

Wasserbilanz Tübingen 2035 Bedarf und Sicherstellung der Wasserversorgung

Auftraggeber: Stadtwerke Tübingen
Eisenhutstraße 6
72072 Tübingen

Auftragsdatum: 07.07.2017

Auftragsnummer: A661

Berichtsnummer: A661-1

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Bernhard Keim
Dipl.-Geogr. Stefanie Müller

Stuttgart, 20.09.2017



Bernhard Keim

INHALT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
TABELLENVERZEICHNIS	IV
1 Fragestellung, Ziele und Vorgehen.....	1
2 Wichtige Begriffe und Abkürzungen	2
2.1 Begriffsdefinitionen.....	2
2.2 Abkürzungen und Einheiten	4
3 Wasserbedarfsprognose 2035	5
3.1 Darstellung und Analyse der Wasserabgabe in den vergangenen Jahren und Ermittlung des aktuellen Bedarfs	5
3.1.1 Vorgehensweise	5
3.1.2 Zeitliche Entwicklung der Wasserabgabe.....	6
3.1.3 Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs.....	10
3.1.4 Auswertungen zu Verbrauchergruppen mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug	14
3.1.5 Zusammensetzung der Wasserverluste	23
3.1.6 Zusammensetzung der derzeitigen Wasserabgabe als Übersicht.....	24
3.1.7 Spitzenbedarfstage.....	26
3.2 Prognose des künftigen Bedarfs.....	28
3.2.1 Vorgehensweise	28
3.2.2 Prognose des Wasserbedarfs für die Haushalte	28
3.2.3 Prognose des Wasserbedarfs für Verbrauchergruppen mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug.....	30
3.2.4 Prognose der künftigen Wasserverluste.....	35
3.2.5 Prognose der künftigen Wasserabgabe als Übersicht.....	35
3.2.6 Prognose des Bedarfs an Spitzentagen	37
4 Versorgungssituation und Deckung des Bedarfs	39
4.1 Wasseraufkommen und Versorgungsgebiet.....	39
4.2 Wasserrechte für Eigenwasser und Bezugsrechte	42
4.3 Ergiebigkeit der Wassergewinnungsanlagen.....	44
4.4 Wasserförderung und -verteilung	49
4.5 Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte im Normalbetrieb und bei Störungen.....	50
4.6 Versorgungssicherheit der Versorgungszone „Kernstadt u.a.“	55
5 Empfehlungen und Schlussbemerkung	58
LITERATURVERZEICHNIS.....	59

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Eigenwasser und Wasserbezug von 2003 bis 2016 (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH).....	7
Abbildung 3-2: Tübinger Wasserabgabe sowie Wasserabgabe an Letztverbraucher von 2003 bis 2016 (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH).....	8
Abbildung 3-3: Wasserabgabe an Letztverbraucher 2009 bis 2016, aufgeteilt nach Haushalte und Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH).....	10
Abbildung 3-4: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Tübingen zwischen 1961 und 2015 (Datenquelle: STALA Download 2).....	11
Abbildung 3-5: Entwicklung der privaten Wohnhaushalte sowie der Anzahl der Personen pro Haushalt in der Stadt Tübingen zwischen 1961 und 2015 (Datenquelle: STALA Download 3).....	12
Abbildung 3-6: Entwicklung der Wasserabgabe für die Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT).....	15
Abbildung 3-7: Entwicklung der Wasserabgabe für die Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT).....	16
Abbildung 3-8: Entwicklung der Wasserabgabe an die beiden Tübinger Hallenbäder von 2003 bis 2016 (Datenquelle: SWT).....	17
Abbildung 3-9: Entwicklung der Wasserabgabe für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT).....	18
Abbildung 3-10: Entwicklung der Wasserabgabe an sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT).....	19
Abbildung 3-11: Entwicklung der Anzahl der Fremdenverkehrsbetriebe in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2016 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7) ...	20
Abbildung 3-12: Entwicklung der Bettenanzahl in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2015 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7).....	21
Abbildung 3-13: Entwicklung der Gästeankünfte und der Anzahl an Übernachtungen in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2016	

(Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7)	22
Abbildung 3-14: Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Verbrauchergruppen bezogen auf die gesamte Abgabe (inkl. Verluste) für ein durchschnittliches Jahr	24
Abbildung 4-1: Tübinger Trinkwasserversorgungszonen (Datenquelle: SWT- Homepage)	39
Abbildung 4-2: Absenkungsverhalten des Horizontalfilterbrunnen Unteres Neckartal (Datenquelle: SWT, GLA 1984).....	45
Abbildung 4-3: Absenkungsverhalten des Vertikalfilterbrunnen Unteres Neckartal (Datenquelle: SWT, GLA 1984).....	46
Abbildung 4-4: Absenkungsverhalten des Brunnen Gehrfeld (Datenquelle: SWT, Preussag AG 1971).....	48

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1:	Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser für die Stadt Tübingen, den Landkreis Tübingen und Baden-Württemberg (Datenquellen: STALA Download 1, 4, 5).....	13
Tabelle 3-2:	Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser in Tübingen zwischen 2009 und 2015 (Datenquellen: Wasserabgabe „Haushalte“ bzw. Gesamte Wasserabgabe der SWT an Letztverbraucher abzüglich Abgabe an Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug, Bevölkerungszahlen nach STALA Download 2).....	14
Tabelle 3-3:	Errechneter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) aus unterschiedlichen Verbrauchergruppen für durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre.....	25
Tabelle 3-4:	Durchschnittliche und höchste Tagesabgabe aus dem Mischbehälter Sand für die Jahre 2010 bis 2016	27
Tabelle 3-5:	Prognose des Wasserbedarfs der Haushalte für das Jahr 2035	30
Tabelle 3-6:	Prognose des Wasserbedarfs für Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung.....	31
Tabelle 3-7:	Prognose des Wasserbedarfs für Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen.....	31
Tabelle 3-8:	Prognose des künftigen Wasserbedarfs der Hallenbäder	32
Tabelle 3-9:	Prognose des Wasserbedarfs für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung	33
Tabelle 3-10:	Prognose des Wasserbedarfs für sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) und Gewerbeflächenentwicklung	34
Tabelle 3-11:	Prognose des Wasserbedarfs für den Fremdenverkehr.....	35
Tabelle 3-12:	Bis zum Jahr 2035 prognostizierter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) differenziert nach Verbrauchergruppen für durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre	36
Tabelle 3-13:	Bis zum Jahr 2035 prognostizierter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) differenziert nach Szenarien für die Bevölkerungsentwicklung.....	37
Tabelle 3-14:	Bedarf an Spitzentagen im Jahr 2035 (bzw. Abgabe durch die SWT) differenziert nach Szenarien für die	

	Bevölkerungsentwicklung unter Verwendung eines abgabegewichteten Spitzenfaktors von 1,53.....	38
Tabelle 4-1:	Tübinger Trinkwasserversorgungszonen mit Wasserherkunft und Anteil an der Gesamtbevölkerung (Datenquelle: SWT-Homepage)	40
Tabelle 4-2:	Tübinger Bevölkerung aufgeteilt nach Stadtteilen 2015 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016)	40
Tabelle 4-3:	Tübinger Bevölkerung aufgeteilt nach dem Stadtteil Lustnau 2015 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016)	41
Tabelle 4-4:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den aktuellen Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr, Jahresdurchschnitt: 5,25 Mio. m ³ /a	51
Tabelle 4-5:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 5,595 Mio. m ³ /a	52
Tabelle 4-6:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 6,04 Mio. m ³ /a	52
Tabelle 4-7:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den aktuellen Wasserbedarf, Spitzentag: 19.114 m ³ /d	53
Tabelle 4-8:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 21.850 m ³ /d	53
Tabelle 4-9:	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 23.615 m ³ /d	54
Tabelle 4-10:	Ausfall-Versorgungsgrad bei Ausfall der BWV für die Versorgungszone „Kernstadt u.a.“ mit und ohne Aubrunnen für verschiedene Szenarien.....	57

1 Fragestellung, Ziele und Vorgehen

Eine sichere Trinkwasserversorgung zählt zu den wichtigsten Aufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge. In der Universitätsstadt Tübingen übernehmen die Stadtwerke Tübingen (SWT) diese Aufgabe. Die SWT nutzen für die Trinkwasserversorgung folgende Wasseraufkommen (bzw. -ressourcen):

- Eigenwasser: Grundwasser aus mehreren in den Neckarkiesen ausgebauten Brunnen.
- Wasserbezug: Wässer der Zweckverbände Bodenseewasserversorgung (BWV) und Ammertal-Schönbuchgrupe (ASG).

Dadurch sind die SWT im Hinblick auf die gebotene Versorgungssicherheit grundsätzlich sehr gut aufgestellt, da sie über unabhängige „Standbeine“ verfügen. Es stehen sowohl räumlich getrennte Gewinnungsgebiete für das Eigenwasser als auch der Verbund mit weiteren Versorgungsunternehmen zur Verfügung.

Als Grundlage für künftige Planungen und Entscheidungen ist die Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH seitens der SWT mit der Ausarbeitung einer Wasserbilanzstudie beauftragt.

Der Abgleich des künftigen Bedarfs mit dem zur Verfügung stehenden Wasseraufkommen im Sinne einer Bilanz ist die zentrale Fragestellung dieser Studie. Es soll deutlich gemacht werden, ob Reserven vorhanden oder Engpässe für die SWT zu erkennen sind, damit die SWT in die Lage versetzt werden, eine langfristige Versorgungsstrategie zu entwickeln.

Als Grundlage hierzu werden im Rahmen dieser Studie die aktuelle Versorgungssituation beschrieben und der künftige Bedarf prognostiziert. Es wird aufgezeigt, wie der Trinkwasserbedarf sichergestellt wird. Die hierfür gewählte Vorgehensweise orientiert sich am Regelwerk des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Technisch-Wissenschaftlicher Verein). Maßgeblich ist die Technische Regel „Arbeitsblatt W 410: Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen“ aus Dezember 2008 (DVGW, 2008).

Aktuell wird die künftige Rolle des Aubrunnens für die Tübinger Wasserversorgung intensiv diskutiert. Als Grundlage für die anstehenden Entscheidungen wird hierzu die Bedeutung des Aubrunnens aufgezeigt.

Diese Studie kommt nicht ohne die Verwendung von technisch geprägten Begrifflichkeiten aus. Um daraus resultierende Irritationen zu vermeiden, werden die wichtigsten Begriffe in einem einleitenden Kapitel erklärt.

2 Wichtige Begriffe und Abkürzungen

2.1 Begriffsdefinitionen

Für die vorliegende Studie werden die nachfolgend beschriebenen Definitionen verwendet. Diese Definitionen orientieren sich an den Begriffsbestimmungen in Mutschmann / Stimmelmayer (2014). Zusätzlich werden die Besonderheiten erläutert, die sich aus der örtlichen Situation in Tübingen ergeben.

Wasseraufkommen: das Wasseraufkommen eines Wasserversorgungsgebietes kann sich aus der Gewinnung von Eigenwasser und dem Bezug von anderen Wasserversorgungsunternehmen zusammensetzen. Im Fall der Stadtwerke Tübingen wird Eigenwasser mit mehreren Brunnen aus den Kiesen des Neckartals gewonnen. Das Tübinger Eigenwasser ist folglich Grundwasser. Ferner beziehen die Stadtwerke Tübingen Wasser von der Bodenseewasserversorgung (BWV) und der Ammertal-Schönbuchgruppe (ASG). Die BWV gewinnt Wasser aus dem Bodensee; die ASG gewinnt Grundwasser an verschiedenen Standorten des Neckar- und Ammertals und bezieht ihrerseits zusätzlich Wasser von der BWV.

Wasserbedarf: beim Wasserbedarf handelt es sich um einen Planungs- oder Prognosewert. Er beschreibt meist die voraussichtlich benötigte Wassermenge, die von einem Wasserversorgungsunternehmen künftig geliefert werden muss. Die örtlichen Verhältnisse und denkbaren künftige Einflüsse sind zu berücksichtigen. Üblicherweise wird eine Wasserbedarfsprognose mit einem Zeithorizont versehen.

Wasserabgabe: bei der Wasserabgabe handelt es sich um die Wassermenge, die ein Versorgungsunternehmen in das Rohrnetz einspeist.

Wasserabgabe an Letztverbraucher (abweichend von den Definitionen in Mutschmann / Stimmelmayer (2014) ist auch der Begriff „**Wasserverbrauch**“ durchaus üblich): Die Wasserabgabe an Letztverbraucher setzt sich allgemein aus der Abgabe an Haushalte einschließlich Kleingewerbe, an gewerbliche Unternehmen (produzierendes Gewerbe, Handel, ...) und an sonstige öffentliche Einrichtungen (Krankenhäuser, Schulen, ...) zusammen. Diese Studie differenziert unter Berücksichtigung der Tübinger Verhältnisse nach „Haushalten“ und „Verbrauchern mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“. Zu den Verbrauchern mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug zählen insbesondere die Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung, die Forschungseinrichtungen inkl.

Technologieunternehmen, die Hallenbäder, städtische Verbraucher und die öffentliche Verwaltung, sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe sowie der Fremdenverkehr. Haushalte, das Kleingewerbe und Großverbraucher mit Wohnbezug werden den „Haushalten“ zugeordnet.

Wasserverlust (inkl. nicht erfasster und somit nicht in Rechnung gestellter Abgaben): als Wasserverlust wird die Differenz zwischen der Wasserabgabe (ins Rohrnetz eingespeiste Wassermenge) und der Wasserabgabe an Letztverbraucher bezeichnet. Der Wasserverlust in der Statistik der SWT setzt sich zusammen aus:

- „echten“ Verlusten, die z.B. durch Rohrbrüche oder Undichtigkeiten im Rohrnetz entstehen
- „unechten“ Verlusten, die z.B. aus Zählerabweichungen und Schleichverlusten entstehen
- nicht erfassten und somit nicht in Rechnung gestellten Abgaben (hauptsächlich Reinigungen von Wasserbehältern und Leitungsspülungen sowie untergeordnet Feuerwehrrübungen)

Täglicher Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser: Gängige Größe für die Darstellung des Wasserverbrauchs insbesondere als Vergleichsgröße. Die Berechnung erfolgt aus der Wasserabgabe an Letztverbraucher in Liter pro Tag und durch Berücksichtigung der Einwohnerzahl. Eine entsprechende Größe wird auch in DVGW (2008) verwendet. Dort lautet die Bezeichnung durchschnittlicher Tagesverbrauch je Einwohner.

2.2 Abkürzungen und Einheiten

Allgemeine Abkürzungen

ASG	Zweckverband Ammertal-Schönbuch-Gruppe
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BWV	Zweckverband Bodenseewasserversorgung
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
SWT	Stadtwerke Tübingen GmbH
STALA	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Einheiten

a	Jahr
d	Tag
E	Einwohner/in
h	Stunde
ha	Hektar
km	Kilometer bzw. 1000 m
l	Liter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mio.	Million bzw. 10 ⁶
s	Sekunde

3 Wasserbedarfsprognose 2035

Die Wasserbedarfsprognose unterteilt sich in die:

- Darstellung und Analyse des aktuellen Bedarfs und die
- Prognose des künftigen Bedarfs

3.1 *Darstellung und Analyse der Wasserabgabe in den vergangenen Jahren und Ermittlung des aktuellen Bedarfs*

3.1.1 *Vorgehensweise*

Als Basis für die Prognose des künftigen Wasserbedarfs wird der aktuelle Wasserbedarf vorgestellt. Hierzu dienen bereits erhobene Statistiken und Aufzeichnungen mit entsprechenden Auswertungen und Visualisierungen. Diese Betrachtung beinhaltet zunächst durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre.

Grundsätzlich wird bei der Ermittlung des Wasserbedarfs nach Verbrauchergruppen unterschieden. Für die vorliegende Studie wird in diesem Kontext eine Zweiteilung vorgenommen in Verbraucher mit hoher Jahresabgabe, deren Bedarf in keinem Bezug zu Haushalten steht, und in Haushalte.

Zu den „Verbrauchern mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“ zählen insbesondere:

- Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung
- Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen
- Hallenbäder
- Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung
- Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe
- Fremdenverkehr

Alle übrigen Abnehmer, insbesondere Verbraucher mit Wohnbezug (typische Haushaltsgrößen und Großverbraucher mit Wohnbezug) und Kleingewerbe, zählen zu den „Haushalten“. Eine wichtige Kennzahl für diese Gruppierung stellt der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser dar.

Von Interesse sind auch Trocken- und Hitzephasen in denen sich über mehrere Tage ein erhöhter Spitzenbedarf einstellt. Dieser erhöhte Bedarf wird z.B. durch häufigeres Duschen oder die intensivere Gartenbewässerung ausgelöst. Auswertungen zum Bedarf an Spitzentagen in Trocken- und Hitzephasen befinden sich in Kapitel 3.1.7.

Auswertungen zum Spitzenbedarf auf Stundenbasis sind nicht Gegenstand dieser Studie, da sich diese Form des Spitzenbedarfs wegen Nutzung der Vorratsbehälter nicht bis zu den Wasseraufkommen durchschlägt. Im Falle von Tübingen ist zu ergänzen, dass wegen der vorhandenen Behältervolumina auch einzelne Spitzentage gepuffert werden und sich nicht sofort auf das Wasseraufkommen auswirken.

3.1.2 *Zeitliche Entwicklung der Wasserabgabe*

In Abbildung 3-1 sind zum einen die Menge an Eigenwasser der Stadtwerke Tübingen (SWT) und die Bezugsmengen vom Zweckverband Bodenseewasserversorgung (BWV) und vom Zweckverband Ammertal-Schönbuch-Gruppe (ASG) zwischen 2003 und 2016 zu erkennen. Zum anderen ist auch die Gesamtmenge aus Eigenwasser und Wasserbezug dargestellt. Zunächst wird der hohe Anteil der BWV in den zurückliegenden Jahren deutlich. Die Gesamtmenge aus Eigenwasser und Wasserbezug war zwischen 2003 und 2008 rückläufig. Zwischen 2009 und 2016 stieg diese wieder an. Die Gesamtmenge aus Eigenwasser und Wasserbezug im Jahr 2015 lag bei ca. 5,0 Mio. m³ und im Jahr 2016 bei ca. 5,1 Mio. m³.

Die Menge an Eigenwasser der SWT sank zwischen 2003 und 2007 von ca. 1,26 Mio. m³/a auf knapp unter 1 Mio. m³/a. Seit 2007 bewegt sich die Menge an Eigenwasser auf diesem Niveau. Der Wasserbezug von der ASG ist zwischen 2003 und 2016 relativ konstant bei ca. 440.000 m³/a geblieben. Die von der BWV bezogene Wassermenge sank zwischen 2003 und 2005 von ca. 3,5 auf 3,3 Mio. m³/a. Zuletzt erfolgte ein leichter Anstieg auf 3,6 Mio. m³ im Jahr 2015 bzw. ca. 3,8 Mio. m³ im Jahr 2016.

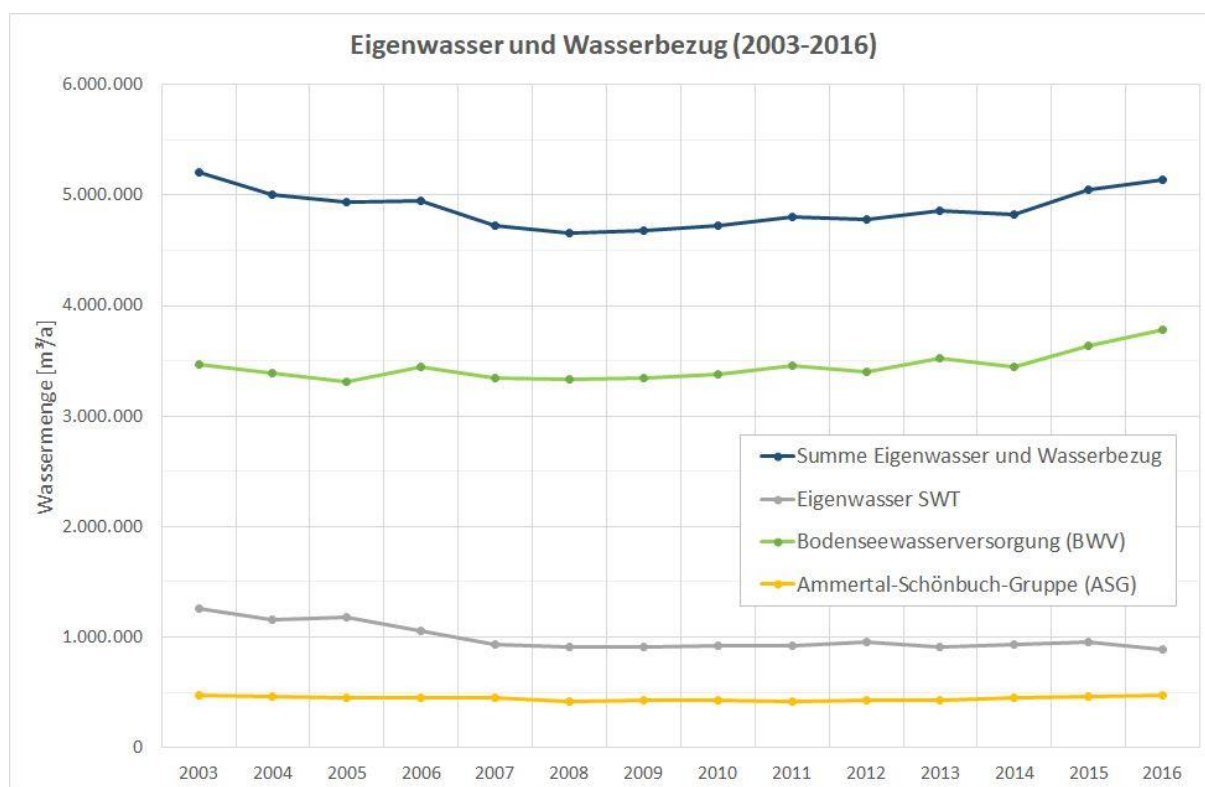


Abbildung 3-1: Eigenwasser und Wasserbezug von 2003 bis 2016 (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH)

Abbildung 3-2 zeigt zum einen die Wasserabgabe, die der Summe des Wasseraufkommens aus Eigenwasser und Bezug entspricht, und zum anderen die Wasserabgabe an Letztverbraucher zwischen 2003 und 2016. Hierbei ist zu erkennen, dass die „Wasserabgabe an Letztverbraucher“ zwischen ca. 200.000 und ca. 490.000 m³/a unterhalb der „Wasserabgabe“ liegt. Im langjährigen Mittel (zwischen 2003 und 2016) liegt die Wasserabgabe an Letztverbraucher um 6,7 % unter der Wasserabgabe. Diese Differenz resultiert aus Rohrnetzverlusten. Die Verluste setzen sich zusammen aus (siehe auch Kapitel 3.1.5):

- „echten“ Verlusten, die z.B. durch Rohrbrüche oder Undichtigkeiten im Rohrnetz entstehen
- „unechten“ Verlusten, die z.B. aus Zählerabweichungen und Schleichverlusten entstehen
- nicht erfassten und somit nicht in Rechnung gestellten Abgaben (hauptsächlich Reinigungen von Wasserbehältern und Leitungsspülungen sowie untergeordnet Feuerwehrrübungen)

Auffällig in Abbildung 3-2 ist ein überproportionaler Rückgang der Wasserabgabe an Letztverbraucher zwischen 2006 und 2007. Es ist davon auszugehen, dass Jahresabgrenzungen zu diesem Rückgang geführt haben. Da Zählerablesungen nicht zum Stichtag 31. Dezember eines Jahres zur Verfügung stehen, müssen Jahresabgrenzungen entsprechend dem tatsächlichen Ablese-Zeitpunkt und einer Schätzung auf zwei Kalenderjahre aufgeteilt werden. Effekte der Jahresabgrenzungen sind auch in den anderen Jahren zu erwarten und bei der Interpretation der Schwankungen der Wasserabgabe an Letztverbraucher und der Verluste zu bedenken.

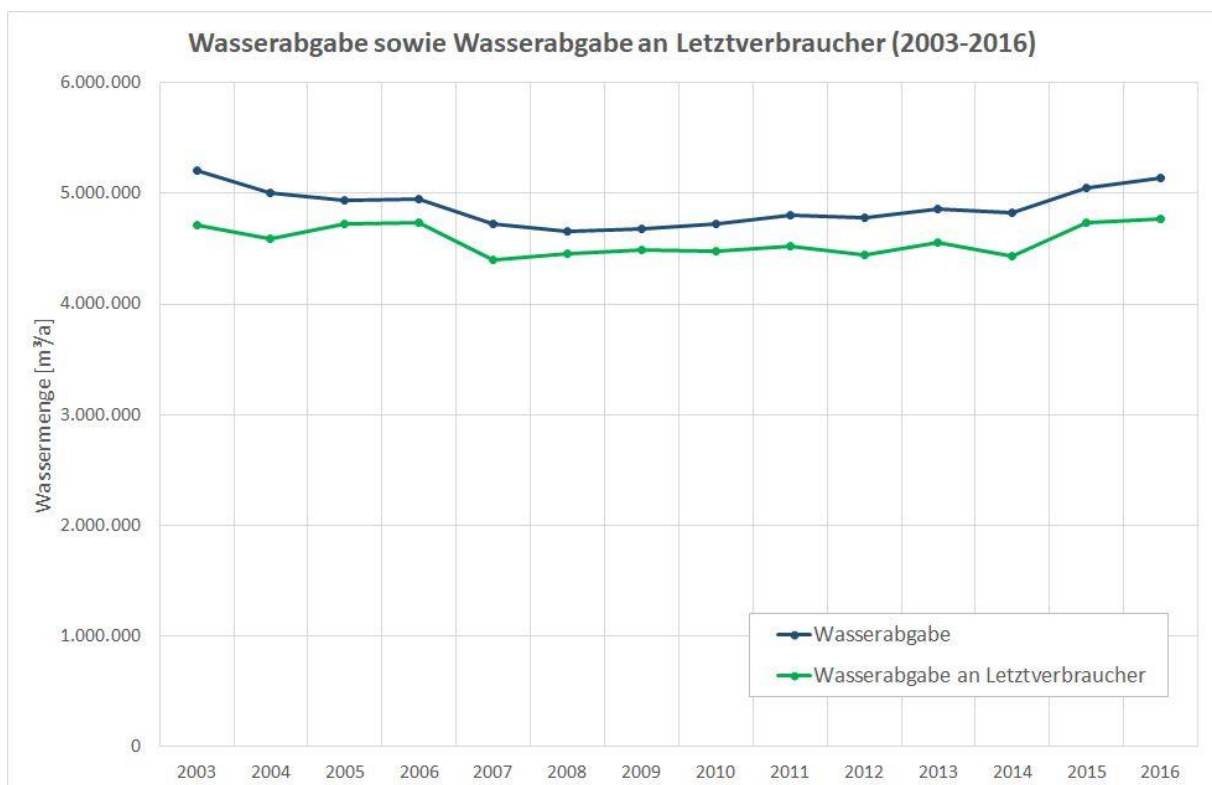


Abbildung 3-2: Tübinger Wasserabgabe sowie Wasserabgabe an Letztverbraucher von 2003 bis 2016 (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH)

Für die vorliegende Studie wurden Verbraucher der SWT mit großer Jahresabgabe identifiziert. Diese werden im Folgenden als „Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“ bezeichnet. Hierzu zählen:

- Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung
- Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen
- Hallenbäder
- Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung
- Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe

Hinzu kommt der Fremdenverkehr, der sich zwar nicht direkt aus der SWT-Statistik ermitteln lässt, aber über Übernachtungszahlen hergeleitet wird.

Eine nähere Beschreibung dieser Verbraucher erfolgt in Kapitel 3.1.4. Alle übrigen Abnehmer, insbesondere Verbraucher mit Wohnbezug und Kleingewerbe, zählen zu den „Haushalten“. In der Statistik der SWT zeigte sich, dass auch Verbraucher mit großer Jahresabgabe vorhanden sind, die aber eindeutig überwiegend einer Wohnnutzung zugeordnet werden können. Es handelt sich um große Wohnungseigentümergeellschaften und Wohnungsverwaltungen. Auch diese werden den „Haushalten“ zugeordnet.

Die Wasserabgabe an die Letztverbraucher zwischen 2009 und 2016 sowie die Aufteilung nach „Haushalten“ und nach „Verbrauchern mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“ ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Der Abbildung kann entnommen werden, dass die Abgabe an die Gruppierung „Haushalte“ deutlich über der an „Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“ liegt. Die „Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“ entscheiden auch nicht über das „Auf und Ab“ in der Wasserabgabe an Letztverbraucher. Vielmehr paust sich jede Trendumkehr der Wasserabgabe an „Haushalte“ durch.

Die Jahre 2014 bis 2016 waren von einem Anstieg der Wasserabgabe an „Haushalte“ geprägt. Entsprechend ist auch die Wasserabgabe an die Letztverbraucher angestiegen. Sie lag im Jahr 2016 bei fast 4,8 Mio. m³. Davon entfallen rund 3,95 Mio. m³/a auf die „Haushalte“ und etwas über 0,8 Mio. m³/a auf „Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug“.

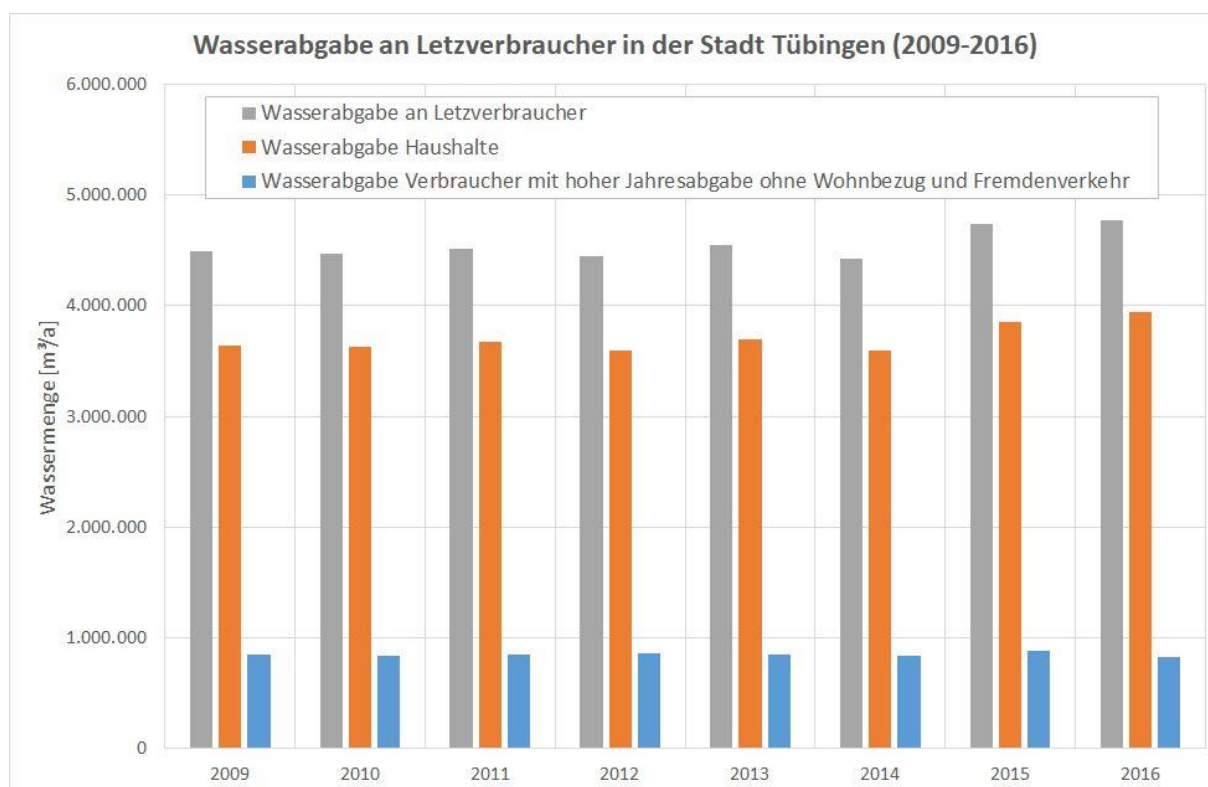


Abbildung 3-3: Wasserabgabe an Letzverbraucher 2009 bis 2016, aufgeteilt nach Haushalte und Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug (Datenquelle: Stadtwerke Tübingen GmbH)

3.1.3 Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs

Eine relevante Eingangsgröße für den Wasserbedarf der Haushalte ist die Anzahl an Einwohnern. Die Entwicklung der Tübinger Bevölkerung zwischen 1961 und 2015 ist in Abbildung 3-4 abgebildet. Es ist gut zu erkennen, dass die Bevölkerungsanzahl der Stadt Tübingen bis 2015, mit Ausnahme eines leichten Bevölkerungsrückgangs in den 90er Jahren, stetig angestiegen ist. Einzelne Sprünge in der Bevölkerungsentwicklung sind das Ergebnis von Volkszählungen in den Jahren 1970, 1987 und 2011, an denen eine kleine Korrektur der Gesamtbevölkerung vorgenommen wurde. Für das Jahr 2015 werden 87.464 Einwohner in der Statistik des STALA angegeben.

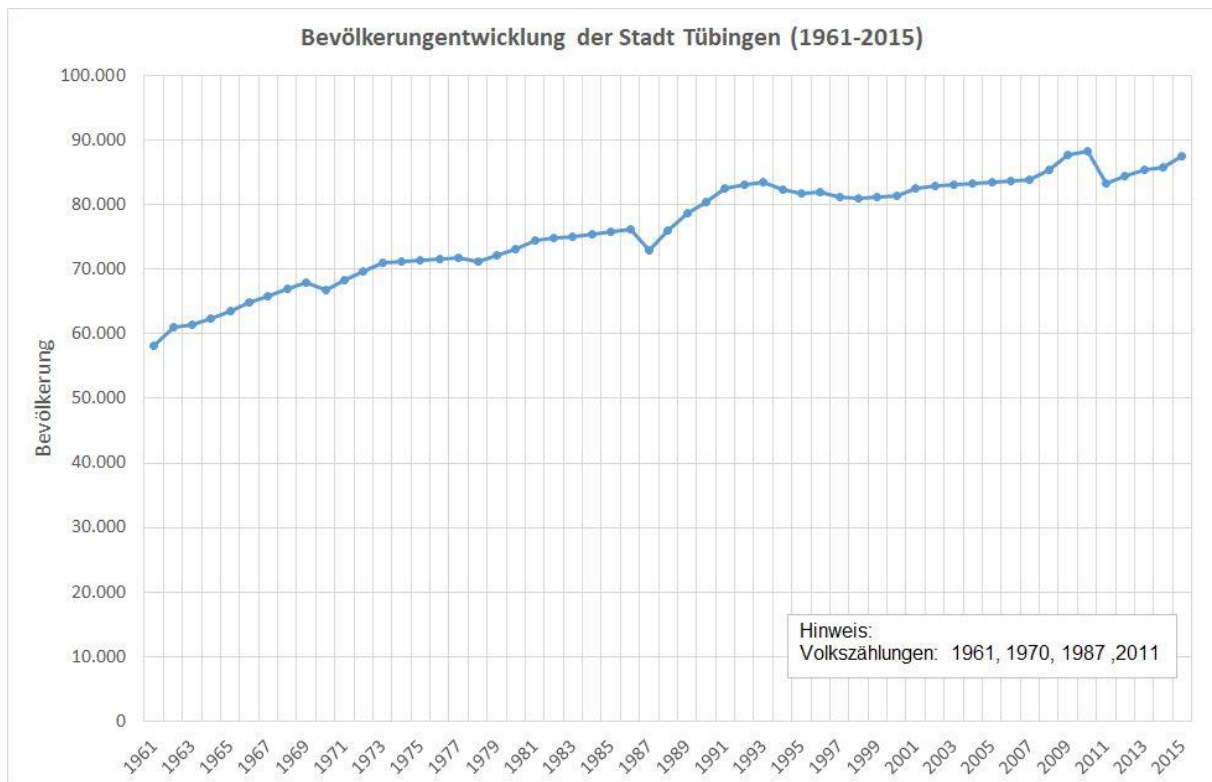


Abbildung 3-4: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Tübingen zwischen 1961 und 2015 (Datenquelle: STALA Download 2)

Die Entwicklung der privaten Wohnhaushalte sowie die Anzahl der Personen pro Haushalt ist in Abbildung 3-5 dargestellt. Zwischen 1961 und 1987 erfolgte ein Anstieg der privaten Haushalte in Tübingen von 23.871 auf 41.918 Haushalte. Gleichzeitig verringerte sich die Anzahl der Personen pro Haushalt auf nur noch 1,8 Personen/Haushalt. Neuere Zahlen stehen ab 2011 zur Verfügung. Seit 2011 ist die Anzahl der Haushalte bis 2015 auf 39.499 angestiegen. Die Anzahl der Personen schwankte in diesem Zeitraum zwischen 2,3 und 2,1 Personen pro Haushalt. Diesen kleinen Schwankungen wird keine Relevanz im Hinblick auf den Wasserbedarf beigemessen.

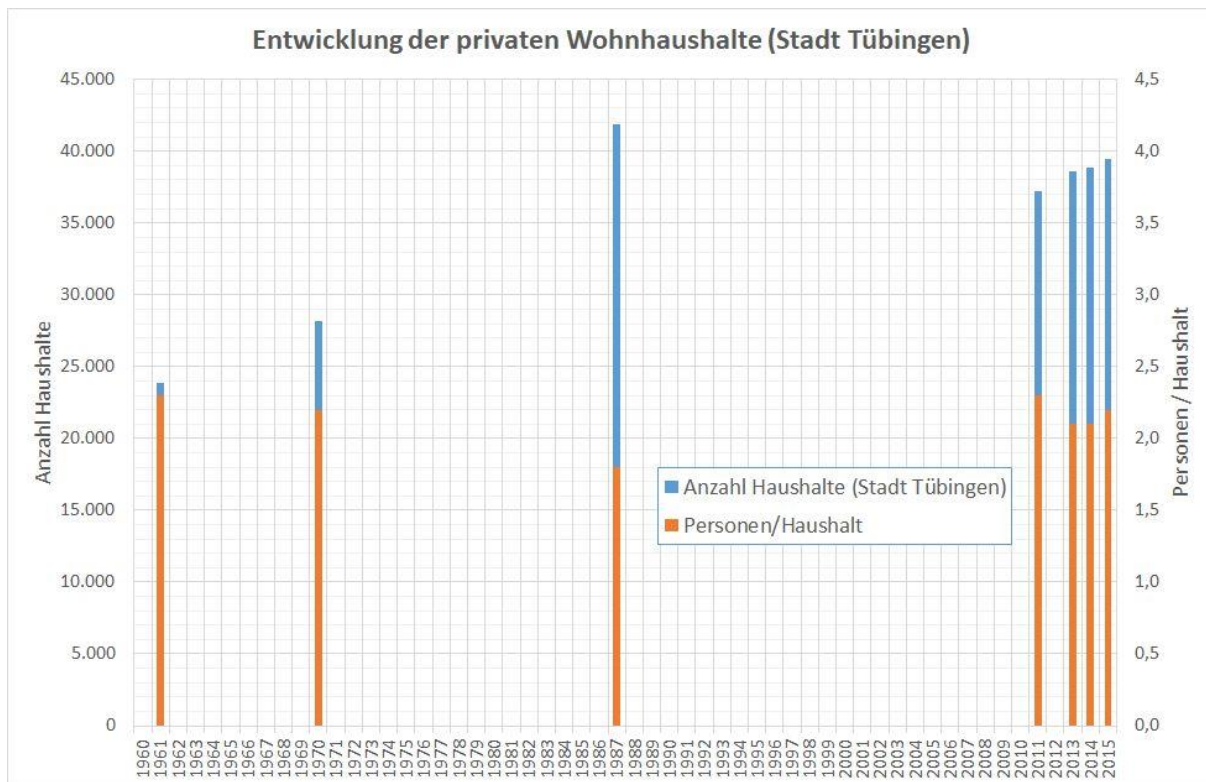


Abbildung 3-5: Entwicklung der privaten Wohnhaushalte sowie der Anzahl der Personen pro Haushalt in der Stadt Tübingen zwischen 1961 und 2015 (Datenquelle: STALA Download 3)

Die Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser ist in Tabelle 3-1 dargestellt. Die Zahlen stammen vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg und zeigen die Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs für die Stadt Tübingen, den Landkreis Tübingen und im Vergleich dazu auch für das Land Baden-Württemberg auf. Deutlich zu erkennen ist, dass nach der Statistik des STALA der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch in der Stadt (129 l/(E*d) im Jahr 2013) etwas höher liegt als im Landkreis oder auch in Baden-Württemberg (116 l/(E*d) im Jahr 2013). Das etwas kühlere und regenreichere Jahr 2010 ist voraussichtlich der Grund, dass der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch 2010 niedriger lag als 2004 oder 2013.

Bei der Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser in Baden-Württemberg ist erkennbar, dass sich landesweit der Verbrauch von 124 l/(E*d) (2004) auf 116 l/(E*d) (2013) verringert hat.

Tabelle 3-1: Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser für die Stadt Tübingen, den Landkreis Tübingen und Baden-Württemberg (Datenquellen: STALA Download 1, 4, 5)

Jahr	Stadt Tübingen Täglicher Pro- Kopf-Verbrauch [l/(E*d)]	Landkreis Tübingen Täglicher Pro- Kopf-Verbrauch [l/(E*d)]	Baden- Württemberg Täglicher Pro- Kopf-Verbrauch [l/(E*d)]
2004	128	118	124
2010	121	112	115
2013	129	117	116

Die Wasserabgabe an Tübinger Haushalte betrug zwischen 2009 und 2016 durchschnittlich ca. 3,7 Mio. m³/a. In den beiden letzten abgabestarken Jahren wurden Werte von 3,85 Mio. m³/a (2015) und von 3,95 Mio. m³/a (2016) erreicht. Für abgabestarke Jahre kann folglich ein Wert von 3,95 Mio. m³/a für Tübingen angegeben werden.

Verwendet man die Wasserabgabe an Haushalte (gemäß der Definition dieser Studie) als Bezugsgröße, erhält man einen etwas geringeren täglichen Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser als das Statistische Landesamt für die Stadt Tübingen. In Tabelle 3-2 ist die Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser aus den Daten der SWT aufgezeigt. Für das Jahr 2015 erhält man für Tübingen einen Pro-Kopf-Verbrauch von 121 l/(E*d). Im Vergleich zu den Vorjahren war das Jahr 2015 bei den SWT - wie auch bei benachbarten Wasserversorgern (ASG, 2016) - ein abgabestarkes Jahr. Dies lässt sich mit der ausgeprägten Sommerperiode 2015 erklären.

Als weiterer Vergleich kann die aktuelle bundesweite Statistik des BDEW (2017) herangezogen werden. Diese nennt für das Jahr 2015 einen bundesweiten Wert von 123 l/(E*d). Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Werte für den Pro-Kopf-Verbrauch können damit insgesamt als plausibel angesehen werden.

Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von mittleren (2009-2015) Pro-Kopf-Verbrauch von 117 l/(E*d) für die Haushalte ausgegangen. Als Basis für die Bedarfsprognose 2035 wird ferner auch ein Wert von 121 l/(E*d) für abgabestarke Jahre herangezogen.

Tabelle 3-2: Entwicklung des täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Wasser in Tübingen zwischen 2009 und 2015 (Datenquellen: Wasserabgabe „Haushalte“ bzw. Gesamte Wasserabgabe der SWT an Letztverbraucher abzüglich Abgabe an Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug, Bevölkerungszahlen nach STALA Download 2)

Jahr	Täglicher Pro-Kopf-Verbrauch [l/(E*d)]
2009	114
2010	113
2011	121
2012	116
2013	119
2014	115
2015	121

3.1.4 Auswertungen zu Verbrauchergruppen mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug

Im Folgenden wird auf die Entwicklungen von ausgewählten Verbrauchergruppen eingegangen, die unabhängig von den Bedarfsentwicklungen in den Haushalten den zukünftigen Wasserbedarf beeinflussen können. Es handelt sich um Verbrauchergruppen mit hohen Jahresabgaben, die anhand der Abgabestatistik der SWT ermittelt wurden und keinen Wohnbezug aufweisen. Zu diesen Verbrauchergruppen zählen die Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung, die Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen, die Hallenbäder, der städtische Verbrauch und die öffentliche Verwaltung sowie sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe.

Eine Analyse von Statistiken für Tübingen ergab eine weitere interessante Entwicklung im Hinblick auf den Wasserbedarf, die nicht direkt aus Abgabestatistik der SWT ablesbar ist. Es handelt sich um die markante Entwicklung des Fremdenverkehrs (siehe unten).

Darauf hinzuweisen ist, dass im Hinblick auf die Fragestellungen dieser Studie für den landwirtschaftlichen Bedarf in Tübingen nach Sichtung der Statistiken der SWT keine relevante Bedeutung zu erkennen ist. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass weitere wasserverbrauchsstarke Nutzer wie Freibad, Abwasserbehandlung oder auch z.T. für

die Produktion im Falle Tübingens über eigene Brunnen verfügen und deren Bedarf somit nicht von den Stadtwerken gedeckt wird.

Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung

Die Entwicklung der Wasserabgabe zwischen 2009 und 2016 für die Kliniken (mit Verwaltung und Versorgung der Kliniken) ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Die Wasserabgabe an die Kliniken weist in diesem Zeitraum kleinere Schwankungen auf. Die Wasserabgabemengen reichen von 415.083 m³/a (2010) bis 471.321 m³/a im Jahr 2015. Der Mittelwert der Wasserabgabe (2009-2015) für die Kliniken und deren Verwaltung liegt bei ca. 436.000 m³/a. Die Wasserabgabe lag im Zeitraum 2009 bis 2011 zwischen 3 % und 4,8 % unterhalb des Mittelwerts. 2012 erfolgte ein Anstieg um 3,2 %. In den Jahren 2013 und 2014 lag die Wasserabgabe nur knapp über dem Mittelwert. Im Jahr 2015 erfolgte eine Erhöhung der Wasserabgabe um 8,1 % über dem Durchschnitt.

Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von einer mittleren Wasserabgabe (2009-2015) für die Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung von gerundet 436.000 m³/a ausgegangen. Als Basisjahr für die Bedarfsprognose 2035 wird ferner auch das verbrauchsreiche Jahr 2015 mit gerundet 471.000 m³/a herangezogen.

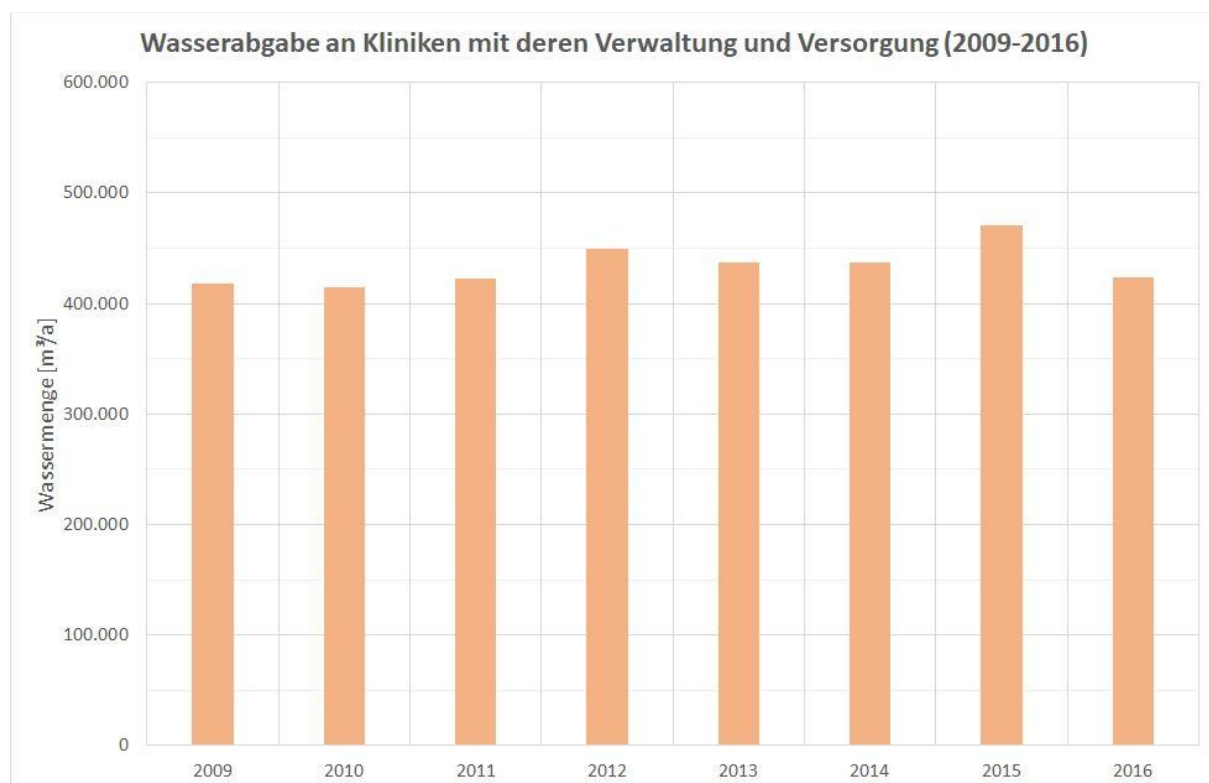


Abbildung 3-6: Entwicklung der Wasserabgabe für die Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT)

Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen

Abbildung 3-7 zeigt die Entwicklung der Wasserabgabe zwischen 2009 und 2016 für die Forschungseinrichtungen inkl. der Technologieunternehmen in der Stadt Tübingen. Die Höhe der Wasserabgabe schwankt über die Jahre hinweg, zeigt aber einen leicht zurückgehenden Trend. Die höchsten Werte bei der Wasserabgabe lagen 2010 bei 206.613 m³/a und 2012 bei 202.070 m³/a. 2016 hat die Wasserabgabe an die Forschungseinrichtungen mit 178.432 m³/a ihren zweit niedrigsten Wert erreicht. Das Jahr mit der niedrigsten Wasserabgabe war 2014 (175.887 m³/a).

Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von einer mittleren Wasserabgabe (2009-2015) für die Forschungseinrichtungen von gerundet 193.000 m³/a ausgegangen. Für die Bedarfsprognose 2035 wird ferner das verbrauchreichste Jahr 2010 mit gerundet 207.000 m³/a als Basisjahr herangezogen.



Abbildung 3-7: Entwicklung der Wasserabgabe für die Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT)

Hallenbäder

Die beiden Hallenbäder der Stadt Tübingen beziehen ihr Wasser von den SWT. In Abbildung 3-8 ist die Entwicklung der Wasserabgabe für das Uhlandbad und das Hallenbad Nord zwischen 2003 und 2016 abgebildet. Die Wasserabgabe des Uhlandbades schwankt zwischen 2003 und 2016 zwischen ca. 10.000 m³/a und ca. 14.000 m³/a, wobei 2004 ein abnahmereiches Jahr mit ca. 20.000 m³/a war.

Die Wasserabgabe an das Hallenbad Nord schwankt dagegen innerhalb des Zeitraums von 2003 bis 2016 deutlich stärker. Die Werte reichen von ca. 65.000 m³/a (2003) bis zu ca. 45.000 m³ im Jahre 2015. Der Einbruch bei der Wasserabgabe 2012 ist der Sanierung des Hallenbades Nord geschuldet und ist daher nicht repräsentativ.

Wegen der Betriebsunterbrechung des Hallenbades Nord kann kein aussagekräftiger rechnerischer Mittelwert über den Zeitraum von 2009 bis 2016 gebildet werden. Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von einer mittleren Wasserabgabe für beide Hallenbäder von ca. 65.000 m³/a ausgegangen. Auch die maximale Wasserabgabe von ca. 82.000 m³ wird für die Bedarfsprognose 2035 im Sinne einer Reserve betrachtet. Eine Betrachtung der Wasserabgabe für das Freibad kann entfallen, da dieses zwei eigene Brunnen nutzt.

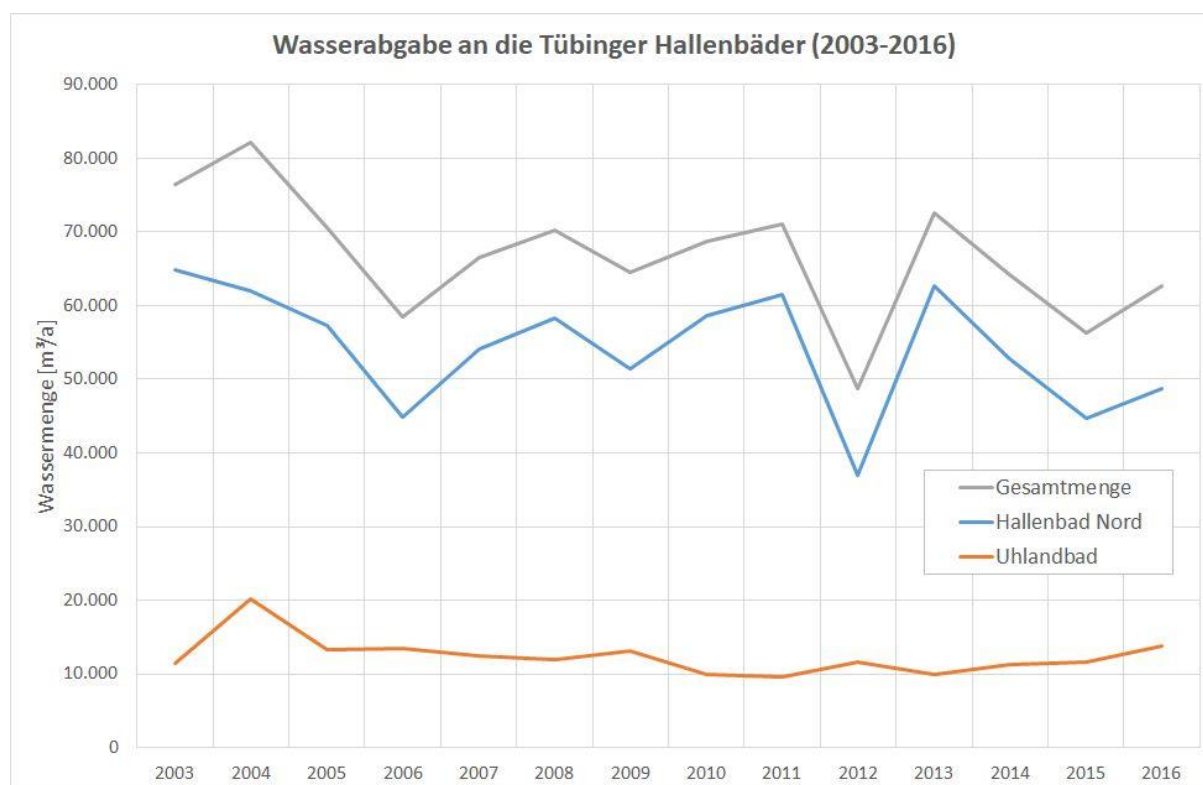


Abbildung 3-8: Entwicklung der Wasserabgabe an die beiden Tübinger Hallenbäder von 2003 bis 2016 (Datenquelle: SWT)

Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung

Die Entwicklung der Wasserabgabe im Zeitraum zwischen 2009 und 2016 für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung ist in Abbildung 3-9 dargestellt. Der Mittelwert der Wasserabgabe (2009-2015) für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung liegt bei ca. 107.300 m³/a. Von 2009 bis 2014 ist die Wasserabgabe von 122.532 m³/a auf 96.521 m³/a gesunken. 2015 war wie 2009 ein Wasserabgabereiches Jahr mit 113.898 m³/a. Dieser Anstieg um 6,1 % über den Mittelwert resultiert wahrscheinlich aus einem gesteigerten Wasserverbrauch während des trockenen Sommers. 2016 lag die Wasserabgabe wieder ca. 9 % unter dem Durchschnitt.

Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von einer mittleren Wasserabgabe (2009-2015) für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung von gerundet 107.000 m³/a ausgegangen. Auch das verbrauchsreiche Jahr 2009 mit gerundet 123.000 m³/a wird für die Bedarfsprognose 2035 als Basisjahr herangezogen.

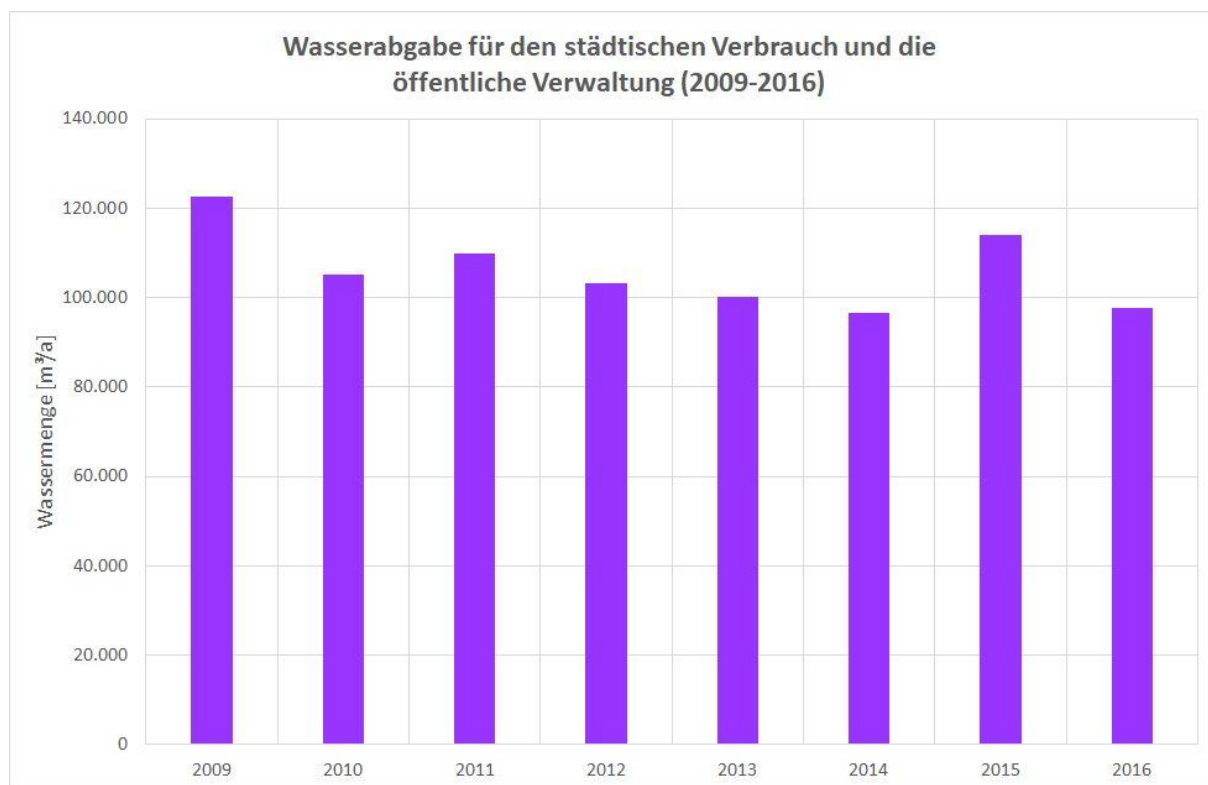


Abbildung 3-9: Entwicklung der Wasserabgabe für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT)

Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe

Abbildung 3-10 zeigt die Entwicklung der Wasserabgabe im Zeitraum zwischen 2009 und 2016 für die sonstigen Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe. Von 2009 bis 2016 ist die Wasserabgabe von 22.701 m³/a auf 40.435 m³/a angestiegen, bis auf einen kleinen Einbruch im Jahr 2015 auf 33.693 m³/a. Bis zum Jahr 2011 lag der Wasserverbrauch unterhalb des Mittelwertes von ca. 29.000 m³/a, ab 2012 darüber.

Für die anschließende Prognosebetrachtung wird von einer mittleren Wasserabgabe (2009-2015) für die sonstigen Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe von gerundet 29.000 m³/a ausgegangen. Als Basisjahr für die Bedarfsprognose 2035 wird auch das verbrauchreichste Jahr 2016 mit gerundet 40.000 m³/a herangezogen.

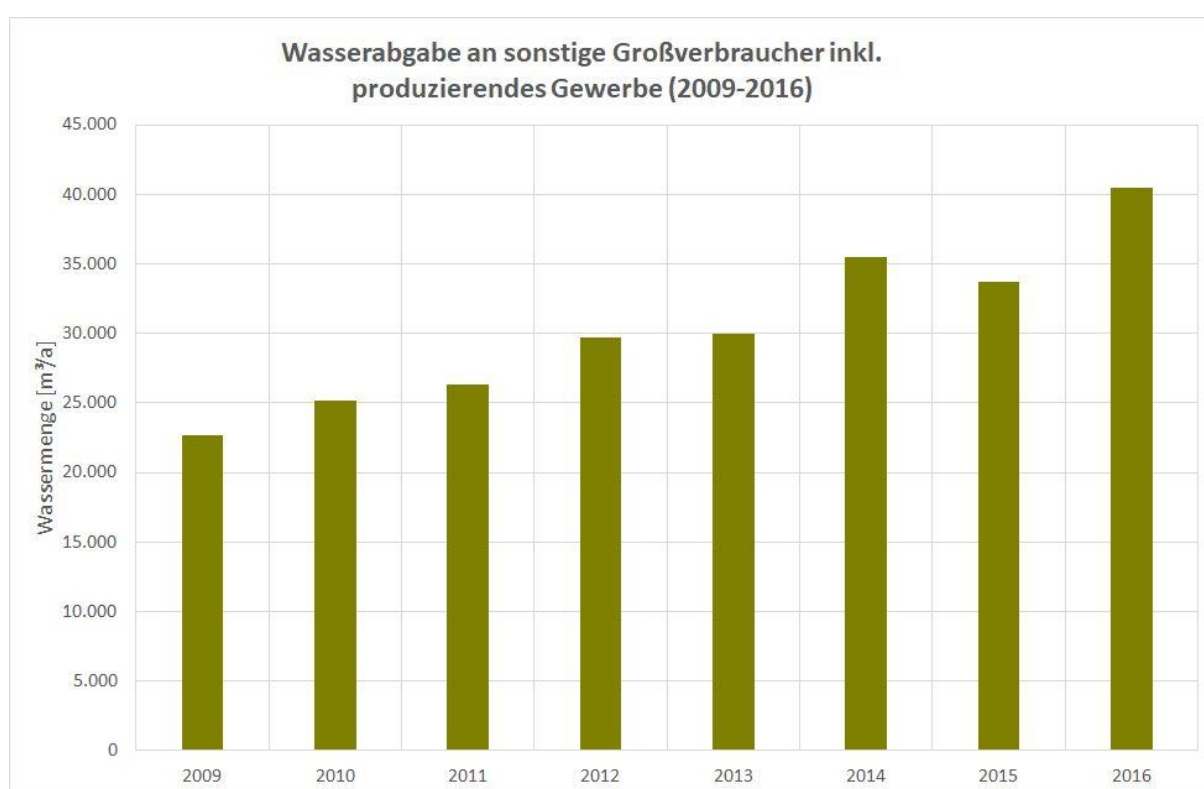


Abbildung 3-10: Entwicklung der Wasserabgabe an sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe von 2009 bis 2016 (Datenquelle: SWT)

Fremdenverkehr

Der Fremdenverkehr in der Stadt Tübingen nimmt immer mehr an Bedeutung zu. In Abbildung 3-11 ist die Entwicklung der Fremdenverkehrsbetriebe zwischen 1984 und 2016 dargestellt. In die Statistik sind nur Betriebe (einschließlich Campingplatz) miteingegangen, die mehr als acht Betten besitzen. Die Anzahl der Betriebe ist von 18 (1984) auf 33 (2016) angestiegen, wobei es in diesem Zeitraum auch Schließungen bzw. Betriebsaufgaben gab.

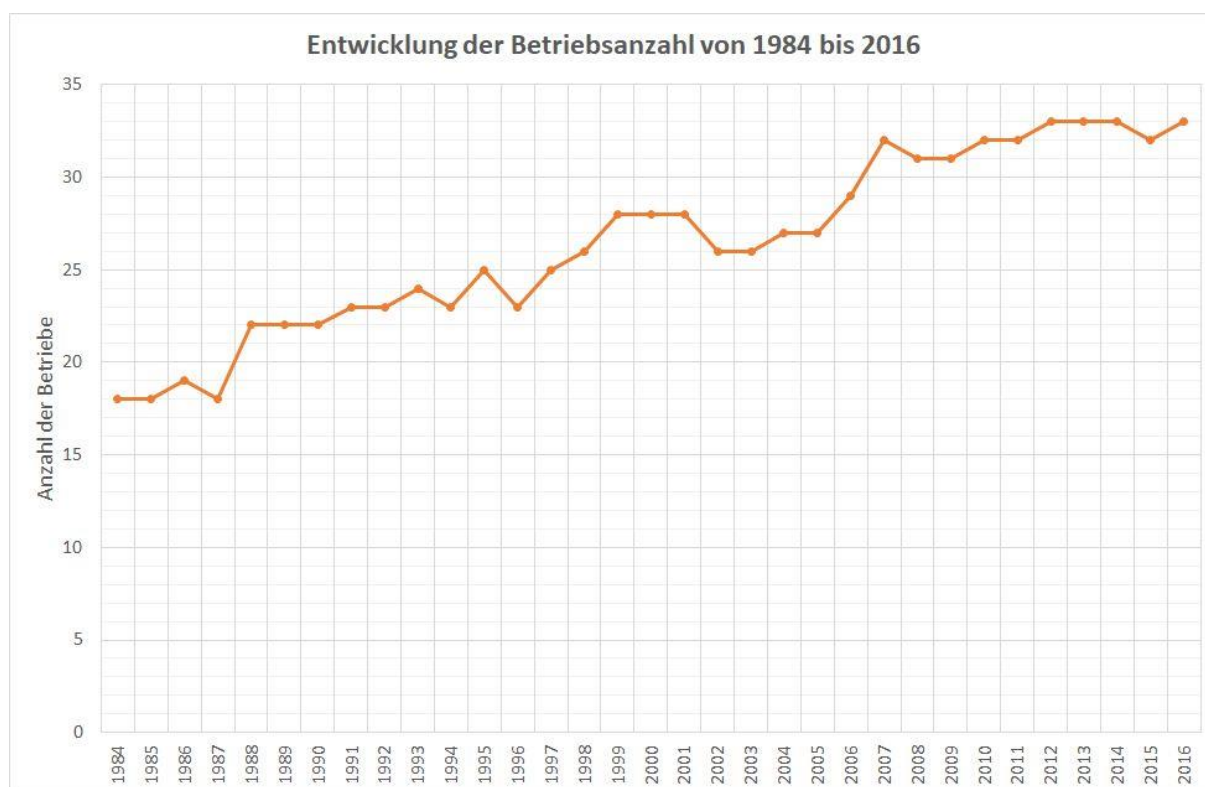


Abbildung 3-11: Entwicklung der Anzahl der Fremdenverkehrsbetriebe in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2016 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7)

Auch die Anzahl der Betten in den Fremdenverkehrsbetrieben ist zwischen 1984 und 2016 angestiegen (siehe Abbildung 3-12). Bis 1995 hat sich die Bettenanzahl von 869 (1984) auf 1.284 Betten vergrößert. Danach folgt eine Zeitspanne mit einer Stagnation bzw. einem leichten Rückgang der Bettenanzahl auf 1.149 im Jahr 2003. 2004 erfolgte ein sprunghafter Anstieg auf 1.524 Betten. Bis 2015 stieg die Anzahl der Betten auf 1.666. 2016 erfolgte erneut ein sprunghafter Anstieg auf 1.891 Betten.

In Abbildung 3-13 ist die Entwicklung der Gästeankünfte sowie die Anzahl an Übernachtungen dargestellt. Die Anzahl der Gäste ist zwischen 1984 von 66.587 auf 134.453 im Jahr 2016 angestiegen, wobei in den 90er Jahren eine Stagnation bzw. ein leichter Rückgang zu verzeichnen war. Ähnlich verhält es sich auch mit der Anzahl

der Übernachtungen. Diese stiegen von 137.334 im Jahr 1984 bis auf 217.179 im Jahr 1993 an. Danach erfolgte bis 2003 eine Abnahme der Übernachtungen auf nur noch 162.046. Seit 2004 erfolgte wieder ein stetiger und ausgeprägter Anstieg der Übernachtungen auf 263.852 im Jahr 2016.

Die Wasserabgabe für den Tourismus wird nach DVGW (2008) mit $0,1 \text{ m}^3/\text{Übernachtung}$ als Untergrenze und $0,29 \text{ m}^3/\text{Übernachtung}$ als Mittelwert angegeben. Bekanntermaßen hängt der Verbrauch in Hotels sehr stark vom Wellnessangebot des jeweiligen Betriebes ab. Wellnessangebote prägen jedoch nicht das Bild der Tübinger Hotels. Daher wird für Tübingen eher ein Wert an der Untergrenze des Spektrums nach DVGW (2008) gewählt. Unter Verwendung eines Werts von $0,15 \text{ m}^3/\text{Übernachtung}$ erhält man für den Fremdenverkehr im Jahr 2016 einen Wert von 39.578 m^3 .

Für die Ermittlung des Wasserbedarfs wird aufgerundet ein Wert von $40.000 \text{ m}^3/\text{a}$ für den Fremdenverkehr angesetzt. Da dieser Zahlenwert nicht auf Messungen, sondern auf indirekten Schätzungen basiert, wird keine Differenzierung zwischen durchschnittlichen Jahren und verbrauchsreichen Jahren vorgenommen. Zukünftige Zuwächse für den Fremdenverkehr werden bei der Prognose berücksichtigt.

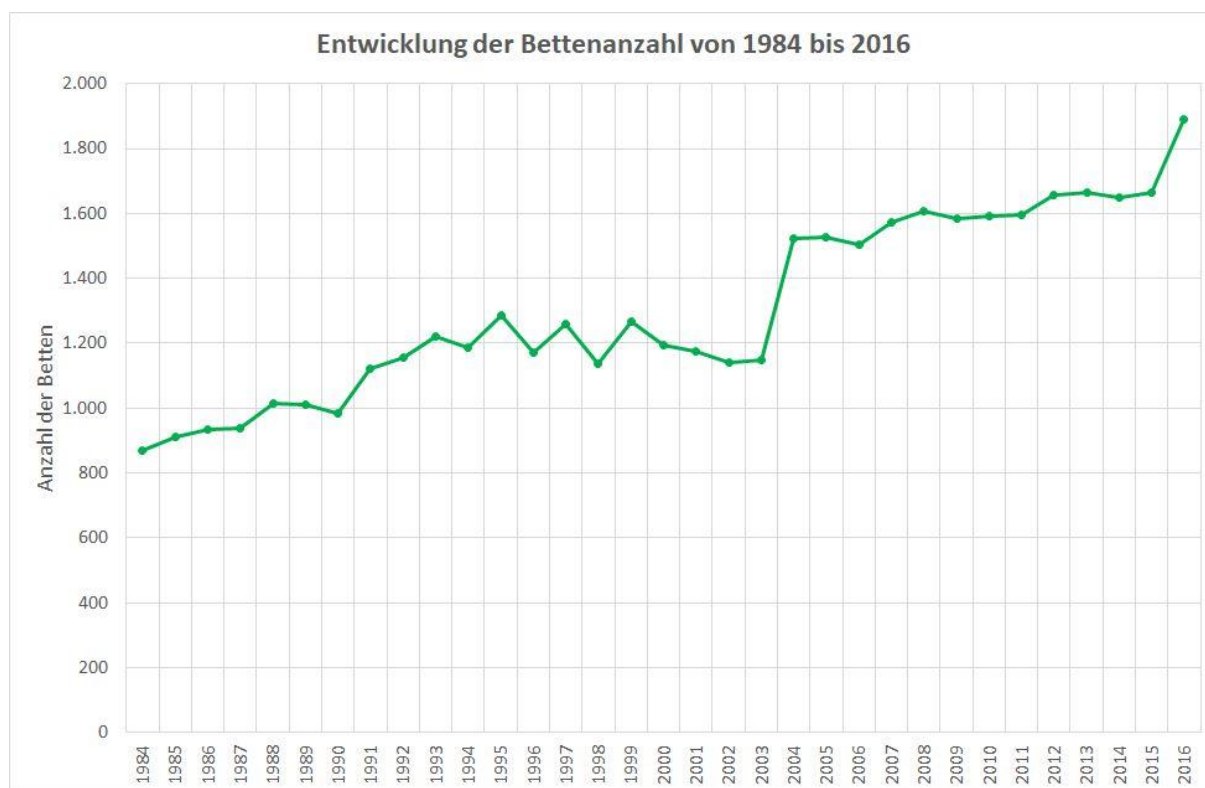


Abbildung 3-12: Entwicklung der Bettenanzahl in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2015 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7)

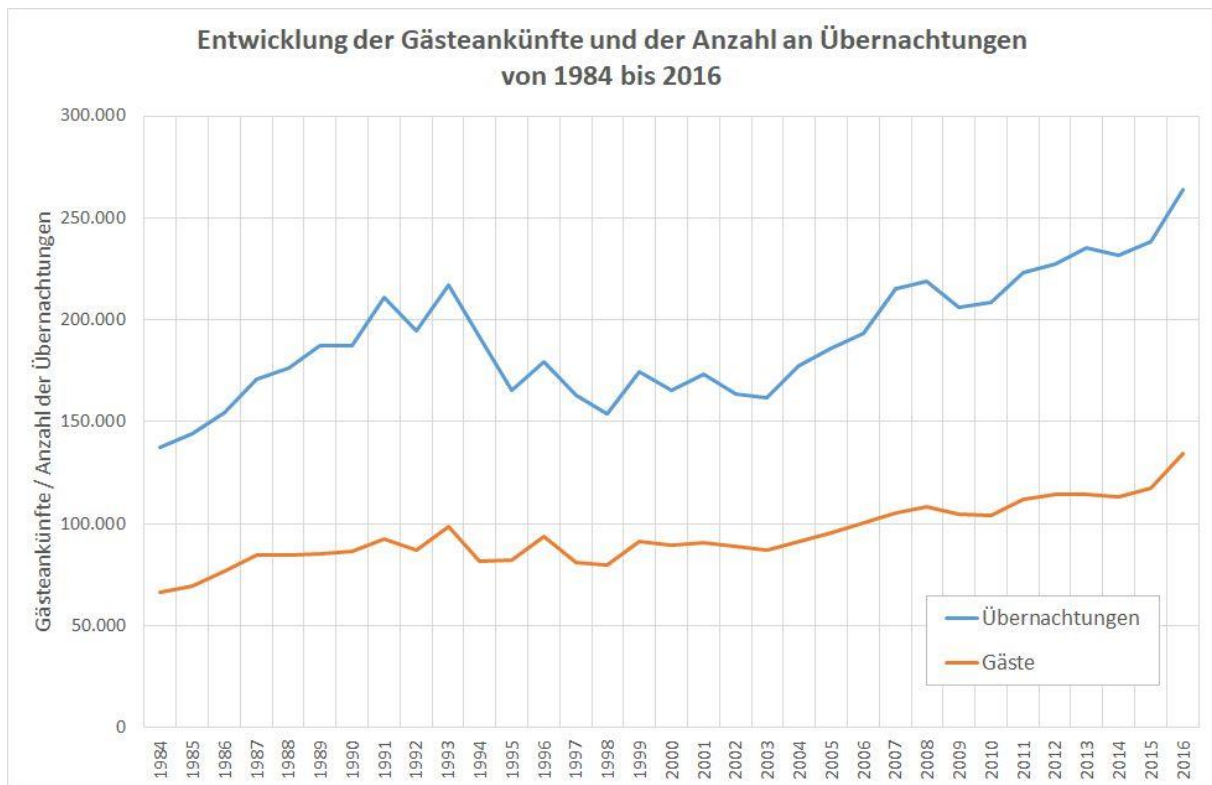


Abbildung 3-13: Entwicklung der Gästekünfte und der Anzahl an Übernachtungen in der Stadt Tübingen zwischen 1984 und 2016 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016, STALA Download 7)

3.1.5 Zusammensetzung der Wasserverluste

Wie bereits erwähnt und in Abbildung 3-2 zu erkennen, liegt die Wasserabgabe an Letztverbraucher zwischen ca. 200.000 m³/a und ca. 490.000 m³/a unterhalb der Wasserabgabe. Diese Differenz resultiert aus Rohnetzverlusten. Auf mögliche Effekte der Jahresabgrenzungen auf die Schwankungen der Verluste wurde bereits im Kapitel 3.1.2 hingewiesen. Im Jahr 2016 lag die Differenz zwischen der Abgabe und der bei Letztverbrauchern abgerechneten Wassermenge in Abhängigkeit von der gewählten Auswertemethode bei etwas über 350.000 m³. Das Jahr 2016 wurde seitens der SWT (SWT, 2016) analysiert:

- Die „echten“ Verluste, die z.B. durch Rohrbrüche oder Undichtigkeiten im Rohrnetz entstehen, wurden zu 205.000 m³ ermittelt.
- Die „unechten“ Verlusten, die z.B. aus Zählerabweichungen und Schleichverlusten wurden zu 100.000 m³ ermittelt.
- Die nicht erfassten und somit nicht in Rechnung gestellten Abgaben (hauptsächlich Reinigungen von Wasserbehältern und Leitungsspülungen sowie untergeordnet Feuerwehrrübungen) betragen ca. 45.000 m³. Diese Zahl wird seitens der SWT im Jahr 2017 laufend beobachtet. Demnach ist die Zahl von 45.000 m³ nicht als konstante Betriebsgröße anzusehen; vielmehr unterliegt sie erwartungsgemäß starken Schwankungen.

Für die echten Verluste existieren durch den Vergleich mit anderen Versorgungsunternehmen Richtwerte. Um eine Vergleichbarkeit zu erzielen, werden die „echten“ Verluste über die Länge der Versorgungsleitungen normiert. Für 2016 (Schaltjahr) erhält man bei einer Gesamtlänge von 346 km (Statistischen Jahresbericht von Tübingen 2016) einen Wert von 0,067 m³ / (km * h). Für eine städtische Versorgungsstruktur kennzeichnet nach DVGW-Arbeitsblatt W 392 (DVGW 2003) der Wert von 0,07 m³ / (km * h) den Übergang von der Klasse „Geringe Wasserverluste“ zu „Mittlere Wasserverluste“. Erfreulicherweise gelingt es den SWT, die „echten“ Wasserverluste in der Klasse „geringe Wasserverluste“ zu halten.

Für die Ermittlung des Wasserbedarfs wird ein mittlerer Verlust von 6,7 % bezogen auf die Wasserabgabe an Letztverbraucher angesetzt. Der Wert von 6,7 % entspricht dem langjährigen Mittelwert von 2003 bis 2016. Durch die Verwendung eines langjährigen Mittelwerts wird bestmöglich mit der Unschärfe durch Jahresabgrenzungen umgegangen.

3.1.6 Zusammensetzung der derzeitigen Wasserabgabe als Übersicht

Die Zusammensetzung der Wasserabgabe in den vergangenen Jahren ist in Tabelle 3-3 dokumentiert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die in den vorangegangenen Kapiteln 3.1.3, 3.1.4 und 3.1.5 errechneten Zahlenwerte für die Übertragung in die Tabelle gerundet. Im Schnitt der vergangenen Jahre ergibt sich eine aus unterschiedlichen Verbrauchergruppen und Wasserverlusten errechneter Wasserbedarf (bzw. Wassergabe durch SWT) von 4,9 Mio. m³/a. Verwendet man anstatt mittlerer Werte jeweils Zahlen aus verbrauchsreichen Jahren und überlagert diese, beträgt der Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe der SWT) 5,25 Mio. m³/a.

Aus der Tabelle 3-3 wird der dominierende Anteil der Haushalte deutlich. Um ein vollständiges Bild der Bedeutung einzelner Verbrauchergruppen zu erhalten, sind die prozentualen Anteile bezogen auf die Abgabe am Beispiel eines Durchschnittjahres in Abbildung 3-14 visualisiert. Es wird deutlich, dass die anhand der SWT-Statistik identifizierbaren Verbrauchergruppen einen geringen Anteil aufweisen. Insbesondere die Verbrauchergruppe „Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe“ in der schon einige Betriebe zusammengefasst sind, hat mit weniger als 1 % einen - für die Zwecke dieser Studie - nahezu vernachlässigbaren Anteil.

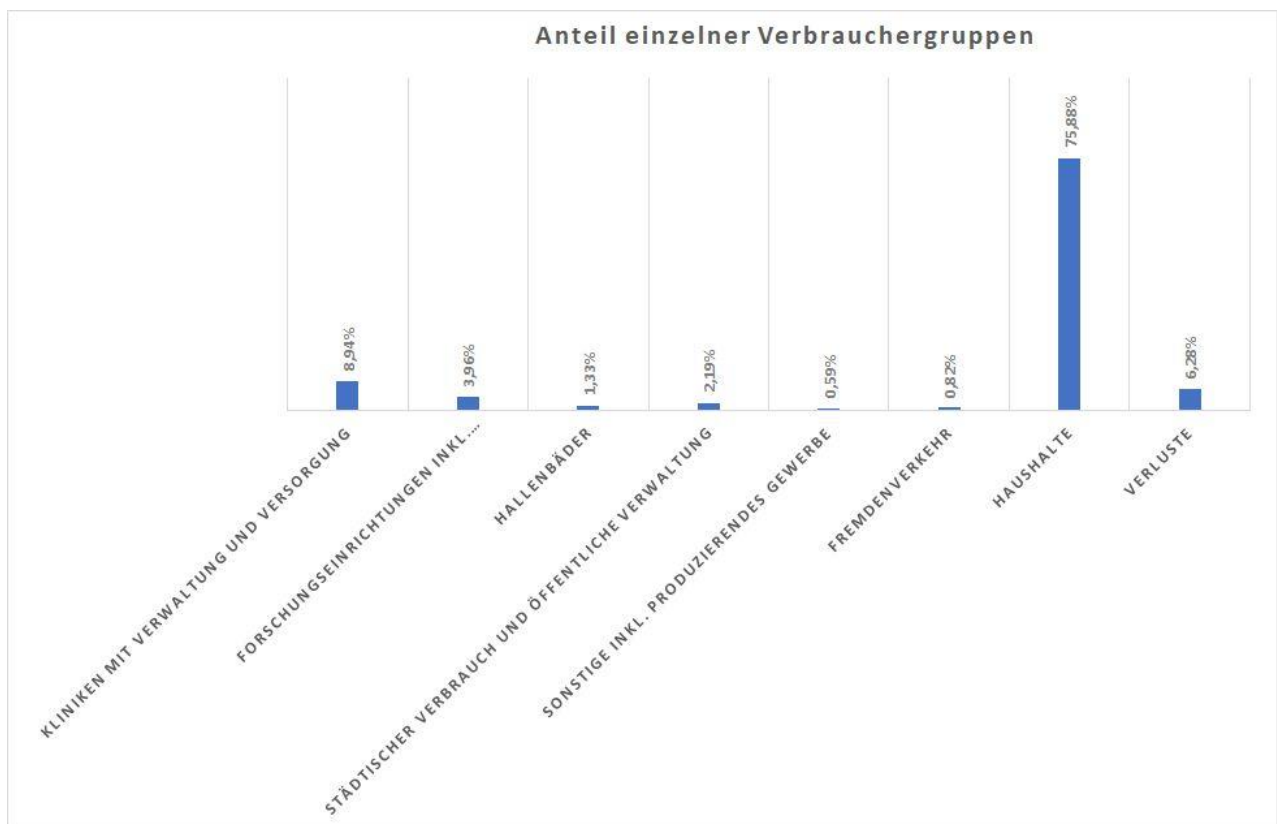


Abbildung 3-14: Prozentualer Anteil der unterschiedlichen Verbrauchergruppen bezogen auf die gesamte Abgabe (inkl. Verluste) für ein durchschnittliches Jahr

Tabelle 3-3: Errechneter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) aus unterschiedlichen Verbrauchergruppen für durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre

	Wasserbedarf [m ³ /a]		Hinweis
	Durchschnittliches Jahr	Verbrauchsreiches Jahr	
<i>Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung</i>	436.000	471.000	2015
<i>Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen</i>	193.000	207.000	2010
<i>Hallenbäder</i>	65.000	82.000	2004, im Sinne Reserve
<i>Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung</i>	107.000	123.000	2009
<i>Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe</i>	29.000	40.000	2016
<i>Fremdenverkehr</i>	40.000	40.000	2016
Teilsumme Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug	870.000	963.000	Überlagerung verbrauchsreicher Jahre
Haushalte	3.700.000	3.950.000	2016
Abgabe Letztverbraucher	4.570.000	4.913.000	
Verluste	306.190	329.171	6,70%
Summe	4.876.190	5.242.171	
Abgabe (aufgerundet)	4.900.000	5.250.000	

3.1.7 Spitzenbedarfstage

Neben dem durchschnittlichen Bedarf ist für die vorliegende Fragestellung auch der Bedarf an Tagen mit Spitzenbedarf von Interesse. Insbesondere nach längeren Trocken- und Hitzephasen kommt es gegenüber dem mittleren Verbrauch zu einem deutlich erhöhten Spitzenbedarf.

Im Hinblick auf die Rolle des Aubrunnens für die Eigenwassergewinnung steht dabei die Abgabe aus dem Hochbehälter Sand im Vordergrund, da in diesem das Eigenwasser mit dem Wasser der BWV gemischt wird (siehe Kapitel 4.1).

Die höchsten Tagesabgaben aus dem Mischbehälter Sand zwischen den Jahren 2010 und 2016 sind in Tabelle 3-4 gemeinsam mit dem durchschnittlichen Tagesbedarf dieser Jahre dargestellt. Als Maß für die Spitzenbelastung dient der Quotient aus der höchsten Tagesabgabe und der durchschnittlichen Tagesabgabe, der ebenfalls in der Tabelle angegeben ist. Dieser Quotient wird in DVGW (2008) auch Tagesspitzenfaktor genannt. Aus der Tabelle wird deutlich, dass in der jüngsten Vergangenheit die Abgabe an Spitzentagen um bis zu 44 % (Faktor 1,44) über dem Jahresdurchschnitt lag.

- **Tagesspitzenfaktor 1,44 für das Versorgungssystem des Mischbehälters Sand**

Aus dem Mischbehälter Sand werden ca. 72.500 Einwohner bzw. 82,8 % der Bevölkerung versorgt (siehe Kapitel 4.1). Errechnet man den Tagesspitzenfaktor nach dem in DVGW (2008) angegebenen Zusammenhang zur Einwohneranzahl, erhält man einen rechnerischen Wert von 1,7. Wegen der ausreichenden Anzahl der untersuchten Jahre wird der empirisch ermittelte Wert von 1,44 bzw. die entsprechende Tagesabgabe als aussagekräftiger als der theoretisch errechnete angesehen.

Die größten Tagesabgaben in den letzten Jahren aus dem Wasserbehälter in Pfrondorf betrug 741 m³/d (gemessen 2016), aus dem Wasserbehälter auf dem Herrlesberg 531 m³/d (gemessen 2013) und 1.944 m³/d für den Bezug der ASG lag. Trifft man abweichend von der empirischen Erfahrung die konservative Annahme, dass in allen Versorgungszonen die Spitzentage gleichzeitig auftreten, erhält man basierend auf Auswertungen für Tübingen

- **19.114 m³/d als höchste Tagesbereitstellung von Wasser.**

Auswertungen zu den Tagesspitzenfaktoren der Abgaben aus dem Wasserbehälter in Pfrondorf ergaben Tagesspitzenfaktoren von bis zu 1,88 (gemessen im Jahr 2016) und für den Wasserbehälter auf dem Herrlesberg von bis zu 2,07 (gemessen im Jahr 2012). Der Tagesspitzenfaktor für den Bezug der ASG lag bei 1,51 (Wert aufgetreten 2015 und 2016). Gewichtet man diese Tagesspitzenfaktoren anhand der mittleren Abgaben der vergangenen Jahre, erhält man einen:

- **Tagesspitzenfaktor 1,47 für das gesamte Versorgungssystem (abgabegewichtet nach den Teilversorgungssystemen)**

Verwendet man den Faktor von 1,47 für die Wasserabgabe an Letztverbraucher in einem durchschnittlichen Jahr von 4.566.000 m³/a und addiert die Verluste 305.922 m³/a (siehe Tabelle 3-3) erhält man 19.230 m³/d [$1,47 * 4.566.000 \text{ m}^3/\text{a} / (365 \text{ d/a}) + 305.922 \text{ m}^3/\text{a} / (365 \text{ d/a})$]. Diese mit einem abgabengewichteten Tagesspitzenfaktor ermittelte Zahl deckt sich sehr gut, mit der aus direkten Messungen abgeleiteten Zahl von 19.114 m³/d. Damit kann aufgezeigt werden, dass mit abgabengewichteten Spitzenfaktoren für das gesamte Versorgungssystem auf realistische Abgaben an Spitzentagen geschlossen werden kann. Diese Methode wird daher für die Prognosen verwendet.

Während der Trocken- und Hitzeperiode im Juni 2017 wurde am 23.6.17 eine neue „Rekord-Tagesabgabe“ von 16.388 m³ aus dem Mischbehälter Sand gemessen. Dieses Ergebnis wird im Rahmen der Prognosen berücksichtigt.

Tabelle 3-4: Durchschnittliche und höchste Tagesabgabe aus dem Mischbehälter Sand für die Jahre 2010 bis 2016

	Durchschnittliche Tagesabgabe m ³ /d	Höchste Tagesabgabe m ³ /d	Quotient aus höchster und durchschnittlicher Tagesabgabe
2010	10.810	14.804	1,37
2011	11.040	14.112	1,28
2012	10.872	13.728	1,26
2013	11.064	15.898	1,44
2014	10.872	13.728	1,26
2015	11.498	15.723	1,37
2016	11.727	15.037	1,28

3.2 Prognose des künftigen Bedarfs

3.2.1 Vorgehensweise

In den folgenden Unterkapiteln werden die Prognosen für den Wasserbedarf bis zum Jahr 2035 getrennt nach Verbrauchergruppen vorgestellt. Dabei wird nach den Verbrauchergruppen differenziert, die bereits bei der Analyse der aktuellen Situation betrachtet wurden. In Kapitel 3.2.5 werden die Ergebnisse der einzelnen Verbrauchergruppen zusammengeführt und als Übersicht präsentiert. Diese Betrachtung beinhaltet durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre.

Von Interesse sind auch Trocken- und Hitzephasen in denen sich über wenige Tage ein erhöhter Bedarf einstellt. Dieser erhöhte Bedarf wird z.B. durch häufigeres Duschen oder die intensivere Gartenbewässerung ausgelöst. Die Prognose des Bedarfs in Trocken- und Hitzephasen ist Gegenstand von Kapitel 3.2.6.

Für Großstädte wie Hamburg wurden bereits Wasserbedarfsstudien durchgeführt, bei denen geänderte Verbrauchergewohnheiten durch den Klimawandel prognostiziert wurden. Auch seitens des BDEW liegen grundsätzliche Aussagen zu den Wirkungen des Klimawandels vor. Der BDEW rechnet mit einer höheren Wasserabgabe innerhalb eines bestimmten Zeitraums (BDEW 2010). Die Hamburger Studie (Institut für sozial-ökologische Forschung, 2015) kommt zum Ergebnis, dass die Klimaänderung eine Zunahme längerer Phasen mit trockenen bzw. heißen Tagen bewirkt. Der Klimaeffekt führt insgesamt zu einer Zunahme der mittleren täglichen Wasserabgabe um ca. 0,4 %. Dies verteilt sich auf eine Zunahme in den Sommermonaten um 1,0 % und auf einen geringfügigen Rückgang von weniger als 0,2 % in den Wintermonaten.

Für die vorliegende Studie werden daher in Bezug auf die Jahresabgaben keine Effekte der Klimaänderung berücksichtigt. Bei den in den Sommermonaten liegenden Spitzentagen werden Klimaeffekte berücksichtigt.

3.2.2 Prognose des Wasserbedarfs für die Haushalte

Für die Prognose des Wasserbedarfs der Haushalte wird auf die Wachstumsszenarien der Bevölkerung des STALA (STALA Download 6) zurückgegriffen. Das STALA stellt eine sogenannte Hauptvariante und einen Korridor zur Verfügung. Der Korridor entsteht durch eine geringere bzw. höhere Wanderungsannahme. Die aktuelle Auswertung des STALA basiert auf dem Basisjahr 2014. Für das Jahr 2035 werden seitens des STALA folgende Bevölkerungszahlen für die Stadt Tübingen angegeben:

Bevölkerungszahl 2035

- Hauptvariante: 88.147 E
- Unterer Korridor: 78.920 E
- Oberer Korridor: 97.611 E

[Anmerkung: Darauf hinzuweisen ist, dass das Maximum in der Hauptvariante bereits 2021 mit einer Einwohnerzahl von 88.199 erreicht wird. Wegen des geringen Unterschieds zur Zahl für 2035 und der Überlagerung der angenommen stetigen Anstiege mit den weiteren Verbrauchergruppen wird in den nachfolgenden Prognosen die Einwohnerzahl 88.147 verwendet.]

Vergleicht man die Prognosezahlen des STALA mit der Einwohnerzahl von 87.464 für das Jahr 2015, so wird deutlich, dass die Hauptvariante nur eine geringfügige Zunahme vorhersagt. Die Korridore stehen für eine Bevölkerungsab- bzw. –zunahme in einer Größenordnung von ca. 10 %.

Im Hinblick auf die Prognose des Wasserbedarfs bedarf die Bevölkerungszahl des oberen Korridors von 97.611 für das Jahr 2035 einer Kommentierung. Unterstellt man, dass in Tübingen durch zusätzliche Neuausweisungen von Baugebieten, Nachverdichtungen und ggf. Zunahme der Haushaltsgrößen ein derartiger Zuwachs realisiert werden kann, so gibt es ausreichend fachliche Argumente, dass damit strenggenommen ein Rückgang des Pro-Kopf-Verbrauchs einhergehen müsste. Insbesondere kann bei neu geschaffenem Wohnraum ein geringerer Verbrauch unterstellt werden (z.B. volumenärmere Toilettenspülungen und wassersparende Armaturen als in Altbeständen). Für die nachfolgende Prognose wird jedoch eine konservative Herangehensweise gewählt und dieser Effekt wird nicht berücksichtigt. Ebenso wird die noch über viele Jahre andauernde Sanierung von Gebäuden und der damit einhergehende Einbau von wassersparenden Armaturen und Geräten mit der Auswirkung eines zu prognostizierenden geringeren täglichen Pro-Kopf-Verbrauchs nicht berücksichtigt. Für die Prognose werden verwendet:

Pro-Kopf-Verbrauch

- 117 l/(E*d) in normalen, mittleren Jahren
- 121 l/(E*d) für abgabestarke Jahre

Das Ergebnis der Prognose des Wasserbedarfs der Haushalte für das Jahr 2035 ist in Tabelle 3-5 dargestellt. Für die Hauptvariante und ein mittleres Jahr werden ca. 3,765 Mio. m³/a prognostiziert; für ein verbrauchreiches Jahr ca. 3,895 Mio. m³/a. Den höchsten prognostizierten Wert erhält man erwartungsgemäß in der Kombination „Oberer Korridor“ – „Verbrauchreiches Jahr“ mit ca. 4,31 Mio. m³/a.

Tabelle 3-5: Prognose des Wasserbedarfs der Haushalte für das Jahr 2035

	Mittleres Jahr	Verbrauchsreiches Jahr
Einwohnerzahl 2035		
Hauptvariante		88.147 E
<i>Unterer Korridor</i>		<i>78.920 E</i>
<i>Oberer Korridor</i>		<i>97.611 E</i>
Pro-Kopf-Verbrauch		
	117 l/(E*d)	121 l/(E*d)
Wasserbedarf Haushalte 2035:		
Hauptvariante	3.764.318 m ³ /a	3.893.012 m ³ /a
<i>Unterer Korridor</i>	<i>3.370.279 m³/a</i>	<i>3.485.502 m³/a</i>
<i>Oberer Korridor</i>	<i>4.168.478 m³/a</i>	<i>4.310.990 m³/a</i>

3.2.3 Prognose des Wasserbedarfs für Verbrauchergruppen mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug

Für die als "Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug" zusammengefassten Verbrauchergruppen können unterschiedliche zeitliche Entwicklungen angesetzt werden. Daher erfolgt eine getrennte Betrachtung.

Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung

Zur Prognose des künftigen Bedarfs für Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung werden die aus einer Gemeinderatsvorlage (Anlage 1 zu Vorlage 134/2017) erkennbaren Entwicklungen verwendet (Gemeinderatsvorlagen, 2017). Als Maß wird der künftige Flächenbedarf in Relation gesetzt zum aktuellen Flächenbedarf. Bis 2035 ist ein zusätzlicher Flächenbedarf (Nutzfläche) von ca. 20.000 m² erkennbar. 2015 lag der Flächenbedarf (Nutzfläche) bei 37.249 m². Hieraus errechnet sich ein Zuwachs von 54 %, wodurch der Wasserbedarf merklich ansteigt (siehe Tabelle 3-6).

$[(37.249 + 20.000) / 37.249 = 1,54]$

Tabelle 3-6: Prognose des Wasserbedarfs für Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung

	Mittleres Jahr [m ³ /a]	Verbrauchsreiches Jahr [m ³ /a]
Wasserabgabe Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung Aktuell	436.000	471.000
Zuwachs bis 2035		54 %
Wasserbedarf Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung 2035	671.440	725.340

Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen

Die Prognose des künftigen Bedarfs für „Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen“ erfolgt methodisch analog zur Vorgehensweise für Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung. Grundlage ist Anlage 9 zu Vorlage 134/2017 (Gemeinderatsvorlagen, 2017). Als Maß wird der Bedarf an Erweiterungsflächen der Universität herangezogen. Bis 2035 ist ein zusätzlicher Flächenbedarf (Nutzfläche) von ca. 62.000 m² erkennbar. Die Bestandsfläche 2015 beträgt 235.000 m². Hieraus errechnet sich ein Zuwachs von 27 %, wodurch der Wasserbedarf moderat ansteigt (siehe Tabelle 3-7).

$$[(62.000 + 235.000) / 235.000 = 1,264]$$

Tabelle 3-7: Prognose des Wasserbedarfs für Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen

	Mittleres Jahr [m ³ /a]	Verbrauchsreiches Jahr [m ³ /a]
Wasserabgabe Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen Aktuell	193.000	207.000
Zuwachs bis 2035		27 %
Wasserbedarf Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen 2035	245.110	262.890

Hallenbäder

Die Tübinger Hallenbäder weisen eine sehr gute Auslastung auf. Eine wesentliche Steigerung der Besucherzahlen erscheint kaum realistisch. Durch die zurückliegende Sanierung des Hallenbads Nord sind auch die technischen Möglichkeiten im Hinblick auf die Reduzierung des Wassererbrauchs auf absehbare Zeit ausgereizt. Daher wird für die Prognose ein unveränderter Verbrauch für die Hallenbäder gegenüber dem Istzustand unterstellt (siehe Tabelle 3-8). Im Sinne einer Reserve wird der in den zurückliegenden Jahren gemessene Maximalwert als „Verbrauchsreiches Jahr“ verwendet.

Tabelle 3-8: Prognose des künftigen Wasserbedarfs der Hallenbäder

	Mittleres Jahr [m ³ /a]	Verbrauchsreiches Jahr [m ³ /a]
Wasserabgabe Hallenbäder Aktuell	65.000	82.000
Zuwachs bis 2035		0 %
Wasserbedarf Hallenbäder 2035	65.000	82.000

Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung

Im Zuge von Modernisierungen von Gebäuden (z.B. technisches Rathaus) und der damit einhergehenden Erneuerung im Sanitärbereich kann es grundsätzlich zu Einsparungen im Wasserverbrauch kommen. Diese Einsparungen sind jedoch im Detail nicht vorhersehbar. Für die vorliegende Studie wird eine konservative Abschätzung vorgenommen und keine Einsparung unterstellt. Es wird eine Orientierung des Wasserverbrauchs für den „Städtischer Verbrauch und die öffentliche Verwaltung“ anhand der Bevölkerungszunahme des Oberen Korridors des STALA für die Bevölkerungszunahme verwendet. Damit erhält man eine Zunahme in Höhe von 12 %. Die prognostizierten Zahlenwerte sind in Tabelle 3-9 dokumentiert.

Tabelle 3-9: Prognose des Wasserbedarfs für den städtischen Verbrauch und die öffentliche Verwaltung

	Mittleres Jahr [m ³ /a]	Verbrauchsreiches Jahr [m ³ /a]
Wasserabgabe Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung aktuell	107.000	123.000
Zuwachs bis 2035		12 %
Wasserbedarf Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung 2035	119.840	137.760

Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe

Wegen des geringen und nahezu unbedeutenden Anteils dieser Verbraucherguppe kann für die Prognose auf eine differenzierte Betrachtung verzichtet werden. Vereinfachend wird eine zeitliche Entwicklung entsprechend der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung für die Produktion an Waren und Dienstleistungen unterstellt (siehe Tabelle 3-10). Als Indikator für die wirtschaftliche Entwicklung wird das Bruttoinlandsprodukt mit einer Steigerung von derzeit 1,5%/a und damit näherungsweise 30 % ($1,015^{18}=1,307$) bis zum Jahr 2035 verwendet. Diese Steigerung 1,5%/a bezieht sich auf künftige Entwicklungen der bestehenden Betriebe.

Die in Tabelle 3-10 mit einer Wasserabgabe von 29.000 m³/a (mittleres Jahr) erfassten Betriebe beinhalten ausschließlich die in der SWT-Abgabestatistik erkennbaren Großverbraucher. Kleinere Gewerbebetriebe, die in der Abgabestatistik nicht auffallen, sind darin nicht enthalten. Die Wasserabgabe an kleinere Gewerbebetriebe ist - methodisch bedingt – bei den Haushalten berücksichtigt. Um eine mögliche künftige Gewerbeflächenentwicklung mit ca. 40 ha (Vorlage 329/2017) in die Wasserbedarfsprognose miteinzubeziehen, muss diese Entwicklung separat betrachtet werden. Der zu erwartende Wasserbedarf für zusätzliche Flächen ist mit der o.g. Steigerung gemäß dem Bruttoinlandsprodukt an nur wenige Großverbraucher nicht abgedeckt. Die Wasserabgabe für die mögliche Gewerbeflächenentwicklung (40 ha) wird daher nach dem Mittelwert für gemischte Gewerbegebiete gemäß DVGW (2008) in Höhe von 2,0 m³/(ha*d) ermittelt. Damit erhält man für eine mögliche Gewerbeflächenentwicklung einen jährlichen Wasserbedarf von aufgerundet 30.000 m³/a. Für diese Studie wird angenommen, dass sich die Gewerbeflächenentwicklung nur schrittweise einstellt und die Steigerung nicht ab heute beginnt. Bis 2035 wird daher nur ein Zuwachs von ca. 15 % angesetzt ($30.000 \cdot 1,15$).

Tabelle 3-10: Prognose des Wasserbedarfs für sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) und Gewerbeflächenentwicklung

	Mittleres Jahr [m³/a]	Verbrauchsreiches Jahr [m³/a]
Wasserabgabe Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) aktuell	29.000	40.000
Zuwachs bis 2035		30 %
Wasserbedarf Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) 2035	37.700	52.000
Wasserbedarf Gewerbeflächenentwicklung inkl. Zuwachs bis 2035	34.500	34.500
Summe 2035: Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) und Gewerbeflächenentwicklung	72.200	86.500

Fremdenverkehr

Unter Verwendung des in Kapitel 3.1.4 aufgezeigten Trends für die Übernachtungszahlen ist ein Zuwachs von 100.000 Übernachtungen/a bis zum Jahr 2035 vorstellbar. Dies kann zu einem Zuwachs bis zum Jahr 2035 von 15.000 m³/a führen.

Tabelle 3-11: Prognose des Wasserbedarfs für den Fremdenverkehr

Wasserabgabe Fremdenverkehr aktuell	40.000 m ³ /a
Zuwachs bis 2035	15.000 m ³ /a
Wasserbedarf Fremdenverkehr 2035	55.000 m ³ /a

3.2.4 Prognose der künftigen Wasserverluste

Wie bereits im Zusammenhang mit der aktuellen Situation in Kapitel 3.1.5 aufgezeigt, sind die Wasserverluste in Tübingen erfreulicherweise vergleichsweise gering. Für die Prognose der Wasserverluste wird kein künftiges Einsparpotenzial gesehen. Vielmehr wird unterstellt, dass die bisherigen Aufwendungen und Anstrengungen der SWT auch in Zukunft aufrecht erhalten bleiben und Maßnahmen getroffen werden, sofern eine Erhöhung der Verluste eintreten sollte. Es wird folglich eine Wirksamkeit der Maßnahmen der SWT für den Erhalt und für die laufende Sanierung des Trinkwassernetzes für die Wasserbedarfsstudie unterstellt.

Für die Prognose der Verluste wird rechnerisch angenommen, dass sich der Prozentanteil der Verluste künftig nicht verändert. Es wird ein mittlerer Verlust von 6,7 % bezogen auf die Prognose der Wasserabgabe an Letztverbraucher angesetzt. Entsprechende Mengenangaben in m³/a erfolgen im nachfolgenden Kapitel.

3.2.5 Prognose der künftigen Wasserabgabe als Übersicht

Die Zusammensetzung der künftigen Wasserabgabe wird als Übersicht in Tabelle 3-12 dokumentiert. Die in den vorangegangenen Kapiteln 3.2.2, 3.2.3 und 3.2.4 errechneten Zahlenwerte werden in die Tabelle übernommen. Bezüglich des Wasserbedarfs der Haushalte liegt der Tabelle 3-12 die Hauptvariante für die Entwicklung der

Bevölkerungszahl zu Grunde. Gegenüber der aktuellen Situation ergeben sich die wesentlichen Steigerungen in der Teilsumme für die Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug.

Tabelle 3-12: Bis zum Jahr 2035 prognostizierter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) differenziert nach Verbrauchergruppen für durchschnittliche und verbrauchsreiche Jahre

	Wasserbedarf 2035 [m³/a]	
	Durchschnittliches Jahr	Verbrauchsreiches Jahr
<i>Kliniken mit deren Verwaltung und Versorgung</i>	671.440	725.340
<i>Forschungseinrichtungen inkl. Technologieunternehmen</i>	245.110	262.890
<i>Hallenbäder</i>	65.000	82.000
<i>Städtischer Verbrauch und öffentliche Verwaltung</i>	119.840	137.760
<i>Sonstige Großverbraucher inkl. produzierendes Gewerbe (Bestand) und Gewerbeflächenentwicklung</i>	72.200	86.500
<i>Fremdenverkehr</i>	55.000	55.000
Teilsumme Verbraucher mit hoher Jahresabgabe ohne Wohnbezug	1.228.590	1.349.490
Haushalte (Hauptvariante)	3.764.318	3.893.012
	4.992.908	5.242.502
Abgabe Letztverbraucher	334.525	351.248
Verluste	5.327.432	5.593.750
Summe	5.330.000	5.595.000

Der Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auf den künftigen Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch die SWT) ist in Tabelle 3-13 dargestellt. Diese Tabelle macht deutlich, dass in Abhängigkeit von der Wachstumsprognose für die Bevölkerung eine Wasserabgabe durch die SWT in durchschnittlichen Jahren zwischen 4,91 Mio. m³/a und 5,76 Mio. m³/a zu erwarten ist. In verbrauchsreichen Jahren können sich Werte von bis zu 6,04 Mio. m³/a ergeben, sofern sich die Bevölkerung entsprechend dem Oberen Korridor entwickelt.

Tabelle 3-13: Bis zum Jahr 2035 prognostizierter Wasserbedarf (bzw. Wasserabgabe durch SWT) differenziert nach Szenarien für die Bevölkerungsentwicklung

	Abgabe [m ³ /a]	
	Durchschnittliches Jahr	Verbrauchsreiches Jahr
Unter Verwendung der Hauptvariante für die Bevölkerungszahl	5.330.000	5.595.000
Unter Verwendung des Unteren Korridors für die Bevölkerungszahl	4.910.000	5.160.000
Unter Verwendung des Oberen Korridors für die Bevölkerungszahl	5.760.000	6.040.000

3.2.6 Prognose des Bedarfs an Spitzentagen

Wie bereits ausgeführt, wurde während der Trocken- und Hitzeperiode im Juni 2017 am 23.6.17 eine Tagesabgabe von 16.388 m³ aus dem Mischbehälter Sand gemessen. Diese liegt um rund 3 % über der maximalen Tagesabgabe der Vorjahre.

Die Entwicklungen in 2017 und künftige Klimaeffekte sprechen dafür, den abgabegewichteten Tagesspitzenfaktor 1,47 (bzw. 147 %) für das gesamte Versorgungssystem (siehe Kapitel 3.1.7) aus den Vorjahren für die Prognosen nach oben zu korrigieren. Für die Prognosen wird ein Wert von 1,53 (bzw. 153 %) verwendet. Dies beinhaltet eine Erhöhung von 3 % für die Erkenntnisse aus 2017, 1 % für Wirkungen des Klimawandels und 2% für Unvorhergesehenes.

Da sich der abgabegewichtete Spitzenfaktor auf den Durchschnitt von mehreren Jahren bezieht, werden als Basis für die Prognose der Abgabe an Spitzentagen durchschnittliche Jahre herangezogen. Die prognostizierten Jahresabgaben an die Letztverbraucher werden mit dem Faktor 1,53 multipliziert und die Verluste hinzugerechnet. Verluste werden nicht mit 1,53 multipliziert, da kein Zusammenhang zu der von den Verbrauchergewohnheiten abhängigen Abgabenspitze erkennbar ist.

Es ergeben sich die in Tabelle 3-14 dargestellten Abgaben für künftige Spitzentage.

Tabelle 3-14: Bedarf an Spitzentagen im Jahr 2035 (bzw. Abgabe durch die SWT) differenziert nach Szenarien für die Bevölkerungsentwicklung unter Verwendung eines abgabegewichteten Spitzenfaktors von 1,53

	Abgabe [m³/d]
Unter Verwendung der Hauptvariante für die Bevölkerungszahl	21.850
Unter Verwendung des Unteren Korridors für die Bevölkerungszahl	20.125
Unter Verwendung des Oberen Korridors für die Bevölkerungszahl	23.615

4 Versorgungssituation und Deckung des Bedarfs

4.1 Wasseraufkommen und Versorgungsgebiet

Für die Versorgung Tübingens mit Trinkwasser verfügen die Stadtwerke Tübingen über ergiebige Eigenwasservorkommen in den Neckarkiesen. Weiteres wichtiges Standbein sind die Bezugsrechte beim Zweckverband Bodenseewasserversorgung und beim Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe.

Im Hinblick auf die Herkunft des Trinkwassers kann Tübingen in drei Gebiete aufgeteilt werden (siehe Abbildung 4-1 und Tabelle 4-1). Die Kernstadt und die überwiegende Anzahl der Stadtteile werden mit Mischwasser beliefert. Mischwasser bedeutet, dass gemäß dem aktuellen Betriebskonzept das Grundwasser aus den Neckarkiesen (Eigenwasser) mit dem Wasser aus dem Bodensee (bereitgestellt durch die BWV) im Verhältnis 1 zu 3 gemischt wird. Pfrondorf und höher gelegene Ortsteile Lustnau werden ausschließlich mit Bodenseewasser versorgt. Bühl, Hirschau, Unterjesingen und Hagelloch werden mit Wasser der Ammertal-Schönbuchgruppe (ASG) beliefert. In diesem Kontext ist zu präzisieren, dass in die Ortsnetze Bühls, Hirschaus und einem Teil Unterjesingens (Niederzone) ausschließlich Grundwasser der Ammertal-Schönbuchgruppe eingespeist wird. Im anderen Teil Unterjesingens (Hochzone) und in Hagelloch handelt es sich um eine Mischung von ASG-Grundwasser und Bodenseewasser.

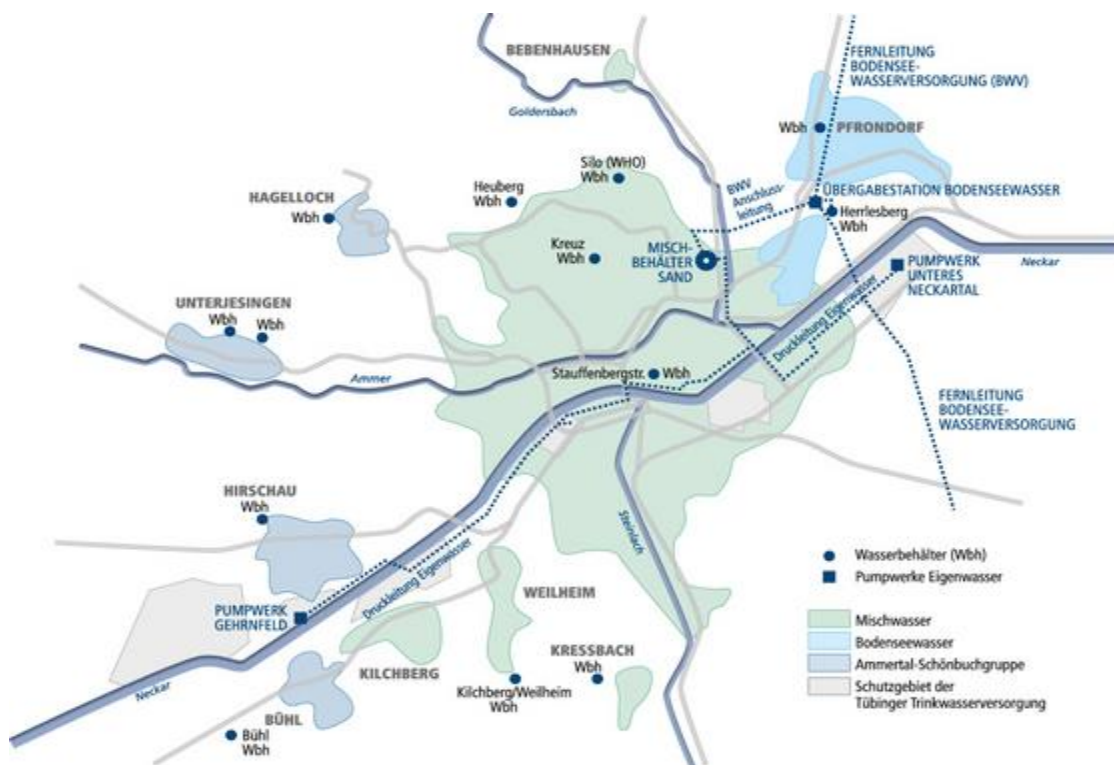


Abbildung 4-1: Tübinger Trinkwasserversorgungszonen (Datenquelle: SWT-Homepage)

Tabelle 4-1: Tübinger Trinkwasserversorgungszonen mit Wasserherkunft und Anteil an der Gesamtbevölkerung (Datenquelle: SWT-Homepage)

Versorgungszonen	Trinkwasser	% der Gesamtbevölkerung
Kernstadt, Derendingen, Kilchberg, Kressbach, Lustnau, Weilheim, Bebenhausen	Mischwasser aus Eigenwasser (Grundwasser aus den Neckarkiesen) und Zweckverband Bodenseewasserversorgung	82,8
Berghof, Eichwaldes, Herrlesberg, Pfrondorf	Zweckverband Bodenseewasserversorgung	6,2
Bühl, Hirschau, Unterjesingen, Hagelloch	Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe	11,0

Die Tabelle 4-2 zeigt die Aufteilung der Tübinger Bevölkerung nach Stadtteilen im Jahr 2015. Die größten Stadtteile sind die Kernstadt Tübingen, sowie die Stadtteile Lustnau und Derendingen, gefolgt von den weiter außerhalb liegenden Stadtteilen Pfrondorf und Hirschau. Unter Verwendung der Zahlen dieser Tabelle und einer Abtrennung der Bevölkerung Lustnaus gemäß Tabelle 4-3 in Höhe von 20 % für Berghof, Eichhalde und Herrlesberg ergibt sich die in Tabelle 4-1 dargestellte Aufteilung der Gesamtbevölkerung in die unterschiedlichen Versorgungszonen.

Tabelle 4-2: Tübinger Bevölkerung aufgeteilt nach Stadtteilen 2015 (Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016)

Stadtteil	Bevölkerung E	Bevölkerung in %
Tübingen	53.865	61,8
Lustnau	10.373	11,9
Derendingen	6.982	8,0
Bebenhausen	326	0,4
Pfrondorf	3.316	3,8
Weilheim (mit Kressbach)	1.431	1,7
Kilchberg	1.235	1,4
Bühl	2.112	2,4
Hirschau	3.304	3,8
Unterjesingen	2.559	2,9
Hagelloch	1.669	1,9
insgesamt	87.172	100

*Tabelle 4-3: Tübinger Bevölkerung aufgeteilt nach dem Stadtteil Lustnau 2015
(Datenquelle: Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016)*

Stadtteil	Bevölkerung E	Bevölkerung in %
Lustnau gesamt	10.373	100
021 Lustnau Zentrum	3.096	29,9
021 Herrlesberg/Stäudach	1.985	19,1
021 Alte Weberei	714	6,9
022 Denzenberg	1.897	18,3
022 Sand	479	4,6
023 Neuhalde	1.223	11,8
026 Aeule	979	9,4

4.2 Wasserrechte für Eigenwasser und Bezugsrechte

Für die Förderung von Eigenwasser haben die SWT in den vergangenen Jahren auf nachfolgend beschriebene Wassergewinnungsanlagen zurückgegriffen. Die zulässigen Entnahmen sind durch die aufgeführten Entscheidungen des Landratsamts Tübingen geregelt:

Horizontalfilterbrunnen im Unteren Neckartal (Entscheidung vom 10.12.2003, Laufzeit bis zum 31.12.2023)

Q₂₄ max. 60 l/s ganzjährig

Q₂₄ max. 70 l/s an 30 Tagen pro Jahr

Vertikalfilterbrunnen im Unteren Neckartal (Entscheidung vom 10.12.2003, Laufzeit bis zum 31.12.2023)

Q₂₄ max. 17 l/s ganzjährig

Q₂₄ max. 20 l/s an 30 Tagen pro Jahr

Horizontalfilterbrunnen Gehrnfeld (Entscheidung vom 16.7.2007, Laufzeit 31.12.2027)

2,21 Mio. m³/Jahr bzw. 70 l/s,

100 l/s an 90 Spitzenbedarfstagen im Jahr

Die SWT besitzen ferner Bezugsrechte beim Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV) und beim Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe (ASG). Die Bezugsrechte werden in den Satzungen der Zweckverbände Beteiligungsquoten genannt. Dies entspricht der Wassermenge, die dem jeweiligen Verbandsmitglied zusteht:

Beteiligungsquote bei der BWV gemäß BWV (2007):

203 l/s (dies entspricht 6.401.808 m³/Jahr)

Beteiligungsquote bei der ASG gemäß ASG (2003):

36 l/s (dies entspricht 1.135.296 m³/Jahr)

Weitere **Brunnen der SWT** sind:

- Pumpwerk Au
- Wildermuthbrunnen
- Brunnen Pfrondorf
- Brunnen Weilheim

Auf diese Brunnen musste in den zurückliegenden Jahren nicht zurückgegriffen werden.

Die beiden

- Freibadbrunnen

werden bei den SWT nicht als Brunnen für die Trinkwasserversorgung geführt. Aus Sicht von Kobus und Partner wäre in Notzeiten ein Zugriff auf die beiden Freibadbrunnen möglich.

4.3 Ergiebigkeit der Wassergewinnungsanlagen

In den nachfolgenden Ausführungen wird die Ergiebigkeit der Wassergewinnungsanlagen beschrieben. Diese Beschreibung beinhaltet sowohl Aspekte aus der Zeit der Erschließung der Anlagen als auch aktuelle Erkenntnisse. Es wird erläutert, wie die in den Wasserrechten genannten Förderraten aus hydrogeologischer oder grundwasserhydraulischer Sicht zu bewerten sind und ob diese für die Bedarfsdeckung herangezogen werden können. Diese Ausführungen beziehen sich auf den Horizontalfilter- und Vertikalfilterbrunnen im Unteren Neckartal und den Brunnen im Gehrnfeld. Ergänzend wird aus der Reihe der übrigen SWT-Brunnen der Aubrunnen mitbeschrieben, für den im Jahr 2016 ein Pumpversuch durchgeführt wurde.

Unteres Neckartal

Zur Ergiebigkeit des Horizontalfilterbrunnens im Unteren Neckartal sind Daten aus einem Pumpversuch (damalige Bezeichnung Leitertest) aus dem Jahr 1978 bekannt (GLA, 1984). Damals wurden über 214 Stunden durchschnittlich 55 l/s entnommen. Diese Entnahme führte zu einer Absenkung von 1,08 m.

Nach dem Bohren zusätzlicher Stränge wurden 1981 weitere Tests durchgeführt. Dabei handelte es sich um einen dreistufigen Brunnentest und einen Leitertest. Während des Brunnentests im Jahr 1981 (Horizontalfilterbrunnen) wurde mit jeweils 8 Stunden Dauer und Entnahmen von 30 l/s, 60 l/s und 90 l/s Absenkungen von 0,27 m, 0,54 m und 1,19 m ermittelt.

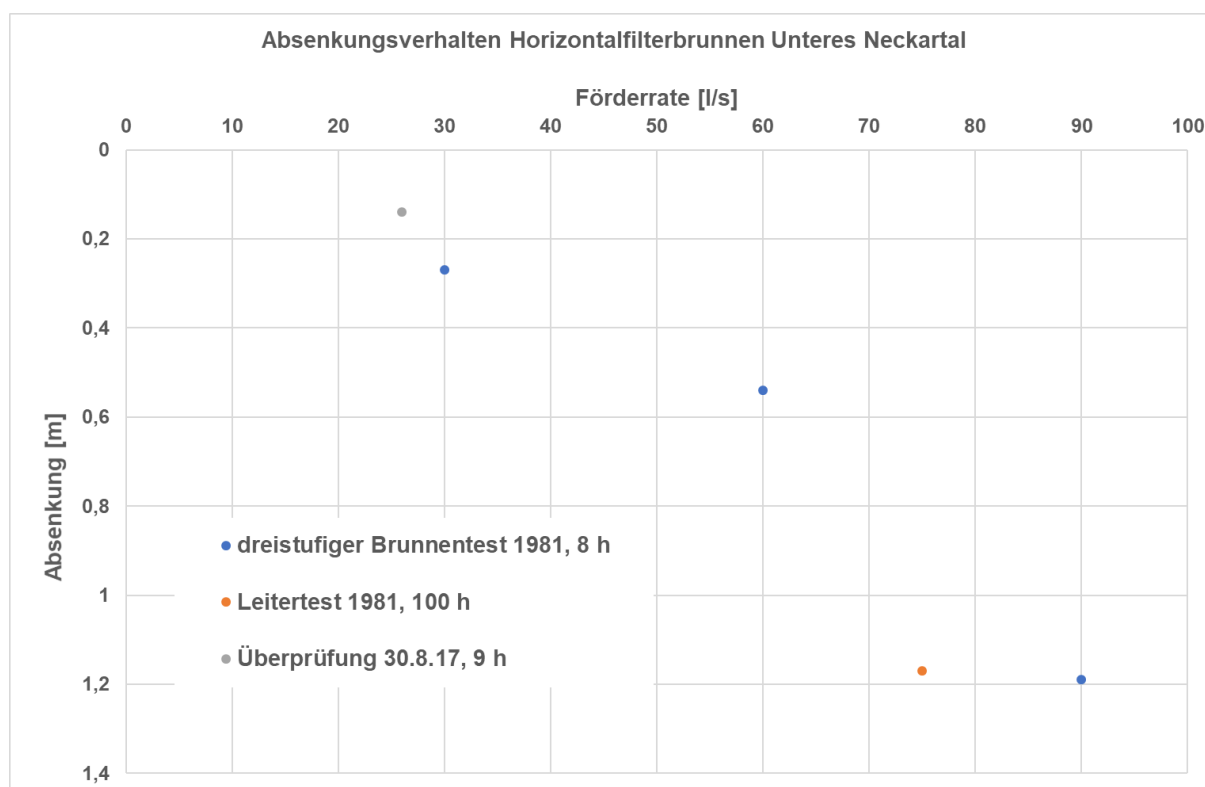


Abbildung 4-2: Absenkungsverhalten des Horizontalfilterbrunnen Unteres Neckartal (Datenquelle: SWT, GLA 1984)

Im Zuge des Leitertests im Jahr 1981 (Horizontalfilterbrunnen) über 120 Stunden mit einer Entnahme von 75 l/s traten am Ende starke hydrologische Beeinflussungen auf. Nur die ersten 100 Stunden konnten ausgewertet werden. Für den Horizontalbrunnen wird ein Absenkungsbetrag von 1,17 m angegeben (siehe auch Abbildung 4-3/Abbildung 4-2). An den benachbarten Messstellen lagen die Absenkungen unter 0,7 m. Die wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters liegt bei durchschnittlich 5,5 m. Ein 9-stündiger Pumpversuch mit 26 l/s am Horizontalfilterbrunnen Unteres Neckartal am 30.08.2017 führte zu einer Brunnenabsenkung von 0,14 m. Dieser Absenkungsbetrag passt sehr gut zum vergleichbaren dreistufigen Brunnentest aus 1981, während dem ähnliche Pumpzeiten wie bei der Überprüfung 2017 vorlagen. Somit besitzt der Horizontalfilterbrunnen Unteres Neckartal noch seine frühere Ergiebigkeit.

Während des Leitertests 1981 wurde der Vertikalfilterbrunnen zeitweise mit 14,5 l/s zugeschaltet. Der Absenkungsbetrag des Vertikalfilterbrunnens kann aus einem Diagramm zu 0,22 m abgeschätzt werden (keine textliche Erwähnung im Originaldokument). Am 30.08.2017 erfolgte am Vertikalfilterbrunnen Unteres Neckartal ein 9-stündiger Pumpversuch mit einem Brunnenbetrieb von 18 l/s. Dies führte zu einer Absenkung im Brunnen von nur 0,055 m (siehe Abbildung 4-3). Die Pumpzeiten während des Leitertests 1981 lagen deutlich über der Überprüfung 2017. Somit sind die

beiden Versuche im Hinblick auf die Absenkungen nicht vergleichbar. Die 2017 gemessene Absenkung liefert jedoch keine Hinweise für eine Verschlechterung der Ergiebigkeit. Der vergleichsweise geringe Absenkungsbetrag in 2017 ist Indiz für einen sehr guten Zustand des Vertikalbrunnens.



Abbildung 4-3: Absenkungsverhalten des Vertikalfilterbrunnen Unteres Neckartal (Datenquelle: SWT, GLA 1984)

Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde vom damaligen Geologischen Landesamt (GLA) ausgeführt, dass eine Dauerentnahme von 60 l/s aus dem Horizontalfilterbrunnen und 17 l/s aus dem Vertikalbrunnen problemlos möglich sein dürfte. Darauf hingewiesen wurde, dass merkliche Anteile des geförderten Grundwassers aus „unmittelbar beigezogenen Neckaruferfiltrat“ besteht (35 % bei 60 l/s aus dem Horizontalfilterbrunnen + 17 l/s aus dem Vertikalfilterbrunnen). Auch der übrige Anteil beinhaltet schon Anteile von Neckarinfiltrat; allerdings mit längeren Verweilzeit im Grundwasserleiter.

Steigerungen auf 70 l/s und 20 l/s über 30 Tagen sind nach den Ausführungen des GLA auch bei Niedrigwasserverhältnissen möglich. In einer weiteren Bewertung des GLA aus dem Jahr 1988 (GLA 1988) werden diese Zahlen wiederholt; weitere Steigerungsmöglichkeiten als die aufgeführten Erhöhungen über einen Monat werden nicht gesehen.

Die wasserrechtlich zugelassene Dauerentnahme mit 60 l/s für den Horizontalfilterbrunnen und 17 l/s für den Vertikalfilterbrunnen bzw. Spitzenentnahmen von bis zu 30 Tagen über 70 l/s und 20 l/s orientieren sich an diesen Erkenntnissen.

Gehrnfeld

Für den Brunnen Gehrnfeld liegen Ergebnisse eines Pumpversuchs der Preussag AG aus dem April 1969 vor (Preussag AG, 1971). Im Zuge der Erschließung des Brunnens Gehrnfeld wurde im April/Mai 1969 ein 23-tägiger Pumpversuch durchgeführt. Als Entnahmeort wurde ein Versuchsbrunnen gewählt, der ca. 75 m westlich des heutigen Brunnenschachts liegt. Die Förderstufen variierten zwischen 20 l/s und 100 l/s. Bei 20 l/s betrug die Brunnenabsenkung 0,5 m und bei 40 l/s 1,08 m (siehe Abbildung 4-4). Nach 4 Tagen Brunnenbetrieb mit 70 l/s ergab sich eine Absenkung im Brunnen von 2,32 m. Der Betrieb mit 100 l/s führte zu sehr großen Absenkungen von ca. 5,5 m im Versuchsbrunnen. Diese hohen Absenkungen sind auf Brunnenverluste zurückzuführen. In umliegenden Messstellen wurden merklich geringere Absenkungen gemessen. So betrug die Absenkungen in der Grundwassermessstelle N1, die sich unmittelbar nördlich des Versuchsbrunnens befand, bei 70 l/s-Entnahme nur noch 1,18 m. Die grundwassererfüllte Mächtigkeit betrug am Versuchsbrunnen bei 70 l/s noch 5,7 m. Der Horizontalfilterbrunnen Gehrnfeld wurde auf der Basis der Erkundungen in Bereich mit noch größerer Mächtigkeit verlegt.

Am 29.08.2017 erfolgte 12-stündiger Pumpversuch mit einem Brunnenbetrieb von 32 l/s. Dies führte zu einer Absenkung im Brunnen von 0,28 m. Wegen der Brunnenverlegung ist dieser Absenkungsbetrag nicht vergleichbar mit den Werten des Versuchsbrunnens im Jahr 1969. Als Orientierung kann aber die 1969 in Brunnennähe gemessene Grundwasserstandsreaktion in der N1 verwendet werden. Die Überprüfung passt sich gut in dieses Absenkungsmuster ein. Für den Brunnen Gehrnfeld ergeben sich somit keine Hinweise auf eine Verschlechterung der Ergiebigkeit.

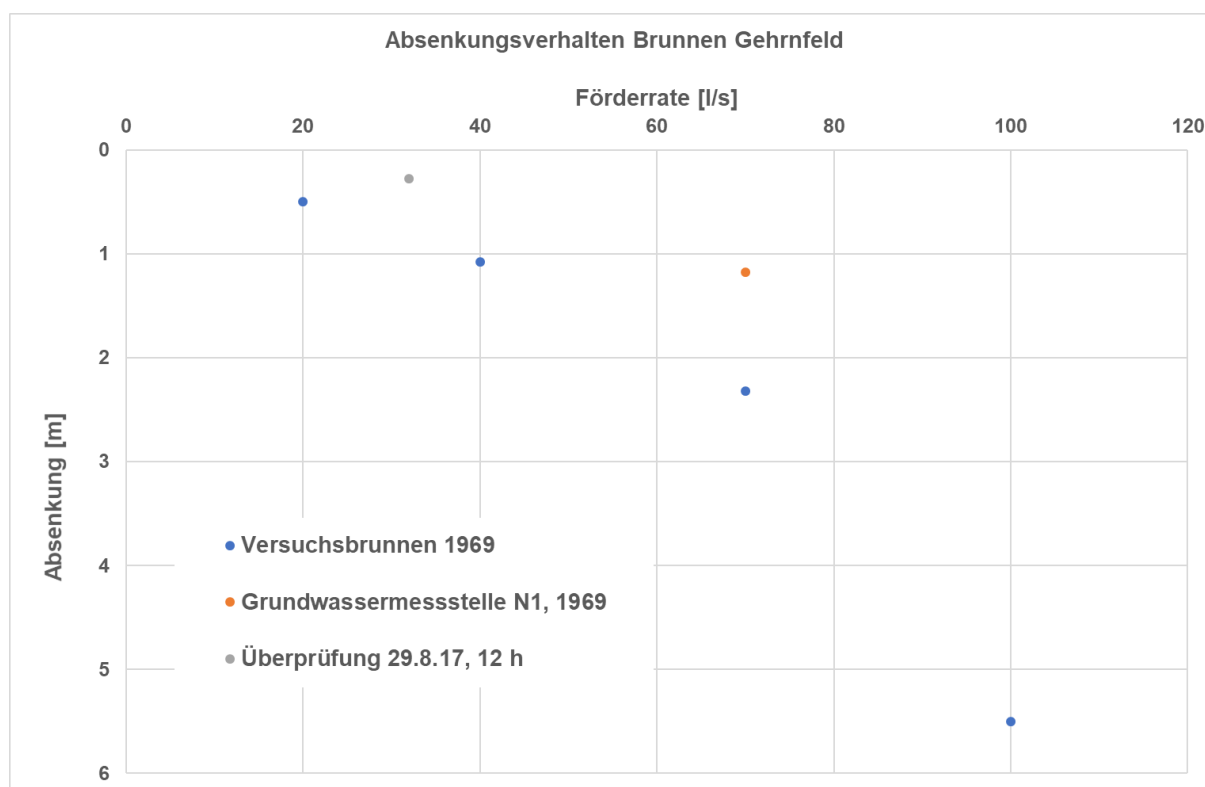


Abbildung 4-4: Absenkungsverhalten des Brunnen Gehrnfeld (Datenquelle: SWT, Preussag AG 1971)

Auch am Brunnen Gehrnfeld wird ein beträchtlicher Anteil von Neckaruferfiltrat angezogen (kup, 2005) auf vergleichsweise kurzem Weg.

Die wasserrechtlich zugelassene Dauerentnahme von 70 l/s bzw. Spitzenentnahmen von bis zu 30 Tagen über 100 l/s orientieren sich an den Erkenntnissen des Pumpversuchs.

Aubrunnen

Am Aubrunnen wurde im Herbst 2016 ein zweistufiger Pumpversuch durchgeführt. Über den Zeitraum von einer Woche wurden 14,2 l/s entnommen. In der daran anschließenden Woche wurde der Brunnen mit einer Pumprate von 27,9 l/s betrieben. Am Ende der ersten Versuchswoche betrug die Absenkung des Grundwasserspiegels 0,32 m; am Ende der zweiten Versuchswoche 0,85 m. Vor Ende des Versuchs betrug die Absinkgeschwindigkeit des Grundwasserspiegels im Brunnen noch 9 cm in 3 Tagen. Eine sogenannte Beharrung hat sich folglich nicht eingestellt. D.h. mit längerer Versuchsdauer wären die Grundwasserstände weiter abgesunken. Da die wassererfüllte Mächtigkeit im Brunnen am Ende der zweiten Versuchswoche zu 4,73 m bestimmt wurde, bestehen keine Zweifel, dass aus dem Aubrunnen die 27,9 l/s auch über einige Wochen gefördert werden können. Ein Wert von 30 l/s erscheint realisierbar. Eine Dauerentnahme von 40 l/s sehen wir am Aubrunnen allerdings nicht.

Dies ist insbesondere in den überproportional zunehmenden Eintrittsverlusten und gleichzeitiger Abnahme der wassererfüllten Mächtigkeit bei 40 l/s begründet.

Im Hinblick auf das Beiziehen von Neckaruferfiltrat unterscheidet sich der Aubrunnen vom den Brunnen im Unteren Neckartal und im Gehrenfeld. Am Aubrunnen ist nicht von einem unmittelbaren Beiziehen von Neckaruferfiltrat auszugehen. Aber auch der Aubrunnen dürfte Anteile von Neckarfiltrat aufweisen; allerdings mit längerer Verweilzeit im Grundwasserleiter. Eine Quantifizierung hierzu liegt nicht vor.

4.4 Wasserförderung und -verteilung

Die Untersuchung der Wasserförderung und -verteilung sowie deren Leistungsfähigkeit ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Grundlegende Untersuchungen dazu erfolgten bereits im Mai und September 2015 durch die RBS wave (2015). Die Studie bestätigt die Leistungsfähigkeit der Anlagen und Netze. Weitergehende Hinweise für besondere Versorgungssituationen sollen nach Aussage der SWT bei der strategischen Entwicklung des Wasserverteilungssystems berücksichtigt werden.

4.5 Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte im Normalbetrieb und bei Störungen

Die Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte wurde für den Normalbetrieb und für zwei Störfälle untersucht.

- **Normalbetrieb** bedeutet in diesem Kontext, dass die Eigenwasservorkommen im Unteren Neckartal (Horizontal- und Vertikalfilterbrunnen) und im Gehrnfeld zur Verfügung stehen und die Bezugsrechte bei der BWV und der ASG genutzt werden können.
- **Störfall Gehrnfeld** bedeutet in diesem Kontext, dass nur das Eigenwasservorkommen im Unteren Neckartal (Horizontal- und Vertikalfilterbrunnen) zur Verfügung steht, aber die Bezugsrechte bei der BWV und der ASG genutzt werden können.
- **Störfall Unteres Neckartal** bedeutet in diesem Kontext, dass nur das Eigenwasservorkommen im Gehrnfeld zur Verfügung steht, aber die Bezugsrechte bei der BWV und der ASG genutzt werden können.

Die Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte wurde ferner für insgesamt 6 Szenarien hinsichtlich des Wasserbedarfs berechnet. Diese sind:

Betrachtung Jahresdurchschnitt

- Aktueller Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr, Jahresdurchschnitt: 5,25 Mio. m³/a (siehe Tabelle 4-4)
- Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 5,595 Mio. m³/a (siehe Tabelle 4-5)
- Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 6,04 Mio. m³/a (siehe Tabelle 4-6)

Betrachtung Spitzentage

- Aktueller Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr, Spitzentag: 19.114 m³/d (siehe Tabelle 4-7)
- Wasserbedarf 2035, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 21.850 m³/d (siehe Tabelle 4-8)
- Wasserbedarf 2035, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 23.615 m³/d (siehe Tabelle 4-9)

Die in Tabelle 4-4 bis Tabelle 4-9 angegebenen Prozentzahlen für die Auslastung der Wasserrechte für das Eigenwasser beziehen sich auf die gewährten Wasserrechte im Jahresdurchschnitt; die gewährten Wasserrechte für den Spitzenbedarf werden nicht als Referenz angesetzt. Für den Störfall Gehrnfeld werden nur die Wasserrechte für das Untere Neckartal als Referenz verwendet; für den Störfall Unteres Neckartal nur die Wasserrechte für das Gehrnfeld.

Aus Tabelle 4-4 bis Tabelle 4-9 wird deutlich, dass bei allen Szenarien hinsichtlich des Wasserbedarfs weder im Normalbetrieb noch bei den unterstellten Störfällen eine vollständige Auslastung der Wasser- oder Bezugsrechte entsteht. Die Störfälle können selbst für das abgabestärkste Szenario (siehe Tabelle 4-9) „Wasserbedarf 2035, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 23.615 m³/d“ ohne Überlastung der Bezugsrechte, ohne Nutzung der Wasserrechte für den Spitzenbedarf und ohne Hinzuschalten von weiteren SWT-Brunnen kompensiert werden. Im Hinblick auf die beiden Eigenwasservorkommen ist bilanziell eine vollständige Redundanz durch die Brunnen im Unteren Neckartal und im Gehrnfeld gewährleistet.

Je nach Szenario kommt es zu Auslastungen der Wasser- oder Bezugsrechte von größer 80 %. Die Wasser- und Bezugsrechte sind daher nicht überdimensioniert.

Tabelle 4-4: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den aktuellen Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr, Jahresdurchschnitt: 5,25 Mio. m³/a

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	23,4%	56,0%	50,9%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	44,8%	56,0%	50,9%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	49,2%	56,0%	50,9%

**Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar*

Tabelle 4-5: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 5,595 Mio. m³/a

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	25,0%	59,7%	54,2%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	47,7%	59,7%	54,2%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	52,5%	59,7%	54,2%

*Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar

Tabelle 4-6: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Jahresdurchschnitt: 6,04 Mio. m³/a

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	27,0%	64,4%	58,5%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	51,5%	64,4%	58,5%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	56,6%	64,4%	58,5%

*Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar

Tabelle 4-7: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den aktuellen Wasserbedarf, Spitzentag: 19.114 m³/d

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	31,2%	74,4%	67,6%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	59,5%	74,4%	67,6%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	65,4%	74,4%	67,6%

*Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar

Tabelle 4-8: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 21.850 m³/d

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	35,6%	85,1%	77,3%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	68,0%	85,1%	77,3%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	74,8%	85,1%	77,3%

*Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar

Tabelle 4-9: Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte für den Wasserbedarf 2035, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung, Spitzentag: 23.615 m³/d

	Auslastung der Wasser- und Bezugsrechte		
	Eigenwasser*	BWV	ASG
Normalbetrieb	38,5%	92,0%	83,5%
Ausfall Gehrnfeld Bezug BWV und ASG	73,5%	92,0%	83,5%
Ausfall Unteres Neckartal Bezug BWV und ASG	80,8%	92,0%	83,5%

**Wasserrechte für Unteres Neckartal und Gehrnfeld nur wenn Vorkommen im Störfall verfügbar*

4.6 Versorgungssicherheit der Versorgungszone „Kernstadt u.a.“

Im Hinblick auf die Aubrunnen-Thematik wird ergänzend zu den Auswertungen im vorangegangenen Kapitel eine vertiefte Betrachtung der Versorgungszone durchgeführt, die im Normalbetrieb mit Mischwasser versorgt wird und für die der Aubrunnen genutzt werden könnte. Zu dieser Versorgungszone „Kernstadt u.a.“ zählen die Kernstadt sowie die Ortsteile Derendingen, Kilchberg, Kressbach, Lustnau, Weilheim und Bebenhausen.

Dabei wird eine für Versorgungssysteme universell anwendbare Herangehensweise gewählt, in dem der Versorgungsgrad berechnet wird, wenn eine Ressource ausfällt. Für die Versorgungszone „Kernstadt u.a.“ werden derzeit drei unabhängige Wasservorkommen genutzt: die beiden Eigenwasservorkommen im Unteren Neckartal und im Gehrnfeld sowie der Bezug durch die BWV. Zur Ermittlung des Ausfall-Versorgungsgrads wird unterstellt, dass die stärkste Ressource ausfällt. Der Ausfall-Versorgungsgrad errechnet sich aus der Summe der verbleibenden Ressourcen dividiert durch den Bedarf. Im Falle der Kernstadt ist der Bezug der BWV mit über 6,4 Mio. m³/a die stärkste Ressource, so dass als verbleibende Ressourcen das Eigenwasser im Gehrnfeld und im Unteren Neckartal verbleiben. Ein Ausfall-Versorgungsgrad von 1 bedeutet, dass die Versorgungszone Kernstadt u.a. auch bei einem Ausfall aus bilanzieller Sicht zu 100 % versorgt werden kann.

$$\text{Ausfallversorgungsgrad} = \frac{\text{Entnahmen Gehrnfeld + Unteres Neckartal}}{\text{Bedarf}} \quad (\text{Gleichung 4.1})$$

Die Bedeutung des Aubrunnens kann daran festgemacht werden, in dem der Ausfall-Versorgungsgrad anstatt auf der Basis von 3 Ressourcen auf der Basis von 4 Ressourcen, d.h. inkl. Aubrunnen, berechnet wird. Der Zähler in der oben dargestellten Formel wird um die Entnahme des Aubrunnens erweitert. Gemäß den Ausführungen in Kapitel 4.3 wird für den Aubrunnen ein Wert von 30 l/s als mögliche Entnahme angesetzt.

Im Hinblick auf den im Nenner stehenden Bedarf in der obigen Gleichung 4.1 werden die in Kapitel 4.5 beschriebenen 6 Szenarien betrachtet. Allerdings müssen die dort aufgeführten Bedarfswerte mit dem Faktor 0,828 multipliziert werden, da nur ca. 82,8 % auf diese Versorgungszone entfallen. Für die Entnahmen im Gehrnfeld und im Unteren Neckartal werden die wasserrechtlich genehmigten mittleren Entnahmen angesetzt; bei Szenarien an Spitzentagen werden die mittleren Entnahmen um die gewählten Spitzenentnahmen erweitert.

In Tabelle 4-10 ist grundsätzlich zu erkennen, dass der Ausfall-Versorgungsgrad eines Versorgungssystems, das den Aubrunnen als vollwertigen Trinkwasserbrunnen annimmt, stets nahe an 1 (0,97) bzw. über 1 liegt. D.h. ein Ausfall der BWV wäre mit dem Aubrunnen bilanziell zu 100 % kompensierbar.

Erwartungsgemäß ist auch der Ausfall-Versorgungsgrad mit Aubrunnen generell größer als ohne Aubrunnen. Ohne Aubrunnen erreicht der Ausfall-Versorgungsgrad sowohl für den aktuellen Bedarf als auch für den für das Jahr 2035 ermittelten Bedarf für die Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung sowohl im Jahresdurchschnitt als auch an Spitzentagen meist die Zahl 1 bzw. mit 0,91 annähernd die 1. D.h. bei einem Ausfall der BWV kann für die genannten Szenarien auch ohne Aubrunnen bilanziell nahezu eine 100-ige Kompensation erreicht werden.

Der kleinste Ausfall-Versorgungsgrad wird mit 0,84 erreicht, wenn der Aubrunnen nicht zur Verfügung steht, sich eine Bevölkerungsentwicklung gemäß dem Oberen Korridor einstellen würde und die BWV in Zeiten mit Spitzenverbrauch ausfällt. Dass unter diesen Randbedingungen ein Wert von 0,84 erreicht (d.h. 84 % des Bedarfs können bilanziell gedeckt werden), ist aus unserer Sicht kein wesentliches Defizit.

Wesentlich ist aus unserer Sicht, dass der Ausfall der BWV nicht nur landesweit eine besondere Versorgungssituation darstellt, sondern auch für Tübingen. Das Tübinger Wasserverteilungssystem muss bei einem BWV-Ausfall umgestellt werden. Umstellungen sind erforderlich, damit das Eigenwasser zum Verbraucher kommt. Folglich ist entscheidend, dass die erforderlichen Umstellungen im Leitungssystem gelingen und entsprechende Pumpkapazitäten zur Verfügung stehen. Diese Vorkehrungen vorzubereiten und verfügbar zu halten wird ausschlaggebend sein, wenn ein Ausfall der BWV durch Eigenwasser kompensiert werden muss. Ob ein bilanziell ermittelter Ausfall-Versorgungsgrad bei 0,9 oder bei 1 liegt, ist von untergeordneter Bedeutung.

Die Unterschiede der Ausfall-Versorgungsgrade mit und ohne Aubrunnen sind auch nicht so groß, dass zwingend der Aubrunnen bei einem BWV-Ausfall genutzt werden muss. Es erscheint durchaus sinnvoll, mit laufend genutzten und damit qualitativ gut bekannten Brunnen zu arbeiten und nur ca. 90 % des Bedarfs zu decken.

Darauf hinzuweisen ist, dass die Ortsteile Pfrondorf und Herrlesberg und die nur mit Eigenwasser der ASG versorgten Ortsteile im Neckartal sowie die Niederzone Unterjesingens schlechtere Ausfall-Versorgungsgrade aufweisen als die Versorgungszone „Kernstadt u. a.“.

Tabelle 4-10: *Ausfall-Versorgungsgrad bei Ausfall der BWV für die Versorgungszone „Kernstadt u.a.“ mit und ohne Aubrunnen für verschiedene Szenarien*

	Ausfall-Versorgungsgrad	
	Ohne Aubrunnen	Mit Aubrunnen
Szenarien Jahresdurchschnitt		
Aktueller Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr: 5,25 Mio. m ³ /a *0,828	1,07	1,28
Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung, 5,595 Mio. m ³ /a *0,828	1,00	1,20
Wasserbedarf 2035 in einem verbrauchsreichen Jahr, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung 6,04 Mio. m ³ /a *0,828	0,93	1,12
Szenarien Spitzentage		
Aktueller Wasserbedarf in einem verbrauchsreichen Jahr 19.114 m ³ /d *0,828	1,04	1,20
Wasserbedarf 2035, Hauptvariante der Bevölkerungsentwicklung 21.850 m ³ /d *0,828	0,91	1,05
Wasserbedarf 2035, Oberer Korridor der Bevölkerungsentwicklung 23.615 m ³ /d *0,828	0,84	0,97

5 Empfehlungen und Schlussbemerkung

Normalbetrieb

Aus rein bilanzieller Sicht kann die Tübinger Trinkwasserversorgung im Normalbetrieb mit den beiden Brunnen im Unteren Neckartal und mit dem Brunnen im Gehrnfeld sowie durch die Bezugsrechte bei der BWV und der ASG sichergestellt werden. Im Normalbetrieb sind auch ohne Aubrunnen ausreichende Redundanzen vorhanden. Diese Aussagen gelten sowohl für den derzeitigen Wasserbedarf wie auch für den in dieser Studie ermittelten zukünftigen Wasserbedarf.

Extremsituationen

In dieser Studie wird auch die Extremsituation des Ausfalls der BWV betrachtet, die in mehrfacher Hinsicht als Extremsituation angesehen werden kann. Dies liegt zum einen an der landesweiten Bedeutung der BWV. Zum zweiten daran, dass es in über 50 Betriebsjahren niemals zu einer Versorgungsunterbrechung gekommen ist, welche die Versorgung der Verbandsmitglieder der BWV in Frage gestellt hätte (BWV 2012). Und zum dritten ist auf die erforderlichen Umstellungen im Versorgungsnetz der SWT und die notwendigen Pumpkapazitäten an den Eigenbrunnen Gehrnfeld und Unteres Neckartal hinzuweisen, die für die Trinkwasserversorgung bei einem BWV-Ausfall erforderlich sind.

Bei einem BWV-Ausfall erhöht sich bilanziell die rechnerische Versorgungssicherheit, wenn der Aubrunnen zusätzlich zu den Brunnen im Unteren Neckartal und im Gehrnfeld genutzt werden kann. Diese erhöhte rechnerische Versorgungssicherheit durch den Aubrunnen ist nach Einschätzung von Kobus und Partner allerdings von geringer Bedeutung. Es erscheint durchaus sinnvoll, auch in Extremsituationen zunächst mit laufend genutzten Brunnen zu arbeiten.

Allerdings kann der Aubrunnen die Reaktionsmöglichkeiten der SWT und damit die praktische Versorgungssicherheit in Extrem- oder Katastrophensituationen verbessern. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in den rechnerischen Kennzahlen dieser Studie nicht wieder. Diese Überlegungen sprechen dafür, künftig eine Nutzung des Aubrunnens speziell für Extrem- oder Katastrophensituationen vorzusehen.

LITERATURVERZEICHNIS

ASG (2003): Verbandssatzung des Zweckverbands Ammertal-Schönbuchgruppe, Stand 2003

BDEW (2010): Auswirkungen des Klimawandels und des demografischen Wandels auf die Wasserwirtschaft, Wasser/Abwasser-Info, Berlin 2010

BWV (2007): Verbandssatzung des Zweckverbands Bodenseewasserversorgung, Stand 2007

BWV (2012): Wissensdurst: eine Fachveröffentlichung der Bodenseewasserversorgung ; 2012 / Heft 7; Versorgungssicherheit durch Anlagenoptimierung, S.31

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW (2008): Arbeitsblatt W 410: Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen, S. 28.

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW (2003): Arbeitsblatt W 392: Rohrnetzinspektion und Wasserverluste – Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen

kup (2005): A 260-1 Grundwassermodell Unteres, Mittleres und Oberes Neckartal bei Tübingen, Modellaufbau sowie Kalibrierung und Prognosen im Bereich des Brunnens Gehrnfeld, unveröffentlicht

Institut für sozial-ökologische Forschung (2015): ISOE – Studientexte, Nr. 24, ISSN 0947-6083, Wasserbedarfsprognose für Hamburg und Umland bis 2045, Frankfurt am Main, 2015

Mutschmann / Stimmelmayer (2014): Taschenbuch der Wasserversorgung, Vieweg-Verlag (16. Auflage), S. 978.

GLA (1984): Hydrogeologischen Gutachten über die Förderleistung der Brunnen im Wasserwerk Unteres Neckartal der Stadt Tübingen vom 30.4.1984, Az. Vi/Di Nr. II/2-1431/71, unveröffentlicht

GLA (1988): Hydrogeologisches Gutachten über die Grundwasservorkommen im Neckartal bei Tübingen, Az. 4763-25/88 TÜ Vi/Ru/Di vom 19.9.1988, unveröffentlicht

Preussag AG (1971): Erläuterungsbericht zur Auswertung der hydrologischen Vorarbeiten Hirschau nebst Anlagen, AZ 6220 – 1 Hpr/Sch vom 10.Mai 1971), unveröffentlicht

RBS wave (2015): Stadtwerke Tübingen GmbH Eigenwassernutzung, Untersuchung, Mai 2015 und Eigenwassernutzung Teil 2, September 2015

SWT (2016): Auswertung zu Wasserverlusten für das Jahr 2016, unveröffentlicht

Downloads (2017)

Ammertal-Schönbuchgruppe 2016: Geschäftsbericht 2015
(u.a. veröffentlicht auf der Homepage der ASG, abgerufen am 17.8.2017:
http://www.asg-wasser.de/wDeutsch/ueber_uns/geschaeftsberichte.php?navanchor=2110011)

BDEW 2017: Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauchs in Litern pro Einwohner und Tag, Deutschland:
([https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0005B64B/\\$file/Entwicklung%20des%20personenbezogenen%20Wassergebrauches%20ab%201990%20online%2001042017.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0005B64B/$file/Entwicklung%20des%20personenbezogenen%20Wassergebrauches%20ab%201990%20online%2001042017.pdf), Download am 09.08.2017)

Statistischer Jahresbericht Tübingen 2016:
(https://www.tuebingen.de/Dateien/statistischer_jahresbericht_2016.pdf, Stand: 02.08.2017)

Gemeinderatsvorlagen der Universitätsstadt Tübingen 2017:
Anlage 1 zu Vorlage 134/2017
Anlage 9 zu Vorlage 134/2017
http://www.tuebingen.de/gemeinderat/vo0050.php?__kvonr=7496
Download am 09.08.2017

Vorlage 329/2017: Grundsatzbeschluss Gewerbeflächenentwicklung
https://www.tuebingen.de/gemeinderat/vo0050.php?__kvonr=8910&voselect=2831
Download am 19.09.2017

STALA (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg):

STALA Download 1:

Öffentliche Wasserversorgung: Öffentliche Wasserversorgung seit 2004 im Landesvergleich Land Baden-Württemberg (<http://www.statistik-bw.de/Umwelt/Wasser/22025035.tab?R=GS416041>, Download am 09.08.2017)

STALA Download 2:

Bevölkerung, Gebiet und Bevölkerungsdichte: Gemeindegebiet, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte seit 1961 Universitätsstadt Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Bevoelkerung/01515020.tab?R=GS416041>, Download am 02.08.2017)

STALA Download 3

Haushalteschätzung nach Haushaltsgröße: Private Wohnhaushalte nach Haushaltsgröße seit 2013 Universitätsstadt Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/PrivHaushalte/EntwStruktur/99055010.tab?R=GS416041>, Download am 14.08.2017)

Haushalte sowie durchschnittliche Haushaltsgröße: Privathaushalte sowie durchschnittliche Haushaltsgröße 1961, 1970, 1987 und 2011 Universitätsstadt Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/PrivHaushalte/EntwStruktur/99025080.tab?R=GS416041>, Download am 14.08.2017))

STALA Download 4:

Wasserversorgung: Pro-Kopf Stadt Tübingen
Öffentliche Wasserversorgung: Öffentliche Wasserversorgung seit 2004 im Landesvergleich Universitätsstadt Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/Umwelt/Wasser/22025035.tab?R=GS416041>, Download am 14.08.2017)

STALA Download 5:

Wasserversorgung: Pro-Kopf LK Tübingen
Öffentliche Wasserversorgung: Öffentliche Wasserversorgung seit 2004 im Landesvergleich Landkreis Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/Umwelt/Wasser/22025035.tab?R=KR416>, Download am 14.08.2017))

STALA Download 6:

Entwicklungskorridor für Gemeinden: Voraussichtliche Entwicklung der Bevölkerung bis 2035: Hauptvariante mit Wanderungen und Entwicklungskorridor Universitätsstadt Tübingen (<https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/Vorausrechnung/98015100.tab?R=GS416041>, Download: 31.07.2017)

STALA Download 7:

Beherbergung im Reiseverkehr ab 2004, Universitätsstadt Tübingen
(<https://www.statistik-w.de/TourismGastgew/Tourismus/08065012.tab?R=GS416041>,
Download: 07.09.2017)

