

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 46 (2001)

Artikel: Wasserbilanz der Stadt Schaffhausen
Autor: Battaglia, Marc-Aurel / Capaul, Urs
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-584885>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wasserbilanz der Stadt Schaffhausen¹

von

Marc-Aurel Battaglia und Urs Capaul

Zusammenfassung: Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe von klimatischen Monatswerten und aktuellen Versiegelungsdaten eine Wasserbilanz der Stadt Schaffhausen für den Zeitraum 1978–1997 zu erstellen und damit eine Abschätzung der Grundwasserneubildung auf Gemeindegebiet vorzunehmen. Anschliessend wurde die durchschnittliche Grundwasserneubildung mit dem jetzigen Grundwasserverbrauch verglichen. Über das Abflussregime der Oberflächengewässer kann wegen fehlender Messdaten keine Aussage gemacht werden. Die hier dargestellte Methode stellt dennoch einen Versuch dar, den gesamten Wasserkreislauf der Stadt Schaffhausen zu erfassen und in die entsprechenden Kompartimente aufzuteilen.

Aufgrund der speziellen Lage der Stadt Schaffhausen liegt der durchschnittliche Jahresniederschlag deutlich unter dem schweizerischen Mittel. Die Gebietsverdunstung der Stadt Schaffhausen ist infolge der hohen Verdunstungsrate des Waldes und des hohen Waldanteils relativ hoch, ohne aber die Grundwasserneubildungsrate wesentlich zu beeinträchtigen. Überraschend war, dass die natürliche Grundwasserneubildung im Vergleich zum Grundwasserverbrauch relativ gross ist, was insbesondere auf den noch grossen unversiegelten Anteil des Umlandes zurückzuführen ist. Die Grundwasserneubildung entspricht damit den Vorgaben des Gewässerschutzgesetzes und darf zur Zeit als nachhaltig bezeichnet werden.

¹ Vorliegende Untersuchung basiert auf einer Diplomarbeit, welche am Geographischen Institut der Universität Zürich ausgeführt wurde; sie ist in der Institutsbibliothek einsehbar.

1 Einleitung

Der Wasserverbrauch in der Stadt Schaffhausen ist seit einigen Jahren rückläufig. Im Quervergleich mit andern Gemeinden oder mit Nationen, welche vom Niederschlag nicht derart bevorzugt sind wie die Schweiz, ist der Verbrauch aber noch deutlich höher. Deshalb kommt immer wieder die Frage auf, ob die quantitative Entwicklung der Grundwasservorkommen nachhaltig in dem Sinne sei, dass der Bezug aus dem Grundwasser die Neuspeisung nicht übersteigt. Immerhin deckt die Schweiz ihren Trinkwasserverbrauch zu rund $\frac{2}{5}$ aus Grundwasservorkommen, und in der Stadt Schaffhausen sind es sogar 98 %. Artikel 43 Abs. 1 des Gewässerschutzgesetzes fordert, «*dass einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen wird, als ihm zufliest*». Mittlerweile wächst die Erkenntnis, dass bei «*...steigendem Wasserverbrauch von Wirtschaft, Industrie, Landwirtschaft und privaten Haushalten das Wasser nicht mehr problemlos zu jeder Zeit und in jeder beliebigen Menge verfügbar gemacht werden kann* (SCHROEDTER 1985: Vorwort).» DYCK (1989: Vorwort) stellt deshalb fest: «*Die Befriedigung der ständig wachsenden Ansprüche der Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft an das Wasser stellt immer höhere Anforderungen an die Erfassung, den Schutz und die rationelle Nutzung der Wasserressourcen.*»

Die Grundwasserneuspeisung ist aber ganz wesentlich von der Beschaffenheit der Erdoberfläche und ihrer Bestockung sowie des darunter liegenden Materials abhängig. Die zunehmende Versiegelung verhindert die Neubildung, wenn nicht gezielt Massnahmen zur Versickerung des Niederschlages getroffen werden. Grundsätzlich stellt sich somit die Frage, ob eine Wasserversorgung einer Stadt wie Schaffhausen überhaupt nachhaltig sein kann. Insbesondere in grösseren städtischen Gebieten ist mit folgenden Problemkreisen zu rechnen:

- Reduktion der Grundwasserspeisung und in der Folge ein langfristiges Absinken des Grundwasserspiegels.
- Hochwasserspitzen in Oberflächengewässern mit erhöhter Erosions- und Überschwemmungsgefahr.
- Höhere Kosten in Kläranlagen aufgrund der Abwasserverdünnung, wenn übermäßig unverschmutztes Abwasser über die Kanalisation entsorgt wird.

Folgende Untersuchungen sollen für das Gebiet der Stadt Schaffhausen Antwort auf die zentrale Frage geben, ob der städtische Wasserbedarf die Neuspeisung des Grundwassers übersteigt. Ziel ist die Erstellung einer Wasserbilanz, in der Niederschlag, Abfluss und Versickerung sowie die reale Verdunstung für den Zeitraum 1978 bis 1997 dargestellt werden. Die Berechnungen basieren auf durchschnittlichen Monatswerten. Zur Bestimmung der Verdunstung soll eine Methode angewendet werden, welche die verschiedenen Nutzungsarten (Siedlung, Wald, andere Vegetation, Gewässer) berücksichtigt.

In diesem Zusammenhang stellen sich folgende weiteren Fragen:

- Wie gross ist der reale Niederschlag?
- Wie unterscheidet sich die Verdunstung der verschiedenen Nutzungsarten?
- Welche Niederschlagsmenge fliesst mit den Oberflächengewässern (Bäche und Flüsse) ab?
- Welche Niederschlagsmenge dient der Anreicherung des Grundwassers?

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Wasserbilanz

KELLER (1961: S. 9–10) definiert eine Wasserbilanz als mengenmässige Erfassung des Wasserkreislaufes. «Dabei wird in mm Wasserhöhe angegeben, wieviel Wasser auf die einzelnen Kreislaufkomponente Niederschlag, Abfluss, Verdunstung, Rücklage und Aufbrauch entfällt. Derartige Studien werden häufig auch als Wasserhaushaltsuntersuchungen bezeichnet.»

Bei der Ermittlung einer Wasserbilanz geht es somit um die Frage, welche Wassermengen einem Flussgebiet oder einer Landschaft zugeführt werden, und wie dieses zugeführte Wasser wieder ausgegeben wird. Dabei werden nur die Wassereinnahmen und -ausgaben an und unter der Erdoberfläche erfasst, ohne die Feuchtigkeitszufuhr und -abgabe im Luftraum zu berücksichtigen.

Das Wasser eines Flussgebietes oder einer Landschaft wird über den Abfluss und über die Verdunstung abgegeben. Der Abfluss geschieht entweder oberflächlich mit den Flüssen oder unterirdisch mit dem Grundwasser. Die Verdunstung gibt das Wasser in gasförmigem Zustand an den Luftraum zurück. Danach kann es erneut als Niederschlag herunterfallen oder mit den Luftmassen in ein anderes Gebiet transportiert werden.

Die **allgemeine Wasserbilanzgleichung** lautet:

$$\text{Niederschlag (N)} = \text{Abfluss (A)} + \text{Verdunstung (V)}$$

Eine Wasserbilanz sollte nur für einen längeren Zeitraum aufgestellt werden, da nicht alles Wasser sofort abfliesst oder verdunstet. Niederschlag zum Beispiel, der in den Wintermonaten als Schnee fällt, kann nicht sofort abfliessen oder verdunsten. Deshalb wird er in der Wasserbilanz als Rücklage (R) bezeichnet. Der Aufbrauch (B) des Schnees erfolgt dann einige Monate später im Frühling. Dieser Aufbrauch wird in den Abfluss spitzen, die von den Schmelzwässern verursacht werden, deutlich sichtbar. In einem regenarmen Sommer müssen der Abfluss und die Verdunstung von der Rücklage zehren. Über längere Zeiträume hinweg (mindestens 10 Jahre) gleichen sich Rücklage und Aufbrauch aber aus. Die Vorrats- oder Speicheränderung kann dann in der Wasserbilanzgleichung vernachlässigt werden, was bei der Untersuchung kurzer Zeitabschnitte (Jahr, Halbjahr oder Monat) nicht der Fall ist.

Die einzelnen Komponenten der allgemeinen Gleichung

$$N = A + V + (R - B)$$

können noch in Teilprozesse weiterzerlegt werden. Die Verdunstung lässt sich als Summe von Evaporation, Transpiration und Interzeption darstellen, der Abfluss kann in einen Oberflächen-, einen Zwischen- und einen Grundwasserabfluss aufgeteilt werden. Die Speicherung schliesslich kann in Form von Schnee, Eis, Oberflächen-, Boden- oder Grundwasser erfolgen (LANG 1994).

2.2 Kreislaufkomponenten

Abbildung 1 zeigt diejenigen Komponenten, welche für den Wasserhaushalt einer Stadt von Bedeutung sind.

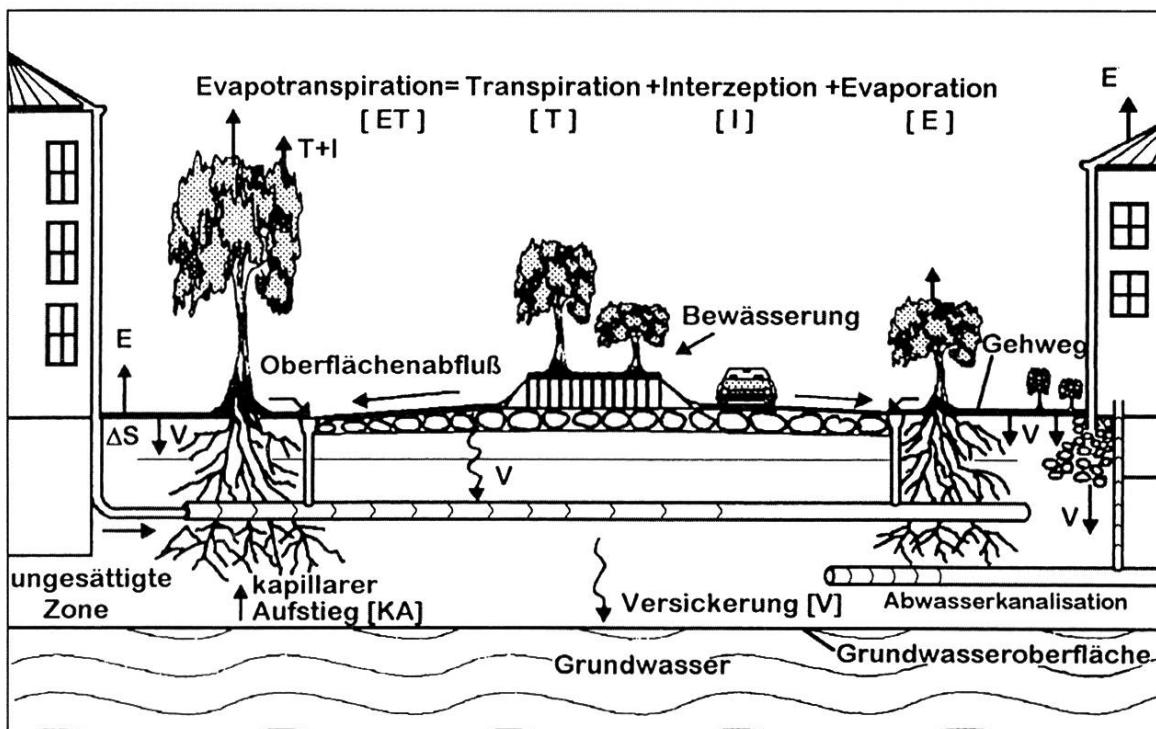


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wasserhaushaltssubkomponenten urbaner Böden (aus: HERRMANN et al. 1997: S.118)

2.2.1 Niederschlag

Bei Niederschlagsmessungen können verschiedene Fehler und Störfaktoren auftreten wie Winde oder Verdunstungen im Messgerät. Die wahren Niederschlagsmengen sind in der Regel grösser als die von den Messgeräten erfassten. In der Schweiz wurden deshalb für 64 Wetterstationen Korrekturwerte ermittelt (SEVRUK 1985). Für die Schweiz beträgt die durchschnittliche Korrektur während eines Jahres +8 % des gemessenen Niederschlages, wobei die Korrektur im Winterhalbjahr (+11 %) grösser ist als im Sommerhalbjahr (+7 %). Die Werte für die Station Schaffhausen liegen bei +10,4 % für ein Jahr gemittelt (+13,2 % im Winter-, +8 % im Sommerhalbjahr).

Die monatlichen Korrekturwerte für die Station Schaffhausen sind in Tab. 1 aufgeführt:

Tabelle 1: Monatliche Niederschlagskorrekturwerte für Schaffhausen
(aus: SEVRUK 1985)

Januar	+15,3%
Februar	+12,4%
März	+15,8%
April	+11,0%
Mai	+11,2%
Juni	+ 6,1%
Juli	+ 6,2%
August	+ 7,0%
September	+ 9,8%
Oktober	+10,0%
November	+12,0%
Dezember	+15,7%

2.2.2 Verdunstung

Die Verdunstung stellt vor allem im Sommerhalbjahr eine mengenmässig nicht zu unterschätzende Komponente dar. Im Schweizer Mittelland beträgt der Anteil der Verdunstung am gefallenen Niederschlag während eines Jahres etwa ein Drittel (LANG 1994).

Grundsätzlich wird zwischen potenzieller und realer (aktueller) Verdunstung unterschieden (LANG 1994: S.61):

- *Potenzielle Verdunstung*: maximal mögliches Wasservolumen oder maximal mögliche Verdunstungshöhe (mm), die eine ganz oder teilweise mit Vegetation bedeckte Oberfläche bei ungehindertem Wassernachschub unter den gegebenen meteorologischen, bodenphysikalischen und vegetationsspezifischen Bedingungen pro Zeiteinheit an die Atmosphäre abgeben kann.
- *Aktuelle (reale) Verdunstung*: effektiv auftretende Verdunstungshöhe an einem Ort.

Bei einer Wasserbilanz wird die Verdunstung als Restglied der Wasserbilanzgleichung berechnet, wenn alle anderen Grössen gemessen werden. Für die Berechnung der Verdunstung gibt es verschiedene Möglichkeiten:

1. Die direkte Messung der Verdunstung mittels Evaporimetern (mit Wasser oder Schnee gefüllten Wannen) oder Lysimetern (Versickerungsmessern) und die anschliessende Extrapolation auf die gesamte Untersuchungsfläche. In Schaffhausen werden nach Angaben der Schweiz. Meteorologischen Anstalt SMA keine Verdunstungsmessungen durchgeführt.
2. Bestimmung der potenziellen Verdunstung aus meteorologischen und klimatologischen Daten und anschliessend Reduktion auf die reale Verdunstung. Für die Bestimmung der potenziellen Verdunstung findet man in der Literatur eine Vielzahl von empirischen Formeln wie diejenigen von PENMAN (in: SCHROEDTER 1985) oder HAMON (FEDERER & LASH, zitiert in SCHULLA 1997). Diese Art der Berechnung eignet sich jedoch nur für einen ganz bestimmten Standort, für den in der Regel aber Reduktionsfaktoren zur Bestimmung der realen Verdunstung fehlen.

In vorliegender Untersuchung werden die berechneten Resultate nach Methode «EAWAG» mit zwei empirischen Formeln verglichen: für die potenzielle Verdunstung die Methode nach HAMON und für die reale Verdunstung die Methode nach TURC (HENSELER et al. 1990).

2.2.2.1 Potenzielle Verdunstung nach HAMON

Die Formel von HAMON wird aus der Temperatur, dem daraus ableitbaren Sättigungsdampfdruck, der Tageslänge sowie einem empirischen Faktor hergeleitet.

$$ETP = 0,1651 * f_i * h_d / 12 * ((216,7 * e_s) / (T + 273,3))$$

wobei: f_i = empirischer Faktor (monatsweise)
 h_d = Tageslänge (h)
 e_s = Sättigungsdampfdruck bei Temperatur T (hPa)
 T = Temperatur ($^{\circ}$ C)

2.2.2.2 Reale Verdunstung nach TURC

Die Formel von TURC (HENSELER et al. 1990) lautet wie folgt:

$$V_{akt} = N / \sqrt{0,9 + (N^2 / L^2)}$$

wobei: N = Jahressumme des Gebietsniederschlags (mm)
 L = $300 + 25t + 0,05t^3$
 t = mittlere jährliche Lufttemperatur ($^{\circ}$ C)

2.2.2.3 Reale Gebietsverdunstung nach Methode «EAWAG»

Innerhalb eines klimatisch einheitlichen Gebietes kann die Verdunstung aufgrund komplexer Einflussfaktoren (Bodenart, Vegetationsdecke, Relief, Jahreszeit) räumlich stark variieren (HENSELER et al. 1990). Für ein Stadtgebiet mit umliegenden Grünflächen eignet sich daher eine Methode, welche die verschiedenartigen Nutzungen (Siedlung, Vegetation, Gewässer) berücksichtigt.

Die Methode «EAWAG» (HENSELER et al. 1990) wurde im Unteren Bünztal angewendet. Sie geht davon aus, dass die Verdunstung für unterschiedliche Nutzflächen stark variiert. Die Verdunstung wird für acht verschiedene Nutzungsarten berechnet (vgl. Tab. 2).

Evaporation (E), Transpiration (T) und Interzeption (I) ergeben zusammen die Gesamtverdunstung. Die Evaporation wird als Prozentanteil des Niederschlages (N) auf Grund von Literaturwerten angenommen. Die Transpiration wird mit der empirischen Formel von PRIMAULT berechnet. Da diese allerdings nur für niedrige Vegetation gültig ist und deshalb die Ergebnisse oft zu klein ausfallen, müssen die Resultate je nach Art der Nutzung korrigiert werden.

Die empirische Formel von PRIMAULT lautet wie folgt:

$$ETP = (1,03 - U/100) (S + 2n) c j$$

wobei: ETP = potenzielle Verdunstung während einer bestimmten Periode

U	=	mittlere relative Luftfeuchtigkeit in %
S	=	Sonnenscheindauer in Stunden
n	=	Anzahl Tage der Beobachtungsperiode
c	=	Korrekturfaktor für die mittlere Gebietshöhe
j	=	Korrekturfaktor für die Jahreszeit

Die Sonnenscheindauer wird als Mass für die Strahlung, die relative Luftfeuchtigkeit als Mass für das Sättigungsdefizit der Luft benutzt. Im Weiteren wird die atmosphärische Trübung durch einen höhenabhängigen Faktor berechnet. Ein weiterer Faktor berücksichtigt die Jahreszeit.

Für die Verdunstung über Waldgebiet werden im Nationalen Forschungsprogramm Wasserhaushalt (zitiert in: HENSELER et al. 1990) folgende zusätzliche Verdunstungshöhen gegenüber Wiesland angegeben:

- Laubwald: + 100 bis 150 mm/Jahr
- Nadelwald: + 200 bis 250 mm/Jahr.

In Gebieten mit geschlossener Vegetationsdecke werden aufgrund von Literaturwerten ca. 10–20 % des Jahresniederschlages durch Interzeption zurückgehalten. Die Transpiration für Wies- und Ackerland basiert auf pflanzenspezifischen Wasserbedarfsgrößen für die Produktion von organischer Trockensubstanz (OTS). Die direkte Bodenwasserverdunstung ist aufgrund der gewählten Verdunstungsformel in der Transpiration berücksichtigt.

Die Berechnungsgrundlagen für die Methode «EAWAG» sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Berechnungsgrundlagen für die reale Verdunstung gemäss Methode «EAWAG» (aus: HENSELER et al. 1990: S. 30)

Art der Nutzung	Berechnungsgrundlagen
Siedlungsfläche befestigt	$E = 15\% N$ (Annahme)
Siedlungsfläche begrünt	$I = 10\% N$ (Annahme) $T = ETP$ nach PRIMAUT
Wiesen / Hackfrüchte	$I = 15\% N$ (Annahme) $T = 0,8$ (bis 1) kg oTS/m ² und 700 (bis 900) Liter Wasser/kg oTS
Mais / Getreide	$I = 15\% N$ (Annahme) $T = 0,6$ (bis 1) kg oTS/m ² und 300 (bis 400) Liter Wasser/kg oTS
Nadelwald	$I = 23\% N$ (Annahme) $T = ETP$ nach PRIMAUT + zusätzliche Verdunstung über Wald von 225 mm/Jahr
Laubwald	$I = 20\% N$ (Annahme) $T = ETP$ nach PRIMAUT + zusätzliche Verdunstung über Wald von 125 mm/Jahr
Gewässer	$E = ETP$ nach WILD
Öd- und Unland	$I = 10\% N$ (Annahme) $T = ETP$ nach PRIMAUT

2.2.3 Abfluss

Unter Abfluss wird das Wasservolumen verstanden, das pro Zeiteinheit ein Gebiet durch einen oberirdischen Abflussquerschnitt (z. B. einen Flussquerschnitt) oder auch unterirdisch (z. B. Grundwasserstrom) verlässt. Art, Intensität und Dauer des Abflusses hängen von der Morphologie des Flussgebietes, der Beschaffenheit des Bodens, des Untergrundes sowie der Vegetation ab. Für Oberflächenzuflüsse bzw. -abflüsse sowie für Grundwasserzuflüsse bzw. -abflüsse liegen in Schaffhausen keine Daten vor.

2.2.3.1 Oberflächenabfluss

Als Oberflächenabfluss bezeichnet man denjenigen Anteil des Abflusses, der direkt in ein Oberflächengewässer oder via Kanalisation in den Vorfluter fliesst. In der Region Schaffhausen gibt es ausser dem Rhein nur

wenige grössere Oberflächengewässer, da der Niederschlag im weitgehend kalkhaltigen Untergrund leicht versickert.

2.2.3.2 Versickerung

Die Versickerung wird wie folgt definiert (BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1985: S. 6): «Regenmenge, die nicht nur bei unbefestigten, sondern auch in geringem Mass bei befestigten Flächen in den Boden eindringt. Massgebend für die Versickerungsmenge ist die Beschaffenheit des Oberflächenmaterials.»

2.2.3.3 Boden- und Grundwasser

Von dem in den Boden versickernden Niederschlagswasser verbleibt ein Teil als Haftwasser im Boden. Es kann unmittelbar durch Verdunstung in die Luft entweichen, oder es wird durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen und durch das Blattwerk wieder abgegeben. Diese Vorgänge bestimmen den Bodenwasserhaushalt.

Das Grundwasser bildet den Hauptbestandteil des langsamen Abflusses und ist somit Teil des Wasserkreislaufes.

2.2.3.4 Abflussbeiwert und Versickerungsgrad

Der Abflussbeiwert sagt aus, welcher Anteil des Niederschlags, der auf eine bestimmte Oberfläche trifft, oberflächlich abfliesst (HESS 1995: S. 44). Dadurch kann die Durchlässigkeit verschiedener Oberflächenmaterialien bestimmt werden.

Der Versickerungsgrad gibt an, wie viel Prozent des Niederschlagswassers durch eine bestimmte Oberfläche versickern kann. (HESS 1995)

Die in der Arbeit verwendeten Abflussbeiwerte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

2.3 Fremdwasser

Als Fremdwasser gelten sämtliche unverschmutzten Zuflüsse, welche auch an niederschlagsfreien Tagen in die Kanalisation gelangen (BUNDES-AMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1984: S. 3). Der Fremdwasserzufluss setzt sich zusammen aus:

- Grundwasser, das durch undichte Leitungen eindringt
- Abläufe von Brunnen und Reservoirs
- Drainage- und Sickerwasser
- Bäche, die ins Abwassernetz geleitet werden
- Wasser aus Wärmepumpen.

Der Anteil des Fremdwassers am gesamten Abwasser kann bis zu 40 % oder mehr betragen.

2.4 Bodenversiegelung

In einer früheren Arbeit wurden im Quartier Gruben der Stadt Schaffhausen der *Versiegelungsgrad* sowie die *Versiegelungsarten* in Abhängigkeit von acht Bebauungstypen erhoben (HESS 1995: S. 53–64). Dabei bezeichnet HESS (1995: S.119) die drei Versiegelungsarten (bezogen auf die *versiegelte Freifläche*) mit K1, K2, K3:

Tabelle 3: Klassierung der Versiegelungsarten und Versickerungsgrad (nach HESS 1995).

Versiegelungsart	Versickerungsgrad	Beschrieb	Beispiele
Kategorie 1 (K1):	0–15 %	weitgehend undurchlässige Beläge	Asphalt, Beton, Betonverbundsteine, Plattenbeläge, Kopfsteinpflaster verfugt
Kategorie 2 (K2):	15–60 %	befestigte Beläge	Steinplatten mit grossen Fugen, Pflasterbeläge unverfugt, Mergel
Kategorie 3 (K3):	≥ 60 %	befestigte und unbefestigte Beläge	Rasengittersteine, Chaussierungen, Rasen, Wiesen

In Tabelle 4 sind die Resultate gemäss HESS (1995) aufgeführt, die auf die ganze Stadt übertragen werden und ebenfalls in die Berechnung des Oberflächenabflusses und der Versickerung einfließen:

Tabelle 4: Versiegelungsgrad und Verteilung der Versiegelungsarten auf die Bebauungstypen für das Untersuchungsgebiet Gruben

Bebauungstyp	Versiegelungsgrad	Versiegelungsarten		
		K1	K2	K3
Villen	33 %	66 %	7 %	27 %
EFH locker	37 %	78 %	4 %	18 %
EFH dicht	44 %	69 %	2 %	29 %
Reihen EFH	61 %	93 %	0 %	7 %
2–3 locker	35 %	62 %	12 %	26 %
2–3 dicht	42 %	62 %	3 %	35 %
MFH locker	41 %	92 %	1 %	7 %
MFH dicht	49 %	83 %	0 %	17 %

3 Vorgehen und Methodik

3.1 Ausgangsdaten

Die Klimadaten wurden von der SMA zur Verfügung gestellt. Da die Station Schaffhausen ans automatische Beobachtungsnetz der SMA (ANETZ) angeschlossen ist, werden automatisch Werte von ca. 15 Messgrößen registriert. Dazu gehören u.a. Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Niederschlag, Wind, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung. Die Station Schaffhausen liegt auf einer Meereshöhe von 457 m im Gebiet Charlottenfels (Koordinaten 688720/282820) auf Gemeindegebiet von Neuhausen am Rheinfall.

Die in der Untersuchung verwendeten Nutzungsdaten entstammen der Arealstatistik für die Stadt Schaffhausen 1992/97 (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 1998); sie wurden anhand eigener Erhebungen weiter aufgegliedert:

- Die Waldflächen (1467 ha) in Laubholz (51 %) und Nadelholz (49 %)
- Die landwirtschaftlichen Nutzflächen (643 ha) auf Grund von Flächendigitalisierungen in Rebberge 5 ha; Wiesland 137 ha

und Ackerland 501 ha, wobei eine Verteilung zwischen Getreide und Hackfrüchten im Verhältnis von 2 : 1 festgelegt wurde.

- Die Siedlungsflächen (937 ha) in Wohnzone (digitalisiert, 406 ha), Industriezone (115 ha), Gewerbezone (58 ha), ZÖBAG (142 ha) und Verkehr (216 ha)
- Die unproduktiven Flächen (58 ha) in stehende Gewässer (5 ha), Rhein (digitalisiert, 34 ha), übrige Fliessgewässer (3 ha) und in unproduktive Vegetation (Gebüsch, Strauchvegetation, Nassstandorte, Ufervegetation, unproduktive Gras- und Krautvegetation; insgesamt 16 ha)

Für den Niederschlag werden die ANETZ-Daten der Station Schaffhausen verwendet und mit den Korrekturfaktoren von SEVRUK (1985) korrigiert. Die Korrekturen werden monatsweise zum unkorrigierten Niederschlag addiert und ergeben schliesslich die korrigierten Monatswerte.

3.2 Gebietsverdunstung, Versickerung und Abflussberechnung

Da in Schaffhausen keine Abflussmessungen gemacht werden, muss in der Wasserbilanz zuerst die Verdunstung mit der Methode «EAWAG» (vgl. Kap. 3.2.2.3) bestimmt werden. Normalerweise läuft die Berechnung bei Wasserbilanz-Untersuchungen umgekehrt ab, da der Abfluss genauer zu bestimmen ist als die Verdunstung. Anschliessend wird die Gebietsverdunstung bestimmt. Die empirischen Formeln von HAMON und TURC dienen als Vergleichswerte.

Nachdem Niederschlag und Verdunstung berechnet worden sind, ergibt sich aus deren Differenz der Abfluss ($A = N - V$). Der Abfluss wird danach mit Hilfe des Abflussbeiwertes (vgl. Tab. 6) in Oberflächenabfluss und Versickerung aufgeteilt. Die Bäche erhalten einen Abflussbeiwert von 0,5, da im Sommerhalbjahr mehrheitlich eine Infiltration ins Grundwasser und im Winterhalbjahr eine Exfiltration stattfindet. Verschiedene Gewässer auf Stadtgebiet besitzen keinen oberirdischen Abfluss oder versickern im Verlaufe des Abflusses; der Abflussbeiwert beträgt dann Null. Die Berechnung der Versickerung lautet dann folgendermassen:

$$\text{Versickerung (mm)} = \text{Abfluss (mm)} * \text{Versickerungsgrad}$$

Für die Aufteilung in Oberflächenabfluss und Versickerung sind der Versiegelungsanteil sowie die verschiedenen Versiegelungs- oder Belagsarten zu berücksichtigen. Hierzu musste zuerst das gesamte Gebiet der Stadt Schaffhausen nach den acht Bebauungstypen kartiert werden, um die genauen Flächenanteile jedes Bebauungstypes zu ermitteln. Die Kartierung erfolgte durch Begehungen, durch die Auswertung von Luftbildern (Senkrechtaufnahmen) sowie von verschiedenen Karten (u. a. eine Panoramakarte). Die acht Bebauungstypen mussten mit zwei weiteren Bebauungstypen ergänzt werden, nämlich mit den Dorfkernen (Herblingen, Buchthalen) und mit der Altstadt, da beide einen deutlich höheren Versiegelungsgrad aufweisen als die übrigen Wohngebiete. Zusätzlich müssen diejenigen Gebiete berücksichtigt werden, die zwar keine Wohnzonen im raumplanerischen Sinn, aber dennoch teilweise versiegelt sind: Industriezone, Gewerbezone, ZöBAG (Zone für öffentliche Bauten, Anlagen und Grünflächen) sowie Verkehrsflächen. Durch die Digitalisierung aller Bebauungstypen, übrigen Zonen und Verkehrsflächen lassen sich die Flächenanteile und anschliessend der Versiegelungsgrad ermitteln.

Tabelle 5: Verwendete Abflussbeiwerte zur Berechnung von Oberflächenabfluss und Versickerung

Im weiteren werden die Bebauungstypen sowie die Zonen in verschiedene Flächen aufgeteilt, da sich die Versiegelungsart immer auf die versiegelte Freifläche bezieht:

- Gebäudegrundfläche
- Versiegelte Freifläche
- Unversiegelte Freifläche

3.3 Berechnung der Grundwasserspeisung

Zur Berechnung der Grundwasserspeisung (in m³) wird die Stadtfläche in versiegeltes und unversiegeltes Siedlungsgebiet sowie in übrige Flächen aufgeteilt. Der Versickerungsgrad für die versiegelte Freifläche lässt sich aus den K-Werten nach Hess (vgl. Kap. 3.4) bestimmen.

Die Berechnungen für das Siedlungsgebiet lauten folgendermassen:

Versiegelte Flächen:

$$\begin{aligned}\text{Grundwasserspeisung (m}^3\text{)} &= \text{Fläche (ha)} * \text{Versickerung (mm)} * \\10 &= \text{Fläche (ha)} * \text{Abfluss (mm)} * (\text{Versickerungsgrad von Gebäude-} \\&\text{grundfläche + versiegelte Freifläche}) * 10\end{aligned}$$

Unversiegelte Flächen:

$$\begin{aligned}\text{Grundwasserspeisung (m}^3\text{)} &= \text{Fläche (ha)} * \text{Versickerung (mm)} * \\10 &= \text{Fläche (ha)} * \text{Abfluss (mm)} * \text{Versickerungsgrad von unversiegelter} \\&\text{Freifläche} * 10\end{aligned}$$

Die Grundwasserspeisung der *übrigen Gebiete* (Vegetation, Gewässer) berechnet sich wie folgt:

$$\text{Grundwasserspeisung (m}^3\text{)} = \text{Fläche (ha)} * \text{Versickerung (mm)} * 10$$

Die Grundwasserentnahme findet vor allem durch die öffentliche Trinkwasserversorgung statt, jedoch auch durch Firmen wie die Brauerei Falken AG oder durch das Kraftwerk Schaffhausen. Daneben wird Trinkwasser in kleinen Mengen in die Nachbargemeinden exportiert, was in der Wasserbilanz ebenfalls berücksichtigt werden muss.

4 Ergebnisse

4.1 Niederschlag

Der durchschnittliche *korrigierte* Jahresniederschlag der Jahre 1978–1997, der aus Monatswerten berechnet wurde, beträgt 1016 mm. Er liegt somit 9,3 % über dem nicht korrigierten Niederschlag (917 mm).

Der Jahresniederschlag in Schaffhausen liegt deutlich unter dem gesamtschweizerischen Durchschnitt (1456 mm). Das Klima ist daher eher trocken. Die Erklärung dafür ist in der speziellen Lage der Stadt Schaffhausen zu suchen, die im Regenschatten der Vogesen und des Schwarzwaldes liegt (SNG 1985: S. 62). Die maximalen Niederschläge treten meistens im Sommer auf. Die Monate mit den höchsten korrigierten Niederschlägen sind Mai, Juni, Juli sowie Dezember. Am wenigsten Niederschlag fällt im Frühjahr (Februar bis April) sowie in den Monaten September und November.

4.2 Verdunstung

4.2.1 Verdunstung nach HAMON, TURC und PRIMAULT

Die Jahreswerte für den Zeitraum 1978–1997 sind in Tab. 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Jahreswerte für die Verdunstung

Jahr	HAMON	TURC	PRIMAULT
1978	620 mm	490 mm	396 mm
1979	650 mm	510 mm	342 mm
1980	619 mm	487 mm	289 mm
1981	661 mm	511 mm	312 mm
1982	653 mm	488 mm	383 mm
1983	689 mm	477 mm	398 mm
1984	617 mm	468 mm	349 mm
1985	645 mm	444 mm	386 mm
1986	643 mm	487 mm	305 mm
1987	634 mm	477 mm	330 mm
1988	669 mm	516 mm	344 mm
1989	681 mm	465 mm	393 mm
1990	688 mm	518 mm	429 mm
1991	669 mm	450 mm	406 mm
1992	709 mm	528 mm	382 mm
1993	681 mm	492 mm	369 mm
1994	736 mm	552 mm	360 mm
1995	679 mm	529 mm	332 mm
1996	646 mm	466 mm	357 mm
1997	678 mm	494 mm	374 mm

Die Jahreswerte nach HAMON ergeben eine mittlere potenzielle Verdunstung von 663 mm für den Zeitraum 1978–1997, mit einem Minimum von 617 mm im Jahr 1984 und einem Maximum von 736 mm im Jahr 1994. Die durchschnittliche reale Verdunstung nach TURC für den gleichen Zeitraum beträgt 492 mm pro Jahr. Die Werte liegen im Bereich von 444 mm im Jahr 1985 bis 552 mm, die ebenfalls 1994 erreicht wurden. Die durchschnittliche Evapotranspiration nach PRIMAULT ergibt 362 mm. Die Werte bewegen sich in einem grossen Bereich zwischen 289 mm (1980) und 429 mm (1990).

Die Resultate aus Schaffhausen werden im Folgenden mit den Untersuchungen von GURTZ et al. (1997: S. 107–114) verglichen. Es handelt sich dabei um Ergebnisse einer flächengegliederten, hydrologischen Modellierung im Thurgebiet. GURTZ berechnete die potenzielle Verdunstung nach der Formel von PENMAN und die reale Verdunstung nach PENMAN-MONTEITH.

- **Potenzielle Verdunstung:** GURTZ et al. errechnen für tiefgelegene und mittlere Lagen eine Verdunstung von 550 mm bis 650 mm. Der Wert für 400–450 m Meereshöhe entspricht ca. 615 mm. Die für Schaffhausen berechnete potenzielle Verdunstung nach HAMON liegt mit 663 mm also über den nach PENMAN berechneten Durchschnittswerten. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Verdunstung relativ hoch ist.
- **Reale Verdunstung:** Der Wert für eine Meereshöhe von 450 m liegt gemäss GURTZ et al. ziemlich genau bei 500 mm Verdunstungshöhe. Für 400 m Meereshöhe ist die reale Verdunstung etwas tiefer. In der Schweiz beträgt die durchschnittliche Verdunstung 484 mm. Die für Schaffhausen berechnete reale Verdunstung nach TURC liegt mit 492 mm also im schweizerischen Mittel und deckt sich praktisch mit den Literaturwerten.

4.2.2 Gebietsverdunstung nach Methode «EAWAG»

Die Berechnungsmethodik der realen Gebietsverdunstung nach Methode «EAWAG» ist in Kapitel 3.2.2.3 erläutert. Die mittlere gewichtete Gebietsverdunstung beträgt nach dieser Methode 561 mm pro Jahr; die Einzelwerte sind unterteilt nach Nutzungsart in der Tab. 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Reale Verdunstung für verschiedene Nutzungsarten nach Methode «EAWAG»

Nutzungsart	Reale Verdunstung
Siedlungsfläche befestigt	152 mm
Siedlungsfläche begrünt	463 mm
Nadelholz	821 mm
Laubholz	690 mm
Wiesen, Hackfrüchte	712 mm
Getreide, Mais	332 mm
Rebberge	712 mm
Unproduktive Vegetation	463 mm
Rhein	508 mm
Fliessgewässer	508 mm
Stehende Gewässer	508 mm

Gemäss Tab. 7 unterscheidet sich die Verdunstung je nach Nutzungsart enorm. An der Spitze liegt das Nadelholz mit berechneten 821 mm Ver-

dunstungshöhe pro Jahr, welche ca. 80 % des gefallenen Niederschlages entsprechen. Anschliessend folgen Wiesen, Hackfrüchte sowie Rebberge, die in der Stadt Schaffhausen begrünt sind und daher ebenfalls eine grosse Verdunstungshöhe aufweisen. Das Laubholz verdunstet etwas weniger als die Wiesen. Für die Gewässer wurde ein Literaturwert (HENSELER et al. 1990) von 508 mm verwendet, da nach Angaben der SMA in Schaffhausen keine Verdunstungsmessungen über einer freien Wasseroberfläche gemacht werden. Im Weiteren folgen die Grünflächen innerhalb des Siedlungsgebietes sowie die unproduktive Vegetation mit je einer jährlichen Verdunstungshöhe von 463 mm. Die relativ hohe Verdunstung des Restgrüns innerhalb des Siedlungsraums lässt sich mit dem sogenannten Oaseneffekt erklären, da die Trockenheit und die erhöhte Wärme der versiegelten Flächen zu einer Steigerung der Verdunstung bei den Grünflächen führt. Mais und Getreide verdunsten überraschenderweise nur 332 mm, also rund ein Drittel des gefallenen Niederschlages. Bei den versiegelten Gebieten beträgt die Evaporation nur gerade 152 mm pro Jahr.

GURTZ et al. (1997) schreiben, dass dicht besiedelte Gebiete wie Frauenfeld, Wil und St.Gallen eine reale Verdunstung von 300 mm bis 350 mm aufweisen. Wird die durchschnittliche Verdunstung der befestigten sowie der begrünten Siedlungsfläche zusammen berücksichtigt und anhand der Flächenanteile gewichtet, ergibt sich für das Siedlungsgebiet der Stadt Schaffhausen ein Wert von 298 mm, also in einer gleichen Größenordnung, wie von GURTZ et al. nachgewiesen wurde.

Die maximalen Verdunstungshöhen entsprechen gemäss GURTZ et al. im allgemeinen südexponierten Wasser- oder Waldflächen. Für Waldflächen gibt er einen Wert von 600 mm bis 800 mm an. Dies trifft auch für die Stadt Schaffhausen zu. Wiesenflächen weisen nach GURTZ et al. gegenüber dem Wald eine niedrigere Verdunstung auf, wobei sich Obstbaumkulturen und Wiesen kaum unterscheiden.

4.3 Flächenbilanz und Versickerungsgrad

Das Digitalisieren mit ArcView ergab folgende Flächen für die einzelnen Bebauungstypen (vgl. Tab. 8):

Tabelle 8: Flächen (in ha), Versiegelungsgrad und Aufteilung in GGF; Vers.FF und Unvers. FF sowie in Versiegelungsart (gemäss Tabelle 4) für den Zeitraum der Felderhebung (1998)

Vers.Grad = Versiegelungsgrad	Vers.FF = Versiegelte Freifläche
GGF = Gebäudegrundfläche	Unvers.FF = Unversiegelte Freifläche

Bebauungstyp	Flächen-anteile	Vers. Grad	GGF	Vers. FF	Unvers. FF	Versiegelungsart		
						K1	K2	K3
Villen	7,4 ha	33 %	11 %	22 %	67 %	66 %	7 %	27 %
EFH locker	118,7 ha	37 %	15 %	22 %	63 %	78 %	4 %	18 %
EFH dicht	19,7 ha	44 %	23 %	21 %	56 %	69 %	2 %	29 %
Reihen EFH	16,9 ha	61 %	33 %	28 %	39 %	93 %	-	7 %
2 – 3 locker	33,4 ha	35 %	19 %	16 %	65 %	62 %	12 %	26 %
2 – 3 dicht	19,7 ha	42 %	26 %	16 %	58 %	62 %	3 %	35 %
MFH locker	59,6 ha	41 %	13 %	28 %	59 %	92 %	1 %	7 %
MFH dicht	97,7 ha	49 %	20 %	29 %	51 %	83 %	-	17 %
Altstadt	26,0 ha	99 %	89 %	10 %	1 %	83 %	-	17 %
Dorfkern	7,5 ha	67 %	39 %	28 %	33 %	100 %	-	-
Industrie	115 ha	62 %	25 %	37 %	38 %	80 %	10 %	10 %
Gewerbe	58 ha	43 %	20 %	23 %	57 %	90 %	-	10 %
ZöBAG	142 ha	18 %	5 %	13 %	82 %	90 %	-	10 %
Verkehr	216 ha	86 %	-	-	14 %	40 %	20 %	40 %

Der durchschnittliche Versickerungsgrad (VG) der versiegelten Freifläche lässt sich anhand den K-Werten (vgl. Kap. 3.4) herleiten. Die Ergebnisse sind in Tab. 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Durchschnittliche Versickerungsgrade (VG) der versiegelten Freifläche, von Gebäudegrundfläche + versiegelte Freifläche sowie totaler Versickerungsgrad

Bebauungstyp / Zone / verkehrsflächen	VG der versiegelten Freifläche	VG von Gebäudegrundfläche + Versiegelte Freifläche	VG total
Villen	29 %	21 %	64 %
EFH locker	22 %	16 %	59 %
EFH dicht	29 %	17 %	55 %
Reihen EFH	13 %	9 %	39 %
2–3 locker	30 %	18 %	62 %
2 –3 dicht	34 %	18 %	57 %
MFH locker	13 %	7 %	53 %
MFH dicht	20 %	10 %	48 %
Altstadt	8 %	1 %	2 %
Dorfkern	18 %	9 %	33 %
Industrie	15 %	9 %	38 %
Gewerbe	15 %	8 %	52 %
ZöBAG	43 %	31 %	71 %
Verkehr	–	–	22 %

Ein Lesebeispiel: Ein mittlerer Versickerungsgrad von 38 % für die Industriezone bedeutet, dass nach Abzug der Verdunstung 38 % des Niederschlags in den Boden versickern und die restlichen 62 % oberflächlich abfliessen.

4.4 Wasserbilanz und Grundwasserspeisung

Aufgrund der oben berechneten Parameter kann nun die Wasserbilanz erstellt werden (Tab. 10). Die Grundwasserspeisung wurde anhand des Abflusses, der durchschnittlichen Versickerungsgrade und der entsprechenden Flächenanteile berechnet.

Tabelle 10: Wasserbilanz für verschiedene Nutzungsarten und totale Wasserbilanz inkl. Grundwassererneubildung für das Gebiet der Stadt Schaffhausen, gemittelt für den Zeitraum 1978–1997

Nutzungsart	Fläche	Nieder-schlag	Verdunstung	Ober-flächen-abfluss	Versicke-rung	Grund-wasser-speisung
	(in ha)	(in mm)	(in mm)	(in mm)	(in mm)	(in m³)
Siedlung befestigt inkl. Verkehrsflächen	496	1016	152	802	62	307 520
Siedlung begrünt inkl. Verkehrsbegleitgrün	441	1016	463	83	470	2 074 011
Wald	1467					
– Anteil Nadelholz	695	1016	821	16	179	1 244 050
– Anteil Laubholz	772	1016	690	26	300	2 316 000
Wiesen, Hackfrüchte	304	1016	712	24	280	851 200
Getreide, Mais	334	1016	332	55	629	2 100 860
Rebberge	5	1016	712	46	258	12 900
Unproduktive Vegetation	16	1016	463	44	509	81 440
Gewässer	42					
– Rhein	34	1016	508	508	0	–
– Bäche	3	1016	508	254	254	7 620
– stehende Gewässer	5	1016		0	508	25 400
TOTAL	3105	1016	561	164	291	9 021 001

4.4.1 Jährlicher Oberflächenabfluss und dessen Aufteilung

Der totale Oberflächenabfluss beträgt gemäss Wasserbilanz 164 mm pro Jahr. Aufgrund von Daten der Abwasserreinigungsanlage lassen sich Fremdwasser und unverschmutztes Abwasser (Niederschlag in die ARA) berechnen. Die Zahlen beziehen sich auf das Jahr 1998:

Wasserförderung für Schaffhausen durch städtisches Wasserwerk	5 996 000 m ³
Wasserverluste im Untergrund (ca. 12 %)	719 600 m ³
Wasserverbrauch bzw. theoretisches Schmutzwasser in die ARA	(1) 5 276 400 m ³
Tatsächliches Abwasser in die ARA aus Stadt Schaffhausen	(2) 6 941 400 m ³
Gartenbewässerung (Annahme)	(3) 142 825 m ³

(2) + (3) – (1) = Fremdwasser + Niederschlag in Kanalisation	(4) 1 807 825 m ³
Gemäss Hochrechnungen des Tiefbauamtes beträgt der Fremdwasseranteil ca. 20 % des Abwassers	(5) 1 388 280 m ³
(4) – (5) = Niederschlag in ARA	419 545 m ³

Die 419 545 m³ Niederschlagswasser, die unverschmutzt in die Abwasserreinigungsanlage fliessen, entsprechen in der Wasserbilanz rund 14 mm Niederschlag. Die übrigen 4 672 655 m³ (150 mm Niederschlag) fliessen somit direkt in einen Vorfluter. Beide Werte ergeben zusammen den totalen Oberflächenabfluss von 164 mm (5 092 200 m³).

Der Oberflächenabfluss ist wie zu erwarten bei den überbauten Gebieten am höchsten, wo aufgrund der Versiegelung am meisten Wasser (79 % des gefallenen Niederschlages) oberflächlich abfliesst. Die Hälfte des Niederschlags, welche auf den Rhein fällt, verlässt die betrachtete Systemgrenze ebenfalls oberflächlich. Für die Bäche wurde ein Oberflächenabfluss von 254 mm berechnet. Bei den Bächen wurde Exfiltration und Infiltration sowie die Eindolungen (ohne Versickerung) berücksichtigt. Bei den übrigen Nutzungsarten (Vegetation) liegt der Oberflächenabfluss unter 100 mm pro Jahr, was vor allem auf die hohe Verdunstung zurückzuführen ist. Beim Nadelholz sind es gerade noch 1,6 % des gefallenen Niederschlages, die oberflächlich abfliessen. Der durchschnittliche gewichtete Oberflächenabfluss für das ganze Stadtgebiet liegt bei 164 mm pro Jahr, was rund 16 % des gefallenen Niederschlags entspricht.

4.4.2 Versickerung

Rund 29 % des Niederschlags versickert in den Boden und dient der Grundwasserneubildung Mit 629 mm pro Jahr (entspricht 62 % des gefallenen Niederschlages) liegen Getreide- und Maisäcker an der Spitze der Wasserversickerung. Dies dürfte auf die relativ geringe Verdunstung sowie auf den kleinen Oberflächenabfluss zurückzuführen sein. Hierzu ist zu bemerken, dass im Winterhalbjahr die Verdunstung bei Getreide und Mais klein ist, die Versickerung dagegen gross (bei ungefrorenem Boden). Im Sommerhalbjahr tritt genau das Gegenteil ein: Da die Verdunstung gross ist, versickert nur wenig Wasser in den Boden (SNG 1978). Die jährliche Versickerung ist auch bei der unproduktiven Vegetation (509 mm)

und bei stehenden Gewässern von (508 mm) relativ gross. Interessant ist die Tatsache, dass im begrünten Siedlungsgebiet mehr Wasser versickert als zum Beispiel im Wald oder in Wiesen. Dies lässt sich mit der geringeren Verdunstung erklären. Am wenigsten Wasser versickert in versiegelten Gebieten (62 mm). Trotzdem liegt die Zahl nicht bei Null, da je nach Belagsart ein Teil des Niederschlages in den Boden gelangen kann.

4.4.3 Gebietsverdunstung

Die Gebietsverdunstung ist mit 561 mm pro Jahr relativ hoch. Sie entspricht 55 % des gefallenen Niederschlags. In der Schweiz beträgt die Verdunstung im Mittel etwa ein Drittel des Niederschlages. Die hohe Gebietsverdunstung ist sicherlich auf den grossen Waldanteil mit einer sehr hohen Verdunstung und die gute Durchgrünung des Siedlungsraums zurückzuführen. Wiesen und Hackfrüchte mit ca. 10 % Flächenanteil tragen ebenfalls zu einer hohen Gebietsverdunstung bei. Ohne Waldflächen würde die Gebietsverdunstung nur noch 390 mm pro Jahr betragen, und liesse man zusätzlich noch Wies- und Ackerland weg, würde die Gebietsverdunstung auf 312 mm sinken. Für das Siedlungsgebiet ergäbe sich ein Wert von 298 mm.

4.5 Grundwasserbilanz

4.5.1 Grundwasserentnahmen

Die effektive Grundwasserförderung bzw. -entnahme beträgt für die Stadt Schaffhausen 5 276 400 m³. Hinzu kommen knapp 35 000 m³ Grundwasser, die in Nachbargemeinden exportiert werden, sowie zusätzliche Wasserentnahmen im Umfang von jährlich rund 1 279 800 m³, welche vom Kraftwerk Schaffhausen und von privaten Unternehmen gefördert werden. Die totale Grundwasserentnahme beträgt somit rund 6,6 Mio. m³ pro Jahr.

4.5.2 Grundwasserspeisung

Gemäss Tabelle 10 beträgt die jährliche Grundwasserspeisung rund 9 Mio. m³. Die Grundwasserneubildung wird nach HERRMANN et al. (1997)

für grössere Gebiete mit gemischter Vegetation mit 30 % des Niederschlages geschätzt. Die Versickerung für das Umland von Schaffhausen (ohne Siedlungsgebiet) beträgt genau 30 %. Dies bedeutet, dass vorliegende Abschätzung der Grundwasserneubildung relativ genau sein dürfte.

Für eine Grundwasserabschätzung ist die Genauigkeit der Verdunstung von grosser Bedeutung, da sich ein möglicher Fehler stark auswirkt. Für die mittlere Jahresverdunstung wäre eine Genauigkeit von $\pm 10\%$ erwünscht (SNG 1978). Wird eine Verdunstung von ca. 500 mm angenommen, läge der tolerierbare Fehler bei ± 50 mm. Aufgrund der Angaben von HERRMANN et al. dürften die Resultate innerhalb dieser Toleranz liegen.

Auf den Waldflächen findet der grösste Teil der Grundwasserneubildung in der Stadt Schaffhausen statt. Dies ist nicht auf einen besonders hohen Versickerungsanteil, sondern auf den grossen Flächenanteil des Waldes zurückzuführen. Ebenfalls grosse Bedeutung für die Grundwasserneubildung haben Landwirtschaftsflächen mit einem Anteil von 32 % an der Gesamtversickerung. Und selbst die Siedlungsflächen tragen infolge der geringen Verdunstung zur Grundwasserneubildung bei.

4.5.3 Vergleich Grundwasserspeisung – Grundwasserverbrauch

Im Jahr 1998 wurden auf Stadtgebiet dem Grundwasser rund 6,6 Mio. m³ Wasser entnommen.

Die jährliche Grundwasserspeisung beträgt hingegen rund 9 Mio. m³. Diese Abschätzung zeigt, dass heute dem Grundwasser nicht mehr entnommen wird, als ihm wieder zufliesst und damit eine Nachhaltigkeit der Grundwasserbewirtschaftung gegeben ist. Anzumerken ist, dass in den Boden einsickerndes Wasser nicht vollständig versickert. Die Grundwasserneubildung ist nämlich definiert als die Differenz aus Versickerung und kapillarem Aufstieg (SUKOPP/WITTIG 1993). Konkret heisst das, dass ein Teil des versickernden Niederschlages wieder verdunstet. Im Weiteren variiert die Versickerung je nach geologischen Verhältnissen und Bodenart (vgl. Tiefbauamt der Stadt Schaffhausen, 1994: Zustandsbericht Versickerung). Es gibt vereinzelt Gebiete, wo das Wasser nur schlecht oder gar nicht versickern kann, weil der Untergrund nicht oder wenig durchlässig ist oder keine sickerfähige Schicht vorhanden ist. Daher ist die

Grundwasserspeisung von 9 Mio. m³ wohl zu optimistisch geschätzt. Selbst wenn die jährliche Grundwasserbildung aber deutlich unter 9 Mio. m³ läge, kann beim heutigen Verbrauchsniveau dennoch von einer nachhaltigen Grundwasserentnahme auf dem Gebiet der Stadt Schaffhausen gesprochen werden.

5 Ausblick

Obwohl das Ziel, eine Wasserbilanz für die Stadt Schaffhausen zu erstellen, erreicht wurde, bleiben offene Fragen:

- Wie gross sind Oberflächenzufluss sowie der gesamte Oberflächenabfluss?
- Wie sehen die Grundwasserströme aus?

Um den Wasserkreislauf besser bilanzieren zu können, wären Erhebungen bei den Oberflächengewässern (Abflussmengen) erforderlich. Eine Modellierung der Grundwasserströme im Raum Schaffhausen würde ebenfalls zu einer besseren Erfassung des Wasserkreislaufes beitragen. Letztlich sollten die Fliessgewässer vermehrt ausgedolt werden, damit der natürliche Wasserhaushalt spielen kann.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

Literatur:

BAESTLEIN, A. & S. LOSCH (1995): Kommunale Strategien und Massnahmen zur Verminderung der Bodenversiegelung. In: ROSENKRANZ, D., G. EINSELE & H.-M. HARRESS (Hrsg.): Bodenschutz. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 4–5

BLUME, H.P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes, 2. Auflage. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech, 686 S.

BUNDESAMT FÜR STATISTIK (1998): Arealstatistik Schweiz – Die Bodennutzung in den Kantonen Zürich, Zug, Schaffhausen, Thurgau. Neuenburg, 93 S.

BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1985): Empfehlung zur Bestimmung des Spitzenabflussbeiwertes für die Berechnung von generellen Kanalisationsprojekten. Bern, 45 S.

DIANE OJKO-BAU (1994): In Wassersparen investieren heisst langfristig Geld sparen. Energie 2000, Bern (Merkblatt)

DYCK, S. & G. PESCHKE (1989): Grundlagen der Hydrologie, 2. bearbeitete Auflage. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 408 S.

GURTZ et al. (1997): Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins, Schlussbericht NFP 31. vdf Hochschulverlag, Zürich, 147 S.

HENSELER, G., R. SCHEIDECKER & P.H. BRUNNER (1990): Die Bestimmung der Güter- und Stoffflüsse im regionalen Wasserhaushalt, EAWAG, Dübendorf, 116 S.

HERRMANN, Th., S. SCHUKAT & V. HUHN (1997): Wasserbilanz für verschiedene Szenarien zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung der wasserwirtschaftlichen Musterstadt Hydropolis. In: Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz Nr. 40. SuG-Verlagsgesellschaft, Hannover, 114–119

HESS, S. V. (1995): Quantitative Grünflächenanalyse in Wohnzonen der Stadt Schaffhausen. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich, 129 S.

KELLER, R. (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes – Eine Einführung in die Hydrogeographie. Haude & Spenerische Verlagsbuchhandlung, Berlin, 9–10

LANG, H. (1994): Grundzüge der Hydrologie. Skript zur Vorlesung «Klimatologie und Hydrologie II», ETH Zürich

PRIMAULT, B. (1981): Extension de la validité de la formule suisse de calcul de l'évapotranspiration. In: Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt Nr. 103, Zürich

SCHRÖDTER, H. (1985): Verdunstung – Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden, Springer Verlag, Berlin, 186 S.

SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. In: Zürcher Geographische Schriften, Heft 69, 161 S.

SEVRUK B. (1985): Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz. In: Schweizerische Geotechnische Kommission und Hydrologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft – Der Niederschlag in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 31, Kümmerly + Frey, Bern, 278 S.

SNG (1978): Schweizerische Geotechnische Kommission und Hydrologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft – Die Verdunstung in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 25, Kümmerly + Frey, Bern, 95 S.

STADT SCHAFFHAUSEN (1998): Oekobilanz – Bestandenserhebung 1996, Stand der Massnahmenumsetzung, 176 S.

SUKOPP, H. & R. WITTIG (1993): Stadtökologie, Fischer Verlag, Stuttgart, 402 S.

TIEFBAUAMT DER STADT SCHAFFHAUSEN (1994): Zustandsbericht Versickerung im Rahmen des Generellen Entwässerungsplans (GEP), 47 S.

WERNER, J. (1979): Wasser für den Ballungsraum. In: Geographische Rundschau Nr. 31, 424–426

Quellen:

BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE (1994): Luftbilder Nr. 6755 – 6758 und Nr. 6777 – 6780 (ca. 1:25'000)

SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT (1998/99): Klimadaten: Niederschlag, Temperatur, Relative Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer

STADT SCHAFFHAUSEN (1982): Zonenplan mit Bauordnung (1:10'000)

TIEFBAUAMT DER STADT SCHAFFHAUSEN (1994): Versickerungskarte zum Zustandsbericht Versickerung (1:7'500)

TOP MAP (1997): Erlebnis-Wanderkarte Schaffhausen (1:20'000). TopMap Kartenverlag AG, Luzern

Adresse der Autoren:
Marc-Aurel Battaglia
Limmattalstrasse 178
8049 Zürich

Dr. Urs Capaul
Spendtrottengut 10
8203 Schaffhausen

