche sowie Zisternenvolumen je Schüler können in der St. Franziskus-Grundschule bessere Ergebnisse erzielt werden.

5 Planung und Ausführung Abwassernetz

Der nachfolgende Abschnitt fasst die Daten der Planung und Ausführung für das Abwassernetz zusammen. Zunächst werden die Planunterlagen vorgestellt, d. h. Grundrisspläne und Strangschemen sowie isometrische Darstellungen des Netzes. Anschließend werden die Netzkomponenten erfasst, insbesondere die Sanitärkeramik und Geräteausstattung. Der Abschnitt endet mit einer Zusammenfassung der Netzplanung einschließlich Abgleich zur realen Ausführung.

In den Erläuterungen zur Planung aus der Bauantragsphase [4] wird das Netz wie folgt grob beschrieben:

- Schwerkraftentwässerung, d. h. Falleleitungen führen in Grundleitungen
- Die Küchenentwässerung erfolgt mit geeignetem Rohrmaterial für fetthaltige Abwässer, in einen Fettabscheider außerhalb des Gebäudes.
- Falleleitungen mit WC erhalten eine Hauptlüftung über Dach, Falleleitungen ohne WC erhalten Be- und Entlüftungsventile (mit bauaufsichtlicher Prüfung), Entlüftung der Küchenentwässerung erfolgt separat über Dach
- Falleitung erhalten Reinigungsöffnungen vor dem Übergang in Grundleitungen
- Anschluss-Sammel- und Falleleitungen aus verschweißtem PE-Rohr
- die horizontale Trassenführung der Abwasserleitungen erfolgt weitgehend unter der Bodenplatte

An das Netz sind alle Trink- und Brauchwasserzapfstellen angeschlossen. Darüber hinaus die Kondensatabläufe von vier Lüftungsanlagen (Hausmeisterwohnung, Grundlüftung Küche, Hauptlüftung Klassentakt, Hauptlüftung Verwaltungstrakt) sowie der Kühlzelle und die Bodeneinläufe in der Küche.

5.1 Pläne Abwasser

Aufgrund der Insolvenz des ersten Planers lagen sämtliche Originalpläne nur als PDF-Dateien aus der Bauantragsphase (2011) sowie Papiausdrucke aus der Ausführungsphase (2013) vor. Alle Änderungen bei der Ausführung wurden daher – wenn überhaupt – nur händisch festgehalten.

Daher wurden nach Baufertigstellung alle Planunterlagen im Rahmen des Monitorings neu als CAD-Dateien erstellt und Änderungen eingetragen [2].

Für die Planerstellung in CAD gelten folgende Konventionen: alle Leitungen werden immer 10 cm neben der Wand gezeichnet. Um die Netze übersichtlicher darzustellen, werden die Leitungen, die in der Realität untereinander verlegt sind, im 2D-Raum nebeneinander gezeichnet.

Sämtliche Planunterlagen sind im separaten **Anhang A** zu finden.

5.1.1 Grundrisse Abwasser

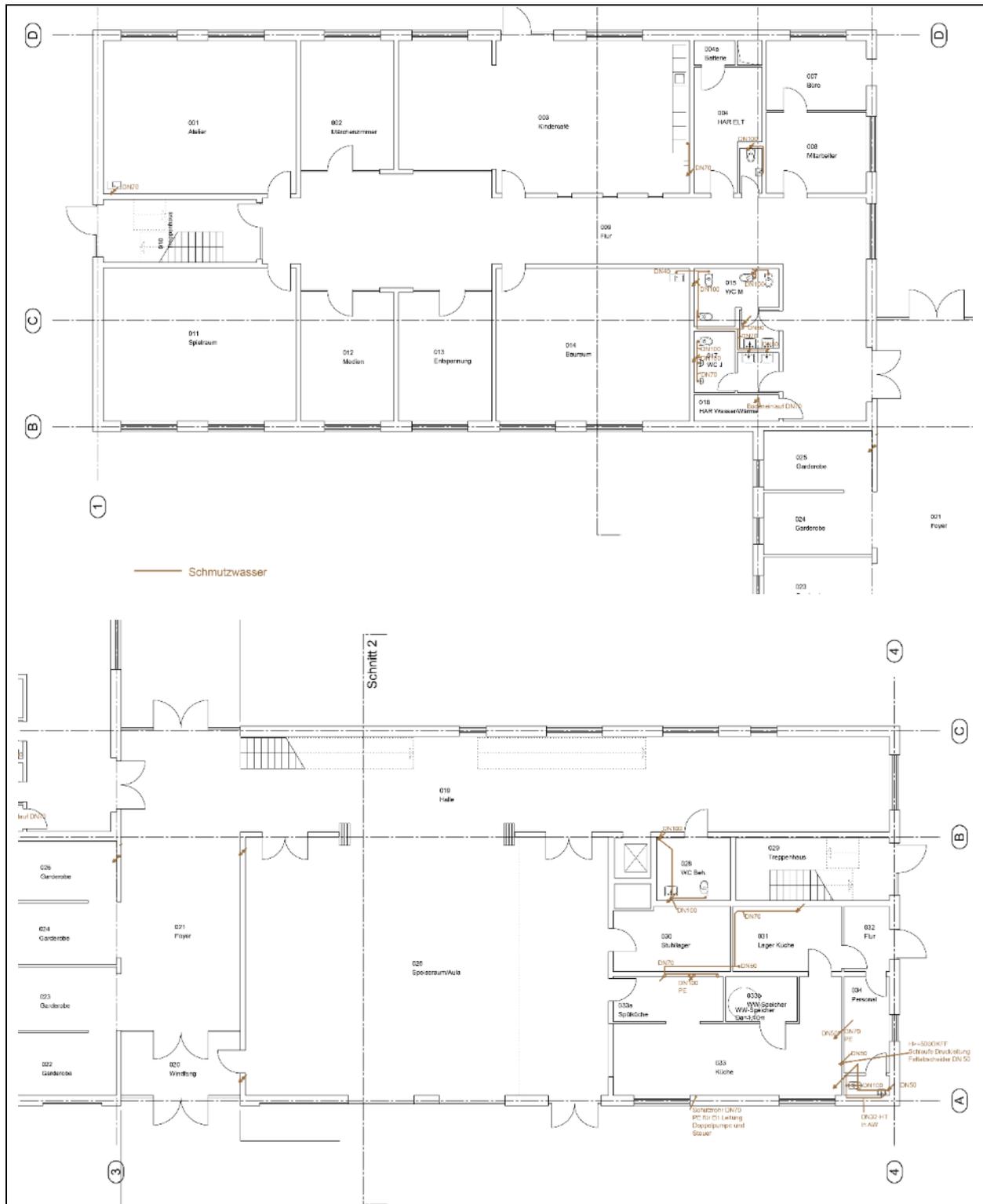


Abbildung 5-1: Grundriss Abwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

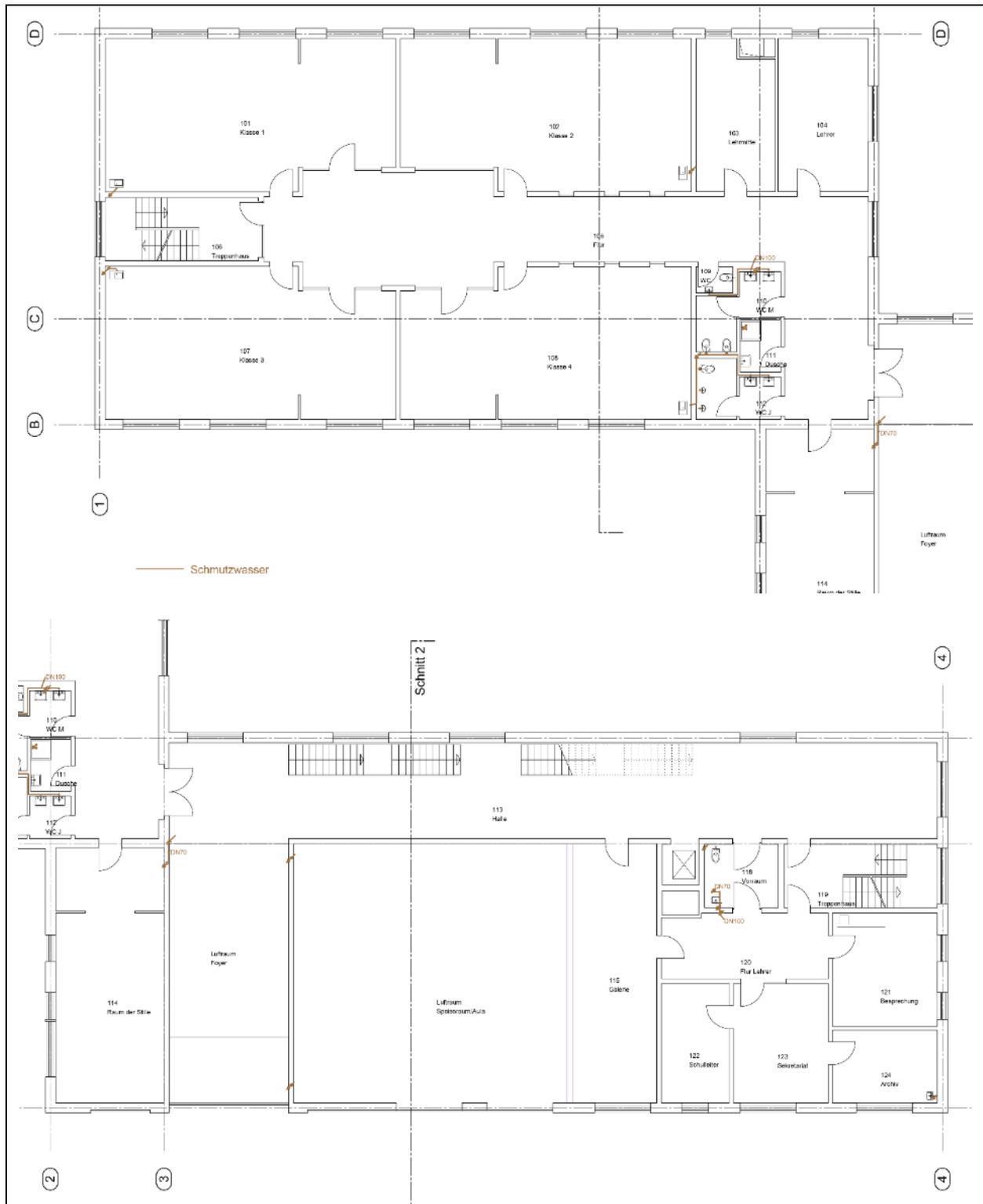


Abbildung 5-2: Grundriss Abwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

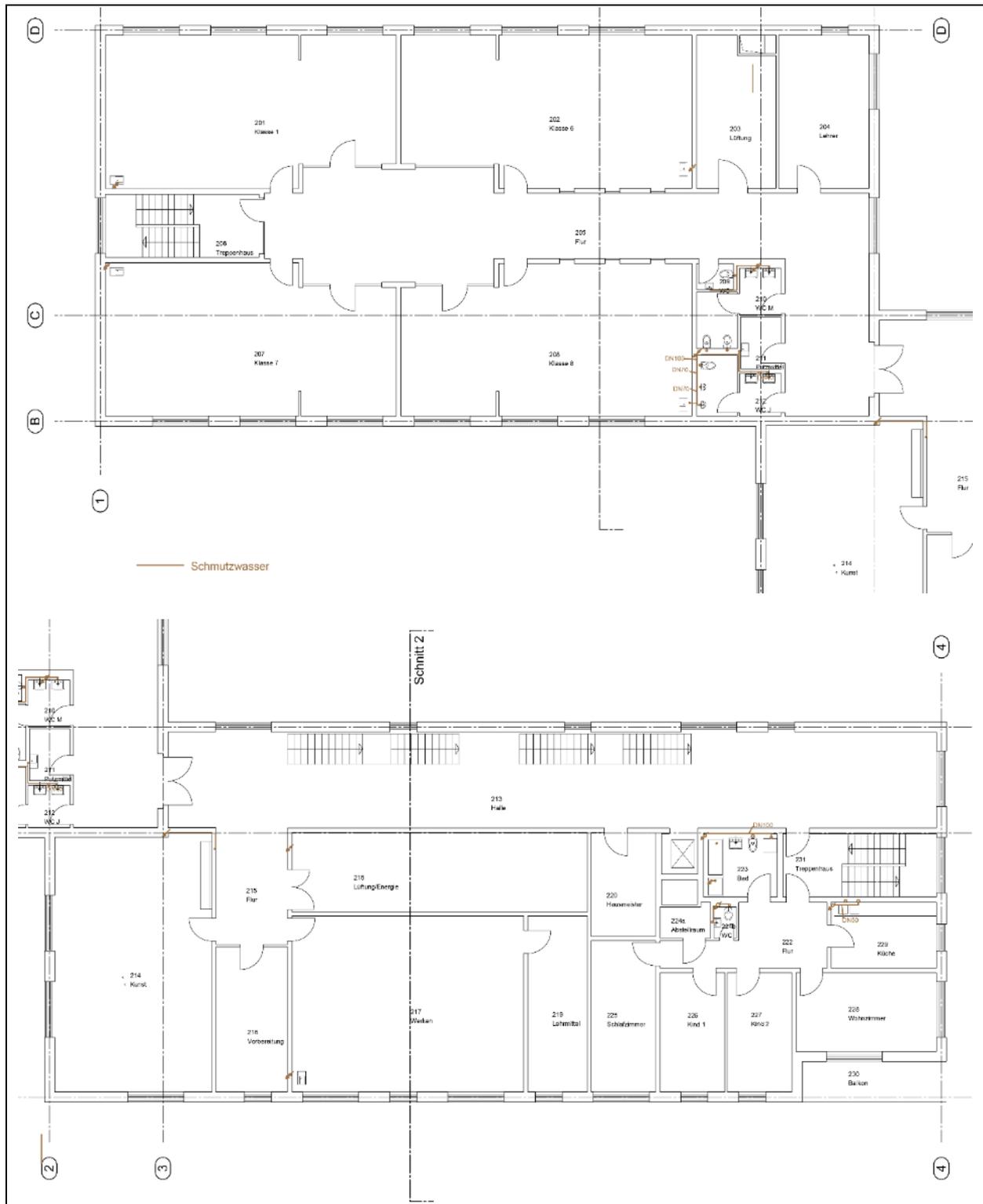


Abbildung 5-3: Grundriss Abwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)

5.1.2 Strangschema Abwasser

Die Übersicht in Abbildung 5-4 dient der Einordnung der Detailschemata aus Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6.

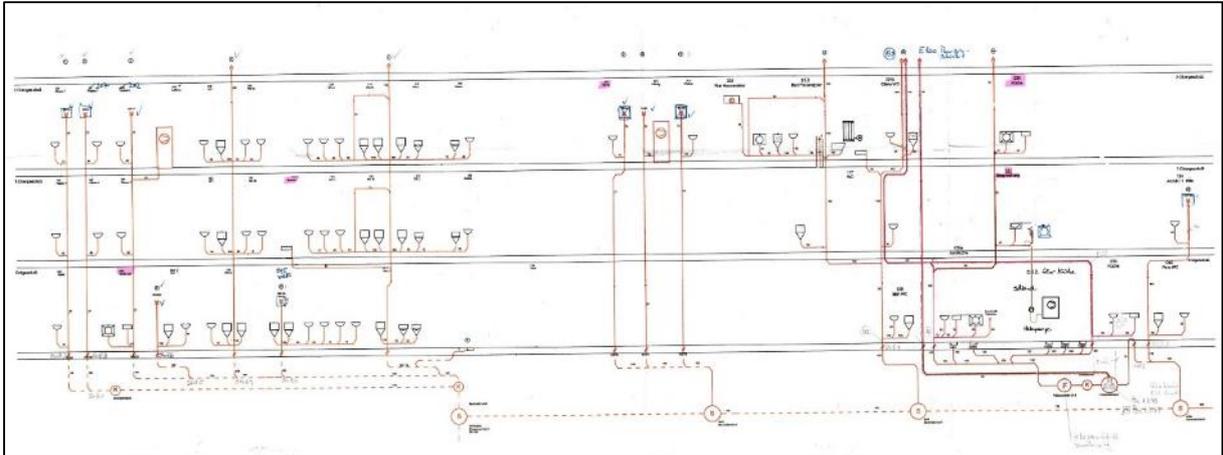


Abbildung 5-4: Strangschema Abwassernetz – Gesamtschema

Gegenüber der ursprünglichen Planung gab es folgende Änderungen:

- EG
 - Im Bauraum (0.14) wurde das Waschbecken mit einem Strang im WC Mädchen (0.15) verbunden. Es gibt dort mehrere Stränge. Der tatsächliche Anschluss führt zu einem anderen Strang als die Planung.
- 2. OG
 - Das Waschbecken im Gäste-WC (2.24b) ist nicht, wie ursprünglich geplant, an die Abwasserleitung, sondern an die "Schmutzwasser, fetthaltig"-Leitung angeschlossen, da diese näher am Abnehmer liegt.

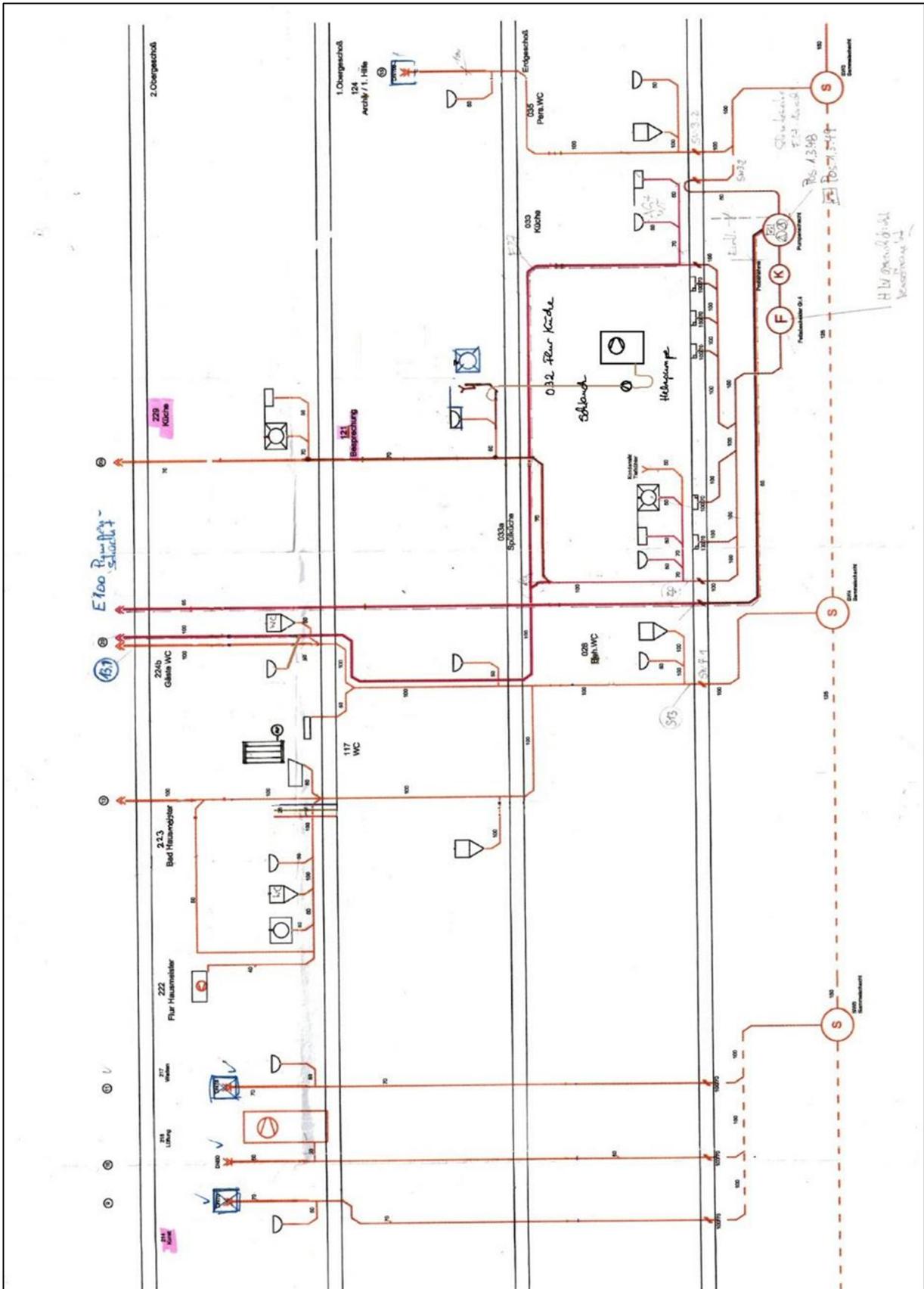


Abbildung 5-5: Strangschemata Abwassernetz – Ostflügel (BTA)

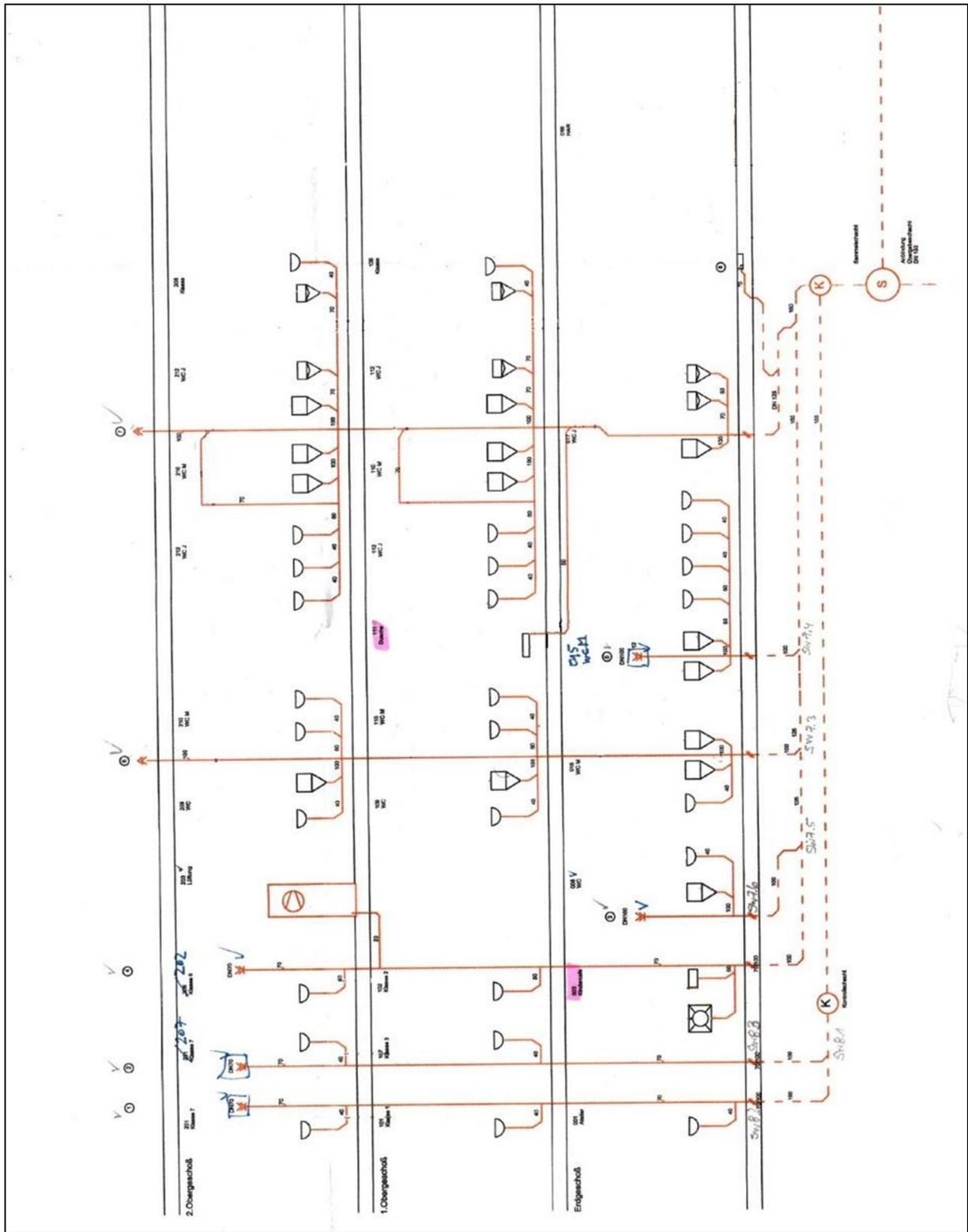


Abbildung 5-6: Strangschema Abwassernetz – Westflügel (BTB)

5.1.3 3D-Netzpläne

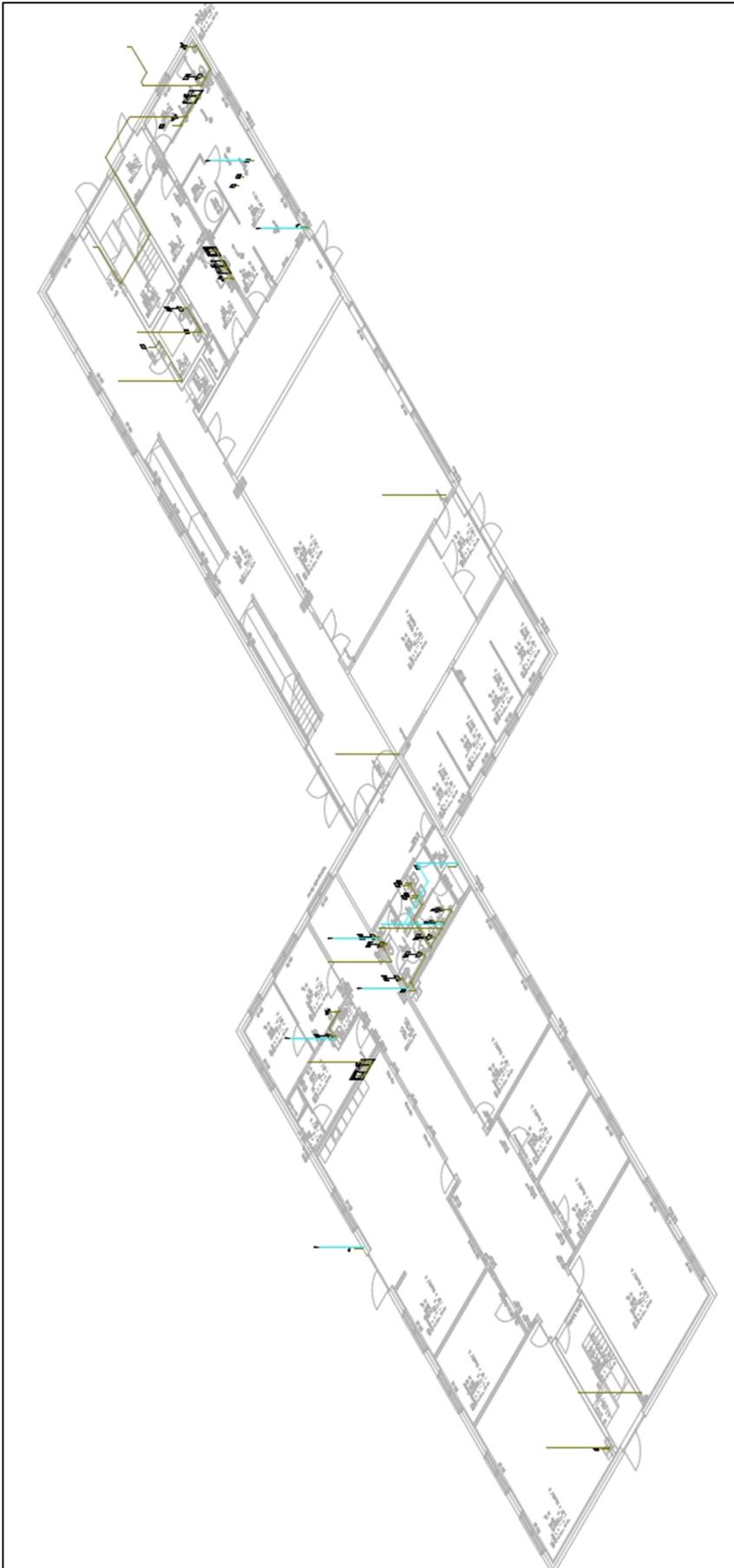


Abbildung 5-7: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – EG

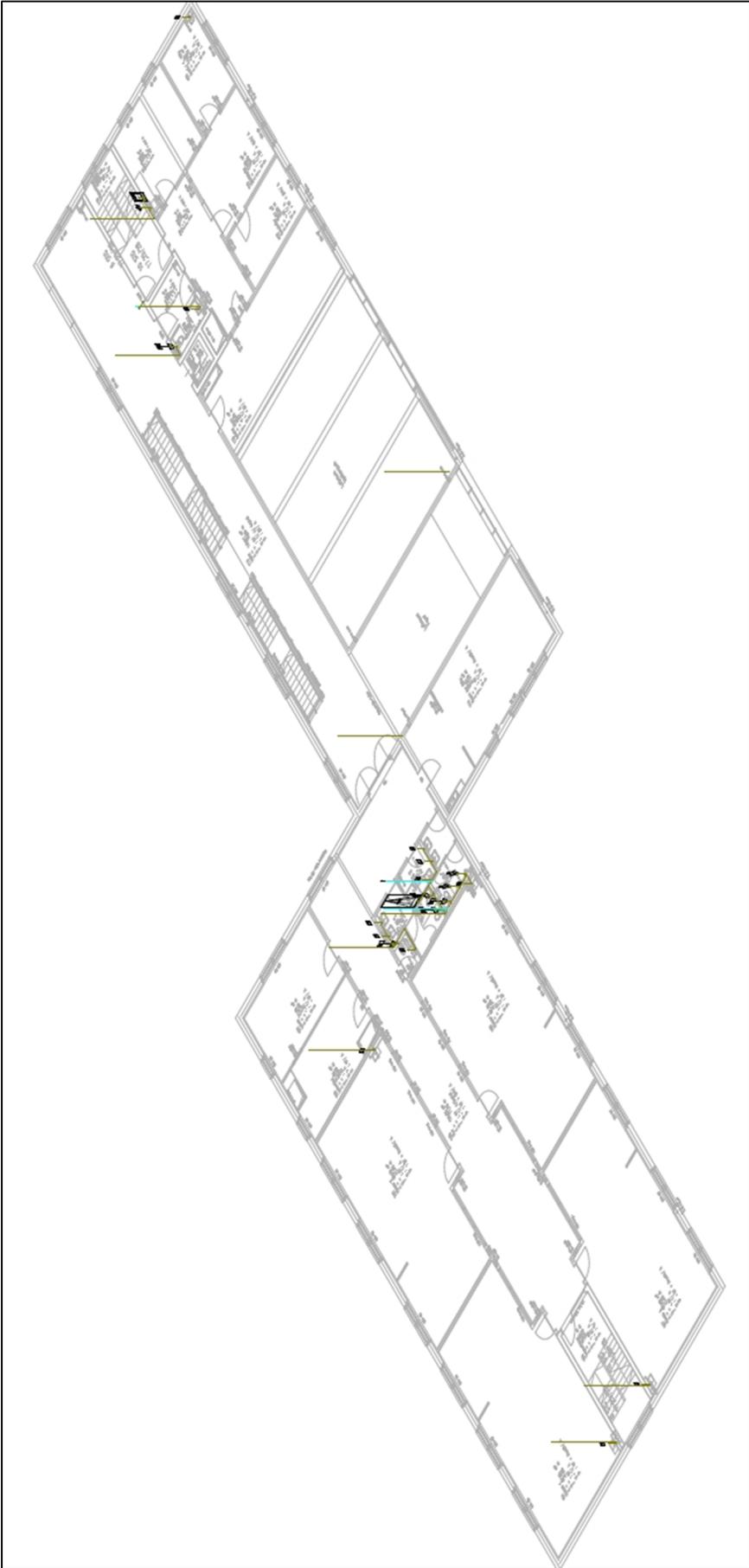


Abbildung 5-8: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – 1. OG

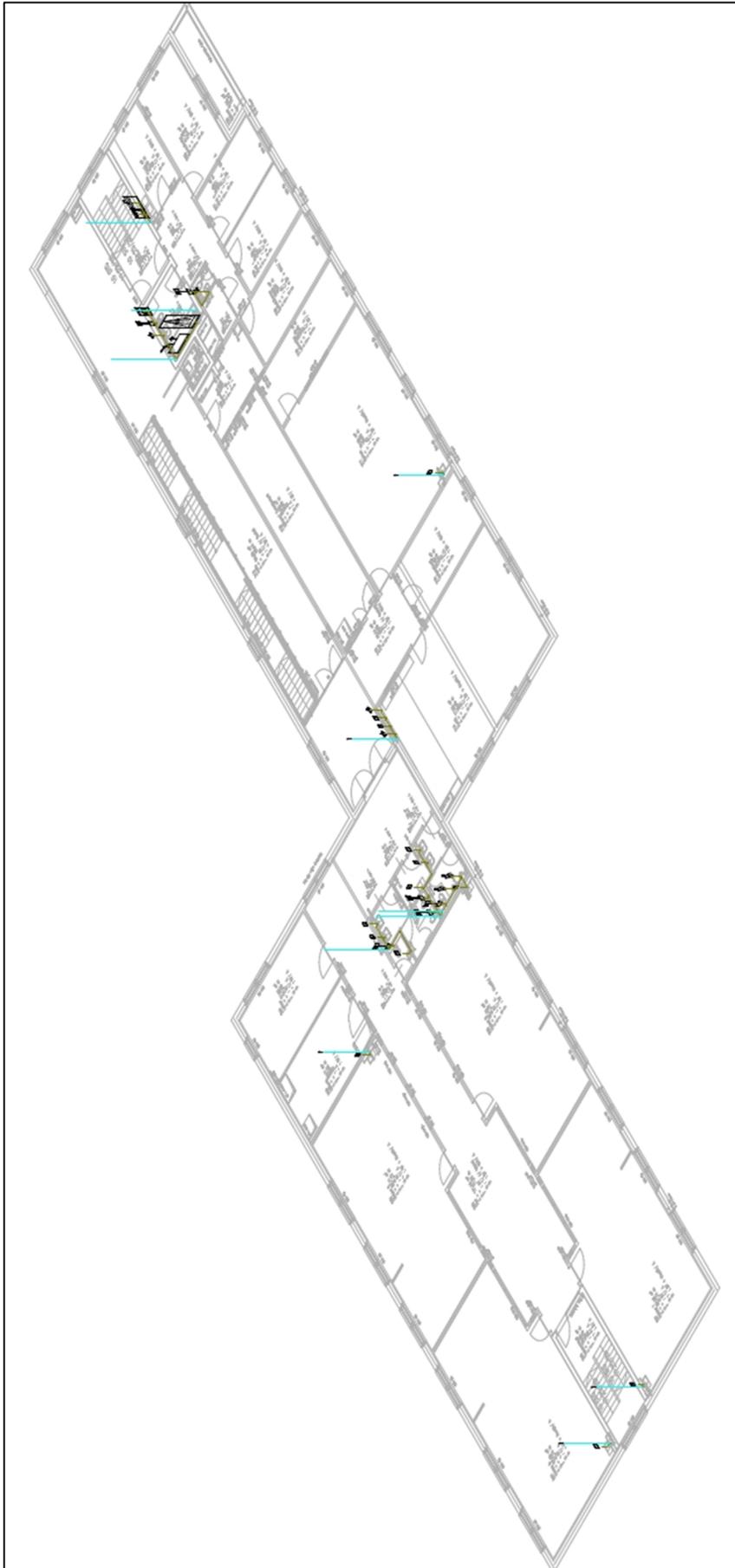


Abbildung 5-9: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – 2. OG

5.2 Netzkomponenten

5.2.1 Sanitärkeramik und Geräteausstattung

Tabelle 5-1 liefert eine Zusammenstellung der gewählten Sanitärkeramik und Geräteausstattung, die an das Abwassernetz angeschlossen ist. Die Zusammenstellung erfolgt im Rahmen einer Bachelorarbeit mit dem Ziel der Ökobilanzierung. Eine weitere Dokumentation für viele der genannten Abnehmer ist in der separaten Anlage H zu finden.

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der Sanitärkeramik und Geräteausstattung [5]

Raum		Abnehmer			Doku
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung	Stück	Hersteller/Typ	
001	Atelier	Waschbecken	1	Keramag	ja
003	Kindercafé	Spülbecken	1	Pyramis Einbauspüle	ja
003	Kindercafé	Spülmaschine	1	k. A.	nein
006	WC	Waschbecken	1	Zoom	nein
006	WC	WC	1	Vigour	ja
014	Bauraum	Waschbecken	1	Keramag	ja
015	WC M	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
015	WC M	WC	4	Vigour	ja
017	WC J	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
017	WC J	WC	1	Vigour	ja
017	WC J	Urinale	2	Allia Paris	ja
028	Behinderten-WC	Waschbecken	1	Bagnosicuro	ja
028	Behinderten-WC	WC	1	Allia Paris	ja
033	Küche	Kombidämpfer	1	eloma	ja
033	Küche	Kombidämpfer	1	eloma	ja
033	Küche	Cookingcenter	1	vario	ja
033	Küche	Gewerbspülschrank Doppelbecken	1	unbekannt	ja
033	Küche	Spültisch, hängend, Einzelbecken	1	BLANCO	ja
033	Küche	Bodenreinigung	1	k. A.	nein
033a	Spülküche	Gläser-/ Geschirrspüler	1	Hobart AMX-16	ja
033a	Spülküche	Gewerbspültisch, Einzelbecken	1	unbekannt	ja
033a	Spülküche	Spültisch, stehend, Einzelbecken	1	BLANCO	ja
035	Pers.-WC	Waschbecken	1	Zoom	nein
035	Pers.-WC	WC	1	Vigour	ja
101	Klasse 1	Waschbecken	1	Keramag	ja
102	Klasse 2	Waschbecken	1	Keramag	ja
107	Klasse 3	Waschbecken	1	Keramag	ja
108	Klasse 4	Waschbecken	1	Keramag	ja
109	WC	Waschbecken	1	KERRA	ja
109	WC	WC	1	Vigour	ja
110	WC M	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
110	WC M	WC	2	Vigour	ja
111	Dusche	Waschbecken	1	Zoom	nein
111	Dusche	Duschwanne	1	Kaldewei	ja
112	WC J	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
112	WC J	WC	1	Vigour	ja
112	WC J	Urinale	2	Allia Paris	ja
117	WC	Waschbecken	1	Zoom	nein
117	WC	WC	1	Vigour	ja
121	Besprechung	Spülbecken	1	Pyramis Einbauspüle	ja
124	Archiv	Waschbecken	1	Allia Paris	ja
201	Klasse 5	Waschbecken	1	Keramag	ja
202	Klasse 6	Waschbecken	1	Keramag	ja
207	Klasse 7	Waschbecken	1	Keramag	ja
208	Klasse 8	Waschbecken	1	Keramag	ja
209	WC	Waschbecken	1	KERRA	ja
209	WC	WC	1	Vigour	ja
210	WC M	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
210	WC M	WC	2	Vigour	ja
211	Putzmittel	Ausgussbecken	1	Contacto	ja
212	WC J	Waschbecken	2	Allia Paris	ja
212	WC J	WC	1	Vigour	ja

Raum		Abnehmer			Doku
Nr.	Bezeichnung	Bezeichnung	Stück	Hersteller/Typ	
212	WC J	Urinale	2	Allia Paris	ja
214	Kunst	Waschbecken groß	1	Franke	ja
217	Werken	Waschbecken	1	Keramag	ja
223	Bad	Waschbecken	1	Vigour	ja
223	Bad	WC	1	Vigour	ja
223	Bad	Wanne	1	Kaldewei	ja
223	Bad	Duschwanne	1	Kaldewei	ja
223	Bad	Waschmaschine	1	k. A.	nein
224b	Gäste WC	Waschbecken	1	KERRA	ja
224b	Gäste WC	WC	1	Vigour	ja
229	Küche	Spülbecken	1	Pyramis Einbauspüle	ja
229	Küche	Spülmaschine	1	k. A.	nein

Nachfolgende Abbildungen geben einen auszugsweisen Überblick über die Ausstattung.



Abbildung 5-10: Waschbecken im Klassenraum und Kunstraum (Raum 2.14)

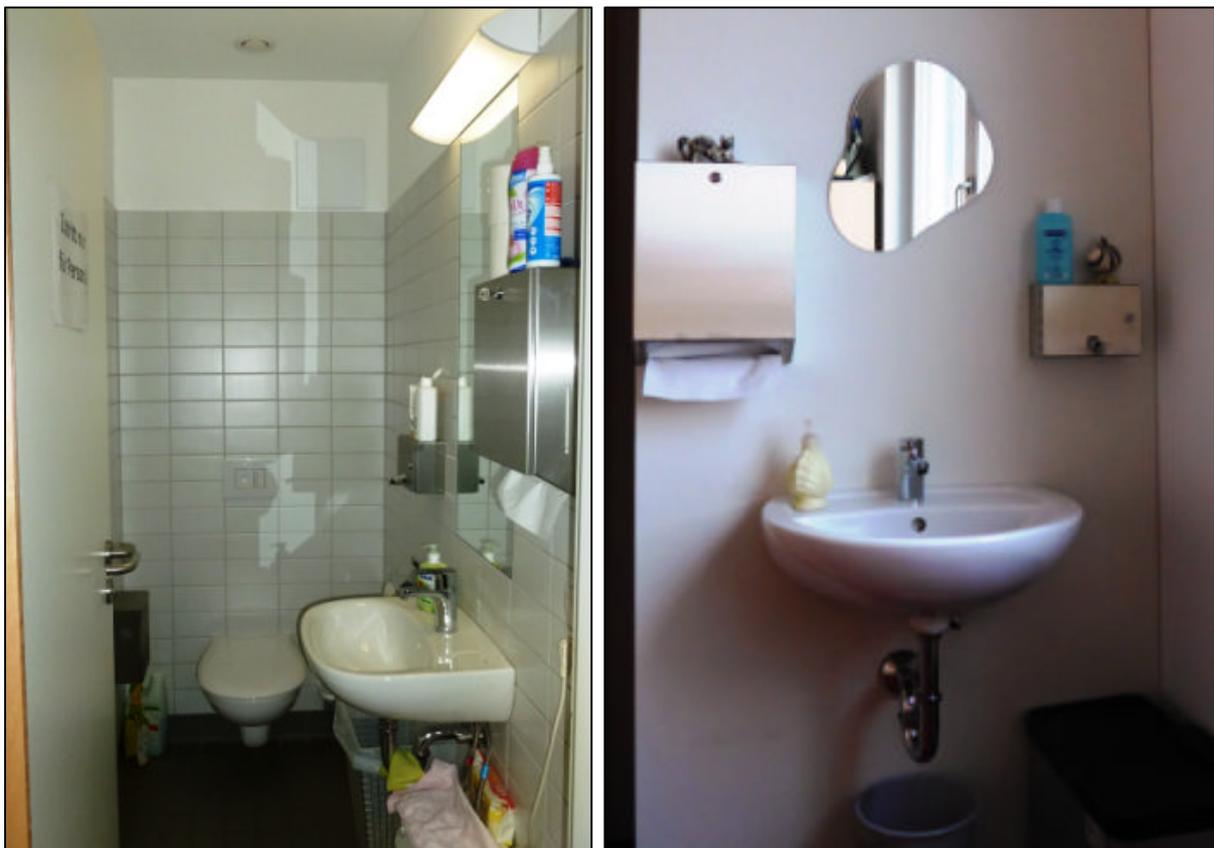


Abbildung 5-11: Personal-WC im Hort (Raum 0.06) und Waschbecken im Büro (Raum 1.24)



Abbildung 5-12: Kinder-Waschbecken sowie Jungen-Urinale



Abbildung 5-13: Behinderten-WC (Raum 0.28) sowie Mädchen-WC



Abbildung 5-14: Kindercafé im Hort (Raum 0.03)



Abbildung 5-15: Personaldusche (Raum 1.11) sowie Ausgussbecken (Raum 2.11)



Abbildung 5-16: Mobile und feste Küchenspülen

Die Mengen an Sanitärkeramik sind bei dem Vorort-Termin erfasst und die Hersteller aufgenommen worden. Die insgesamt 35 Waschbecken aus Keramik weisen ein Gesamtgewicht von 370 kg auf. Die 25 WC- und Urinalbecken wiegen 343 kg.

Aus emailliertem Stahlblech sind Dusch- und Badewannen gefertigt. In Summe ergeben sich für die 3 Bauteile 97 kg Gewicht. Aus Edelstahl sind alle Spül- und Ausgussbecken gefertigt – Gesamtgewicht 191 kg.

Darüber hinaus werden die Küchengeräte (Spülmaschine, cooking center usw.), welche aus einem Materialmix gefertigt sind, als Edelstahlkomponenten mit 681 kg Gesamtgewicht in der Ökobilanz erfasst.

5.2.2 Rohre und Dämmung

Für das Abwassernetz wurde Polyethylen-Rohr (Typ Mefa) eingesetzt. Es sind folgende Verlegelängen zu verzeichnen, welche auch in der Ökobilanzierung – siehe Bericht 3 – berücksichtigt wurden [5]:

- PE-Rohr
 - DN 20: 7 m
 - DN 40: 18 m
 - DN 50: 43 m
 - DN 65: 11 m
 - DN 70: 97 m
 - DN 100: 92 m

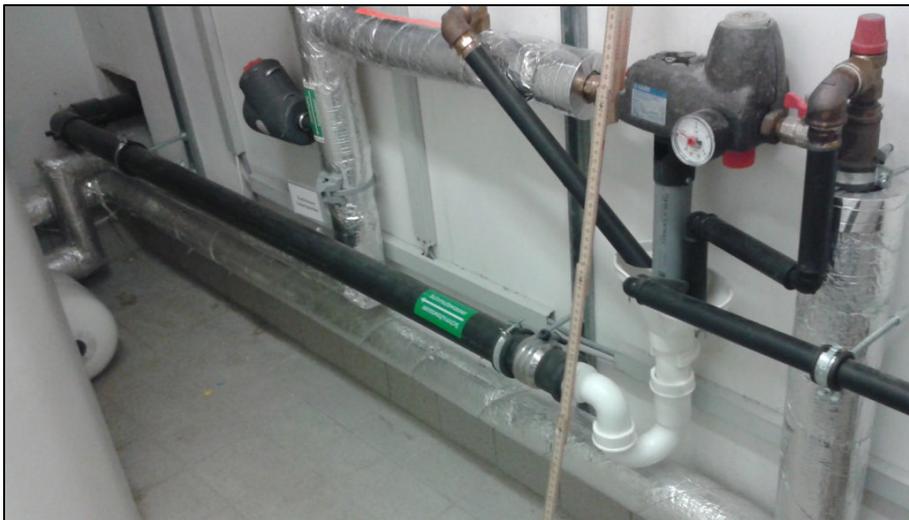


Abbildung 5-17: Abwasserleitungen im Solarspeicherraum (0.33b)

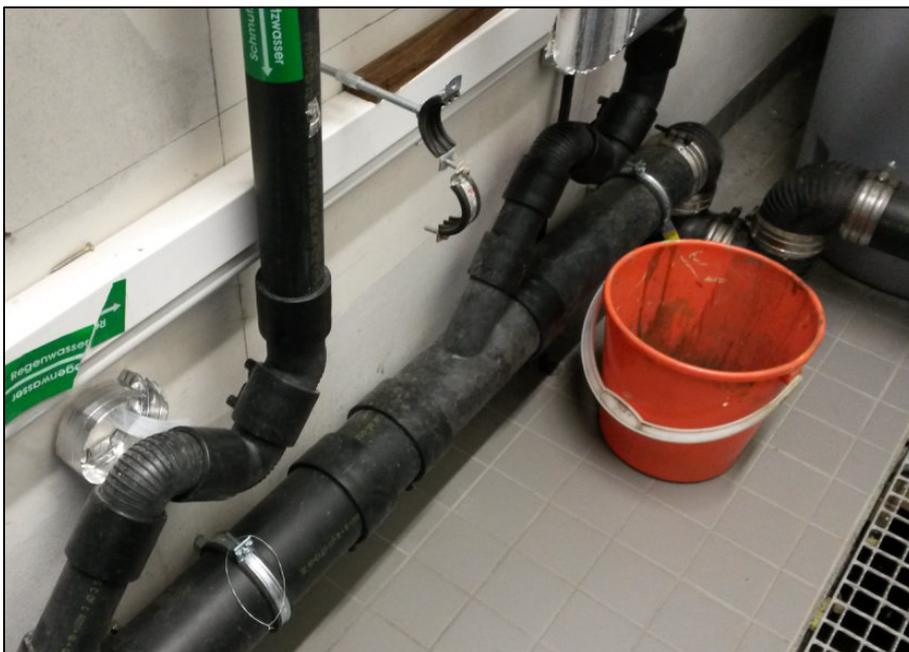


Abbildung 5-18: Abwasserleitungen im Hausanschlussraum (0.18)

Dämmung

Eine Dämmung für Leitungen in der Konstruktion kann aus Schallschutzgründen erfolgen. Die Vor-Ort-Begehung zeigte – bei allen sichtbaren Leitungen – keine Dämmung. Es ist davon auszugehen, dass dies auch für die Leitungen gilt, die in der Konstruktion untergebracht sind.



Abbildung 5-19: Anschluss des WC im EG (Raum 0.06)

Belüftung

Die Hauptlüftung wird über Dach geführt, siehe Abbildung 5-20. An den Strängen, die nur Waschbecken enthalten, wird auf Belüftungsventile in der Wand (hinter Revisionsöffnung) zurückgegriffen, siehe Abbildung 5-21.



Abbildung 5-20: Lüftungsleitungen über Dach



Abbildung 5-21: Belüftungsventile im 2. OG

Dachentwässerung

Die Fallrohre der Regenwasserentwässerung sind aus PE gefertigt. Sie sind nicht zugänglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie mit einem 9 mm dicken PE-Schutzschlauch versehen sind.

5.3 Planung und Ausführung

Es liegt keine Originalplanung des Abwassernetzes aus der Zeit vor der Insolvenz des Planers vor. Daher erfolgte im Rahmen des Monitorings eine Neuberechnung des Abwassernetzes mit der Software mh-SanCALC der Firma mh-Software GmbH im Rahmen einer Masterarbeit [2].

Randdaten der Nachrechnung

Grundlage der Nachberechnung nach DIN 1986 waren die nach Bauausführung korrigierten Pläne sowie die Angaben zu Rohrmaterialien, Leitungslängen sowie angeschlossenen Verbrauchern. Für jeden Verbraucher wurde – ausgehend von den Herstellerangaben oder unter Verwendung von Standardwerten der Norm – Entwässerungsvolumenströme festgelegt.

Ergebnisse

Auf eine Einzeldarstellung der Ergebnisse wird verzichtet, lediglich eine Tendenz soll dargestellt werden. Die real installierten Rohrdimensionen können den Strangschemen in Abschnitt 5.1.2 entnommen werden.

Im Großen und Ganzen kann die Ausführung durch die Nachberechnung gut nachvollzogen werden. Es gibt systematische Abweichungen, welche mit den Datensätzen der Software erklärt werden können. Beispielsweise ergibt die Planung jeweils Leitungen in DN 80, die in der Realität in der Dimension DN 70 ausgeführt wurden.

Die WC-Anschlussleitungen sind softwareseitig jeweils in DN 80 vorgesehen, was sich auch in den Fall- und Lüftungsleitungen wiederholt. In der Realität sind jeweils DN 100-Leitungen installiert. Aus dem vorhandenen Strangschemen wird deutlich, dass die Grundleitungen in dem untersuchten Gebäude nur mit Durchmesser DN 100 erstellt wurden. Das Planungsprogramm schlägt DN 80, 100 und 125 vor.

6 Trinkwassererwärmung

Der nachfolgende Abschnitt erläutert das Konzept der Warmwasserbereitung in Kurzform und stellt die eingesetzten Komponenten vor. Details zu diesem Thema – insbesondere die Auswertung der Verbrauchsdaten – sind dem **Abschlussbericht 8** zu entnehmen.

6.1 Schulbetrieb und Nebenräume

Der Schulbetrieb nutzt nur im Ausnahmefall Warmwasser, welches dezentral in elektrischen Durchlauferhitzern vom Fabrikat Clage CBX 11 erwärmt wird. Dies betrifft folgende Räume:

- Kindercafé 0.03 (11 kW)
- Dusche 1.11 (11 kW)
- Besprechung 1.21 (11 kW)
- Kunstraum 2.14 (11 kW)

Abbildung 6-1 zeigt die Übersicht der technischen Daten des Gerätes, Abbildung 6-2 die beispielhafte Installation in Raum 1.11. Im Raum 0.06 wurde – abweichend – ein elektrisch beheizter 5-Liter-Kleinspeicher installiert. Die technischen Daten zeigt Abbildung 6-3, die Ausführung Abbildung 6-4. Die detaillierten technischen Unterlagen sind dem separaten **Anhang D** zu entnehmen.

Der Wasser- und Stromverbrauch der Geräte wird nicht separat erfasst, kann jedoch über Verbrauchsmessungen und Bedarfsbilanzen abgeschätzt werden, siehe Abschnitt 8.

Typ		CBX 11	CBX 13
Artikelnummer		25211	25213
Nenninhalt	Liter	0,2	
Bauart		druckfest	
Zulässiger Betriebsüberdruck	MPa (bar)	1 (10)	
Wasseranschlüsse (Schraubanschlüsse)		G ½"	
Temperaturwahlbereich	°C	35 bis 55	
Warmwasserleistung bei $\Delta t = 28 \text{ K}^{1)}$	l/min	5,6 ²⁾	6,9 ²⁾
Nennleistung ³⁾	kW	11,0	13,5
Spannung	V	3~ / PE 400V AC	
Nennstrom	A	3 × 16	3 × 20
Mindestens erforderlicher Kabelquerschnitt	mm ²	2,5	4,0
Prüfzeichen VDE / Schutzart		• / IP 25	
IES® Blankdraht-Heizsystem	/ $\Omega \text{ cm}^{4)}$	• / 1100	
ca. Gewicht mit Wasserfüllung		1,9	

• = vorhanden bzw. ja 1) Temperaturerhöhung von z.B. 12°C auf 40°C 2) Mischwassermenge 3) Vorschriften sind in einzelnen Versorgungsgebieten unterschiedlich. Nur durch Fachmann anzuschließen! 4) Zulässiger elektrischer Mindestwiderstand des Wassers bei 15°C

Abbildung 6-1: Technische Daten Durchlauferhitzer CBX



Abbildung 6-2: Durchlauferhitzer 11 kW mit Typenschild (Raum 1.11)

Verkaufsbezeichnung	Einheit	TKS 5 UG
Art der Montage		Untertisch
Montageort		senkrecht an der Wand
Bauart		druckloser Warmwasserspeicher
Nennvolumen	l	5
Wärmeverlust nach DIN 44532	kWh/24h	0,32
Mischwassermenge nach DIN 44532	l	9,1
Betriebsdruck	bar	0
Nennleistung	W	2000
Nennspannung	V~	230 V~ 50Hz (1/N/PE)
Schutzklasse		I (mit Schutzleiter)
Schutzart		IP 24 (spritzwassergeschützt)
Wasseranschluss	Zoll	3/8 " (Metall)
Abmessungen B xH xT	mm	256 x 390 x 213
Leergewicht	kg	3,5
Gewicht gefüllt	kg	8,5
Temperaturregelbereich	°C	7-85 (Kontrolllampe für „Ein“)

Abbildung 6-3: Technische Daten Kleinspeicher TKS5UG



Abbildung 6-4: Kleinspeicher 2 kW mit Typenschild (Raum 0.06)

Der Vollständigkeit halber zeigt Abbildung 6-5 den Händetrockner, welcher in den Kinder-WCs eingesetzt wird. Laut technischen Unterlagen, welche Ausschnittsweise in Abbildung 6-6 abgedruckt sind, handelt es sich hierbei eigentlich um einen Haartrockner italienischen Fabrikats. Die detaillierten technischen Unterlagen sind dem separaten Anhang E zu entnehmen.



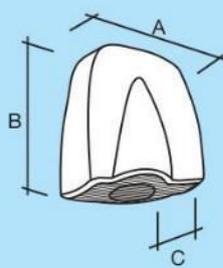
Abbildung 6-5: Händetrockner O.ERRE mit Typenschild (Raum 0.15)



Reduced noise level

CE

DIMENSIONS PHONNY



A	262 mm
B	305 mm
C	165 mm

TECHNICAL DATA

Type	Volt (50/60 Hz)	Max flow rate (m ³ /h)	Air speed (km/h)	Motor (W)	Heating COIL (W)	RPM	IP protection	Insulation	Weight (kg)	Warranty
by push button	220 / 240	234	75	65	1135	3000	IPX2	Class II	2,6	3 years
by sensor	220 / 240	234	75	65	1135	3000	IPX2	Class II	2,6	3 years

Abbildung 6-6: Technische Daten Händetrockner O.ERRE

Thermographie

Parallel zu einer Gebäudedichtheitsmessung erfolgte am 6.1.2016 eine Thermographie diverser Details in der Schule, z.B. der Trinkwassererwärmer und Händetrockner. Bei allen Geräten sind die Betriebsbereitschaftsverluste in Form von erhöhten Oberflächentemperaturen erkennbar, siehe Abbildung 6-7 und Abbildung 6-8.

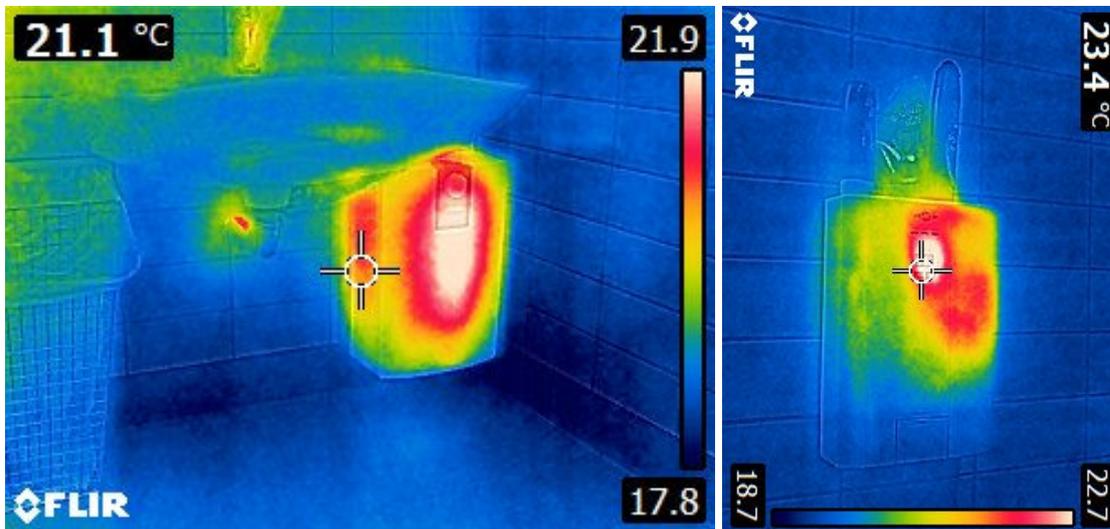


Abbildung 6-7: Thermographie Kleinspeicher und Durchlauferhitzer

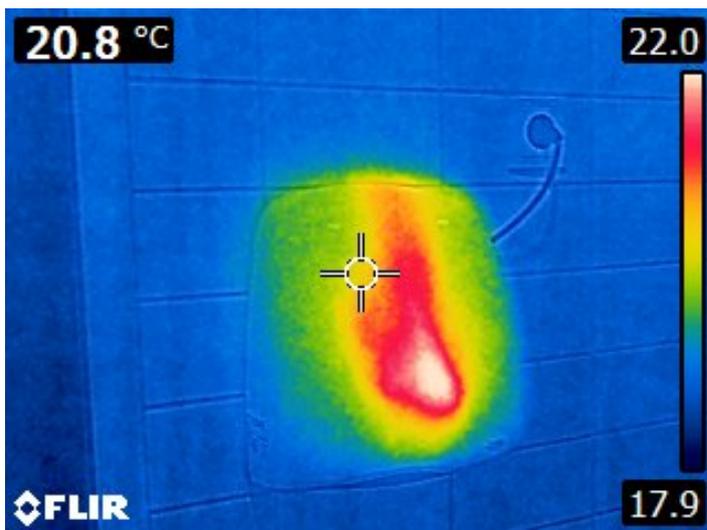


Abbildung 6-8: Thermographie Händetrockner

6.2 Hausmeisterwohnung

Die Hausmeisterwohnung verfügt über einen Anschluss an die zentrale Warmwasserbereitung und hat einen eigenen Trinkwasserspeicher mit einem Speichervolumen von 200 l. Für den Fall, dass die Warmwassertemperatur aufgrund der solaren Vorwärmung nicht ausreichend ist, erfolgt eine (Nach-)Erhitzung über Durchlauferhitzer der Firma Clage – im Bad vom Typ DEX 21 und in der Küche vom Typ CBX 11.

- Bad 2.23 (21 kW)
- Küche 2.29 (11 kW)

Energieeffizienzklasse A		DEX (mit Multiple Power System: 18, 21, 24 oder 27 kW einstellbar)			
Artikelnummer:	3200-34227				
Bauart:	druckfest				
Zulässiger Betriebsüberdruck [MPa (bar)]:	1(10)				
Wasseranschlüsse (Schraubanschlüsse):	G ½"				
Temperaturwahlbereich [°C]:	20 bis 60				
Warmwasserleistung bei $\Delta t = 28\text{ K}^{1) 2)}$ [l/min]:	9,2	10,7	12,3	13,8	
Einschaltwassermenge / Max. Durchflussmenge [l/min]:	2,5 / 8,0 ³⁾				
Nennleistung [kW]:	18	21	24	27	
Spannung [3~ / PE 400V AC]:	<input type="checkbox"/> Festanschluss				
Nennstrom [A]:	26	30	35	39	
Erforderlicher Kabelquerschnitt [mm²]:	4,0	4,0	6,0 ⁴⁾	6,0	
IES® Blankdraht-Heizsystem:	✓				
Smart Control fähig:	✓ <input type="checkbox"/> (optional)				
Funkfernbedienung:	✓ (optional)				
Solartauglich, für Nacherwärmung geeignet (Zulauftemperatur ≤ 70°C):	✓				
Prüfzeichen VDE / Schutzart:	✓ / IP 25				
Spezifischer Wasserwiderstand bei 15°C [Ωcm] ≥ :	1100				
Nenninhalt [Liter]:	0,4				
Gewicht mit Wasserfüllung [kg]:	ca. 3,7				
Abmessungen (Höhe × Breite × Tiefe) [cm]:	46,6 × 23,1 × 9,7				

1) Temperaturerhöhung von z. B. 12°C auf 40°C 2) Mischwasser 3) Durchfluss begrenzt, für optimale Temperaturerhöhung 4) Austausch eines 21kW / 380V-Gerätes: Leiterquerschnitt 4 mm² kann übernommen werden

Abbildung 6-9: Technische Daten Durchlauferhitzer DEX

Die technischen Daten zeigt Abbildung 6-9. Das Gerät ist solartauglich, d. h. kann mit Zulauf-temperaturen von knapp 70°C versorgt werden. Abbildung 6-10 zeigt die Realausführung in der Hausmeisterwohnung.



Abbildung 6-10: Durchlauferhitzer 21 kW

Die detaillierten technischen Unterlagen sind dem separaten Anhang D zu entnehmen.

Die Auswertung der erwärmten Wassermengen mit Unterteilung in solare Vorwärmung, elektrische thermische Desinfektion des Speichers sowie der Nachheizung mit den Durchlauferhitzern kann auf Basis der Messtechnik erfolgen, siehe Bericht 8.

6.3 Küche

Für die zentrale Trinkwassererwärmung der Küche ist eine Solarthermieanlage mit einem Pufferspeicher (Speichervolumen von 2050 l) vorhanden. Die Nachheizung des Küchenpufferspeichers erfolgt mit Strom – je nach Angebot im Vorrang mit Photovoltaikstrom, sonst mit Netzstrom.

Die eigentlich vorgesehene Nutzung von Fernwärme für die Nachheizung findet nicht statt. Die Fernwärme wird im Regelbetrieb dem Rücklauf des benachbarten Gymnasiums entnommen (Reihenschaltung der Verbraucher). Die Planung sieht dies mit Auslegungstemperaturen von 45/35 °C vor, was für die Luftheizung sinnvoll ist (siehe Bericht 7).

Für die ggf. erforderliche Speichernachladung ist eine Umschaltung auf den Fernwärmeverlauf installiert worden, mit der eine Vorlauftemperatur von über 75 °C erreicht werden könnte (Parallelschaltung der Verbraucher). Aufgrund der TGA-Planerinsolvenz wurde dieses System zwar installiert, jedoch kam es nie zu einer korrekten Inbetriebnahme der Regelung bzw. zur Kopplung der Heizungs-/Lüftungs- und Solarthermieregulierung. Dies soll im Rahmen der weiteren Bauvorhaben auf dem Gelände – insbesondere der Turnhalle – erfolgen.

Die detaillierte Auswertung dieses Systems kann Bericht 8 entnommen werden.

6.4 Erkenntnisse

Das Monitoring liefert die Erkenntnis, dass die Energiekosten für die Küche aufgrund der fehlenden Umschaltung auf den Fernwärmeverlauf etwa 300 €/a höher liegen als notwendig. Das Problem wird künftig abgeschafft. Bei einem in Planung befindlichen Turnhallenneubau neben der St. Franziskus-Grundschule soll die vorhandene Fernwärmeleitung sowie das hohe Temperaturniveau auch für die dortige Warmwasserbereitung genutzt werden. Ob das System praktikabel ist, kann das Monitoring heute noch nicht bestätigen.

Soweit die Nutzeraussagen es erkennen lassen, ist von einer problemlosen zweistufigen Trinkwassererwärmung für den Hausmeister (solar zentral, elektrisch dezentral) auszugehen. Es traten keine Beschwerden auf.

Die fehlende Ausstattung der Kinder-WCs mit Warmwasser fällt im Winter negativ auf. Vor allem wenn draußen Minusgrade herrschen und nach der großen Pause mit sehr kaltem Wasser die Hände gewaschen werden sollen. Eine energiesparende Alternativlösung ist nicht bekannt. Es wäre denkbar, Durchlauferhitzer einzusetzen und diese nur im Winterhalbjahr freizuschalten.

7 Trinkwasserhygiene

Trinkwasser ist für den menschlichen Organismus unverzichtbar und muss daher in bester Qualität zur Verfügung stehen. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde das Thema näher beleuchtet [3].

Der nachfolgende Abschnitt fasst kurz die gesetzlichen Randdaten zusammen, die für die Trinkwasserhygiene zu nennen sind. Anschließend werden Schwachstellen für das Kalt- und Warmwassernetz benannt sowie Verbesserungen vorgeschlagen.

7.1 Rechtliche Randdaten

Die gesetzliche Grundlage zur Sicherung und Überwachung der Trinkwasserqualität ist das "Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz)". In § 37 Abs. 1 wird die Qualität des Trinkwassers im Hinblick auf die menschliche Gesundheit grundsätzlich definiert: "Wasser für den menschlichen Gebrauch muss so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist" [6].

Mit der Überwachung der Wassergewinnungs- und Wasserversorgungsanlagen und somit der Trinkwasserqualität sind die Gesundheitsämter sowie andere zuständige Behörden der einzelnen Bundesländer (z. B. das Landesamt für Verbraucherschutz in Sachsen-Anhalt) betraut. Das Bundesministerium für Gesundheit hat mit Zustimmung des Bundesrates die "Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung)" erlassen. In ihr werden Anforderungen hinsichtlich der Beschaffenheit des Trinkwassers, der Aufbereitung des Wassers, der Pflichten der Wasserversorger sowie der Überwachung des Trinkwassers detailliert festgelegt.

Ein wesentlicher Aspekt der deutschen Trinkwasserverordnung ist der direkte Bezug auf die "anerkannten Regeln der Technik" [6]. Sie beinhalten das Gesamtwerk nationaler und internationaler Gesetze zur fachgerechten Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser, das im Trinkwassersektor allgemein akzeptiert und angewendet wird. Wenn diese detaillierten technischen Vorschriften und Hinweise beachtet werden, wird sichergestellt, dass das den Verbraucher erreichende Trinkwasser den Vorschriften der Trinkwasserverordnung entspricht.

Im Folgenden sollen die bedeutsamen Vorschriften für Trinkwasserinstallationen genannt werden (Zusammenstellung nach [3]):

- Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 21.05.2001 einschl. erste Verordnung zur Änderung der TrinkwV vom 03.05.2011, zweite Verordnung zur Änderung der TrinkwV vom 05.12.2012
- VDI/DVGW 6023 von 04/2013 – Hygiene in der Trinkwasser-Installation
- DIN 1988-100 von 08/2011 – Technische Regeln für Trinkwasser-Installation – Teil 100: Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte, Technische Regeln des DVGW
- DIN 1988-200 von 06/2012 – Technische Regeln für Trinkwasser-Installation – Teil 200: Installation TYP A (geschlossenes System) – Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe, Technische Regeln des DVGW
- DIN 1988-300 von 05/2012 – Technische Regeln für Trinkwasser-Installation – Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser, Technische Regeln des DVGW
- DIN EN 806-5 von 04/2012 – Technische Regeln für die Trinkwasser-Installation – Teil 5: Betrieb und Wartung
- DIN EN 1717 von 08/2011 – Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen durch Rückfließen

- AMEV Sanitäreanlagen 2011 – Planung, Ausführung und Bedienung von Sanitäreanlagen in öffentlichen Gebäuden
- DVGW-Arbeitsblatt W 551 von 04/2004 – Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen, Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums, Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen
- ZVSHK-Merkblatt – Spülen, Desinfizieren und Inbetriebnahme von Trinkwasser-Installationen von 10/2004

7.2 Warmwassernetz

Im Trinkwarmwassernetz sind zwei Details näher zu untersuchen: die gesamte zweistufige Warmwasserversorgung für die Hausmeisterwohnung sowie die Zirkulation in der Küche [3].

Hausmeisterwohnung

Das Teilsystem zur Trinkwarmwasserversorgung in der Hausmeisterwohnung funktioniert wie folgt: solarer Vorwärmerspeicher im EG, von dort aus eine Leitung ins 2. OG, dort die Durchlauf-erhitzer, danach die Zapfstellen, siehe Abbildung 7-1.

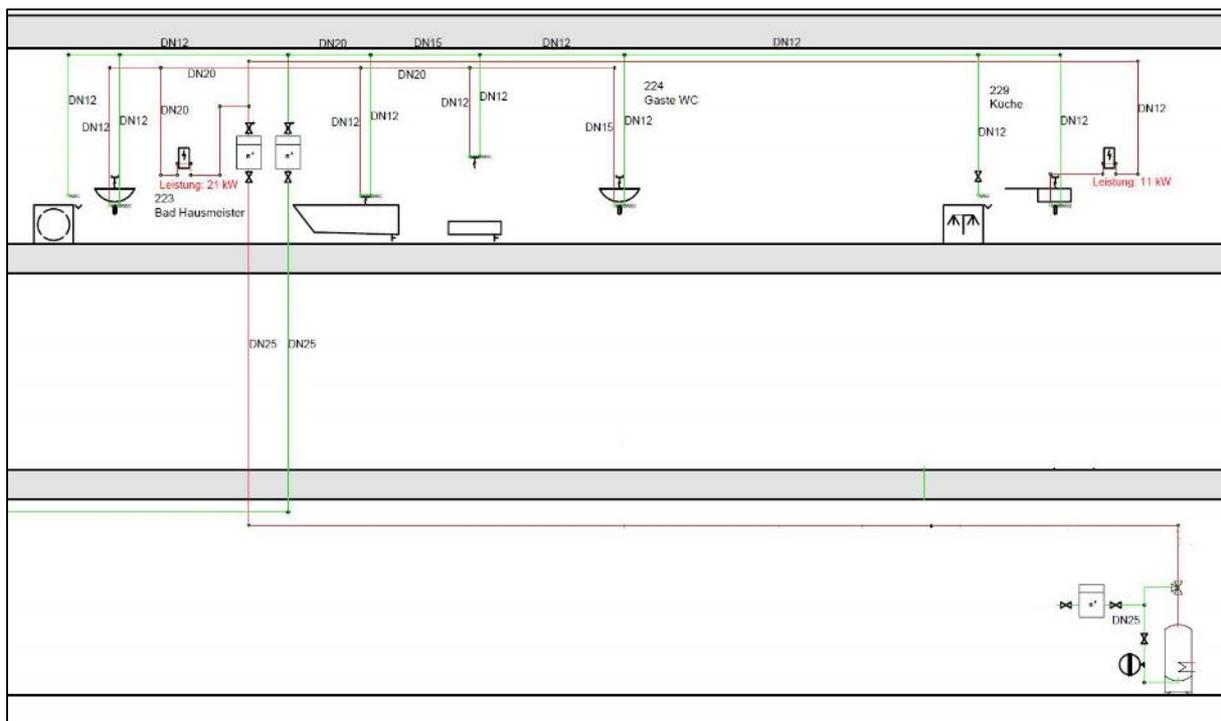


Abbildung 7-1: Strangschema Trinkwasser – Ausschnitt Hausmeisterwohnung

Folgende Wasserfüllvolumina liegen bei den gegebenen Leitungswegen und Rohrdurchmessern vor – jeweils nur ungünstige Fließwege berücksichtigt:

- Weg vom Speicherausgang im EG bis zum Haupt-DLE (21 kW)
 - DN 20 25,5 m → 8,0 l
- Weg vom Haupt-DLE (21 kW) bis zum DLE in der Küche (11 kW)
 - DN 15 4,4 m → 0,9 l
 - DN 12 12,2 m → 1,6 l
 - Gesamt → 2,5 l
- Weg vom Haupt-DLE (21 kW) bis zum Gäste-WC
 - DN 15 4,4 m → 0,9 l
 - DN 12 4,3 m → 0,6 l
 - Gesamt → 1,5 l

Das System wird nach DIN 1988-200 entweder als Klein- oder Großanlage eingestuft. In einer Großanlage gelten schärfere Anforderungen an die Trinkwasserhygiene. Folgende Randdaten zur Klassifizierung gelten:

- eine Großanlage ist gegeben, wenn ≥ 400 l Trinkwasser bevorratet werden (hier nicht der Fall, da der Trinkwasserspeicher nur 200 l fasst) oder
- zwischen dem Speicherausgang und mindestens einer beliebigen Zapfstelle im System ≥ 3 l Füllvolumen enthalten sind (hier je nach Modellierung des Systems gegeben).

In einer Großanlage muss laut DIN 1988-200 und DVGW W551 der Speicher auf 60°C beheizt werden, wobei täglich 8 h Abschaltzeit zulässig sind. Gleiches gilt für alle Leitungsstrecken. Befreit sind Leitungswege mit weniger als 3 l Füllvolumen.

Es liegt in der St. Franziskus-Grundschule eine Reihenschaltung von Erzeugern vor, was softwareseitig nicht korrekt abgebildet werden kann. Die beiden Bachelorarbeiten, in denen das Netz modelliert wurde, sind wie folgt vorgegangen:

- mh-SanCALC [1]: Vernachlässigung des Speichers der Vorwärmstufe, Modellierung des Haupt-DLE, keine Modellierung des Küchen-DLE
 - Einstufung als "Kleinanlage"
 - keine Fehlermeldung für die Hauptzuleitung, da die 8 l Füllvolumen zwischen Speicher und DLE als Kaltwasser erkannt wurden und hier eine Bevorratung unkritisch ist
 - keine Fehlermeldung in der Wohnung, da weder die Leitung zur Küche, noch zum Gäste-WC mehr als 3 l Füllvolumen aufweisen (alle anderen Leitungen sind noch kürzer)
- Viega VIPtool [3]: Modellierung des Speichers der Vorwärmstufe, Vernachlässigung der DLE in der Wohnung
 - Einstufung als "Großanlage"
 - Fehlermeldung für alle Zapfstellen in der Hausmeisterwohnung, da für alle mind. 8 l Füllvolumen für Warmwasser ab Speicher erkannt wurden und hier eine Bevorratung kritisch

Sowohl des DVGW-Arbeitsblatt W 551 als auch die Norm DIN 1988-200 erläutern: "dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer können ohne weitere Maßnahmen verwendet werden, wenn das dem Durchfluss-Trinkwassererwärmer nachgeschaltete Leitungsvolumen 3 Liter nicht übersteigt." Das ist gegeben.

Da der Solar-Vorwärmespeicher nur einmal die Woche thermisch desinfiziert wird, ist der Durchlauferhitzer in der Wohnung so eingestellt, dass er eine Erwärmung des Trinkwassers auf $\geq 60^\circ\text{C}$ erreicht, so dass jegliches Warmwasser – sollten Keime vorhanden gewesen sein – vor dem Zapfen thermisch desinfiziert wird. Das Mischsystem kann nur funktionieren, wenn der Haupt-Durchlauferhitzer (21 kW) für die Hausmeisterwohnung das Wasser immer auf über 60°C erwärmt. Er darf nicht nach unten geregelt werden (können), um so einer Vermehrung von z. B. Legionellen entgegen zu wirken.

Da der Küchen-DLE sich in Reihe dazu befindet und das Füllvolumen zwischen den beiden DLE nur 1,5 Liter beträgt.

Zirkulation Küche

Für die Küche sind dieselben Überlegungen anzustellen. Das System wird als "Großanlage" eingestuft – nicht aufgrund des Speichervolumens (es wird kein Trinkwasser bevorratet), sondern aufgrund der Füllvolumina der Leitungen.

In der Küche ist ausgehend vom Speicher folgendes Netz zu verzeichnen – dargestellt sind nur die ungünstigen Verbraucher:

- Weg vom Speicherausgang zum Handwaschbecken im Personal-WC 0.35
 - DN 25 7,2 m → 3,5 l
 - DN 15 7,1 m → 1,4 l
 - DN 12 7,5 m → 1,0 l
 - Gesamt: → 5,9 l

- Weg vom Speicherausgang zur Spülmaschine
 - DN 25 12,7 m → 6,3 l
 - DN 20 2,6 m → 0,8 l
 - Gesamt: → 7,1 l

Nach DN 1988-200 und DVGW Arbeitsblatt W 551 ist eine Zirkulation vorzusehen, welche auch vorhanden ist. Aus hygienischen Gründen ist am Wasseraustritt des Trinkwassererwärmers eine Temperatur von mindestens 60°C einzuhalten. In zirkulierenden Trinkwasser-Installationen darf ein Temperaturabfall von 5 K nicht überschritten werden.

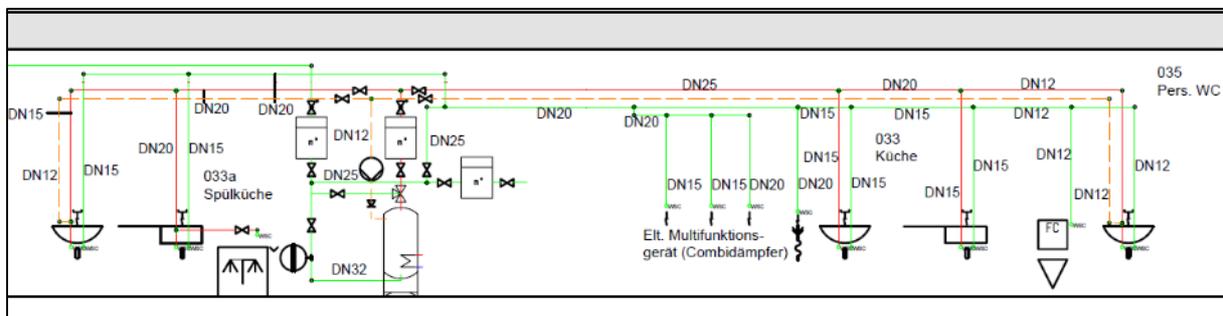


Abbildung 7-2: Strangschema Trinkwasser – Ausschnitt Küche

Allerdings ist davon auszugehen, dass sich keine Zirkulation ergibt, obwohl die entsprechende Pumpe in Betrieb ist. Der Hauptwarmwasserzähler ist in den Zirkulationskreislauf eingebunden, siehe Abbildung 7-2. Würde das Trinkwasser tatsächlich zirkulieren, würde die Umlaufwassermenge gezählt und damit ein unplausibel hoher Wert. Dies ist nicht der Fall, siehe auch Bericht 8 zu Solarthermie.

Auch die Software mh-SanCALC ergab bei der Nachrechnung des Netzes eine Fehlermeldung und wies auf einen Planungsfehler hin [1]. Daher wurde der Zähler bei der Nachrechnung weggelassen.

In der Realität ergibt sich hieraus aber ein potentielles – ggf. künftiges – Hygieneproblem. Bisherige Hygieneprüfungen führten jedoch nicht zum Nachweis einer Legionellenkontamination. Auch gibt es keine Beschwerden der Mitarbeiter bzgl. zu langer Wartezeiten bis das Warmwasser an der Armatur ist.

Die Warmwasserleitungen mit ca. 15 Liter Gesamtfüllvolumen werden jedoch an jedem Betriebstag mit 60°C Wasser jeweils mind. einmal durchspült. Es gibt prinzipiell keine Totleitungen. Hier wird das Kontaminationsrisiko als gering angesehen.

Fakt ist aber, dass insgesamt ca. 4 Liter Warmwasser in der Zirkulationsleitung ständig stagniert (ca. 31 m, DN 12). Diese Leitung liegt komplett im beheizten Bereich, ist teils nur schwach gedämmt und ist direkt neben der Warmwasserleitung angeordnet, so dass von Wassertemperaturen im Bereich von deutlich über 20°C ausgegangen werden kann. Ein Legionellenwachstum ist nicht ausgeschlossen.

Ein Rückbau der Zirkulation ist nicht zielführend. Zwar wäre dann die Totleitung entfernt und entsprechende Gefahrenquelle beseitigt. Jedoch entspricht das System nicht der DN 1988-200 und dem DVGW Arbeitsblatt W 551, da mehr als 3 Liter Füllvolumen enthalten sind. Es wird daher – zur Einhaltung der gesetzlichen Auflagen – empfohlen, die Zirkulation in Betrieb zu nehmen.

7.3 Kaltwassernetz

Im Trinkkaltwassernetz sind zwei Details näher zu untersuchen: die Mitarbeiterdusche und das Handwaschbecken im Atelier (Raum 0.01) [3].

Gemäß DIN 1988-200 darf maximal 30 Sekunden nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle die Temperatur des Trinkwassers (kalt) 25°C nicht übersteigen und die Temperatur des Trinkwassers (warm) muss mindestens 55°C erreichen. Entsprechend DIN 1988-300 müssen Armaturen, Apparate und Trinkwasserleitungen nach dem ermittelten Bedarf so klein wie möglich und so groß wie benötigt dimensioniert werden. Ziel ist es, den höchstmöglichen Wasseraustausch zu erreichen.

Ideale Bedingungen für Legionellen herrschen bei Temperaturen zwischen 25 °C und 45 °C (Temperaturoptimum: 37 °C). Das Legionellen-Wachstum wird erst bei Wassertemperaturen oberhalb von 55 °C wirksam gehemmt. Zum Absterben der Keime kommt es erst bei Temperaturen über 60 °C. Auch in kaltem Wasser können Legionellen vorkommen, diese können sich jedoch bei Temperaturen unter 20 °C nicht nennenswert vermehren.

Grundsätzlich können Stillstandzeiten in der Trinkwasser-Installation nicht vermieden werden. Stagnationsbedingte Änderungen der Trinkwasserbeschaffenheit durch Aufnahme von Substanzen aus Installationswerkstoffen oder durch Bakterienvermehrung können jedoch durch geeignete Maßnahmen minimiert werden.

Mitarbeiterdusche

Eine Nichtnutzung der Anlagen über mehr als 72 Stunden stellt eine Betriebsunterbrechung dar und ist zu vermeiden. Soweit nachgewiesen werden kann, dass die Trinkwasserbeschaffenheit gemäß TrinkwV auch über einen längeren Zeitraum der Nichtnutzung erhalten bleibt und die Gebäude keinen besonderen Anforderungen unterliegen (z. B. Krankenhaus oder Pflegeeinrichtungen usw.), kann die o. g. Frist auf maximal 7 Tage verlängert werden.

Eine längere Betriebsunterbrechung wird als nicht bestimmungsgemäßer Betrieb der Trinkwasserinstallation bezeichnet und kann die Wasserbeschaffenheit, z. B. durch die Vermehrung von Mikroorganismen und in Lösung gehende Werk- und Betriebsstoffe, beeinträchtigen.

Zeiten für Betriebsunterbrechungen des Trinkwassernetzes und Maßnahmen, die in diesen Fällen ergriffen werden sollten, sind durch die DIN 1988-100, DIN EN 806-5 und VDI 6023 geregelt, siehe Tabelle 7-1.

Im Raum 1.11 gibt es eine Dusche, welche nur sporadisch genutzt wird. Durch die unregelmäßige Nutzung der Dusche kann – nicht muss! – es hier zur Stagnation des Trinkwassers (Kaltwasser) und damit zur Vermehrung von Legionellen kommen.

Hinsichtlich der genannten Dusche könnte darüber nachgedacht werden, ob diese zurückgebaut werden kann, um dem Risiko einer erhöhten Keimbelastung im Trinkwassernetz entgegen zu wirken. Sofern auf die Dusche nicht verzichtet werden kann oder soll, sollte die Installation einer automatischen Hygienespülung in Erwägung gezogen werden. Diese spült innerhalb eines beliebig bestimmbar Zeitintervalls die entsprechenden Leitungen.

Tabelle 7-1: Maßnahmen bei Betriebsunterbrechung [3]

Dauer der Nichtnutzung der Trinkwasserinstallation	Maßnahmen zu Beginn der Abwesenheit	Wiederinbetriebnahme
4 und mehr Stunden, bis 2 Tage	Keine	Stagnationswasser ablaufen lassen
länger als 72 Stunden bzw. 7 Tage	Schließen der Absperrarmatur hinter der Wasserzählanlage	Öffnen aller Entnahmearmaturen, vollständigen Wasseraustausch herstellen. (Ablaufen lassen bis zur Temperaturkonstanz)
länger als 4 Wochen	Schließen der Absperrarmatur hinter der Wasserzählanlage	Öffnen der Absperrarmaturen und aller Entnahmearmaturen in dem abgestellten Bereich, vollständigen Wasseraustausch herstellen, das Spülen sollte nach ZVSHK-Merkblatt erfolgen
Länger als 6 Monate	Schließen der Hauptabsperrarmatur, Entleeren der Leitungen (Frostschutz), Absperrren der Zulaufleitung	Öffnen der Absperrarmaturen und aller Entnahmearmaturen in dem abgestellten Bereich, vollständigen Wasseraustausch herstellen, das Spülen sollte nach ZVSHK-Merkblatt erfolgen Empfehlung: Wasserproben aus Entnahmestellen (TW, kalt/warm) in dem abgestellten Bereich entnehmen und mikrobiologische Kontrolluntersuchungen gem. TrinkwV sowie Untersuchung auf Legionellen durchführen. Bei Belastung sind Maßnahmen gem. DVGW W 557 bzw. DVGW W 551 erforderlich.
Dauerhafte Nichtnutzung		Abtrennen der Anschlussleitungen an den weiterhin durchströmten Versorgungsleitungen.

Handwaschbecken im Atelier 0.01

Die Rohrleitung vom Hausanschlussraum 0.18 bis zum letzten Waschbecken im Atelier (Raum 0.01) wird bei der Nachplanung als zu lang erkannt. Durch zu große Wassermengen in den Leitungen besteht die Gefahr der Stagnation. Dies kann zur Vermehrung von Krankheitserregern führen, welche die Qualität des Trinkwassers erheblich verschlechtern.

Da diese Zapfstelle jedoch regelmäßig genutzt wird, stellt sich das reale Risiko sicherlich deutlich geringer ein als bei der Dusche. In Bestandsgebäuden sind regelmäßig solche Zapfstellen anzutreffen. Im Rahmen einer Neubauplanung hätte dieses Problem vermieden werden können. Sollte diese Zapfstelle im Rahmen der Hygieneprüfung auffällig werden, sollte die Installation einer automatischen Hygienespülung in Erwägung gezogen werden.

7.4 Erkenntnisse

Im Rahmen der Neubauplanung empfiehlt sich die Installation einer Ringleitung bzw. Reihenableitung (Durchschleifen) unter Vermeidung von Stichleitungen. Ausgehend von der Hauptleitung werden ausschließlich Stichleitungen mit jeweils weniger als 3 Liter Füllvolumen installiert.

An der Wasserentnahmestelle des letzten Verbrauchers wird eine automatische Hygienespülung eingebaut. Bei Stillstandzeiten würde die Hygienespülung dafür sorgen, dass das Trinkwasser in der Leitung in regelmäßigen Abständen vollständig erneuert wird. Auch dies kann dazu beitragen, dass die Vermehrung von Bakterien im Leitungssystem gehemmt wird.

Eine Nachrüstung widerspricht jedoch dem Wirtschaftlichkeitsgebot.

8 Kennwerte des Wasserbedarfs

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde der Trinkwasserverbrauch näher untersucht und anhand von Kurz- und Langzeitmesswerten Prognosen zum Wasserverbrauch erstellt [9]. Dabei wurden Bedarfskennwerte für einzelne Zapfstellen und Verbraucher ermittelt. Der nachfolgende Abschnitt erläutert die Herangehensweise und gibt entsprechende Kennwerte an. Die Ausführungen betreffen den Kalt- und Brauchwasserverbrauch für Hort, Schule und Verwaltung sowie den Kalt- und Warmwasserverbrauch für die Küche.

8.1 Belegung

Zur Angabe täglicher personenbezogener Kennwerte müssen Festlegungen getroffen werden, welche Anwesenheitszeit einzelne Personen aufweisen. Detaillierte Ausführungen liefert **Bericht 2**. Nachfolgend werden die für die Wasserversorgung relevanten Randdaten zusammengefasst.

Schulbetrieb

Schulzeit ist von 07:30 Uhr bis 12:00 Uhr und es wird angenommen, dass in dieser Zeit 200 Kinder die Schule besuchen. In der Ferien- und Schließzeit ist keine Belegung vorhanden.

Verwaltung

Im Bereich der Verwaltung wird davon ausgegangen, dass während eines Schul- und eines Horttages von 07:00 Uhr bis 17:00 Uhr immer sechs Personen vor Ort sind. Dies sind Verwaltungsmitarbeiter sowie Lehrer, die keinen Unterricht haben. In der Schließzeit ist keine Belegung vorhanden.

Hort

Der Hort wird in der Schulzeit anders genutzt als in der Ferienzeit. Tabelle 8-1 zeigt die angenommenen Kinderzahlen und die Mitarbeiterbelegung.

Tabelle 8-1: Belegung Hort

Szenario	Nutzungszeit [h/d]	Kinder [P]	Personal [P]
Schultag 06:00 – 07:30 Uhr	1,5	30	3
Schultag 07:30 – 09:00 Uhr	1,5	0	7
Schultag 09:00 – 12:00 Uhr	3	0	11
Schultag 12:00 – 15:00 Uhr	3	120	11
Schultag 15:00 – 16:00 Uhr	1	30	11
Schultag 16:00 – 17:00 Uhr	1	30	3
Ferientag (keine Sommerferien 6:00-17:00 Uhr)	11	35	5
Ferientag (Sommerferien 1.+2. Woche 6:00-17:00 Uhr)	11	35	5
Ferientag (Sommerferien 5.+6. Woche 6:00-17:00Uhr)	11	70	10

Küche

Laut Aussagen des Küchenpersonals ist die Nutzungszeit der Küche wochentags von 07:00 Uhr bis 16:00 Uhr. Der Kochbetrieb findet täglich von 08:00 Uhr bis 11:00 Uhr sowie von 13:00 Uhr bis 15:00 Uhr statt. Am Nachmittag wird zum Teil das Essen für den nächsten Tag vorbereitet. Der Spülbetrieb ist von 10:00 Uhr bis 15:00 Uhr. Somit betragen die Kochzeiten und Spülzeiten jeweils 5 Stunden am Tag. In den anderen Stunden der Nutzung werden Arbeiten vorbereitet oder die Küche gereinigt. In der Regel arbeiten täglich drei Leute in der Küche.

8.2 Trinkkaltwasser für Hort, Schule und Verwaltung

Spülversuche

Für die Handwaschbecken wurde ein Vor-Ort-Versuch durchgeführt, bei welchem untersucht wurde, wie oft die Drückarmatur beim Händewaschen benutzt wird. Bei den Handwaschbecken mit Drückarmatur werden pro Drücker 0,15 Liter verbraucht. Beim Handwaschgang wird ein Verbrauch im Durchschnitt von 0,75 Liter veranschlagt. Dieser Wert ergibt sich aus 0,15 l pro Betätigung einer Drückerarmatur, welche in den WC-Räumen der Schüler platziert sind. Dabei wurde beim Vor-Ort-Versuch festgestellt, dass ein 5-maliges Drücken der Armatur erforderlich ist um sich die Hände zu waschen.

WC-Anlagen

Die Analyse des Brauchwasserverbrauchs (siehe Kapitel 8.3) ergibt, dass ein Schüler/Lehrer während der Schulzeit zwischen 07:30 Uhr und 12:00 Uhr im 1. und 2. Obergeschoss etwa 3,2 Mal auf die Toilette geht. Es wird davon ausgegangen, dass nach jedem Toilettengang die Hände gewaschen werden.

Die WC-Nutzung und das Händewaschen können auch in anderen Nutzungsbereichen und anderen Zeiträume korreliert werden. Dies führt zu folgenden Bedarfskennwerten:

- Trinkwasser zum Händewaschen für die Kinder an Schultagen
 - WC-Anlagen im BTB in der Hortzeit: 0,20 ... 0,25 l/(P · h)
 - WC-Anlagen im BTB in der Schulzeit: 0,40 ... 0,45 l/(P · h)
 - Summe: 0,60 ... 0,70 l/(P · h)
- Trinkwasser zum Händewaschen für die Kinder an Ferientagen
 - WC-Anlagen für Kinder im BTB: 0,20 ... 0,30 l/(P · h)
- Trinkwasser zum WC-Spülen und Händewaschen für die Hortmitarbeiter
 - WC-Anlagen Hortpersonal: 1,1 l/(P · h)
- Trinkwasser zum Händewaschen für die Verwaltungsmitarbeiter
 - WC-Anlagen im BTA: 0,10 ... 0,20 l/(P · h)

Küche in der Verwaltung

Für die Verwaltung ergibt sich ein Wasserbedarf aus der Nutzung von Wasserkochern, Kaffeemaschinen sowie – hauptsächlich – der Geschirrspülmaschine. Es wird nach Befragung ein Verbrauch von etwa 5 ... 10 l/d angesetzt. Die Spülmaschine läuft nur 1 x die Woche. Darüber hinaus fallen geringe Mengen für Reinigung, Blumengießen etc. an.

Küche im Hort (Kindercafé)

Im Kindercafé wird Trinkwasser für Wasch- und Spülmaschine verbraucht. Darüber hinaus werden warme Getränke zubereitet und – in geringem Umfang – auch gekocht. Um dort die Gerätenutzung und deren Wasserverbrauch zu erfassen und zu ermitteln, wurde das Hortpersonal befragt. Durch Abrufen der Herstellerinformationen wurde dann der Wasserverbrauch für die einzelnen Geräte niedergeschrieben [9].

- Schultage
 - Waschmaschine, täglich → 47 l/d
 - Geschirrspüler, täglich → 11 l/d
 - Kaffeeautomat → 5 l/d
 - Teekoher → 16 l/d

- Kleine Ferien
 - Waschmaschine, wöchentlich → 9 l/d
 - Geschirrspüler, wöchentlich → 2 l/d
 - Kaffeeautomat → 2 l/d
 - Teekoher → 4 l/d

- Große Ferien
 - Waschmaschine, alle 2 Tage → 25 l/d
 - Geschirrspüler, alle 2 Tage → 6 l/d
 - Kaffeeautomat → 3 l/d
 - Teekoher → 8 l/d

8.3 Brauchwasser für Hort, Schule und Verwaltung

Spülversuche

Um herauszufinden, wie viel Wasser bei einer Toilettenspülung benötigt wird, wurde für die Toiletten ein Vor-Ort-Versuch durchgeführt. Dabei ergeben sich für die Toilettenspülung die Werte nach Tabelle 8-2.

Tabelle 8-2: Verbrauchsermittlung durch Spülversuche

Toilettenspülung	Verbrauch – Vorort - Versuch [l/D]	Verbrauch Durchschnitt [l/D]
Mädchen (Taste klein)	3,5	5,0
Mädchen (Taste groß)	6,5	
Jungen (Pissoir)	1,5	1,85
Jungen (Mittelwert)	5,0	

Für den Durchschnittsverbrauch der Toilettenspülung auf dem WC für Jungen wird angenommen, dass von zehn Jungs neun Mal das Pissoir und einmal die Toilette genutzt wird. Somit ergibt sich ein Verbrauch im Durchschnitt von 1,85 Liter pro Spülung.

Aus diesen Kennwerten sowie den Zählerständen der Brauchwasseranlage erhält man folgende Kennwerte:

- Kinder an Schultagen
 - WC-Anlagen im Hort (EG): 0,95 ... 1,05 l/(P · h)
 - WC-Anlagen im 1. Und 2. OG (BTB): 1,65 ... 1,90 l/(P · h)
 - Summe: 2,60 ... 2,95 l/(P · h)

- Kinder an Ferientagen
 - WC-Anlagen im Hort (EG): 0,90 ... 1,00 l/(P · h)

- Mitarbeiter der Verwaltung an Schul- und Ferientagen
 - WC-Anlagen im BTA: 2,35 ... 2,40 l/(P · h)

Die Hortmitarbeiter nutzen – sofern sie das Mitarbeiter-WC 0.06 im EG aufsuchen – kein Brauchwasser, sondern Trinkwasser für die Spülung.

8.4 Trinkkalt- und Warmwasser für die Küche

Im Jahr 2016 lagen bereits manuell vom Zähler abgelesene Verbrauchswerte für den Wasserverbrauch der Küche vor. Das Monitoring lieferte allerdings noch nicht lange genug Messwerte für eine hochaufgelöste Analyse. Im Rahmen einer Masterarbeit [9] wurden daher die Messwerte der Zähler plausibilisiert und Kennwerte für den Küchenbetrieb gebildet.

Basis waren folgende Annahmen:

- Anzahl der täglichen Essen: 300 Stück zu Schulzeiten, 65 Stück in kleinen Ferien und 100 Stück in den großen Ferien
- Anschluss an das Kaltwassernetz haben
 - 2 Vorbereitungs- und Handwaschbecken
 - 2 Spültische
 - Bodenreinigungsarmatur (Zweilocharmatur)
 - Waschbecken und WC im Personal-WC
- Verbrauchsmengen für morgendliche Erstbefüllung mit Wasser, laufenden Betrieb sowie tägliche Endreinigung lt. Küchenplaner [10]

Für die Handwasch-Abflusskombination, die ebenfalls zwei Mal vorzufinden ist, wird als individueller Verbrauch angenommen, dass 10 Liter Warmwasser täglich verbraucht werden. Dazu kommt eine Endreinigung mit 2 Litern täglich. Bei der Zweiloch-Wandarmatur zur Bodenreinigung wird ein individueller Verbrauch von 100 Litern angenommen. Dieser wird zur Reinigung des Bodens benutzt. Beim WC und Handwaschbecken wird auf die Kennwerte aus Verwaltung und Hort zurückgegriffen. Dies führt zu den täglichen Wasserbedarfen nach Tabelle 8-3.

Tabelle 8-3: Gerätebezogener Trinkwarmwasser pro Tag [9]

Kombidämpfer, 2 Stück						
Szenario	Essen	Essen pro Durchgang	Verbrauch pro Durchgang	Verbrauch Erstbefüllung	Verbrauch Reinigung	Verbrauch pro Tag
[-]	[n]	[D]	[l/D]	[l/d]	[l/d]	[l/d]
Schultag	300	12	3	10	50	96
Ferien kl.	65	3				69
Ferien gr.	100	4				72
Vario Cooking Center						
Szenario	Essen	Essen pro Durchgang	Verbrauch pro Durchgang	Verbrauch Erstbefüllung	Verbrauch Reinigung	Verbrauch pro Tag
[-]	[n]	[D]	[l/D]	[l/d]	[l/d]	[l/d]
Schultag	300	1	80	0	20	100
Ferien kl.	65	1	18			38
Ferien gr.	100	1	27			47
andere Geräte						
Gerät	Anzahl	Verbrauch (individuell)	Verbrauch Erstbefüllung	Verbrauch Reinigung	Verbrauch pro Tag	
[-]	[n]	[l/d]	[l/d]	[l/d]	[l/d]	
Spültisch (Vorbereitungsbecken)	2	0	30	10	80	
Handwasch-Abflusskombination	2	10	0	1	22	
Zweiloch-Wandarmatur	1	100	0	0	100	
Handwaschbecken WC	1	2,25	0	0	2,25	
Spülung WC	1	15,75	0	0	15,75	

In der folgenden Tabelle 8-4 wird der resultierende tägliche Verbrauch für die einzelnen Szenarien aufgezeigt.

Tabelle 8-4: Gesamtbedarf Trinkkaltwasser pro Tag [9]

Szenario	Verbrauch pro Tag [l/d]
Schultag	416
Kleine Ferien	327
Große Ferien	339

Zum Vergleich mit dem tatsächlich gemessenen Verbrauch dient das Jahr 2015. In der folgenden Tabelle 8-5 sind die Bedarfswerte erfasst. Die angepasste Prognose trifft den Verbrauch mit unter 1 % Abweichung.

Tabelle 8-5: Gesamtbedarf Küche pro Jahr [9]

Abnehmer	Trinkkaltwasser [m ³ /a]
Schultag	78
Ferientag klein	14
Ferientag groß	4
Jahresverbrauch	96

Warmwasser

Die detaillierte Aufschlüsselung des Warmwasserbedarfs auf die Geräte ist dem **Abschlussbericht 8** zur Solarthermie zu entnehmen. Die Auswertung folgt der identischen Logik wie für das Kaltwasser durchgeführt.

9 Messergebnisse Wasserverbrauch

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt zunächst die vorhandene Messtechnik zur Beurteilung des Wasserverbrauchs sowie das Zählerschema. Anschließend wird im Überblick die Jahresverbrauchs Bilanz einschließlich der Aufteilung auf die einzelnen Abnehmer vorgestellt und interpretiert.

9.1 Messorte und Messtechnik

Tabelle 9-1 zeigt die Summe aller mit der Frisch- und Brauchwasser verbundenen Messfühler. Sie sind einerseits extra für das Monitoringprojekt installiert worden (GEDES) oder waren bauseits bereits vorhanden (Stadtwerke) und wurden lediglich auf das Monitoring aufgeschaltet. Grundlegendes zu dieser Projektarchitektur wird im Bericht 1 erläutert.

Tabelle 9-1: Messpunkte bezüglich Wasser (Mengen)

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
DF001A-50A0-0	m³	WAS	BRW	Menge_Brauchwasser und nachgespeistes Trinkwasser_gesamt
DF001A-50A2-0	m³	WAS	BRW	Menge_Brauchwasser fuer WC in BtA
DF001A-50A4-0	m³	WAS	BRW	Menge_Brauchwasser fuer WC in BtB und EG Hort
DF001A-50A6-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser Sekundarschule
DF001A-50A8-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer 1.u.2.OG in BtB
DF001A-50AA-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer Hort
DF001A-50AC-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer Nachspeisung Brauchwasser
DF001A-50AE-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer Turnhalle
DF001A-50E0-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser_gesamt
DF001A-61E0-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer Kueche und Hausmeister
DF001A-61E4-0	m³	WAS	KTW	Menge_Kaltwasser fuer Hausmeister
DF001A-61E2-0	m³	WAS	WTW	Menge_Warmwasser fuer Kueche
DF0283-7001-0	mm/h	WET	WET	Regenmenge
DF0118-50B8-0	A	WAS	HEW	Strom_Wasser_Aufbereitung_Phase_L1
DF0118-50B8-5	kW	WAS	HEW	Leistung_Wasser_Aufbereitung_Phase_L1
DF0118-50BA-0	A	WAS	HEW	Strom_Wasser_Aufbereitung_Phase_L2
DF0118-50BA-5	kW	WAS	HEW	Leistung_Wasser_Aufbereitung_Phase_L2
DF0118-50BC-0	A	WAS	HEW	Strom_Wasser_Aufbereitung_Phase_L3
DF0118-50BC-5	kW	WAS	HEW	Leistung_Wasser_Aufbereitung_Phase_L3

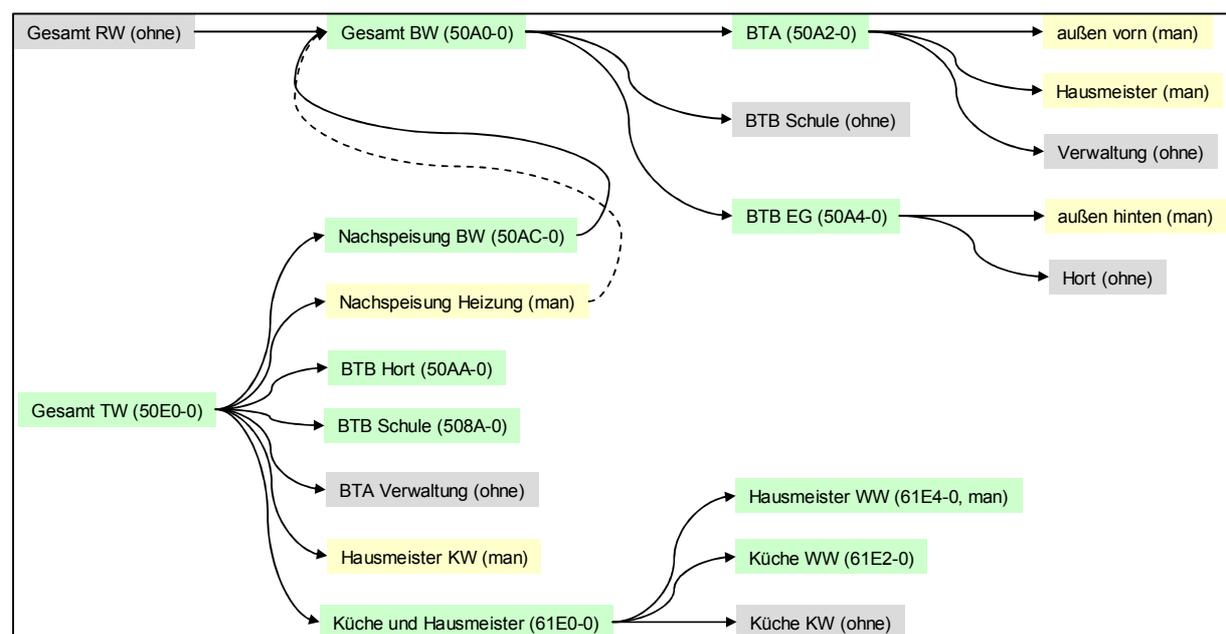


Abbildung 9-1: Zählerschemata für Trink- und Brauchwasser

Ziel der Ausstattung ist die Erfassung der Regenwassernutzung, der kalten Nutzwassermengen und der Warmwassermengen je nach Nutzer. Das Bilanzschema zeigt Abbildung 9-1. Sofern Unterzähler installiert sind, verbleibt jeweils ein Verbraucher, der nicht explizit gemessen wird. Sein Verbrauch ist durch Differenzberechnung bestimmbar.

9.2 Niederschlagsmengen

Der Messfühler DF0283-7001-0 misst die angefallene Niederschlagsmenge der Wetterstation auf dem Dach. Die Messaufzeichnung ist seit November 2015 vorhanden. Abbildung 9-2 zeigt die Messwerte im Vergleich mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes [11].

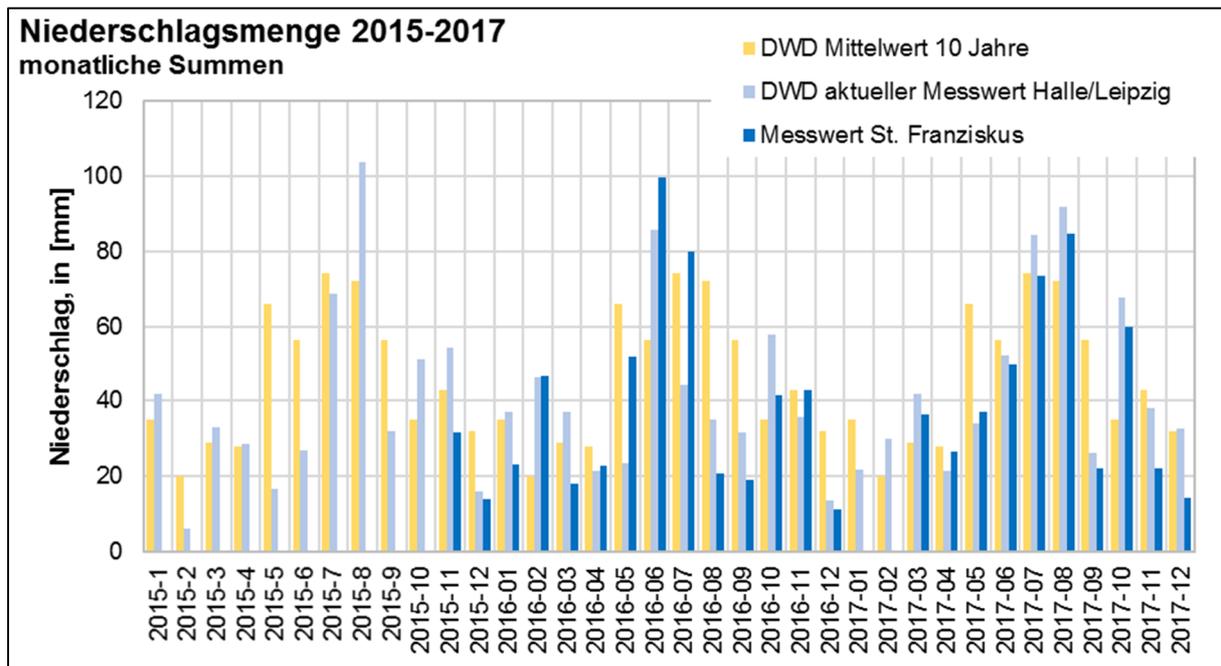


Abbildung 9-2: Niederschlagsmengen 2015 bis 2017

Die Auswertung der Jahressummen liefert folgende Erkenntnisse:

- Das Jahr 2015 war mit 479 mm gegenüber dem langjährigen Mittel (546 mm) zu trocken; gleiches gilt für 2016 mit 469 mm; es sind nur 88 % bzw. 86 % der typischen Niederschlagsmenge gefallen; das Jahr 2017 war durchschnittlich (542 mm) – jeweils auf Zahlen des DWD bezogen.
- Im Jahr 2016 hat die Messstation der St. Franziskus-Grundschule mit 478 mm in etwa die Menge erfasst, die auch der DWD veröffentlicht hat (469 mm); im Jahr 2017 war eine größere Abweichung festzustellen (21 % Fehlbetrag), was auch an einem Datenausfall im Januar/Februar liegen kann.

Die Messwerte der Wetterstation werden als plausibel angesehen.

Sofern man für das Jahr 2017 unterstellt, dass die DWD-Messwerte auch für die St. Franziskus-Grundschule gelten, so sind auf die ca. 1250 m² große Dachfläche etwa 678 m³ Wasser gefallen, die fast vollständig über die Regenfallleitungen der Zisterne zugeführt wurden. Die Regenwassernutzung betrug im Jahr 2017 etwa 233 m³. Die Differenz wurde über das Überlaufbecken abgeführt.

9.3 Gesamt- und Regenwasser

Die Bilanzen des Trink- und Regenwassers für drei komplette Betriebsjahre zeigen Abbildung 9-3 und Abbildung 9-4. Auf Grundlage der vorhandenen Zählerstruktur erfolgte eine Unterteilung der jeweiligen Gesamtmesswerte. Die Interpretation folgt unterhalb der Abbildungen.

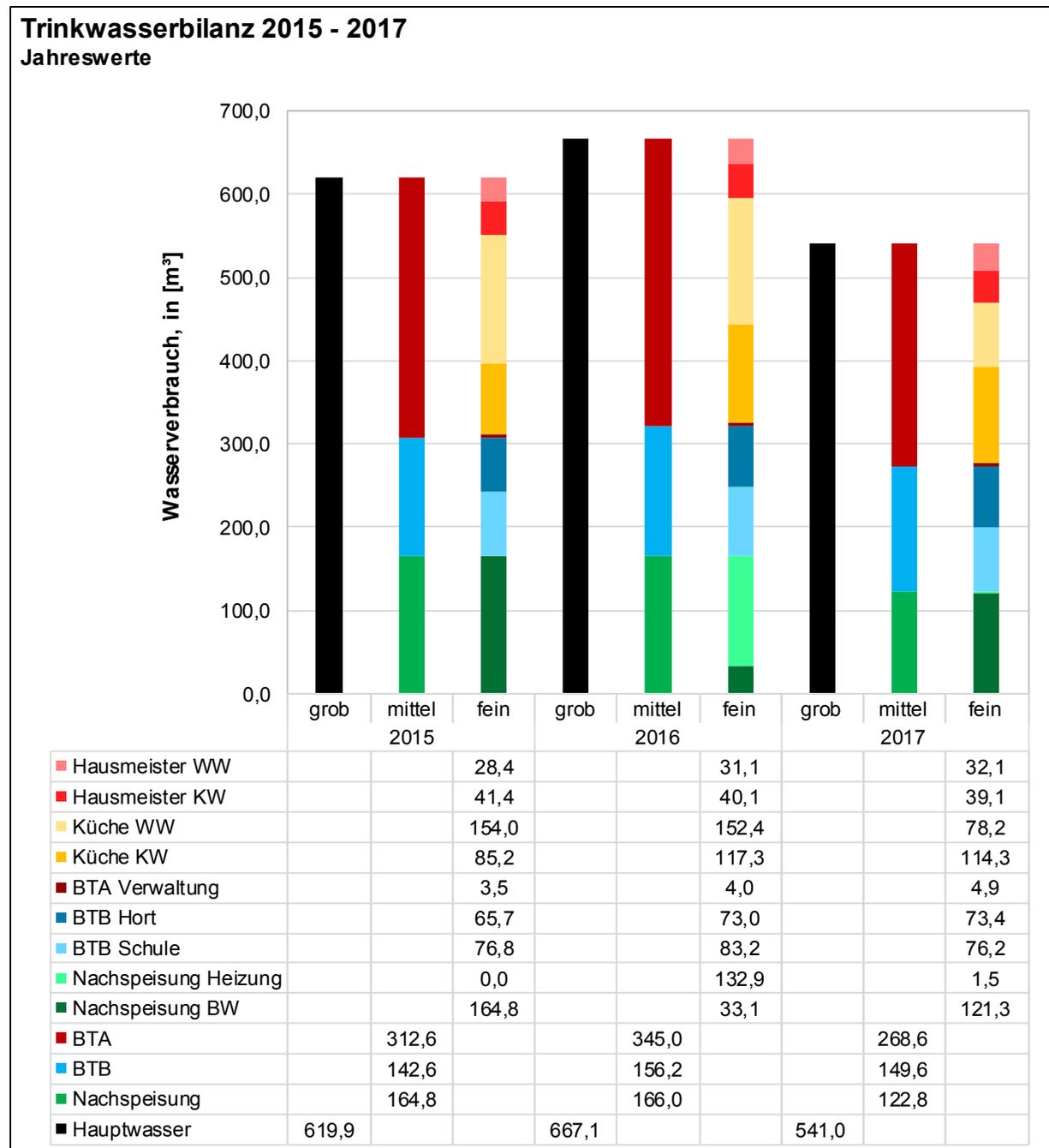


Abbildung 9-3: Trinkwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017

- Bereich Ostflügel ("rot")
 - Der Hausmeisterverbrauch ist relativ konstant über die Jahre; das gilt auch für die Aufteilung auf Warm- und Kaltwasser
 - Der Kaltwasserverbrauch in der Küche ist 2016 aus nicht bekannten Gründen stark gegenüber 2015 gestiegen. Der Warmwasserverbrauch hat 2017 stark abgenommen, was mit der Übernahme des neuen Betreibers zu erklären ist (in der Monatsbilanz erkennbar).

- Bereich Westflügel ("blau")
 - Die Wassermengen für Hort, Schule und Verwaltung sind relativ konstant über die 3 Jahre.
- Bereich Nachspeisung ("grün")
 - Die Nachspeisung von Trinkwasser in das Brauchwassernetz ist 2017 deutlich geringer als in den beiden Jahren vorher, was durch die höhere Niederschlagsmenge einerseits und den schadensfreien Betrieb der Anlage andererseits erklärt werden kann.
 - In der Zeit des Schadens der Regenwassernutzung im Jahr 2016 wurde über den Zähler "Nachspeisung Heizung" eine Einspeisung von Trinkwasser realisiert.

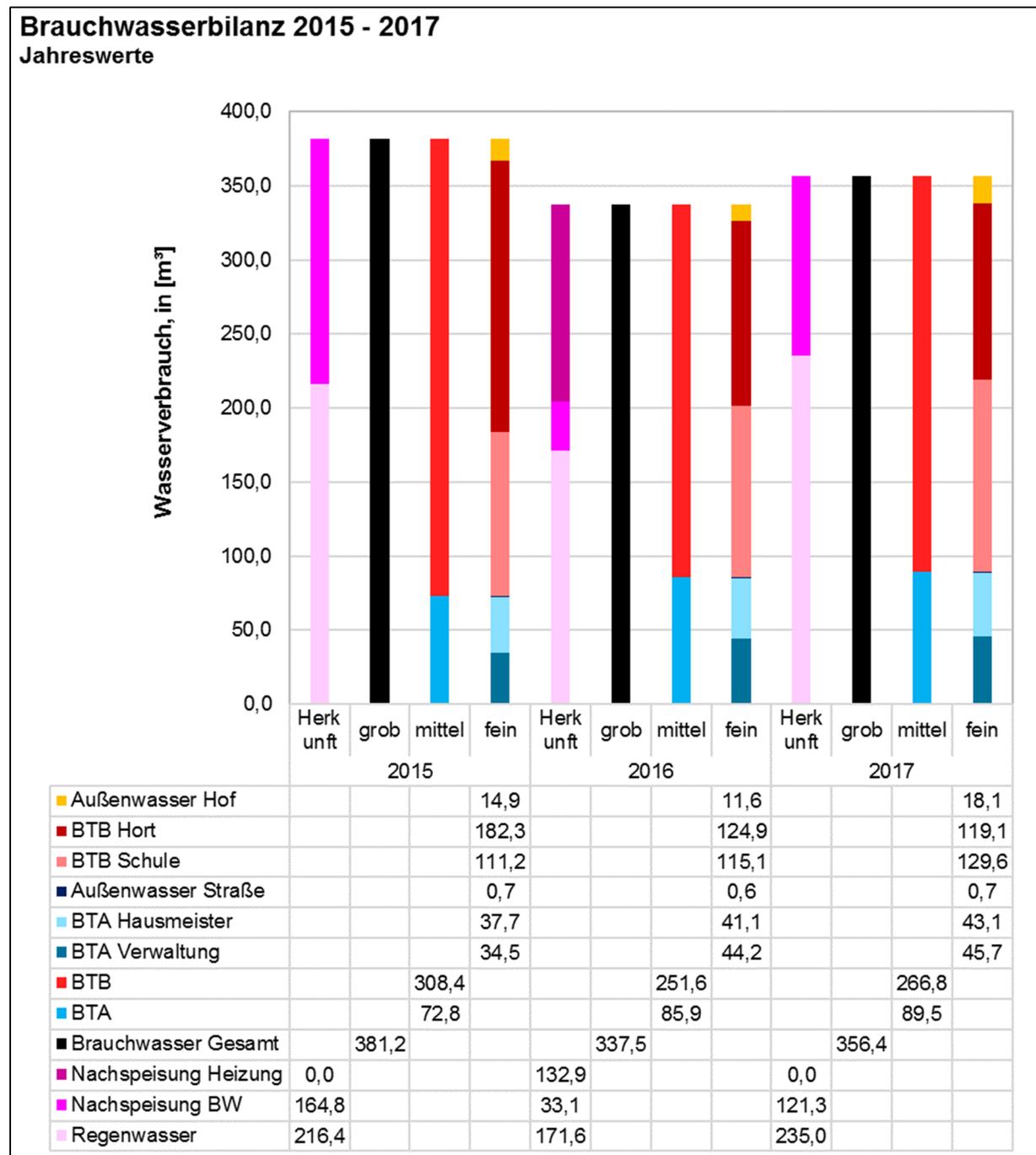


Abbildung 9-4: Brauchwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017

- Bereich Wasserherkunft ("pink")
 - Die geringste Regenwassernutzung war im Jahr 2016 zu verzeichnen, da die Anlage von April bis Oktober defekt war.
 - In der Zeit des Schadens der Regenwassernutzung im Jahr 2016 wurde über den Zähler "Nachspeisung Heizung" eine Einspeisung von Trinkwasser realisiert
- Bereich Ostflügel ("blau")
 - In der Verwaltung hat die Nutzung von Brauchwasser nach 2015 zugenommen. Die Gründe sind nicht bekannt.
 - Der Hausmeisterverbrauch ist relativ konstant bis leicht steigend über die Jahre.
- Bereich Westflügel ("rot")
 - Der Verbrauch an Brauchwasser für die WCs in den Klassenraumetagen ist relativ konstant über die Jahre.
 - Der Verbrauch im Hort hat nach 2015 stark abgenommen und ist dann konstant geblieben. Es sind keine Gründe dafür bekannt.

Aufteilung auf die Verbraucher

Abbildung 9-5 zeigt die Jahresbilanz für die Hausmeisterwohnung – von 4 Personen belegt – für die 3 Untersuchungsjahre. Der Warmwasserverbrauch sowie der Brauchwasserverbrauch sind leicht gestiegen, der Kaltwasserverbrauch ist leicht gesunken. Im Mittel ergibt sich ein Gesamtkennwert von 74 ... 78 l/(P · d). Das ist deutlich unterdurchschnittlich (sparsam).

Etwa 27 % des Verbrauchs entfällt auf Warmwasser, der Rest zu gleichen Teilen auf Kalt- und Brauchwasser.

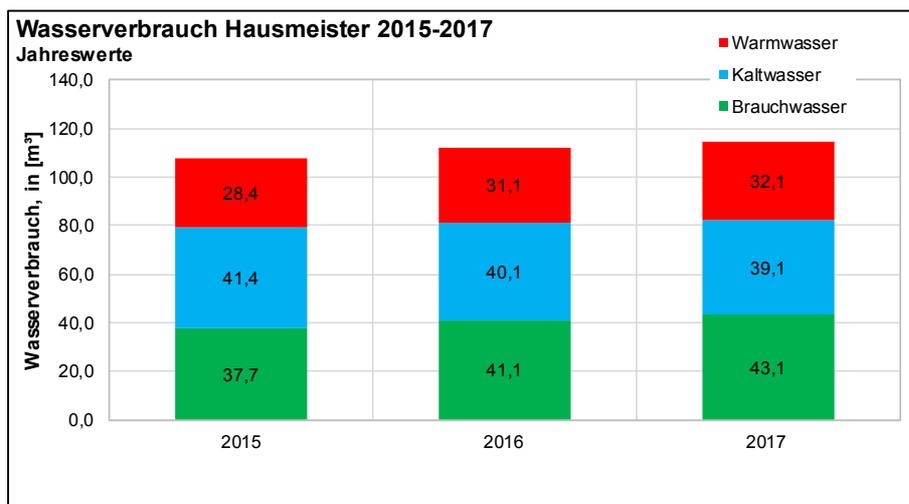


Abbildung 9-5: Wasserbilanz – Hausmeisterwohnung – Jahreswerte – 2015 bis 2017

Abbildung 9-6 zeigt die Wasserbilanz der Küche. Insbesondere der Warmwasserverbrauch ist nach Übergang auf den neuen Küchenbetreiber (2. Halbjahr 2017) stark gesunken, während der Kaltwasserverbrauch ähnlich hoch geblieben ist.

Der Warmwasseranteil ist von drei Viertel, auf zwei Drittel auf die Hälfte des Gesamtverbrauchs gefallen.

Ausgehend von 240 ... 250 Betriebstagen (Schultage und Horttage) liegt der Verbrauch bei ca. 830 l/d (2015), 950 l/d (2016) bzw. 620 l/d (2017).

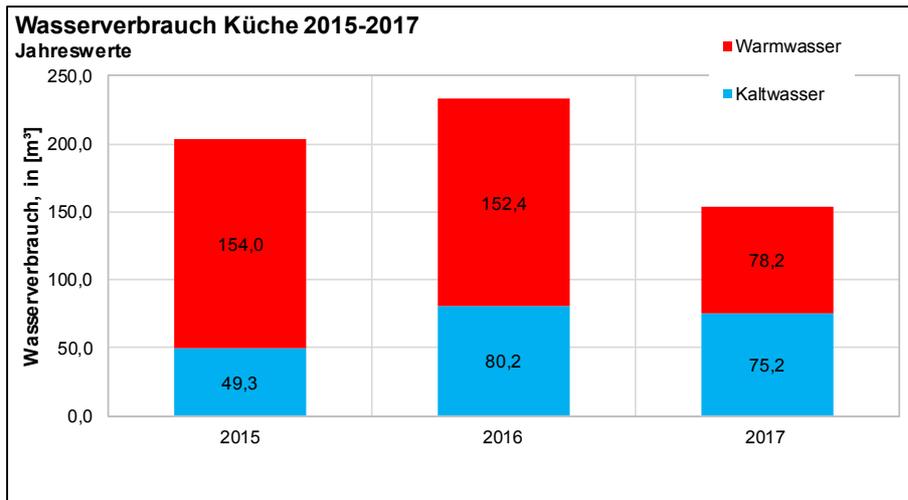


Abbildung 9-6: Wasserbilanz – Küche – Jahreswerte – 2015 bis 2017

In den Restflächen, d. h. Klassentrakt, Hort und Verwaltung sind keine so gravierenden Änderungen erkennbar. Etwa 38 % des Verbrauchs entfallen auf Kaltwasser (Händewaschen, Spülmaschine usw.) und 62 % auf Brauchwasser (WC-Spülung), siehe Abbildung 9-7.

Ausgehend von 240 ... 250 Betriebstagen (Schultage und Horttage) liegt der Verbrauch bei ca. 2150 l/d (2015), 2000 l/d (2016) bzw. 2050 l/d (2017). Bei einer Gesamtbelegung von 200 Schülern und ca. 15 Mitarbeitern (Hort, Verwaltung) ergibt dies einen Kennwert von ca. 10 l/(P · d) im statistischen Mittel.

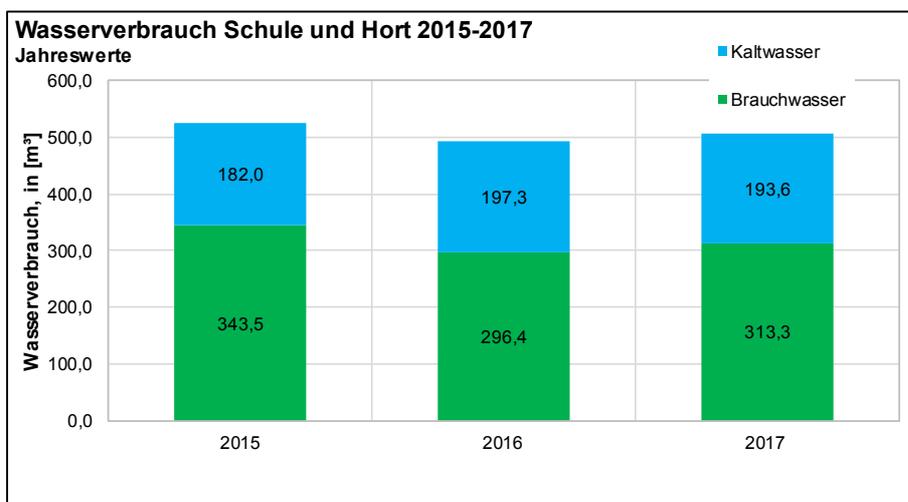


Abbildung 9-7: Wasserbilanz – Schule, Verwaltung, Hortbetrieb– Jahreswerte – 2015 bis 2017

9.4 Hilfsenergie

Die Regenwassernutzung zieht einen Pumpenenergieverbrauch nach sich. Einerseits für die Zisternenpumpe, andererseits für die Brauchwasser-Doppelpumpe im Gebäude. Diese muss auch das nachgespeiste Frischwasser aktiv pumpen, wenn das Regenwasser erschöpft ist.

Abbildung 9-8 zeigt den Hilfsenergieverbrauch für das Jahr 2017. Die Summe der monatlichen Menge beläuft sich auf 4123 kWh/a. Im Jahr 2016 lag aufgrund des Anlagendefektes (April bis Oktober) der Wert entsprechend niedriger.

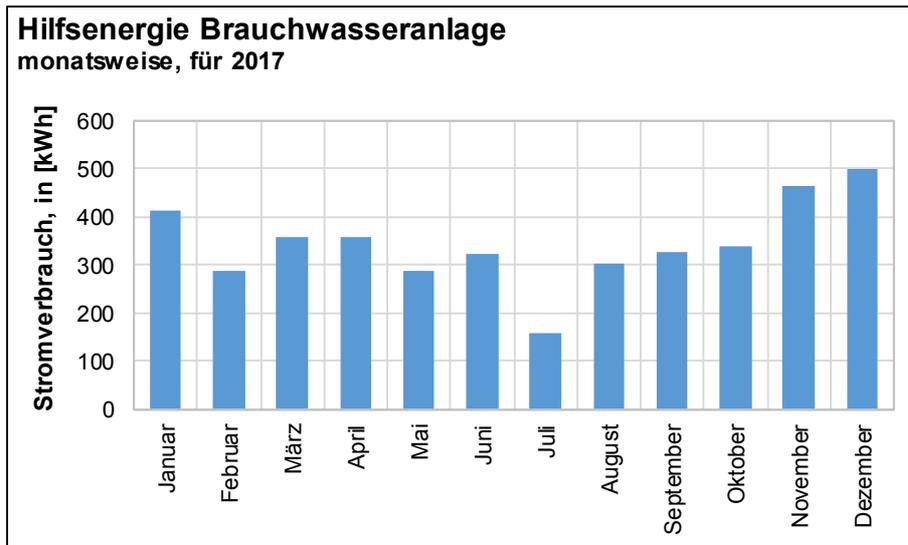


Abbildung 9-8: Strombilanz der Brauchwasseranlage– Monatswerte – 2017

9.5 Wirtschaftliche Einordnung

Zur wirtschaftlichen Einordnung des Systems gelten folgende Medienpreise:

- Frischwasser, nur Arbeitspreis: 1,30 €/m³ zzgl. 7 % MwSt. (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2016)
- Abwasser, nur Arbeitspreis: 2,91 €/m³ zzgl. 19 % MwSt. (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2016)
- Strom, Einkauf, Gesamtpreis: 0,27 €/kWh (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2017 gerundet)
- Strom, Verkauf PV: 0,12 €/kWh (aufgrund des Installationsdatums sowie der geltenden vertraglichen Einspeisevergütungen)

Bei der Gesamtstrombilanz (beispielhaft für das Jahr 2016) kann festgestellt werden, dass etwa 106 MWh/a Strom verbraucht werden, wovon etwa 42 MWh/a selbst erzeugt werden und 64 MWh/a eingekauft. Aus der PV-Produktion von knapp 83 MWh/a wird mit 41 MWh/a etwa die Hälfte ins Netz zurückgespeist. Es ist – auf Basis dieser Verhältnisse – davon auszugehen, dass der Strompreis sich aufgrund der Eigenproduktion und -nutzung beläuft auf:

- Strom, Mischpreis für Stromverbrauch: 0,12 €/kWh (ohne Berücksichtigung der Investitionskosten für die PV-Anlage)

Als relevante Medienmengen sind zu nennen:

- Genutztes Regenwasser: 235 m³/a (Wert für 2017)
- Hilfsenergieverbrauch: 4123 kWh/a (Wert für 2017)

Die Kosten der Regenwassernutzungsanlage belaufen sich auf:

- Investition: 15.700 €
- Jährliche Rate für 20 Jahre Lebensdauer: 785 €/a

Zur Vereinfachung wird zunächst ohne Annahmen von Zinsen und Energiepreissteigerungen gerechnet.

Es ist mit Wartungs- und Reparaturkosten zu rechnen. Der Arbeitsaufwand des Hausmeisters mit der Anlage ist nicht einzuschätzen, jedoch hat die Reparatur mit Nachrüstung von Filtern im Jahr 2016 knapp 790 € gekostet. Der Filtereinsatz selbst kostet deutlich unter 50 €/a.

Bewertung unter der Annahme hoher Strom- und Wartungskosten

Geht man vom Netzstrompreis und jährlichen Wartungskosten in der Größenordnung von 100 €/a aus, ergibt sich folgendes Bild:

- Gesparte Frischwasserkosten: $235 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 1,3 \text{ €/m}^3 \cdot 1,07 = 327 \text{ €/a}$
- Hilfsstromkosten: $- 4123 \text{ kWh/a} \cdot 0,27 \text{ €/a} = 1113 \text{ €/a}$
- Wartung: $- 100 \text{ €/a}$
- Kapitalkosten: $- 785 \text{ €/a}$
- Ergebnis: $= \underline{\underline{-1671 \text{ €/a}}}$

Bewertung unter der Annahme geringer Strom- und Wartungskosten

Geht man vom Mischstrompreis und jährlichen Wartungskosten in der Größenordnung von 50 €/a aus, ergibt sich folgendes Bild:

- Gesparte Frischwasserkosten: $235 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 1,3 \text{ €/m}^3 \cdot 1,07 = 327 \text{ €/a}$
- Hilfsstromkosten: $- 4123 \text{ kWh/a} \cdot 0,12 \text{ €/a} = 495 \text{ €/a}$
- Wartung: $- 50 \text{ €/a}$
- Kapitalkosten: $- 785 \text{ €/a}$
- Ergebnis: $= \underline{\underline{-1003 \text{ €/a}}}$

Selbst unter der Annahme, dass die Investition vollständig gefördert wird, ergibt sich ein Verlust von 220 €/a, da die Stromkosten jeweils über den gesparten Frischwasserkosten liegen. Die Anlage ist somit nicht wirtschaftlich.

Der Strompreis müsste noch deutlich niedriger liegen, damit eine Grenzwirtschaftlichkeit eintritt – ohne Berücksichtigung von Kapitalkosten bei etwa 6 Cent/kWh. Alternativ müsste ein höherer Frischwasserpreis vorliegen. Eine weitere Auseinandersetzung mit dem Thema ist einer Masterarbeit zu entnehmen [8].

9.6 Fazit

Eine Regenwassernutzungsanlage ist vom Grundgedanken her sehr sinnvoll. Im Zusammenhang mit dem Schulbildungskonzept kann Kindern der nachhaltige Umgang mit Ressourcen beigebracht werden. Jedoch bedeutet die Anlage auch einen großen zusätzlichen technischen und finanziellen Aufwand bei der Umsetzung und vor allem im Betrieb.

Fazit aus Sicht der St. Franziskus-Grundschule

Mit der Regenwassernutzungsanlage konnten im Jahr 2017 – welches schadensfrei ablief – etwa 30 % des Gesamtwassereinsatzes durch Regenwasser ersetzt werden (235 m³/a von 776 m³/a). Betrachtet man nur die WC-Spülung sowie die Bewässerung der Außenanlagen, so ist eine Regenwasserquote von 66 % erreicht worden (235 m³/a von 356 m³/a).

Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich nur dadurch, dass für diesen Anteil des Wassers keine Frischwasserkosten anfallen. Allerdings sind für die Pumpen sehr hohe Stromverbräuche festzustellen. Dies ergibt sich vor allem, da jegliches Wasser für die WC-Anlagen gepumpt werden muss – das Regenwasser sowie das Frischwasser. Dies ist durch die Wasserhygiene begründet.

Aus Sicht der St. Franziskus-Grundschule kann kein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage festgestellt werden. Auch dann nicht, wenn der verminderte Strompreis aufgrund der Eigenstromerzeugung angesetzt wird sowie die Kapitalkosten gänzlich vernachlässigt werden, weil es sich um ein gefördertes Projekt handelt.

Es ist mit einem Verlust von mindestens 220 €/a zu rechnen. Dies spricht eher für eine Abschaltung der Anlage und der Verwendung von Trinkwasser für die WC-Anlagen. Die Zisterne kann weiterhin für die Bewässerung der Außenanlagen verwendet werden.

Im Rahmen einer begleitenden Masterarbeit wurde recherchiert, dass die Pettenkofer-Grundschule in Berlin die Regenwassernutzung Ende 2016 ebenfalls eingestellt hat, da die Wartungskosten zu hoch waren. Die Schule nutzt seitdem eine herkömmliche Wasserbereitstellung [12].

Es sei angemerkt: die Dimensionierung der Anlage ist gut gelungen. Um mehr als 66 % Regenwasseranteil für die WC-Spülung zu erreichen, hätte die Zisterne deutlich größer ausgelegt werden müssen – was selbstverständlich die Investitionen erhöht hätte. Die angeschlossene Entwässerungsfläche (Dach) ist mehr als ausreichend für die zu versorgenden Zapfstellen.

Fazit aus Sicht anderer Schulen

Für künftige Projekte – bei denen nicht geförderte Investitionen unterstellt werden – müsste sich die Regenwassernutzung allein über Wasserkosteneinsparungen refinanzieren. Es ist nicht davon auszugehen, dass dies in absehbarer Zeit bei den gegebenen Kostenstrukturen (hoher Strompreis, geringer Wasserpreis, hohe Investitionskosten) wirtschaftlich machbar ist.

Es handelte sich nicht um ein knappes Verfehlen der Wirtschaftlichkeit, sondern um ein sehr deutliches. Daher kann eine solche Anlage für die breite Anwendung in Schulen nicht empfohlen werden – es sei denn außergewöhnlich günstige Randdaten liegen vor.

10 Messergebnisse Funktion

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich mit einer zeitlich feiner aufgelösten Auswertung der Messwerte. Zunächst werden Monatsverläufe der Verbrauchsmengen erstellt. Anschließend erfolgt die Ableitung von Zapfprofilen im Tagesverlauf, wobei in Schul-, Hort-, Schließtage sowie Wochenenden unterschieden wird. Abschließend wird der Hilfsenergieverbrauch näher analysiert. Basis sind die Messfühler, welche auch zur Erstellung der Jahresbilanzen zum Einsatz kommen, siehe Abschnitt 9.1.

10.1 Monatsverläufe

Tabelle 10-1 zeigt die Monatsverläufe der Messwerte für die Trinkwasserzähler in den Jahren 2016 und 2017. Gelb hinterlegte Zellen ergeben sich, wenn eine Datenunsicherheit besteht.

Tabelle 10-1: Trinkwasserbilanz – Monatswerte – 2016 und 2017

	Hauptwasser	Nachspeisung BW	Nachspeisung Heizung	BTB Schule	BTB Hort	BTA Verwaltung	Hausmeister KW	BTA Küche und WW Hausmeister	Küche KW	Küche WW	Hausmeister WW
Jan 16	40,2	0,4	0,0	6,1	5,7	0,3	2,7	25,1	10,1	12,9	2,1
Feb 16	36,6	0,0	0,0	5,7	5,3	0,3	3,6	21,7	8,3	10,6	2,8
Mrz 16	59,6	14,4	0,0	6,6	6,2	0,4	4,0	28,0	10,9	14,0	3,1
Apr 16	57,6	7,1	0,0	8,5	7,9	0,5	3,8	29,9	11,8	15,2	2,9
Mai 16	62,4	0,0	27,6	5,5	5,1	0,3	3,5	20,4	7,7	9,9	2,7
Jun 16	76,1	0,0	30,3	8,1	7,8	0,5	3,0	26,5	10,6	13,6	2,3
Jul 16	20,0	0,0	7,6	2,2	2,8	0,1	1,8	5,5	1,8	2,3	1,4
Aug 16	81,5	0,0	33,5	6,9	8,1	0,4	3,1	29,4	11,8	15,2	2,4
Sep 16	90,4	0,4	34,7	9,6	7,7	0,5	3,4	34,1	13,8	17,7	2,6
Okt 16	34,8	0,0	0,0	4,4	5,2	0,2	3,4	21,5	8,3	10,6	2,6
Nov 16	61,2	0,0	0,0	11,6	6,1	0,6	4,2	38,7	15,6	20,0	3,2
Dez 16	45,4	9,9	0,0	3,6	5,3	0,2	3,8	22,6	8,6	11,1	2,9
Summe	665,8	32,2	133,7	78,7	73,1	4,4	40,2	303,4	119,3	152,9	31,1
Jan 17	54,3	3,5	0,0	8,2	5,7	0,5	3,7	32,6	14,9	14,8	2,9
Feb 17	60,2	19,9	0,0	6,8	5,3	0,4	2,8	24,9	11,4	11,3	2,2
Mrz 17	55,3	0,0	0,7	9,2	6,7	0,5	3,7	34,5	16,1	15,5	2,9
Apr 17	48,1	9,7	0,7	5,3	5,3	0,3	3,8	23,0	10,5	9,4	3,0
Mai 17	87,8	44,1	0,1	6,3	6,3	0,4	3,7	27,0	13,3	10,8	2,9
Jun 17	46,9	11,7	0,0	5,2	7,5	0,3	2,7	19,5	10,2	7,2	2,1
Jul 17	9,5	0,2	0,0	1,3	2,0	0,1	1,7	4,3	1,6	1,3	1,4
Aug 17	38,0	4,7	0,0	6,7	8,2	0,4	3,2	14,9	10,4	2,0	2,5
Sep 17	60,7	28,4	0,0	8,2	7,2	0,5	3,2	13,2	8,8	1,9	2,5
Okt 17	21,4	0,0	0,0	4,0	5,0	0,2	3,4	8,7	4,8	1,2	2,7
Nov 17	34,4	0,0	0,0	8,0	7,0	0,5	3,9	15,1	9,2	2,8	3,1
Dez 17	27,5	0,0	0,0	6,7	7,2	0,4	3,4	9,8	5,1	2,0	2,7
Summe	543,9	122,2	1,5	75,9	73,3	4,4	39,0	227,6	116,3	80,3	31,0

farbige Markierung der Zellen mit größeren Unsicherheiten

Erläuterungen:

- Die Jahressummenwerte sind jeweils sicher; ihnen liegen manuelle Ablesungen zu Jahresbeginn zu Grunde.
- Der Hauptzähler wies im Jahr 2017 einen längeren Defekt auf, so dass die Monatswerte unsicher sind; sie wurden anhand der Unterzählersumme rekonstruiert.
- Unsichere Werte vor Juni 2016 ergeben sich, da die entsprechenden Zähler noch nicht digitalisiert waren. Die Gesamtmenge für den betreffenden Zeitraum ist bekannt; eine Aufteilung auf die ersten 5 Monate erfolgte anhand bekannter Zähler – beispielsweise wurde im Hort eine prozentuale Verteilung analog der Schule angenommen.

- Die monatlichen Zwischenwerte für den Zähler "Nachspeisung Heizung" ergeben sich aus der Brauchwasserbilanz. Der Zähler ist nicht digital erfasst, da ursprünglich keine nennenswerten Mengen erwartet wurden. Allerdings wurde der Anschluss während des Schadens in der Regenwasseranlage verwendet, um die Anlage kurzzuschließen.
- Bei der Küche war die monatliche Summe für Warm- und Kaltwasser bekannt (aus dem übergeordneten Zähler); ebenfalls die prozentuale jährliche Aufteilung auf Warm- und Kaltwasser; die monatliche Aufteilung erfolgte entsprechend.
- Bei der Menge für "BTA Verwaltung" handelt es sich um einen Rest, der sich aus Differenzbildung anderer Zähler ergibt – daher ist auf jeden Fall eine Unsicherheit gegeben.

Tabelle 10-2 zeigt die Bilanz der Brauchwasseranlage. Die obigen Erläuterungen gelten entsprechend.

Tabelle 10-2: Brauchwasserbilanz – Monatswerte – 2016 und 2017

	Regenwasser	Nachspeisung BW	Nachspeisung Heizung	Brauchwasser Gesamt	BTA Gesamt	BTA Verwaltung	BTA Hausmeister	Außenwasser Straße	BTB Schule	BTB EG	BTB Hort	Außenwasser Hof
Jan 16	28,5	0,4	0,0	28,9	7,1	4,4	2,7	0,0	9,7	12,0	12,0	0,0
Feb 16	27,9	0,0	0,0	27,9	6,5	2,9	3,7	0,0	9,1	12,2	12,2	0,0
Mrz 16	15,2	14,8	0,0	30,0	8,4	4,2	4,1	0,0	10,0	11,6	11,6	0,0
Apr 16	30,7	7,1	0,0	37,8	9,7	5,7	3,9	0,1	13,2	14,9	13,2	1,7
Mai 16	0,0	0,0	27,6	27,6	7,1	3,4	3,6	0,1	7,7	12,7	10,4	2,3
Jun 16	0,0	0,0	30,3	30,3	7,3	4,2	3,1	0,1	9,6	13,4	11,6	1,8
Jul 16	0,0	0,0	7,6	7,6	2,4	0,5	1,9	0,1	-0,1	5,3	3,5	1,9
Aug 16	0,0	0,0	33,5	33,5	8,5	5,2	3,2	0,1	10,0	15,1	13,2	1,9
Sep 16	0,0	0,0	34,7	34,7	7,7	4,2	3,5	0,1	14,0	12,9	11,2	1,8
Okt 16	20,5	0,0	0,0	20,5	6,2	2,7	3,5	0,0	6,6	7,6	6,9	0,7
Nov 16	33,9	0,0	0,0	33,9	8,6	4,3	4,3	0,0	14,0	11,3	11,3	0,0
Dez 16	11,6	9,9	0,0	21,5	6,8	2,9	3,9	0,0	6,9	7,9	7,9	0,0
Summe	168,3	32,2	133,7	334,2	86,4	44,6	41,2	0,6	110,8	137,0	125,0	12,0
Jan 17	27,2	3,5	0,0	30,8	7,2	3,2	4,0	0,0	12,5	11,1	11,1	0,0
Feb 17	3,6	19,9	0,0	23,5	5,2	2,1	3,1	0,0	9,3	9,0	9,0	0,0
Mrz 17	36,2	0,0	0,0	36,2	8,7	4,7	4,0	0,0	15,0	12,5	12,5	0,0
Apr 17	15,2	9,7	0,0	25,0	7,0	2,8	4,2	0,0	9,4	8,6	8,6	0,0
Mai 17	-9,8	44,1	0,0	34,3	8,2	4,0	4,0	0,2	13,3	12,9	9,0	3,9
Jun 17	25,6	11,7	0,0	37,3	7,4	4,2	3,0	0,3	9,6	20,3	13,1	7,2
Jul 17	12,6	0,2	0,0	12,8	2,9	0,9	1,9	0,1	0,6	9,3	6,5	2,9
Aug 17	32,6	4,7	0,0	37,3	9,3	5,8	3,5	0,1	13,4	14,6	12,4	2,2
Sep 17	7,8	28,4	0,0	36,2	9,4	5,9	3,5	0,1	14,3	12,5	10,5	2,0
Okt 17	20,5	0,0	0,0	20,5	6,5	2,7	3,8	0,0	7,4	6,6	6,6	0,0
Nov 17	37,6	0,0	0,0	37,6	9,9	5,6	4,3	0,0	16,0	11,7	11,7	0,0
Dez 17	24,1	0,0	0,0	24,1	7,2	3,4	3,8	0,0	8,9	8,0	8,0	0,0
Summe	233,2	122,2	0,0	355,5	89,0	45,3	43,0	0,7	129,4	137,1	119,1	18,0

farbige Markierung der Zellen mit größeren Unsicherheiten

10.2 Tagesverläufe

Aus den 10-Minuten-Messwerten der Trink- und Brauchwasserzähler lassen sich Tagesverläufe ableiten. Dazu werden alle ähnlich genutzten Tage zusammengefasst. Im Falle der St.-Franziskus-Grundschule sind dies im Zeitraum 2016 und 2017:

- 139 bzw. 190 Schultage (jeweils ein Wochentag)
- 31 bzw. 42 Horttage mit Kinderbetreuung (jeweils ein Wochentag)
- 24 bzw. 28 Ferien- und Schließtage ohne Kinderbetreuung (jeweils ein Wochentag)
- 78 bzw. 105 Wochenendtage (Sonnabend oder Sonntag)

Die unterschiedlichen Anzahlen von Tagen ergeben sich, da nicht immer alle Zähler gleichzeitig funktionstüchtig waren (Inbetriebnahme, Datenausfälle) sowie die Regenwassernutzung einen längeren Defekt aufwies. Das Bilden von Differenzen oder Summen aus mehreren Zählerwerten konnte jeweils nur für Tage erfolgen, an denen alle Werte plausibel vorlagen.

Auf eine detaillierte Auswertung abhängig von den Jahreszeiten kann an dieser Stelle verzichtet werden. Im Rahmen einer Masterarbeit wurde anhand von beispielhaft gewählten Wochen festgestellt, dass alle einen ähnlichen Trend haben und somit jede Woche auch aus einer anderen Jahreszeit hätte stammen können. Einen engeren Bezug des Verbrauchs zur Jahreszeit ist entsprechend nicht festzustellen [8].

10.2.1 Gesamtwasser

Der Gesamtwasserverbrauch ist die Addition aus Regen- und Trinkwasser. Der Wert kann bestimmt werden, indem die Hauptzähler für Trink- und Brauchwasser addiert werden und anschließend das in die Brauchwasseranlage nachgespeiste Trinkwasser abgezogen wird, weil es sonst doppelt erfasst würde. Der Rechengang kann anhand des Zählerschemas in Kapitel 9.1 nachvollzogen werden.

Schultage

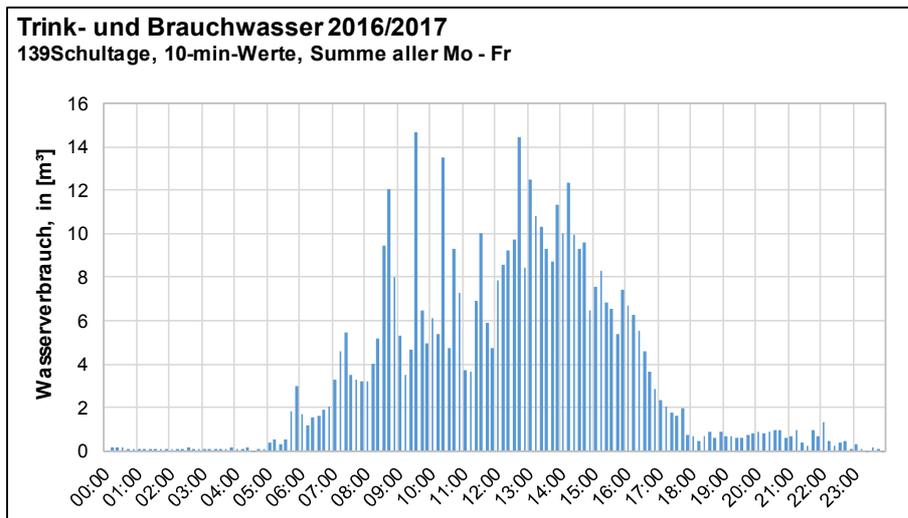


Abbildung 10-1: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage

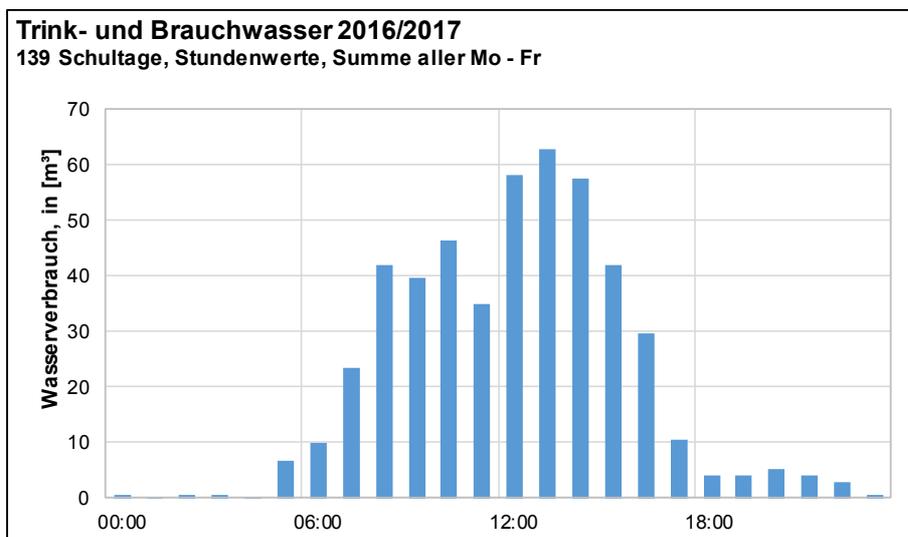


Abbildung 10-2: Gesamtwasser – Stundenwerte – Schultage

Horttage

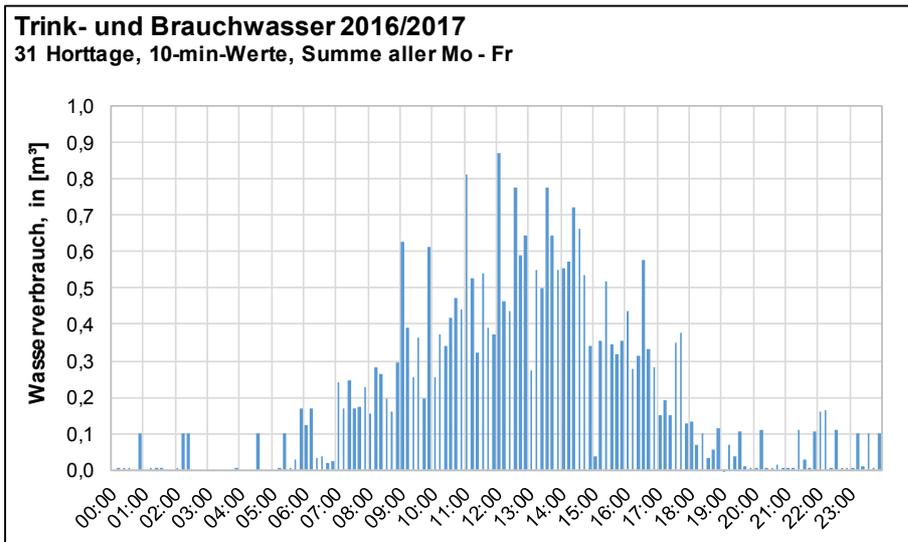


Abbildung 10-3: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage

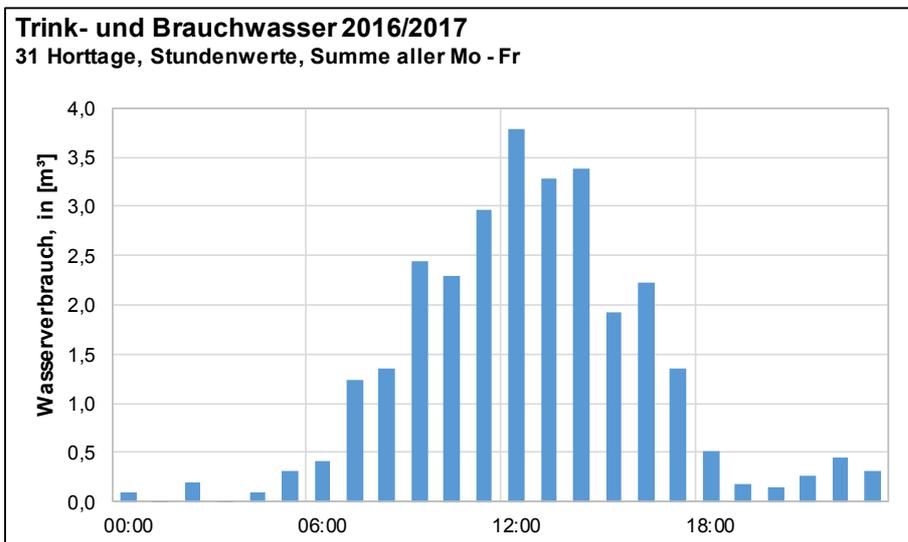


Abbildung 10-4: Gesamtwasser – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

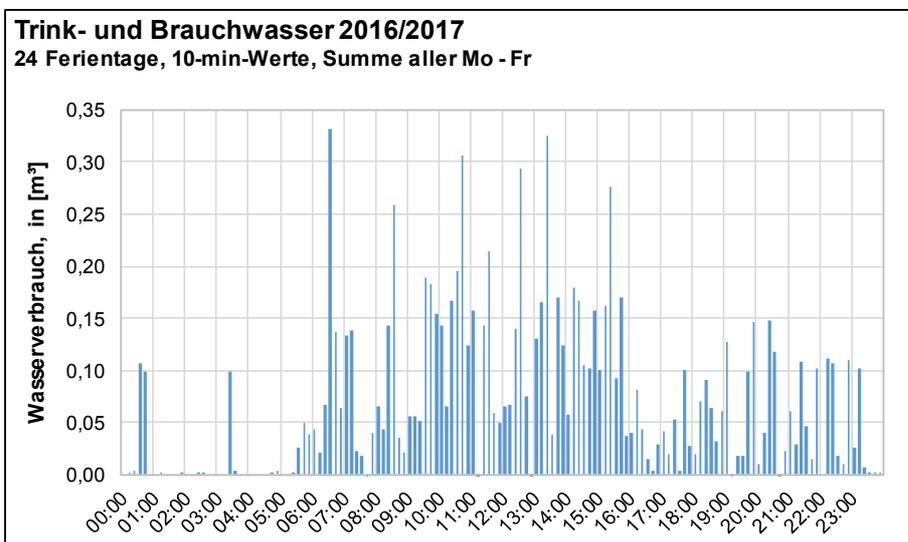


Abbildung 10-5: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage

Trink- und Brauchwasser 2016/2017
 24 Ferientage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

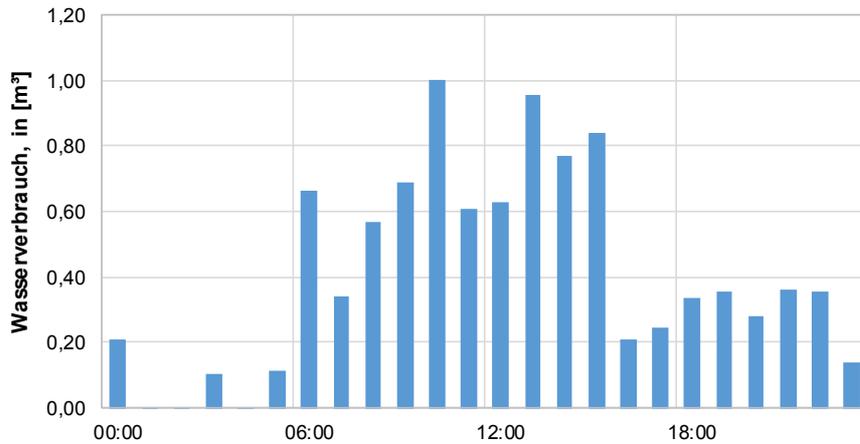


Abbildung 10-6: Gesamtwasser – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

Trink- und Brauchwasser 2016/2017
 78 Wochenenden, 10-min-Werte, Summe aller Sa & So

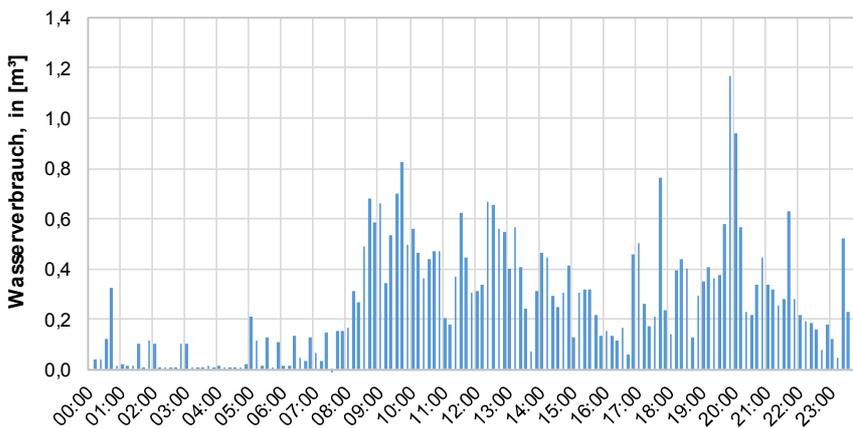


Abbildung 10-7: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende

Trink- und Brauchwasser 2016/2017
 78 Wochenentage, Stundenwerte, Summe aller Sa & So

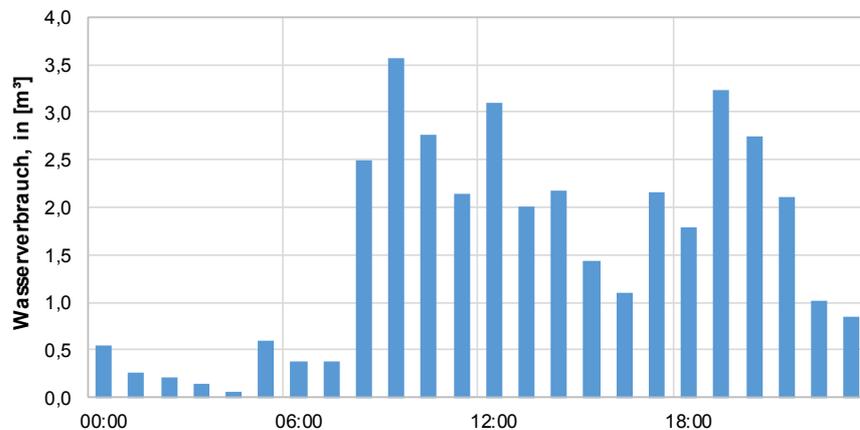


Abbildung 10-8: Gesamtwasser – Stundenwerte – Wochenende

10.2.2 Brauchwasser

Das Brauchwasser wird über einen eigenen Zähler erfasst. Es ist keine Summen- oder Differenzbildung erforderlich.

Schultage

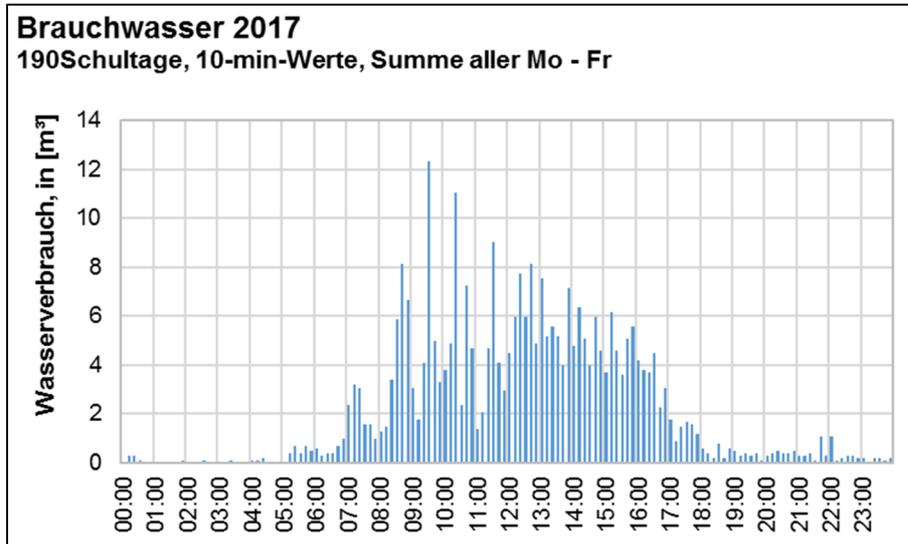


Abbildung 10-9: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage

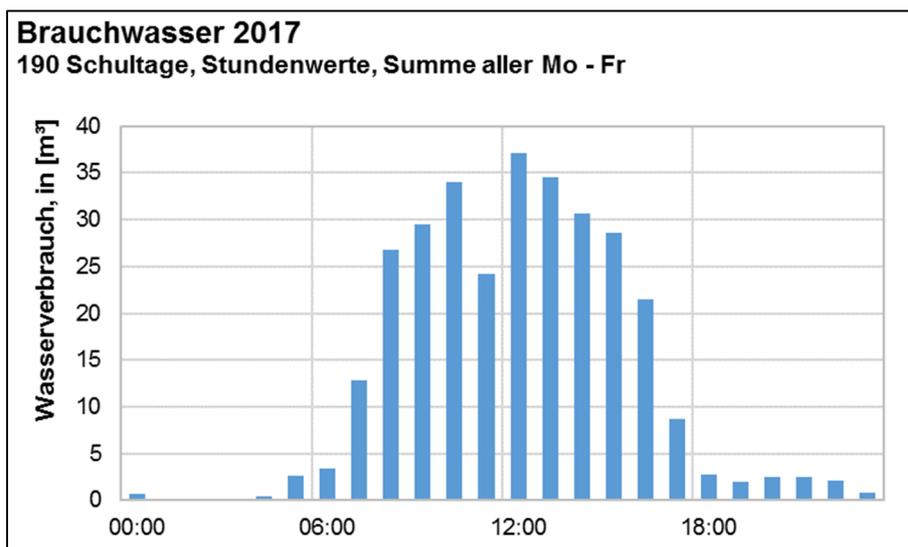


Abbildung 10-10: Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage

An den Schultagen sind vormittags die Peaks erkennbar, welche sich durch die Unterrichtspausen ergeben. Nachmittags ist das Bild sehr viel homogener.

Horttage

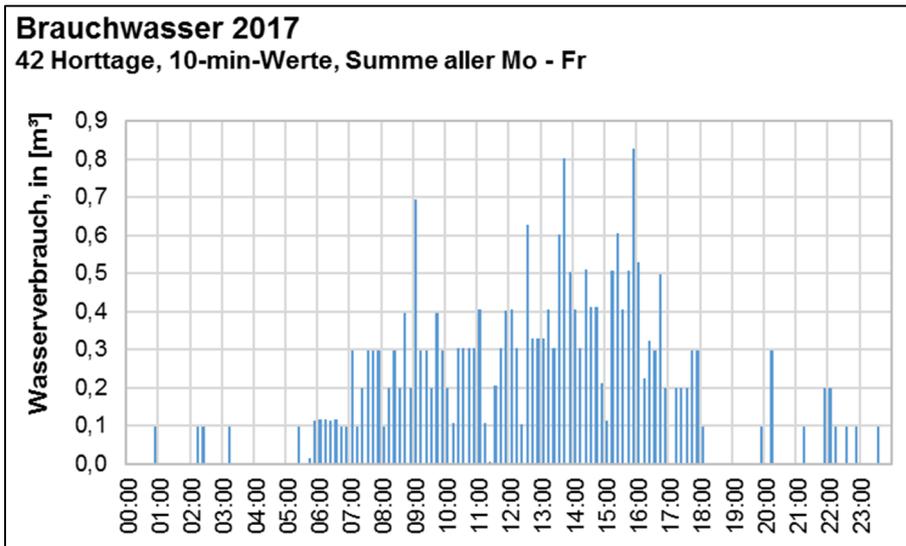


Abbildung 10-11: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage

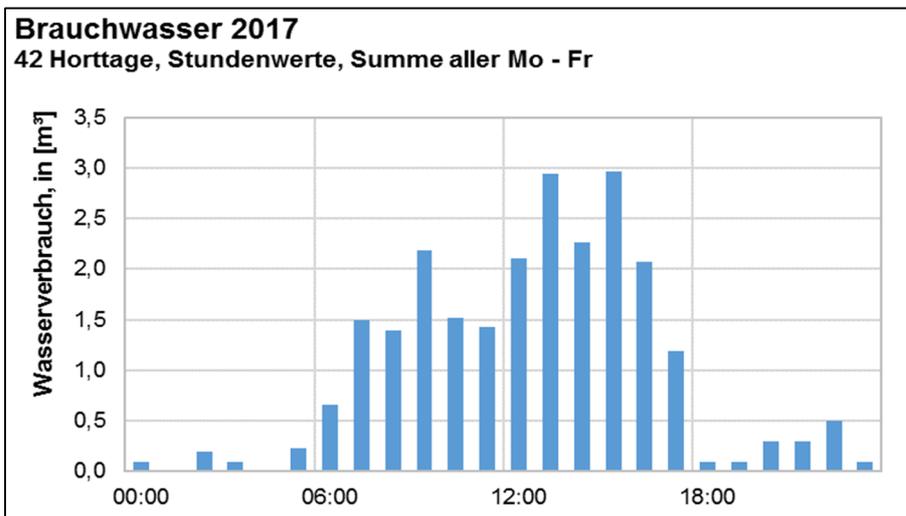


Abbildung 10-12: Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

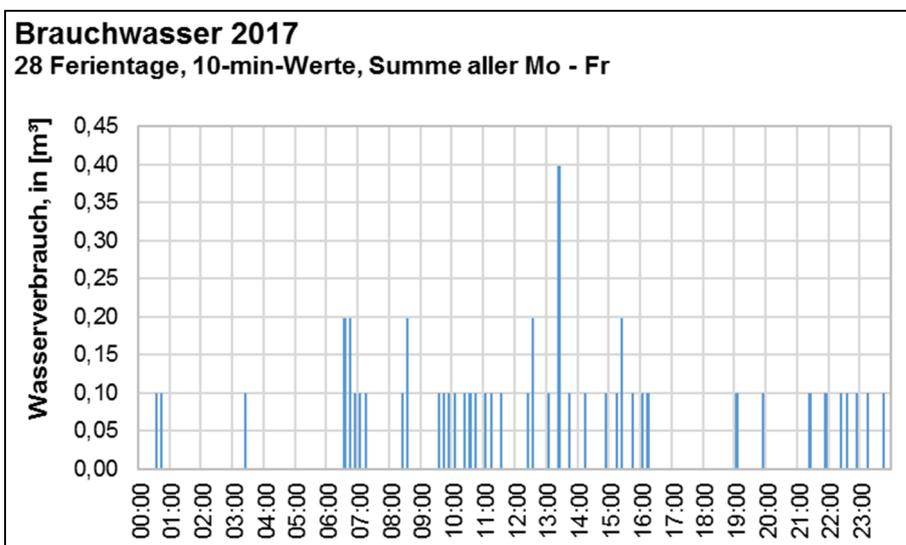


Abbildung 10-13: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage

Brauchwasser 2017

28 Ferientage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

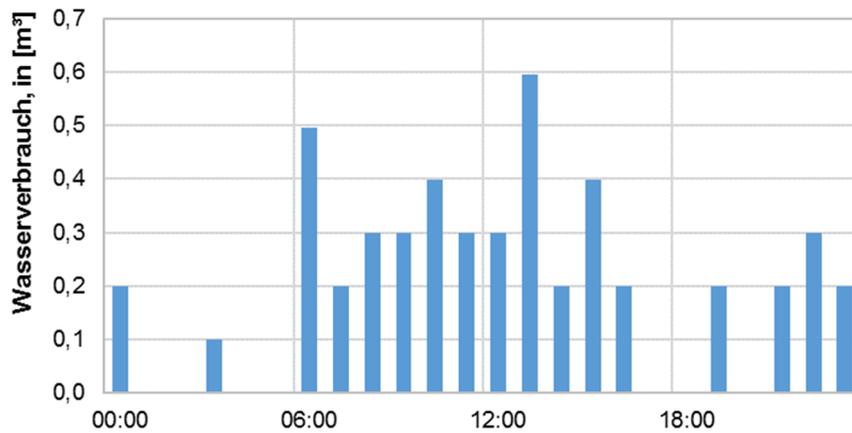


Abbildung 10-14: Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

Brauchwasser 2017

105 Wochenendtage, 10-min-Werte, Summe aller Sa & So

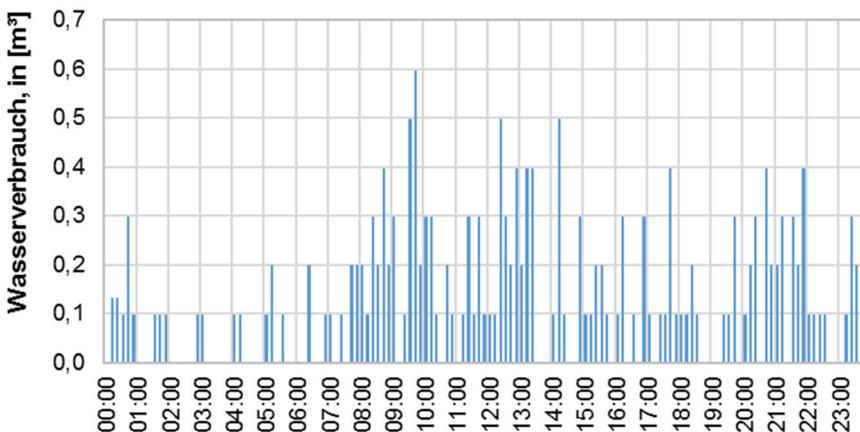


Abbildung 10-15: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende

Brauchwasser 2017

105 Wochenendtage, Stundenwerte, Summe aller Sa & So

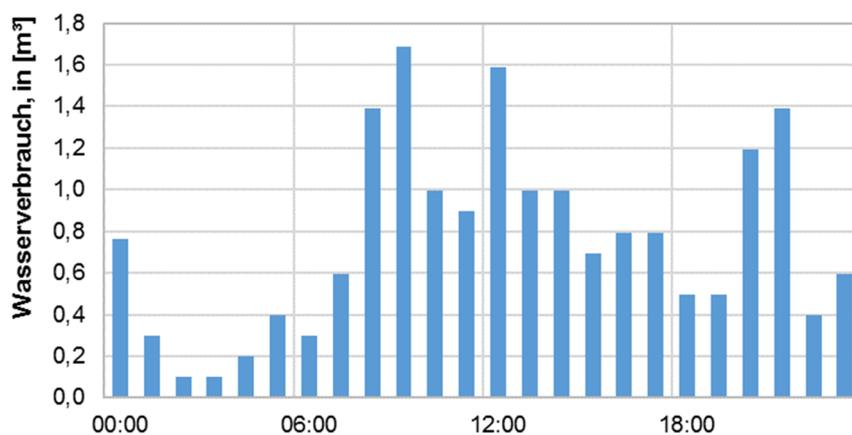


Abbildung 10-16: Brauchwasser – Stundenwerte – Wochenende

10.2.3 Trinkwasser ohne Brauchwassernachspeisung

Der Trinkwasserverbrauch ohne Brauchwassernachspeisung ergibt sich aus einer Differenzbildung. Vom Hauptzählerwert der Stadtwerke wird die Nachspeisemenge in die Brauchwasserversorgung abgezogen. Der Rechengang kann anhand des Zählerschemas in Kapitel 9.1 nachvollzogen werden.

Schultage

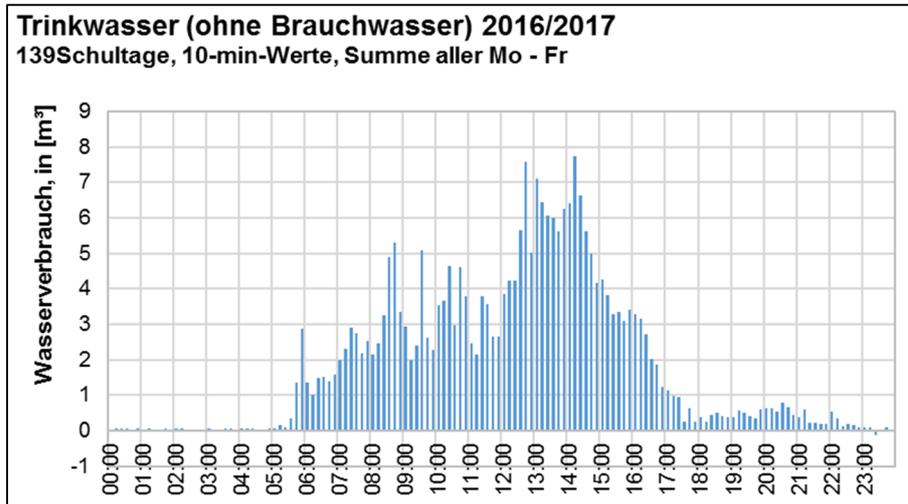


Abbildung 10-17: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage

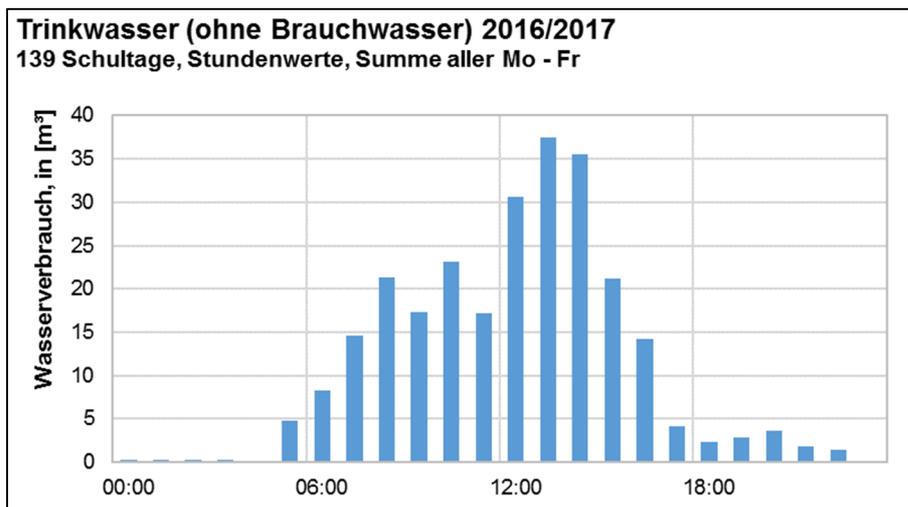


Abbildung 10-18: Trinkwasser – Stundenwerte – Schultage

Die größten Mengen ergeben sich in den Phasen, in denen die Schulküche ihre Geschirrspülzeiten hat.

Horttage

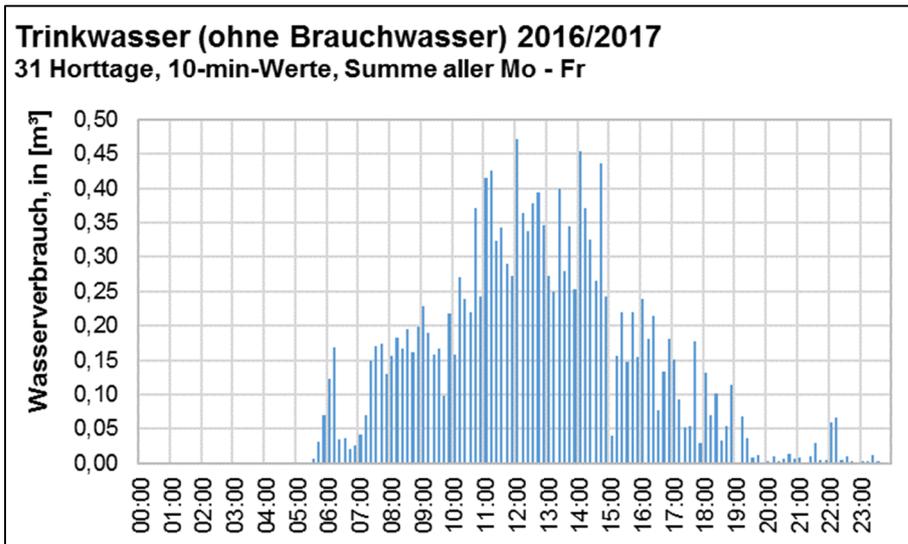


Abbildung 10-19: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage

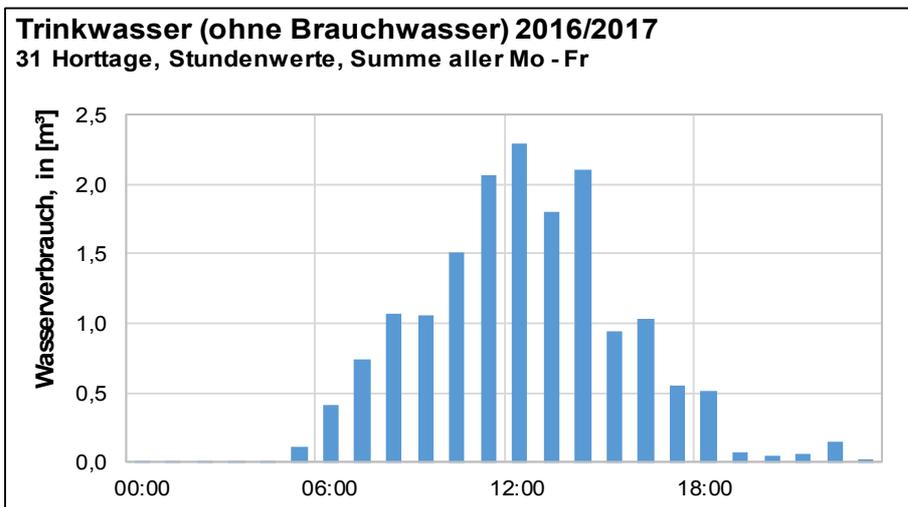


Abbildung 10-20: Trinkwasser – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließstage

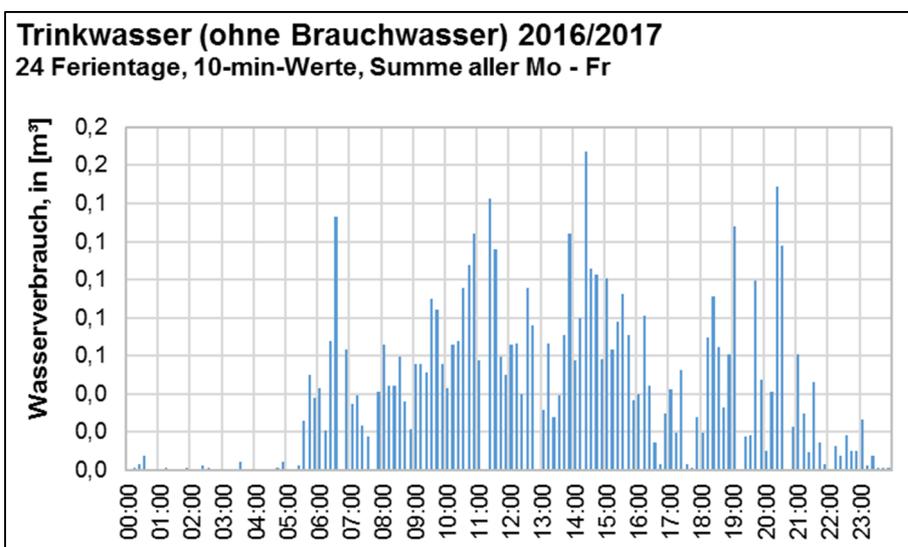


Abbildung 10-21: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage

Trinkwasser (ohne Brauchwasser) 2016/2017

24 Ferientage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

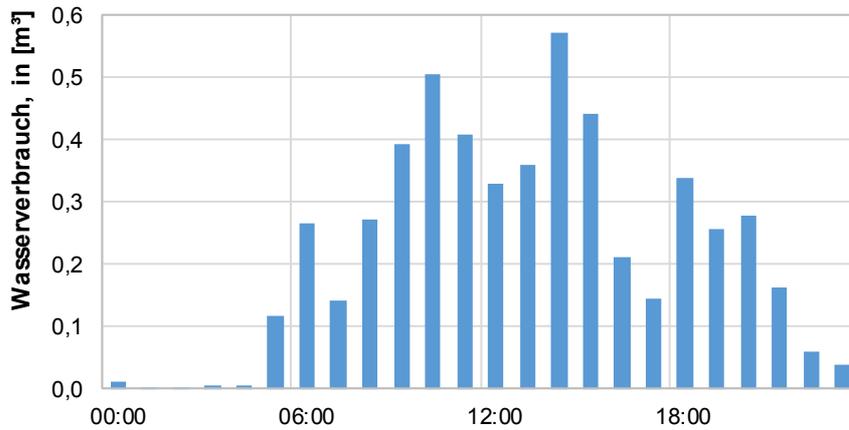


Abbildung 10-22: Trinkwasser – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

Trinkwasser (ohne Brauchwasser) 2016/2017

78 Wochenenden, 10-min-Werte, Summe aller Sa & So

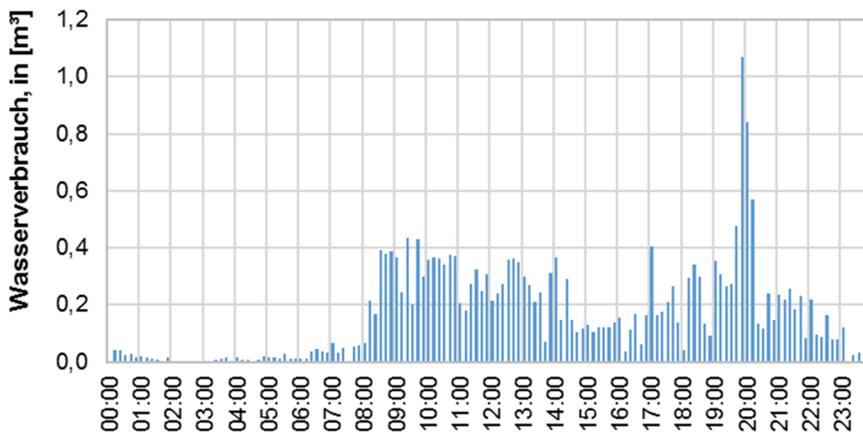


Abbildung 10-23: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende

Trinkwasser (ohne Brauchwasser) 2016/2017

78 Wochenendtage, Stundenwerte, Summe aller Sa & So

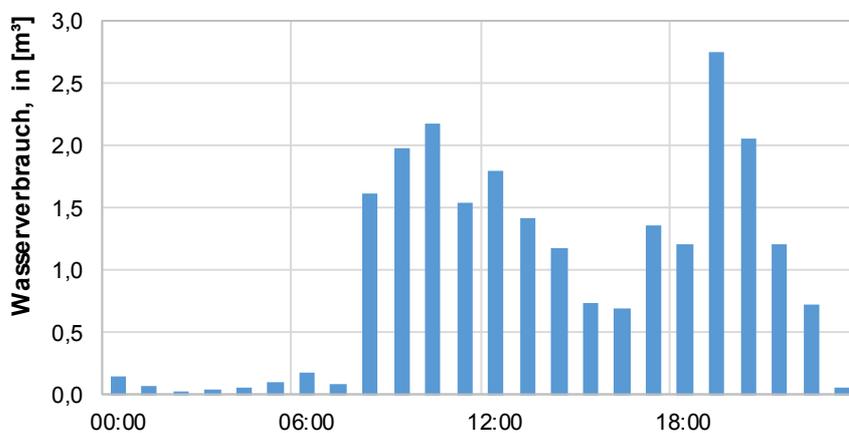


Abbildung 10-24: Trinkwasser – Stundenwerte – Wochenende

10.2.4 Typisches Zapfprofil

Aus den Tagesmesswerten kann ein Gesamtprofil erstellt werden. Es zeigt jeweils die Werte für einen Tag – aufgelöst in 10-Minuten- bzw. Stundenwerte. Die Mengen für Trink- und Regenwasser sind farbig gekennzeichnet. Für eine Schule ohne Regenwassernutzung zählt die Summe.

Die Gesamthöhe der Balken ergibt sich analog den Erläuterungen in Kapitel 10.2.1. davon wird die Gesamttrinkwassermenge abgezogen. Diese Einzelauswertung ist im Anhang 11.4.1 angefügt.

Die Auswertungen können über das Monitoring hinaus verwendet werden, um beispielsweise bei künftigen Schulprojekten verlässlichere Aussagen zu Spitzendurchflüssen (Netzdimensionierung) oder Speichervolumina (Regenwassernutzung) im Rahmen der Planung zu liefern. Warmwasserzapfprofile sind **Abschlussbericht 8** zu entnehmen.

Schultage

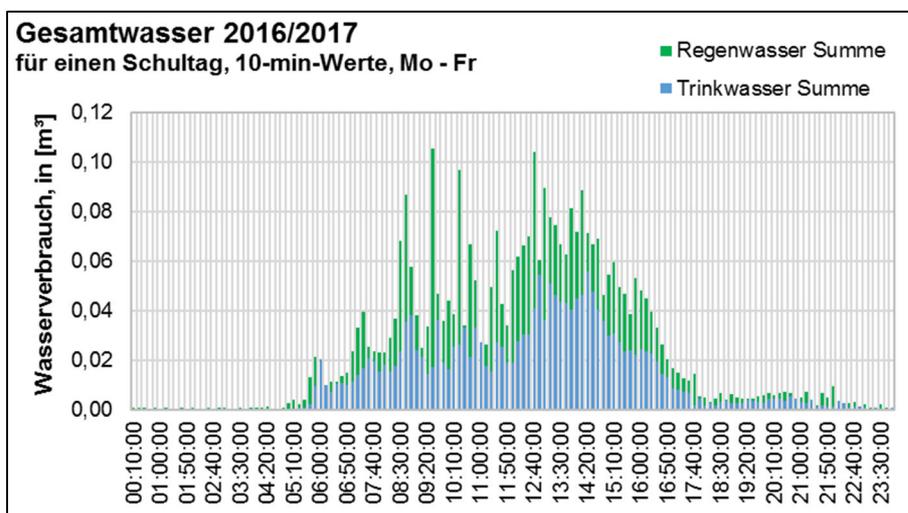


Abbildung 10-25: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage

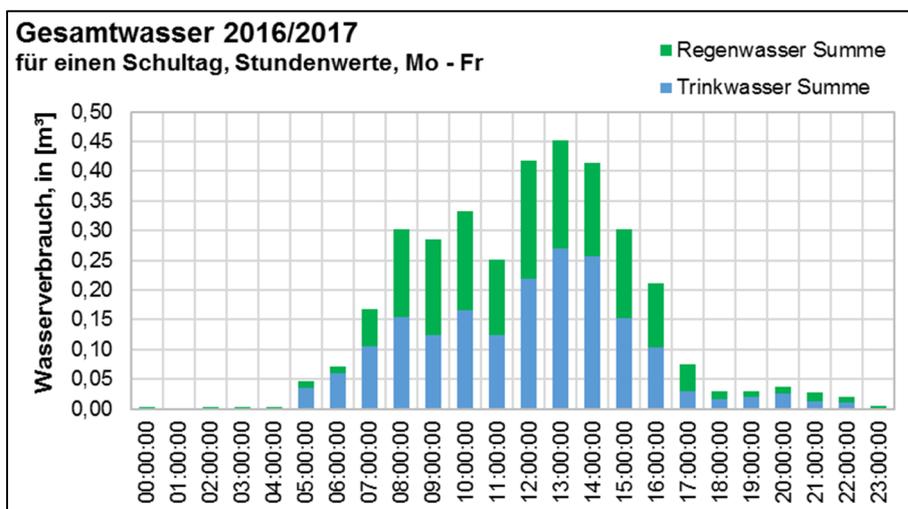


Abbildung 10-26: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage

Horttage

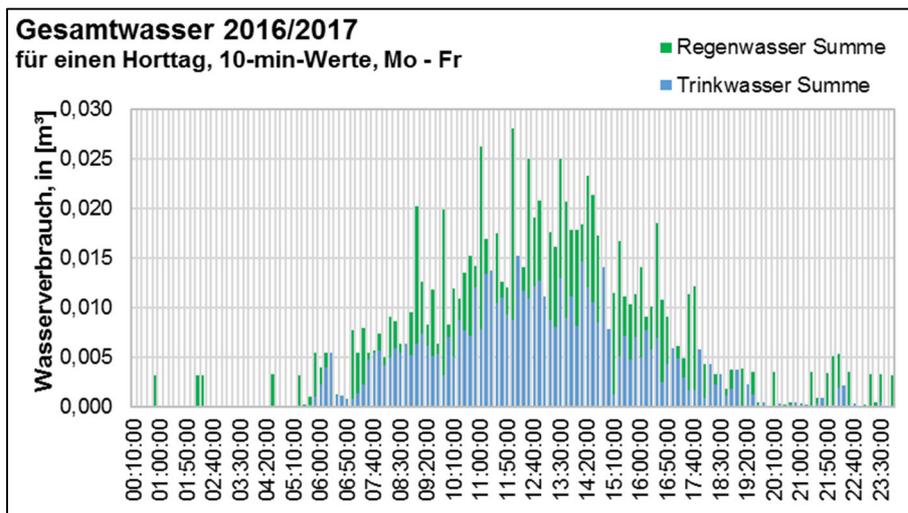


Abbildung 10-27: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage

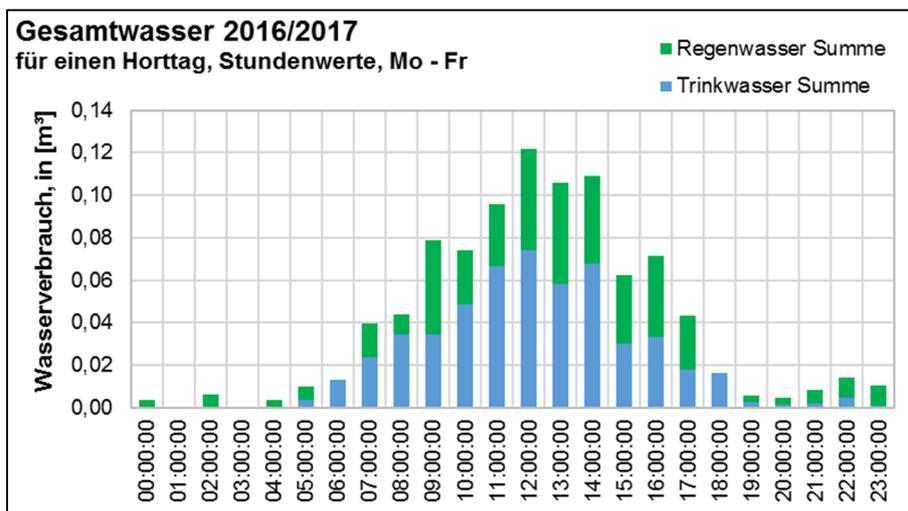


Abbildung 10-28: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

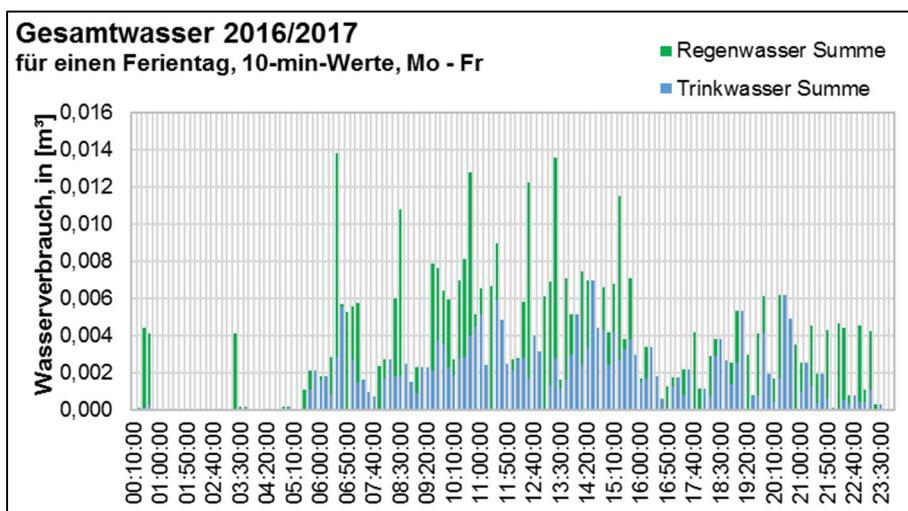


Abbildung 10-29: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage

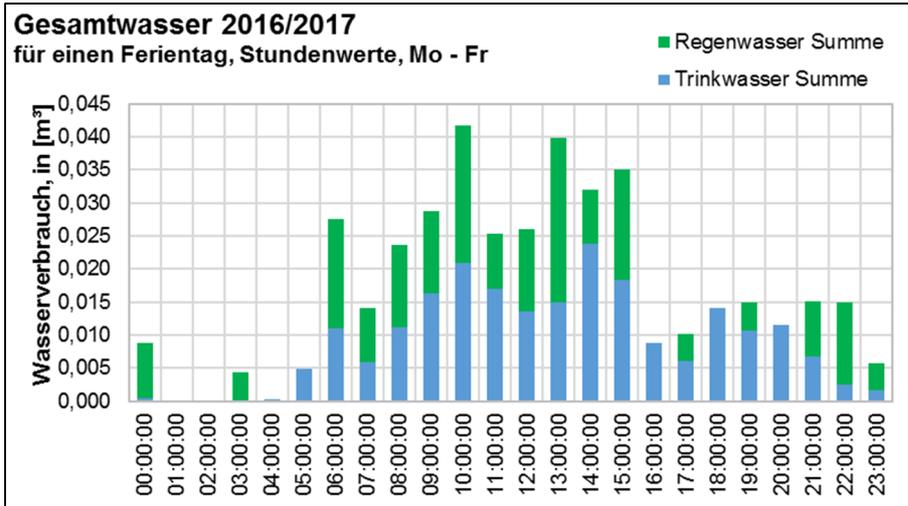


Abbildung 10-30: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

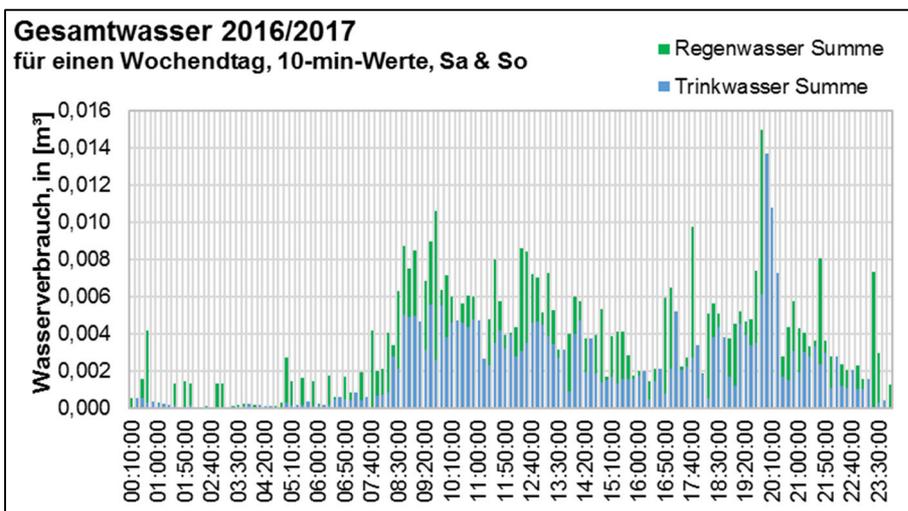


Abbildung 10-31: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende

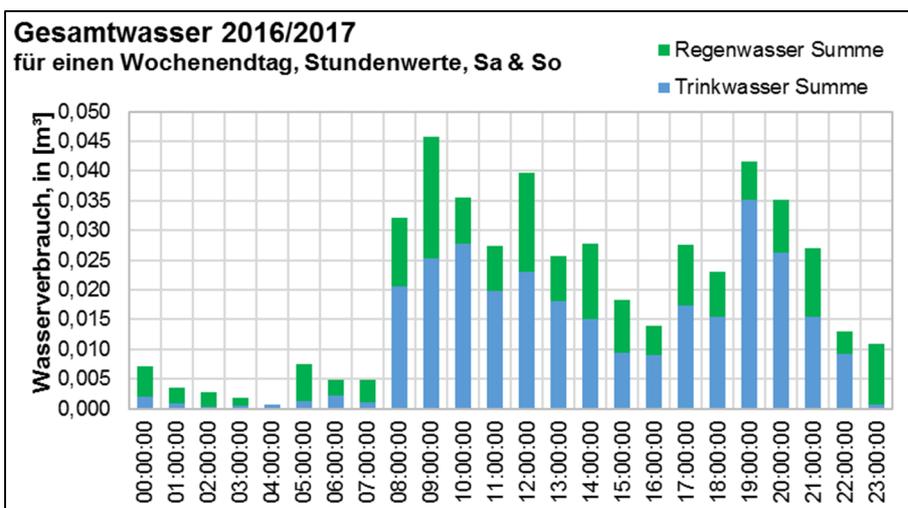


Abbildung 10-32: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Wochenende

10.3 Hilfsenergie der Regenwassernutzung

Abbildung 10-33 zeigt die Carpet-Plots für die Brauchwasserpumpenanlage im Jahr 2016. Oben erfolgte eine Auflösung in 10-Minutenwerte, unten in Stundenmittelwerte. Dargestellt ist die mittlere Leistung.

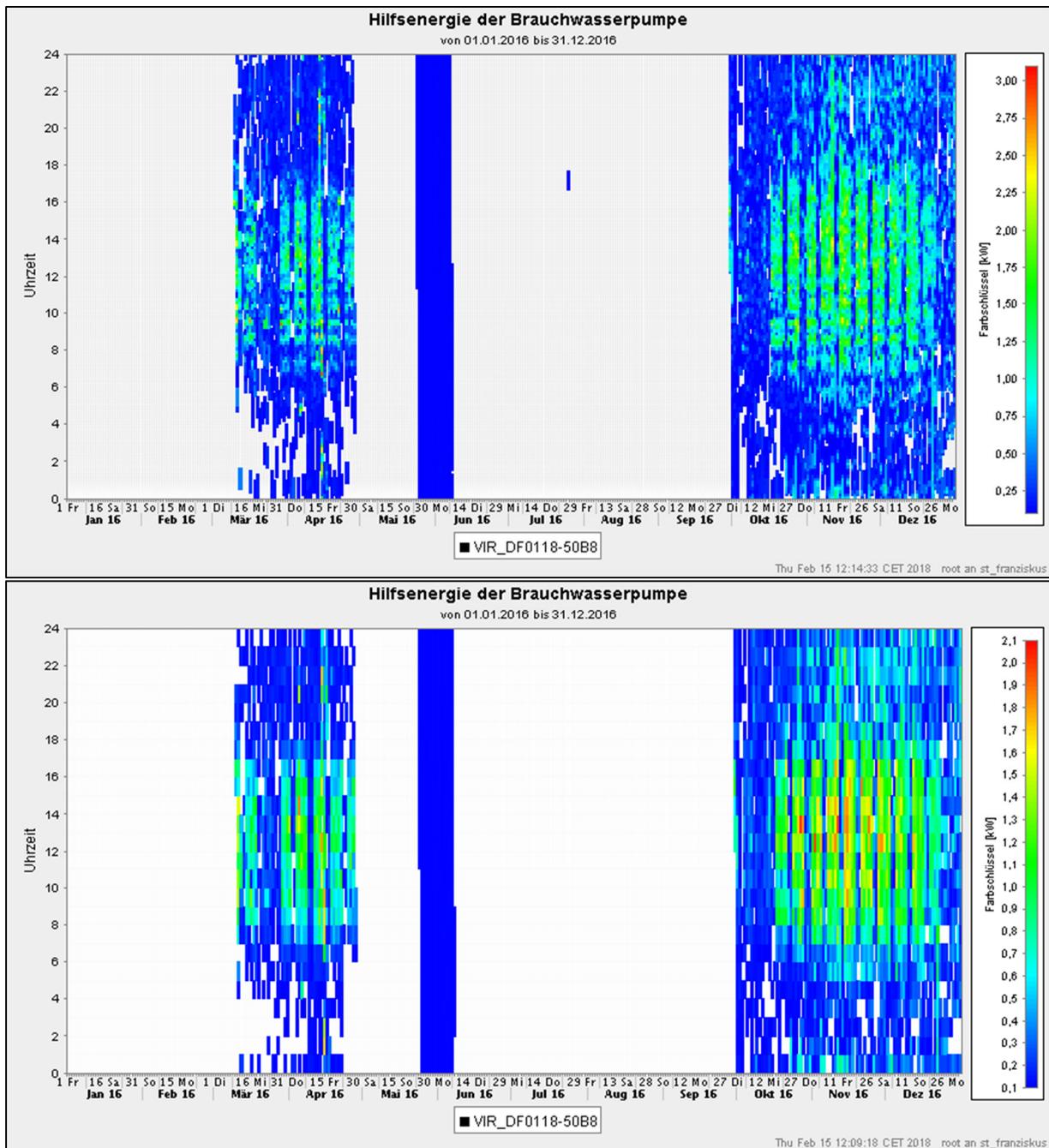


Abbildung 10-33: Carpetplot für die Brauchwasserpumpe 2016

Die Inbetriebnahme des Monitorings erfolgte im März 2016. Im April wurde die Anlage außer Betrieb genommen, da ein Schaden auftrat. Anfang Oktober war der Schaden behoben. Nach den Herbstferien sind ab Mitte Oktober durchgehend plausible Messwerte erkennbar.

Abbildung 10-34 zeigt die analoge Auswertung für 2017. Es sind keine nennenswerten Datenausfälle zu verzeichnen. Deutlich erkennbar sind die Schulferien Anfang Februar, Anfang April, im Sommer, Mitte Oktober und im Dezember.

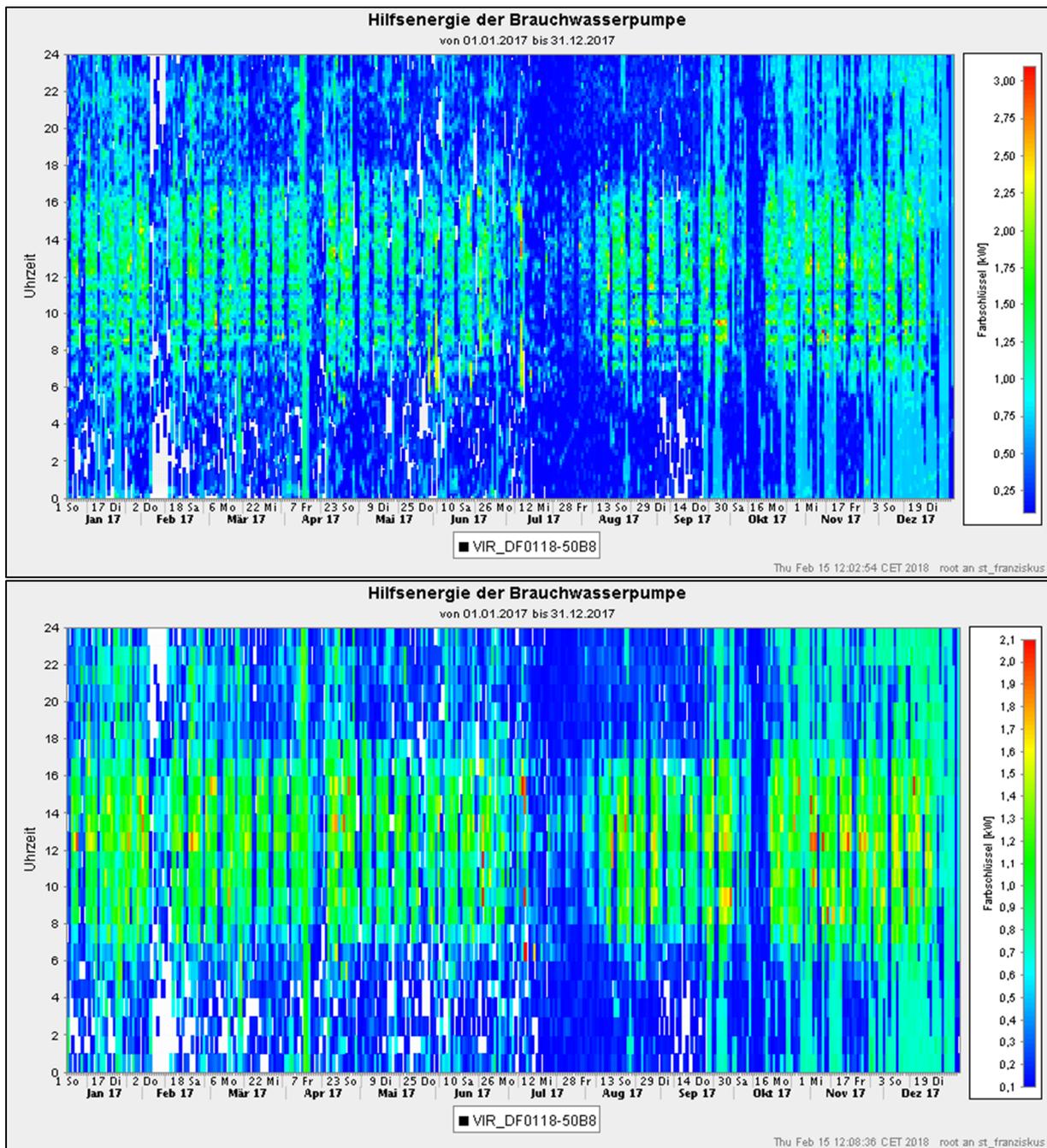


Abbildung 10-34: Carpetplot für die Brauchwasserpumpe 2017

Unklar ist, warum die mittlere Leistung in den Nebenzeiten von ca. 0,1 kW (dunkelblau) bzw. darunter (weiß) gegen Jahresende ansteigt. Im Dezember sind etwa 0,5 ... 0,7 kW nachts feststellbar.

Abbildung 10-35 zeigte die zeitliche Auswertung als mittlere Tagesleistungen für den gesamten Zeitraum 2016/2017. Die Werte ergeben sich aus der Addition der Stromstärken der drei gemessenen Phasen.

Ein Messfehler wurde korrigiert – siehe Erläuterungen im Abschlussbericht 10 (Stromanalyse). Die Vermutung eines Fehlers, z. B. aufgrund von Blindstromfluss, ergibt sich, da in der Phase des Anlagendefektes (Mai – Oktober 2016) permanent ca. 50 W erfasst werden, obwohl die Anlage ausgebaut war.

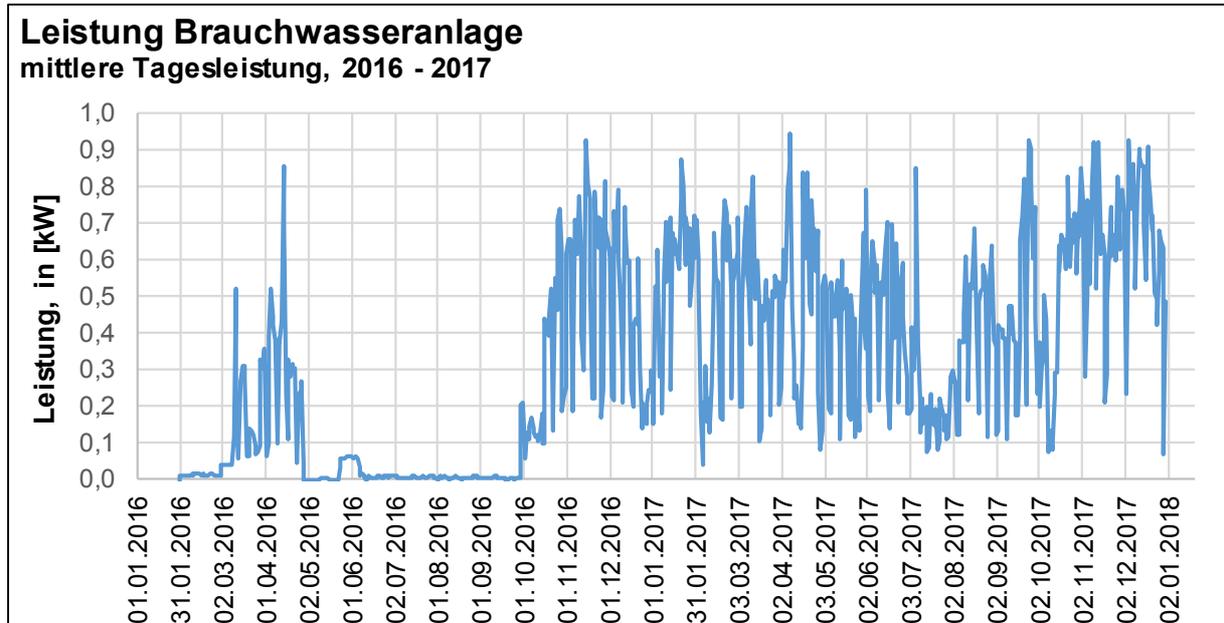


Abbildung 10-35: Mittlere Tagesleistung der Brauchwasserpumpe 2016/17

Abbildung 10-36 zeigt die Korrelation von Hilfsstrom zur Brauchwassermenge für die Monatswerte 2016 (erst nach Schadensreparatur) und 2017. Der Ausreißer nach unten ist der Wert für Juli 2017 (Ferien). Es zeigt sich, dass unabhängig von der Fördermenge etwa 278 kWh/mon (entspricht einer Dauerleistung von ca. 390 W) Hilfsenergie anfallen.

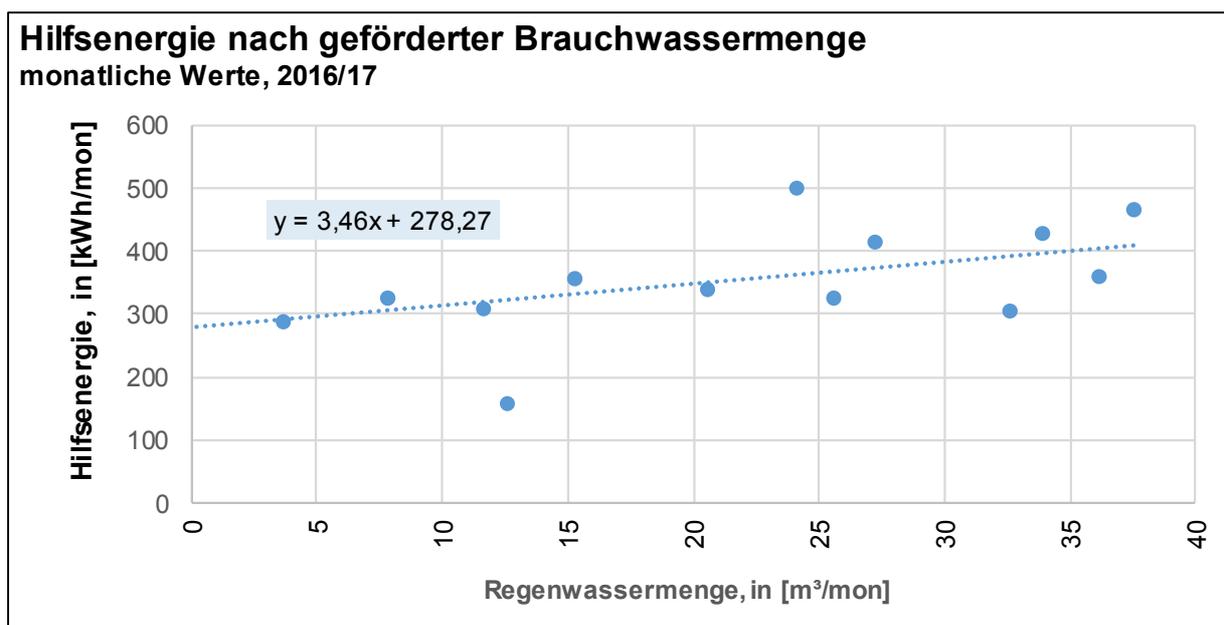


Abbildung 10-36: Monatsenergiemengen je nach Regenwassermenge 2016/17

10.4 Genauigkeit der Datenerfassung

Alle Wasserzähler wurden jeweils auch manuell abgelesen. Dies ermöglicht, am Ende des Jahres zu prüfen, ob die digitale Datenerfassung des Monitorings plausibel ist. Tabelle 10-3 zeigt den notwendigen Korrekturfaktor, der zwischen den digital erfassten Werten und den realen Ablesungen liegt.

Tabelle 10-3: Umrechnungsfaktoren von Monitoringdaten in reale Zählerdaten

Medium	Zähler	Umrechnungsfaktor
Hauptwasser	DF001A-50E0-0	1,007
Nachspeisung Brauchwasser	DF001A-50AC-0	1,014
Trinkwasser BTB Schule	DF001A-50A8-0	0,982
Trinkwasser BTB Hort	DF001A-50AA-0	0,953
Trinkwasser BTA Küche und WW Hausmeister	DF001A-61E0-0	0,994
Trinkwasser Küche Warm	DF001A-61E2-0	0,995
Trinkwasser Hausmeister Warm	DF001A-61E4-0	1,002
Brauchwasser Gesamt	DF001A-50A0-0	0,991
Brauchwasser BTA Gesamt	DF001A-50A2-0	0,983
Brauchwasser BTB EG	DF001A-50A4-0	0,990

Bei allen Zählern mit großem Durchsatz liegt der Übertragungsfehler bei unter 1 %. Je kleiner der erfasste Nutzungsbereich bzw. je geringer die Nutzungsintensität, desto höher die Wahrscheinlichkeit von Fehlern. Begründet werden kann dies mit der Auflösung aller Zähler auf 100 Liter (ein Impuls je 100 Liter).

Die Umrechnungsfaktoren wurden bei den Auswertungen dieses Berichtes berücksichtigt.

10.5 Probleme und Verbesserungsansätze

Ein Ausfall der Regenwasseranlage zwischen Mai und Oktober 2016 führte dazu, dass eine Nachspeisung des Brauchwasserbehälters mittels Trinkwasser in einer Menge von ca. 132 m³ erfolgen musste. Durch monatelange Wartezeiten bis zu einem Vor-Ort-Termin mit der verantwortlichen Fachfirma entstanden unnötig höhere laufende Kosten.



Abbildung 10-37: Regenwassernutzung vor und nach Filtereinbau

Es ist anzumerken, dass die Planungsunterlagen des Herstellers der Regenwassernutzung INTEWA einen zentralen Filter noch vor der Ansaugung des Wassers in der Zisterne vorsehen, damit beide Pumpen (Tauchpumpe in der Zisterne und Förderpumpe im Gebäude) keinen Schaden nehmen. Dieser Filter wurde bei der Erstinstallation nicht eingebaut. Auch die Tauchpumpe musste bereits im Juli 2015 erstmalig aufgrund eines Defektes getauscht werden. Der nachgerüstete Filter sitzt nun zwischen Zisterne und Förderpumpen im Gebäude, siehe Abbildung 10-37

Zusätzlich wurde in dem Zeitraum die Nachspeisung mit dem "Nachspeisezähler Heizung" realisiert, um die Pumpenaggregate zu umgehen.

Dies führte allerdings dazu, dass die genutzte Regenwassermenge für das Jahr 2016 von den Stadtwerken falsch berechnet wurde (diese ergibt sich aus der Differenzbildung der Zähler "Brauchwasser gesamt" und "Trinkwassernachspeisung für Brauchwasser"). Das wiederum hat zu erhöhten Abwasserkosten geführt. Der zusätzliche Schaden beträgt etwa 380 €.

11 Anhang

11.1 Literatur

- [1] M. Erl, „Bachelorarbeit „Überprüfung der Trink- und Brauchwasserplanung für eine Passivhausschule“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [2] X. Wang, „Masterarbeit "Ökobilanz für die technische Gebäudeausrüstung einer Passivhausschule",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.
- [3] L. Hoffmann, „Bachelorarbeit "Überprüfung der Trinkwasserplanung für die Sankt Franziskus Grundschule in Halle",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [4] Ingenieurbüro Naumann & Stahr, „Erläuterungsbericht HLS-Technik“, Leipzig, 2011.
- [5] H. Neumann und J. Wohlfahrt, „Bachelorarbeit "Ökologische Bewertung einer Passivhausschule mit Schwerpunkt technische Gebäudeausrüstung (TGA)",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [6] Geberit Vertriebs GmbH, „Trinkwasserinstallation. Leitfaden für die Dimensionierung und Ausführung von Trinkwasserinstallationen“, Geberit Vertriebs GmbH, Pfullendorf, 2015.
- [7] Intewa GmbH, *Planungs- und Produktunterlagen Rainmaster*, Aachen: Intewa GmbH, 2018.
- [8] N. Stottmeister, „Masterarbeit "Energetische und wirtschaftliche Bewertung regenerativer Einsparmaßnahmen für eine Grundschule in Passivhausbauweise“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.
- [9] S. Jäger und F. Switala, „Masterarbeit "Vergleich von Energiebedarfsbilanzen und Verbrauchsdaten für eine Passivhausschule“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [10] Lungwitz GmbH, *Planungsunterlagen und Pläne zur Küchentechnik*, Magdeburg: Lungwitz GmbH, 2014.
- [11] Deutscher Wetterdienst, „Klima Halle“, Deutscher Wetterdienst, [Online]. Available: [http://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Halle_\(Saale\)/Klima/](http://www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Halle_(Saale)/Klima/). [Zugriff am 15 Februar 2018].
- [12] Pettenkofer Grundschule Berlin, „Pettenkofer Grundschule Berlin: Regenwassernutzungsanlage“, [Online]. Available: <http://www.pettenkofer-grundschule.de/cms/index.php?page=regenwassernutzung>. [Zugriff am 15 04 2017].
- [13] F. Könnecke, „Bachelorarbeit "Simulation einer Solarthermieanlage für den Küchenbetrieb in einer Passivhausschule“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2014.
- [14] K. Gebhardt, „Masterarbeit "Qualitätssicherung für die Planung und Erstellung eines Monitoringkonzeptes für die St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2011.
- [15] R. Schulze, „Masterarbeit "Aufbereitung, Plausibilitätsprüfung und anschließende Auswertung von Messwerten des Monitorings mit Abgleich der geplanten Effizienzen, Bedarfswerte und Komfortkriterien“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [16] Theurich+Klose GmbH, *Planungsunterlagen und Pläne St. Franziskus Grundschule*, Hannover: Theurich+Klose GmbH, 2013.
- [17] Clage GmbH, *Planungs- und Produktunterlagen Durchlauferhitzer*, Lüneburg: Clage GmbH, 2016.
- [18] SET Solar Energie Technik GmbH, *Schaltschema Solaranlage St. Franziskus-Grundschule Halle*, Schmalzgrube, 2016.

11.2 Nomenklatur

Tabelle 11-1: Lateinische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
A	Fläche	m ²
A _{EB}	Energiebezugsfläche	m ²
V	Volumen	m ³
\dot{V}_R	Berechnungsvolumenstrom	l/s
\dot{V}_S	Spitzenvolumenstrom	l/s

Tabelle 11-2: Griechische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
$\Delta p_{\min,Fl}$	Mindestfließdruck einer Armatur	mbar
$\Delta p_{\min,V}$	Mindestversorgungsdruck am Hausanschluss	mbar

Tabelle 11-3: Abkürzungen

Kürzel	Erläuterung
AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen
BTA	Gebäudeteil A, Bauteil A, Ostflügel
BTB	Gebäudeteil B, Bauteil B, Westflügel
BW	Brauchwasser
DIN	Deutsches Institut für Normung; deutsche Norm
DLE	Durchlauferhitzer
DN	engl. Diameter Nominal, Nennweite (von Rohren etc.)
DVGW	Deutscher Verband des Gas- und Wasserfaches
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Erdgeschoss
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung (Jahr 2009)
EnOB	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen
EnSan	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen in der Sanierung
k. A.	keine Angabe
MwSt.	Mehrwertsteuer
OG	Obergeschoss
PE	Polyethylen
PE-HD	Polyethylen „high density“ (hohe Dichte)
PV	Photovoltaik
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TWK	Trinkkaltwasser
TWW	Trinkwarmwasser
TWZ	Trinkwasserzirkulation
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
WC	Wasserklosett
ZVSHK	Zentralverband Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik

11.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1-1: Konzept Wasser- und Regenwassernutzung.....	7
Abbildung 1-2: Isometrie der Trinkwasser-, Brauchwasser- und Abwassernetze.....	8
Abbildung 1-3: Hausanschlussraum 0.18 – Installationsphase und Endzustand	9
Abbildung 1-4: Trinkwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017	13
Abbildung 1-5: Brauchwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017	14
Abbildung 2-1: Konzept Wasser- und Regenwassernutzung.....	17
Abbildung 3-1: Grundriss Trinkwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)	20
Abbildung 3-2: Grundriss Trinkwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben).....	21
Abbildung 3-3: Grundriss Trinkwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben).....	22
Abbildung 3-4: Strangschema Trinkwassernetz – Gesamtschema	23
Abbildung 3-5: Strangschema Trinkwassernetz – Klassen- und WCs (BTB)	24
Abbildung 3-6: Strangschema Trinkwassernetz – Mitte und Hausanschlussraum (BTB)	24
Abbildung 3-7: Strangschema Trinkwassernetz – Ostflügel (BTA).....	25
Abbildung 3-8: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – EG	26
Abbildung 3-9: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – 1. OG.....	27
Abbildung 3-10: Isometrisches Schema Trink- und Regenwasser – 2. OG.....	28
Abbildung 3-11: Isometrisches Schema der Räume 0.18 und 0.33b.....	29
Abbildung 3-12: Armaturen der Kinder-WCs/Klassenräume und Behinderten-WC.....	31
Abbildung 3-13: Armaturen in Hort-, Lehrer- und Hausmeisterküchenspüle	31
Abbildung 3-14: Armaturen der Mitarbeiterdusche und -waschbecken	31
Abbildung 3-15: Armatur im Putzmittelraum und in der Hausmeisterwohnung	32
Abbildung 3-16: Armatur zur Bodendesinfektion in der Küche	32
Abbildung 3-17: Armaturen der Spülbecken in der Küche	32
Abbildung 3-18: Hauptwasserzähler in Raum 0.18.....	33
Abbildung 3-19: Unterzähler für Trinkwasser in Raum 0.18 und 0.33b	33
Abbildung 3-20: Dämmung Edelstahl mit alukaschierter Mineralwolle	34
Abbildung 3-21: Trinkwasserinstallation aus Edelstahl mit Messingarmaturen	34
Abbildung 3-22: Dämmung der Verbundrohr-Sticheleitungen mit PE-Isolierschlauch	35
Abbildung 3-23: Dämmung Trink- und Kaltwasserleitungen mit PE-Isolierschlauch	35
Abbildung 3-24: Spitzendurchfluss für verschiedene Nutzungen [6]	38
Abbildung 4-1: Grundriss Trinkwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)	40
Abbildung 4-2: Grundriss Trinkwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben).....	41
Abbildung 4-3: Grundriss Trinkwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben).....	42
Abbildung 4-4: Strangschema Brauchwassernetz – Gesamtschema	43
Abbildung 4-5: Strangschema Brauchwassernetz – Verwaltung und Hausmeister (BTA)	43
Abbildung 4-6: Strangschema Brauchwassernetz – Klassen und Hort (BTB).....	44
Abbildung 4-7: Prinzipschema Regenwassernutzung [7].....	45
Abbildung 4-8: Einstieg in die Zisterne	45
Abbildung 4-9: Zisternentauchpumpe und Typenschild	46
Abbildung 4-10: Überlauf- und Versickerungsbecken 2013	46
Abbildung 4-11: Überlauf- und Versickerungsbecken 2017	47
Abbildung 4-12: Hausanschlussraum 0.18 – Installationsphase und Endzustand	47
Abbildung 4-13: Zwischenbehälter – Außen- und Innenansicht.....	48
Abbildung 4-14: Technische Daten Zwischenspeicher [7]	48
Abbildung 4-15: Doppelpumpe sowie Display mit Regelungseinstellung	48
Abbildung 4-16: Technische Daten Doppelpumpe [7].....	49
Abbildung 4-17: Filteranlage und Einblick in die Frischwassernachspeisung.....	50
Abbildung 4-18: Umschaltventil [7].....	50
Abbildung 4-19: Unterzähler für Brauchwasser in Raum 0.18.....	51
Abbildung 4-20: Regenwassernetz aus Edelstahl mit alukaschierter Mineralwollendämmung	51
Abbildung 5-1: Grundriss Abwassernetz – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben).....	56
Abbildung 5-2: Grundriss Abwassernetz – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)	57
Abbildung 5-3: Grundriss Abwassernetz – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben)	58
Abbildung 5-4: Strangschema Abwassernetz – Gesamtschema	59
Abbildung 5-5: Strangschema Abwassernetz – Ostflügel (BTA).....	60
Abbildung 5-6: Strangschema Abwassernetz – Westflügel (BTB).....	61
Abbildung 5-7: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – EG	62
Abbildung 5-8: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – 1. OG	63
Abbildung 5-9: Isometrisches Schema Abwasser und Entlüftung – 2. OG	64
Abbildung 5-10: Waschbecken im Klassenraum und Kunstraum (Raum 2.14).....	66

Abbildung 5-11: Personal-WC im Hort (Raum 0.06) und Waschbecken im Büro (Raum 1.24).....	66
Abbildung 5-12: Kinder-Waschbecken sowie Jungen-Urinale	67
Abbildung 5-13: Behinderten-WC (Raum 0.28) sowie Mädchen-WC	67
Abbildung 5-14: Kindercafé im Hort (Raum 0.03)	67
Abbildung 5-15: Personaldusche (Raum 1.11) sowie Ausgussbecken (Raum 2.11)	68
Abbildung 5-16: Mobile und feste Küchenspülen	68
Abbildung 5-17: Abwasserleitungen im Solarspeicherraum (0.33b)	69
Abbildung 5-18: Abwasserleitungen im Hausanschlussraum (0.18).....	69
Abbildung 5-19: Anschluss des WC im EG (Raum 0.06).....	70
Abbildung 5-20: Lüftungsleitungen über Dach	70
Abbildung 5-21: Belüftungsventile im 2. OG	71
Abbildung 6-1: Technische Daten Durchlauferhitzer CBX	73
Abbildung 6-2: Durchlauferhitzer 11 kW mit Typenschild (Raum 1.11)	74
Abbildung 6-3: Technische Daten Kleinspeicher TKS5UG	74
Abbildung 6-4: Kleinspeicher 2 kW mit Typenschild (Raum 0.06)	74
Abbildung 6-5: Händetrockner O.ERRE mit Typenschild (Raum 0.15)	75
Abbildung 6-6: Technische Daten Händetrockner O.ERRE.....	75
Abbildung 6-7: Thermographie Kleinspeicher und Durchlauferhitzer	76
Abbildung 6-8: Thermographie Händetrockner	76
Abbildung 6-9: Technische Daten Durchlauferhitzer DEX	77
Abbildung 6-10: Durchlauferhitzer 21 kW.....	77
Abbildung 7-1: Strangschema Trinkwasser – Ausschnitt Hausmeisterwohnung.....	80
Abbildung 7-2: Strangschema Trinkwasser – Ausschnitt Küche.....	82
Abbildung 9-1: Zählerschemata für Trink- und Brauchwasser	91
Abbildung 9-2: Niederschlagsmengen 2015 bis 2017.....	92
Abbildung 9-3: Trinkwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017	93
Abbildung 9-4: Brauchwasserbilanz – Jahreswerte – 2015 bis 2017	94
Abbildung 9-5: Wasserbilanz – Hausmeisterwohnung – Jahreswerte – 2015 bis 2017	95
Abbildung 9-6: Wasserbilanz – Küche – Jahreswerte – 2015 bis 2017	96
Abbildung 9-7: Wasserbilanz – Schule, Verwaltung, Hortbetrieb– Jahreswerte – 2015 bis 2017	96
Abbildung 9-8: Strombilanz der Brauchwasseranlage– Monatswerte – 2017	97
Abbildung 10-1: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage	103
Abbildung 10-2: Gesamtwasser – Stundenwerte – Schultage.....	103
Abbildung 10-3: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage	104
Abbildung 10-4: Gesamtwasser – Stundenwerte – Horttage.....	104
Abbildung 10-5: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage.....	104
Abbildung 10-6: Gesamtwasser – Stundenwerte – Ferientage.....	105
Abbildung 10-7: Gesamtwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende	105
Abbildung 10-8: Gesamtwasser – Stundenwerte– Wochenende.....	105
Abbildung 10-9: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage	106
Abbildung 10-10: Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage	106
Abbildung 10-11: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage	107
Abbildung 10-12: Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage	107
Abbildung 10-13: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage	107
Abbildung 10-14: Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage.....	108
Abbildung 10-15: Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende	108
Abbildung 10-16: Brauchwasser – Stundenwerte– Wochenende.....	108
Abbildung 10-17: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage.....	109
Abbildung 10-18: Trinkwasser – Stundenwerte – Schultage	109
Abbildung 10-19: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage.....	110
Abbildung 10-20: Trinkwasser – Stundenwerte – Horttage.....	110
Abbildung 10-21: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage	110
Abbildung 10-22: Trinkwasser – Stundenwerte – Ferientage	111
Abbildung 10-23: Trinkwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende	111
Abbildung 10-24: Trinkwasser – Stundenwerte– Wochenende	111
Abbildung 10-25: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage.....	112
Abbildung 10-26: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage	112
Abbildung 10-27: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage	113
Abbildung 10-28: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage.....	113
Abbildung 10-29: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage.....	113
Abbildung 10-30: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage	114
Abbildung 10-31: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende.....	114

Abbildung 10-32: Zapfprofil Trink- und Brauchwasser – Stundenwerte– Wochenende	114
Abbildung 10-33: Carpetplot für die Brauchwasserpumpe 2016.....	115
Abbildung 10-34: Carpetplot für die Brauchwasserpumpe 2017.....	116
Abbildung 10-35: Mittlere Tagesleistung der Brauchwasserpumpe 2016/17.....	117
Abbildung 10-36: Monatsenergiemengen je nach Regenwassermenge 2016/17	117
Abbildung 10-37: Regenwassernutzung vor und nach Filtereinbau.....	118
Abbildung 11-1: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Schultage	126
Abbildung 11-2: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Schultage.....	126
Abbildung 11-3: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Horttage	127
Abbildung 11-4: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Horttage	127
Abbildung 11-5: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Ferientage.....	128
Abbildung 11-6: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Ferientage	128
Abbildung 11-7: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Wochenende	129
Abbildung 11-8: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte– Wochenende	129
Abbildung 11-9: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage	130
Abbildung 11-10: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage	130
Abbildung 11-11: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage.....	131
Abbildung 11-12: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage	131
Abbildung 11-13: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage	132
Abbildung 11-14: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage.....	132
Abbildung 11-15: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende	133
Abbildung 11-16: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte– Wochenende	133
Tabelle 3-1: Zusammenstellung der Trinkwasserarmaturen [5].....	30
Tabelle 3-2: Randdaten der Trinkwasserberechnung [1]	36
Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Brauchwasserarmaturen	52
Tabelle 5-1: Zusammenstellung der Sanitärkeramik und Geräteausstattung [5].....	65
Tabelle 7-1: Maßnahmen bei Betriebsunterbrechung [3].....	84
Tabelle 8-1: Belegung Hort.....	85
Tabelle 8-2: Verbrauchsermittlung durch Spülversuche	87
Tabelle 8-3: Gerätebezogener Trinkwarmwasser pro Tag [9].....	88
Tabelle 8-4: Gesamtbedarf Trinkkaltwasser pro Tag [9]	89
Tabelle 8-5: Gesamtbedarf Küche pro Jahr [9]	89
Tabelle 9-1: Messpunkte bezüglich Wasser (Mengen)	91
Tabelle 10-1: Trinkwasserbilanz – Monatswerte – 2016 und 2017	101
Tabelle 10-2: Brauchwasserbilanz – Monatswerte – 2016 und 2017	102
Tabelle 10-3: Umrechnungsfaktoren von Monitoringdaten in reale Zählerdaten	118
Tabelle 11-1: Lateinische Formelzeichen.....	122
Tabelle 11-2: Griechische Formelzeichen.....	122
Tabelle 11-3: Abkürzungen	122
Tabelle 11-4: Planer, Ausführende Projektbeteiligte.....	134

11.4 Detailauswertungen

11.4.1 Trinkwasser incl. Brauchwassernachspeisung für die WC-Anlagen

Schultage

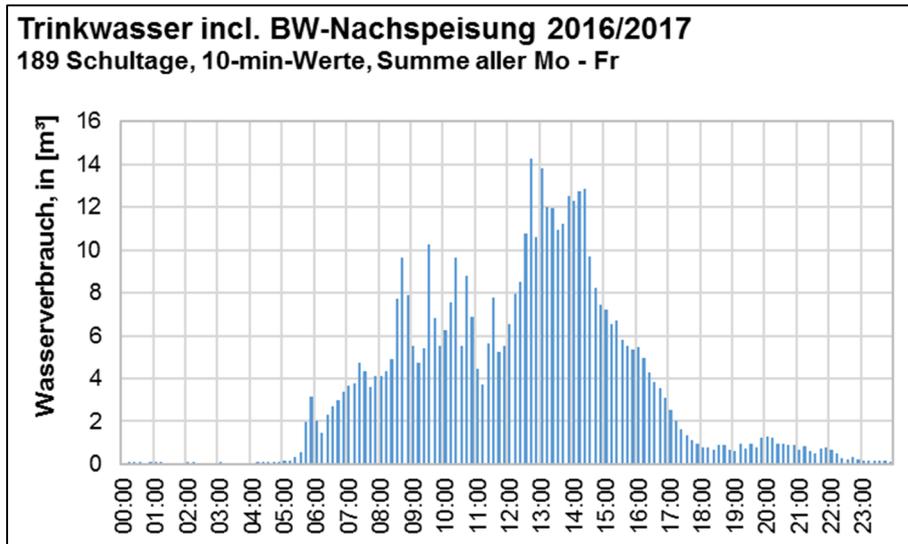


Abbildung 11-1: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Schultage

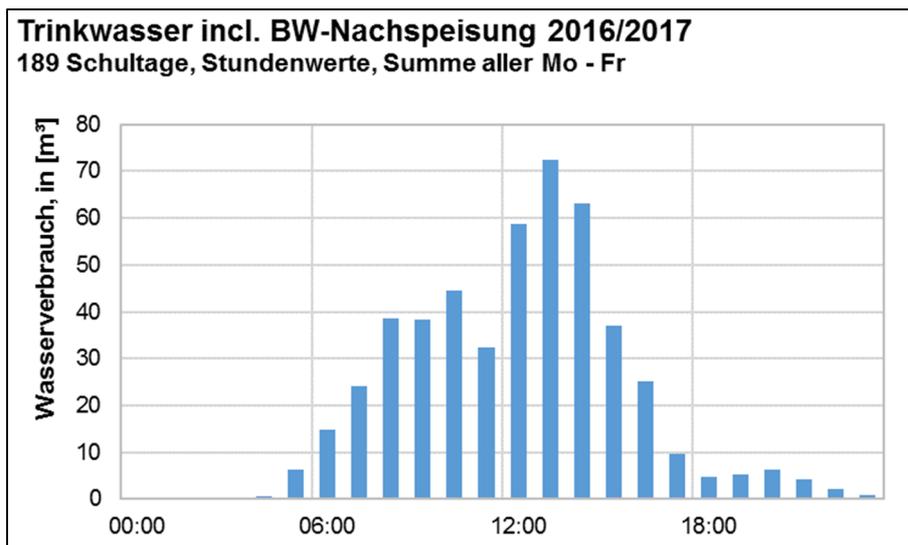


Abbildung 11-2: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Schultage

Horttage

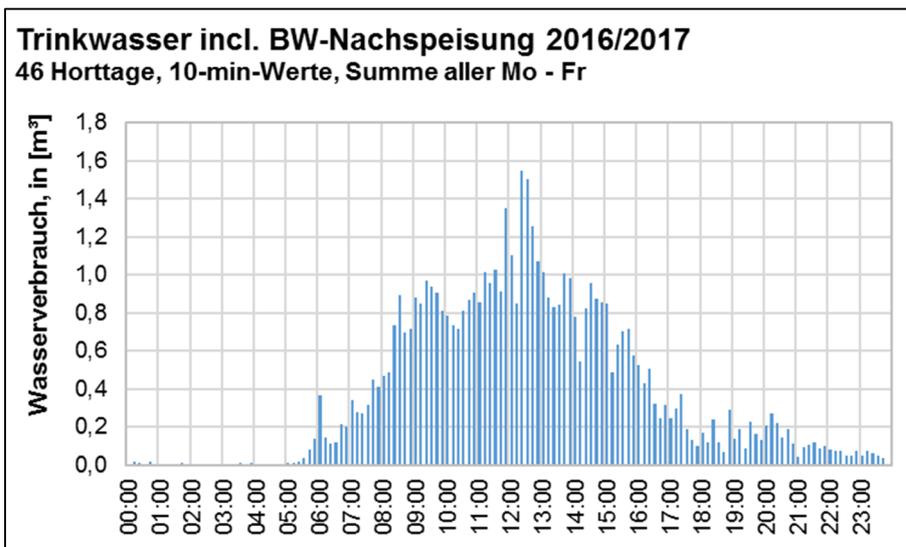


Abbildung 11-3: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Horttage

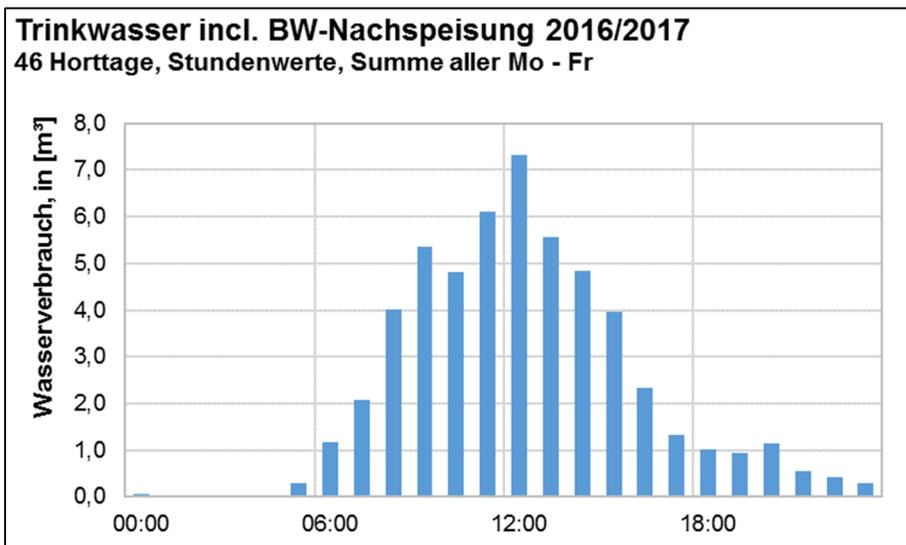


Abbildung 11-4: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

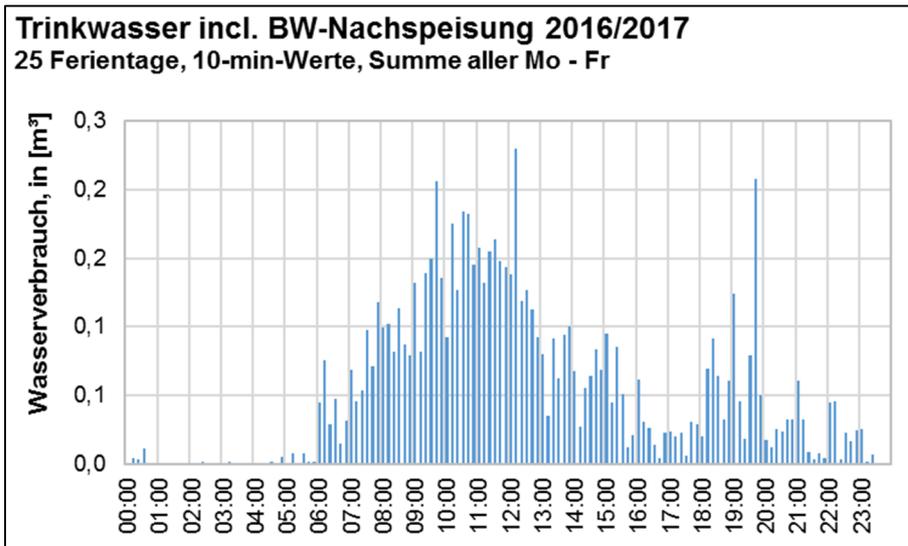


Abbildung 11-5: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Ferientage

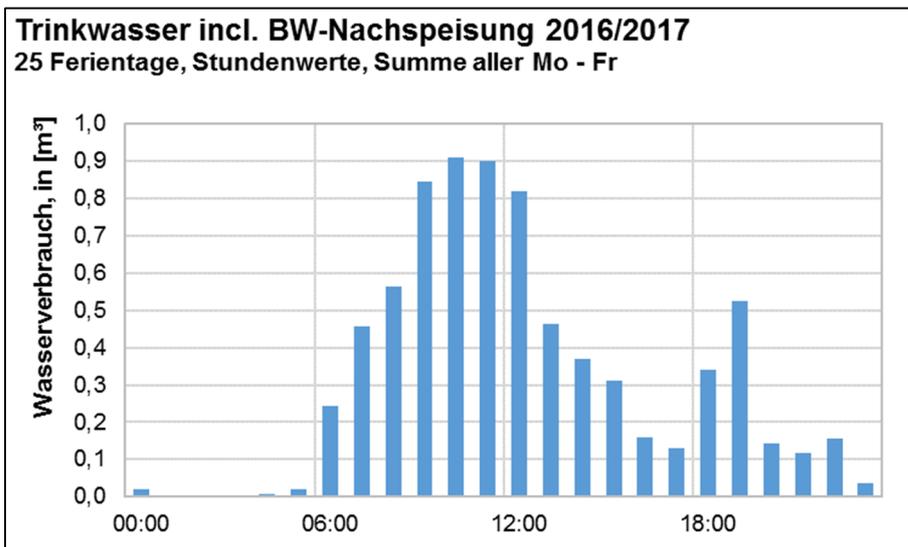


Abbildung 11-6: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

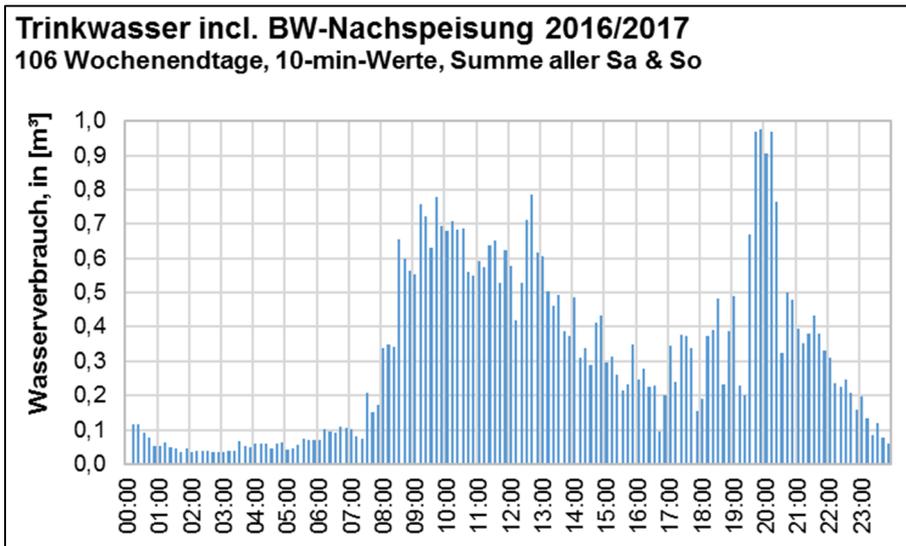


Abbildung 11-7: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – 10-Minuten-Werte – Wochenende

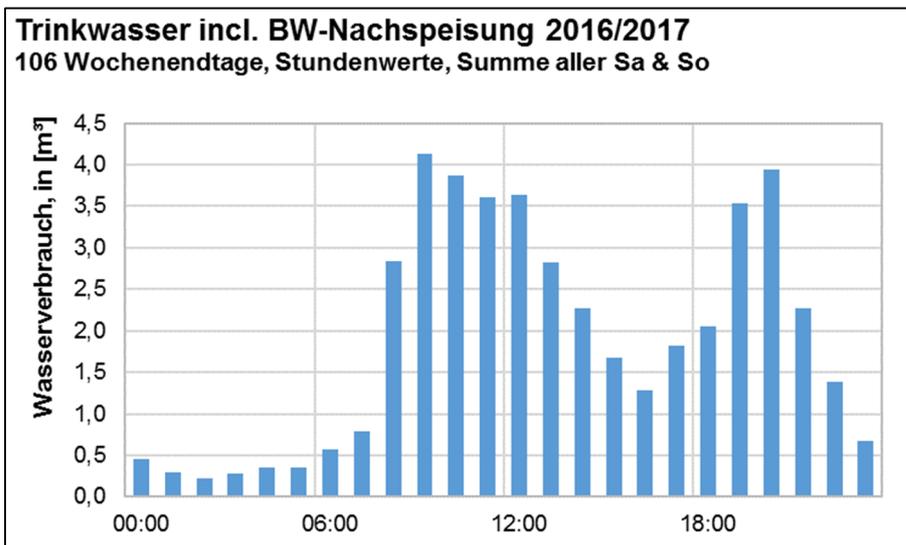


Abbildung 11-8: Trinkwasser incl. Brauchwasser ohne Küche – Stundenwerte – Wochenende

11.4.2 Trinkwasser ohne Brauchwassernachspeisung und ohne Küche Schultage

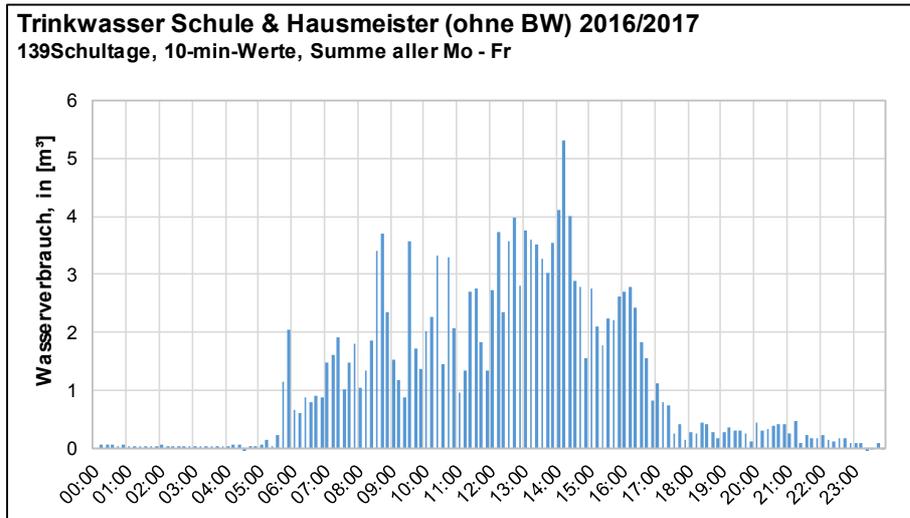


Abbildung 11-9: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Schultage

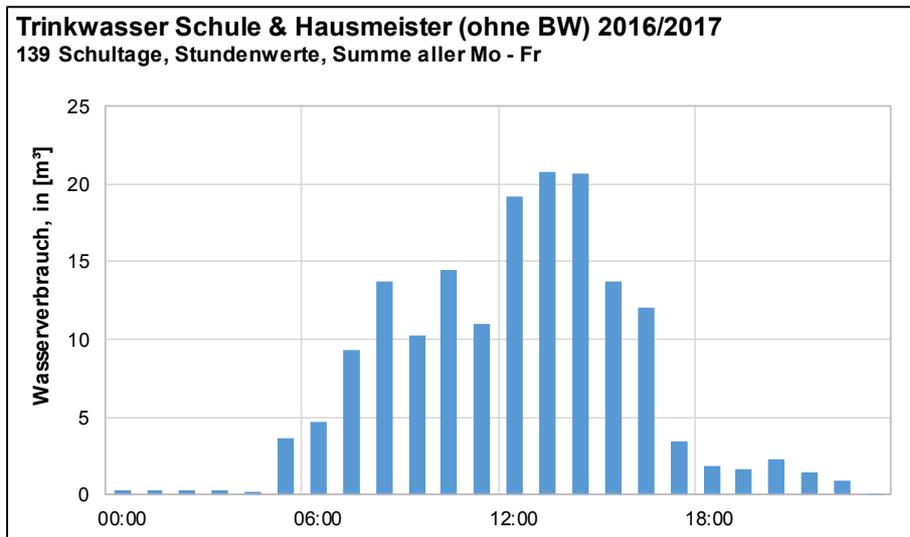


Abbildung 11-10: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Schultage

Horttage

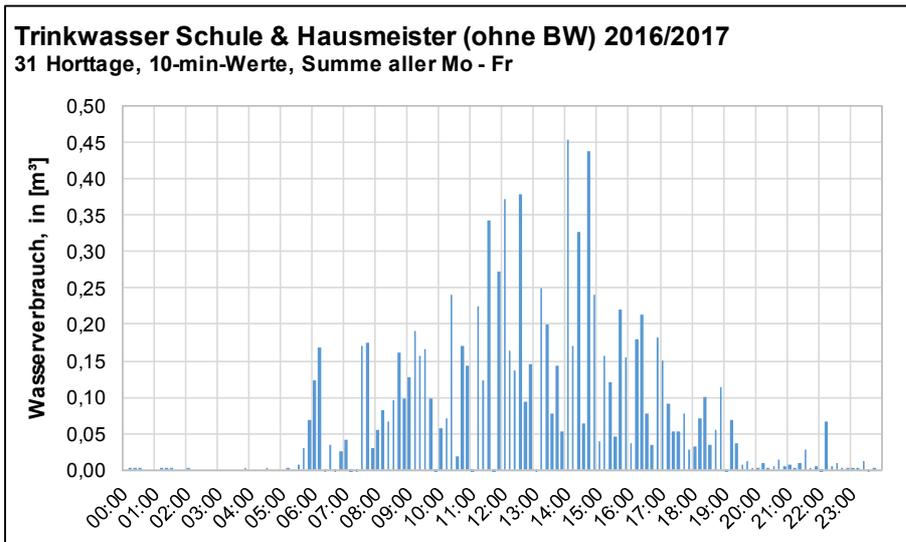


Abbildung 11-11: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Horttage

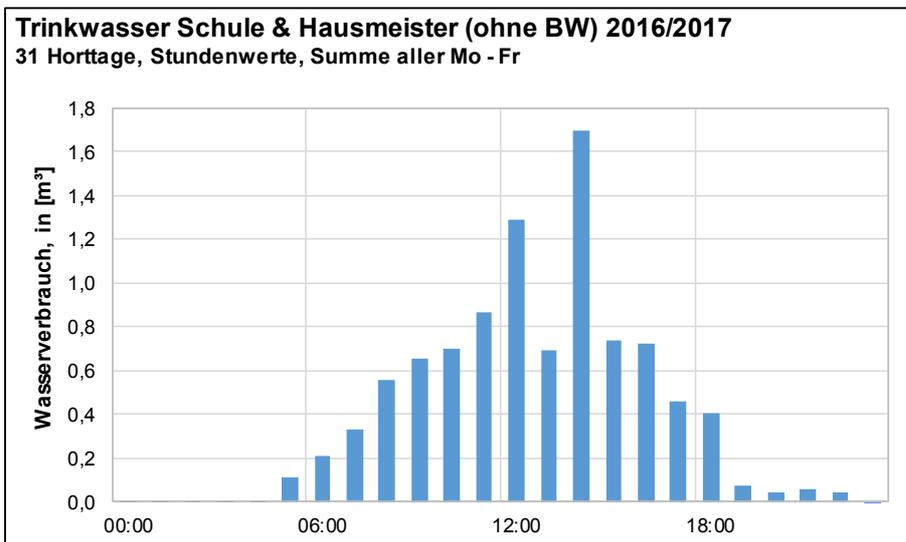


Abbildung 11-12: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

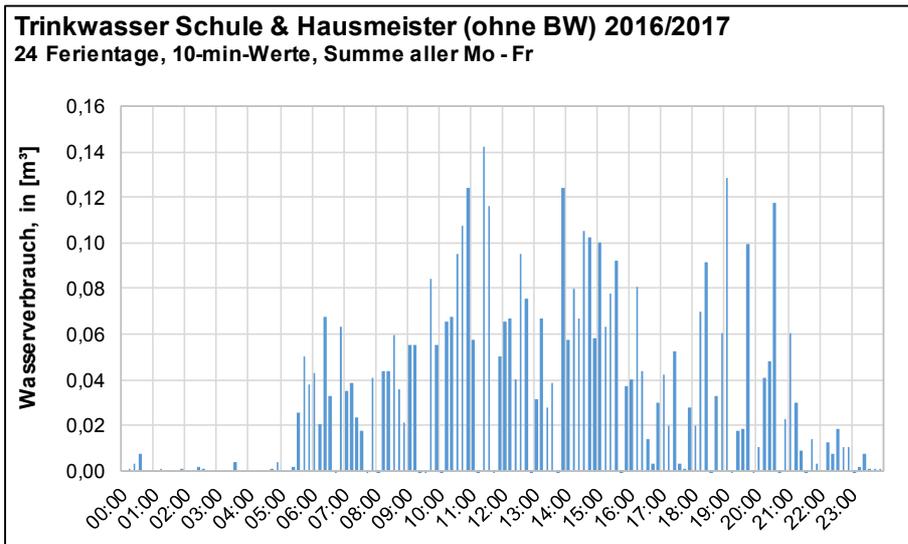


Abbildung 11-13: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Ferientage

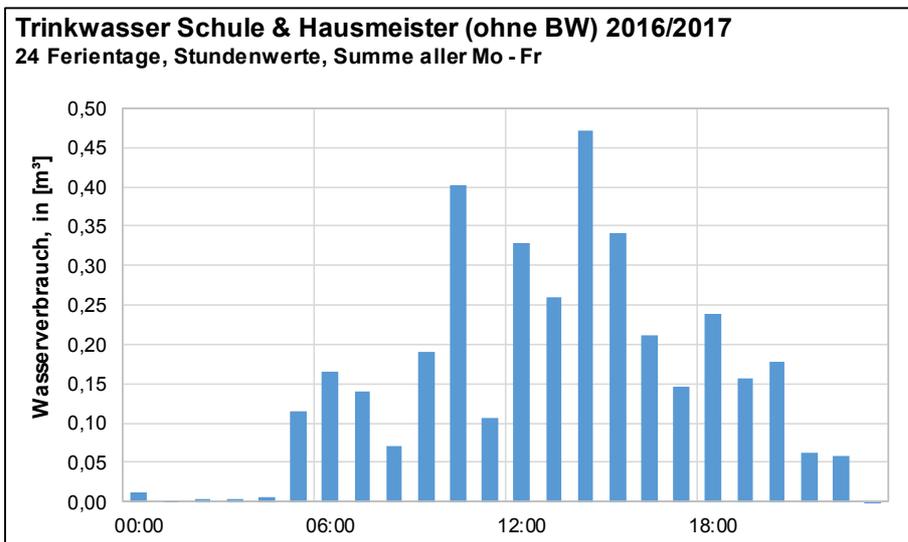


Abbildung 11-14: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

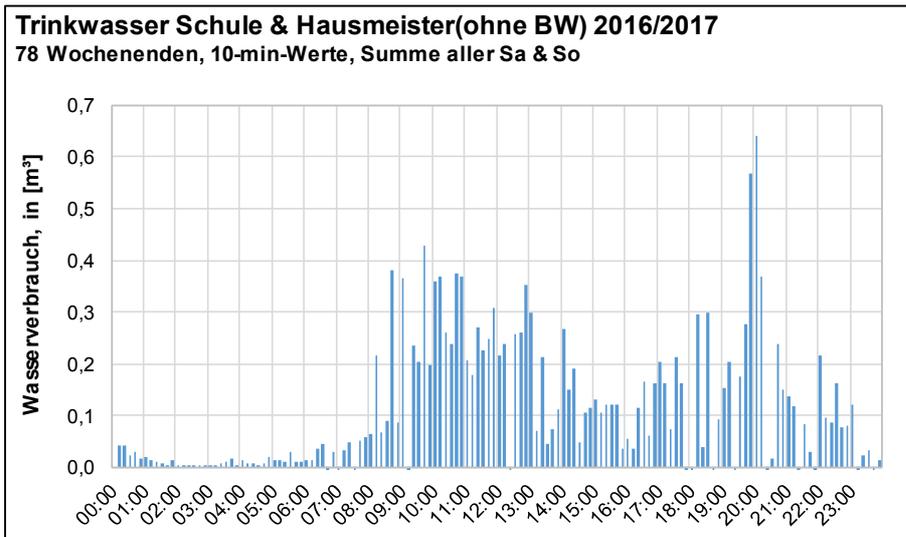


Abbildung 11-15: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – 10-Minuten-Werte – Wochenende

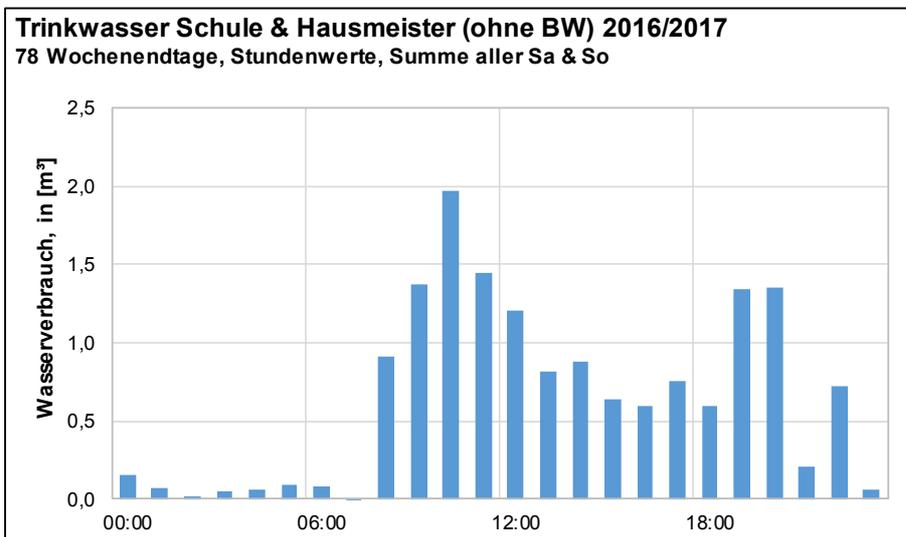


Abbildung 11-16: Trinkwasser ohne Küche/Brauchwasser – Stundenwerte– Wochenende

11.5 Planer, Ausführende, Projektbeteiligte

Tabelle 11-4: Planer, Ausführende Projektbeteiligte

Kurz	ausführliche Angabe	Gewerk/Verantwortlichkeit
APW	APW Heizung und Sanitärbaubau GmbH Herr Petersohn Hauptstraße 9 04288 Leipzig	TGA, Ausführung
GEDES	Gedes e.V. Herr Döring Promenadenring 8 02708 Löbau	Messtechnik, Ausführung
HOLLENBACH	Sachverständigenbüro Herr Hollenbach Karlstraße 14 39261 Zerbst	Projektsteuerer
LUNGWITZ	Lungwitz GmbH Herr Lungwitz Matthiasstr. 23 39122 Magdeburg	Küchenplanung
N&S	Ing.-Büro Naumann u. Stahr GbR Herr Naumann, Herr Reichel, Herr Stahr Sommerfelder Straße 11 04299 Leipzig	TGA, Planung (zu Beginn)
SETSOLAR	SET Solar Energie Technik GmbH Herr Dietel Hauptstraße 29 09477 Schmalzgrube	Solarthermie, Hersteller und Ausführung
TUK	Theurich+Klose Ingenieurgesellschaft mbH Herr Gierlich, Herr Adolf, Herr v. Goldammer Vahrenwalder Str. 117 30165 Hannover	TGA, Planung (zum Schluss)

11.6 Überblick über separate Anhänge

Als separate Anhänge liegen vor:

- A Pläne und Strangschemen
- B Detailpläne Anschlussräume
- C Technische Daten Regenwassernutzung
- D Technische Daten Durchlauferhitzer und Kleinspeicher
- E Technische Daten Handtrockner
- F Technische Daten Rohre und Rohrdämmung
- G Technische Daten Armaturen
- H Technische Daten Sanitärausstattung
- I Planung Trink-, Brauch- und Abwasser mit MH