Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Diplomarbeit zur Erreichung des Grades
Diplomingenieur der Technischen Chemie

Bewertungsmethodik für die Vulnerabilität von Wasserversorgungseinrichtungen und –Systemen gegenüber Flutkatastrophen

mit einem Schwerpunkt auf Strukturen in Entwicklungsregionen

von Christian Plohberger

Betreut durch
Univ. Prof. Dr. Norbert Matsché
Dipl.-Ing. Helmut Jung

In Zusammenarbeit der Institute für

Abfall- und Wasserwirtschaft
An der technischen Universität Wien

Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft (IWGA)
Abteilung für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft
und Gewässerschutz (SIG)
An der Universität für Bodenkultur in Wien

Vorwort

Diese Arbeit ist eine Diplomarbeit im technisch-naturwissenschaftlichen Fach der Technischen Chemie. Das Projekt spannt einen Bogen von den rein naturwissenschaftlichen, physikalisch-chemischen Grundlagen, über konstruktive Prinzipien des Wasserbaus (als Aspekt der Ingenieurtechnik) zu einem Bewertungskonzept für die Vulnerabilität von Wasserversorgungsanlagen. Letzteres versteht sich als Beitrag zur Optierung der Ressourcen- und Mittelallokation im Bereich der Entwicklungszusammenarbeit.

Aus diesem breiten Ansatz ergibt sich zwingend die Beschäftigung und enge Zusammenarbeit mit Instituten und akademischen Einrichtungen verschiedener Fachrichtungen und Fakultäten. In diesem Zusammenhang sei besonders der Abteilung für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz des Instituts für Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft (IWGA-SIG) an der Universität für Bodenkultur gedankt, wo dieses Projekt inhaltlich gehalten wurde, namentlich von Herrn Dipl.-Ing. Herbert Jung. Besonderer Dank gilt zugleich dem Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Wien, namentlich Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr. Norbert Matsché, durch dessen persönliche Bereitschaft zur Betreuung dieses Projekt erst formal ermöglicht wurde, und dessen Institut wichtige fachliche Ressourcen zur Verfügung stellte.

In den Einleitungsworten einer Diplomarbeit darf der Dank nicht fehlen an diejenigen, die das Zustandekommen dieses Projekts in finanzieller Hinsicht ermöglicht haben. Es ist dies meine Mutter, die die notwendigen Arbeitsräumlichkeiten auch angesichts sich stapelnder Berge an Unterlagen zur Verfügung stellte. Weiters die Aquaprotect GmbH, die sich während der gesamten Zeit, die dieses Projekt in Anspruch nahm, als flexibler und sogar diese Arbeit unterstützender Dienstgeber erwies.

Inhalt

Vorwort 2

Inhalt 3

Einleitung 4

1 Grundlagen 6

1.1 Wasser 6

1.1.1 Physikalisch – chemische Eigenschaften 6
1.1.2 Wasserkreislauf 10

1.2 Wasserversorgung 12

1.2.1 Arten von Wasserressourcen 13
1.2.2 Möglichkeiten der Wassergewinnung 15
1.2.3 Arten der Wasseraufbereitung 44
1.2.4 Arten des Wassertransports 71

1.3 Hochwasser und Fluten 78

1.3.1 Ursachen von Fluten 78
1.3.2 Auswirkungen von Flutereignissen auf Anlagen einer Wasserversorgung 82

1.4 Entwicklungszusammenarbeit 85

1.4.1 Definition und Ziele 85
1.4.2 Sektorpolitik – Bedeutung des Wassers 86

2 Auswirkungen von Flutkatastrophen auf die Wasserversorgung 87

2.1 Intention 87

2.2 Vulnerabilität und Risiko 88

2.3 Methodik 90

2.3.1 Prinzip 90
2.3.2 Bewertung einzelner Strukturkomponenten 90
2.3.3 Bewertung zusammengesetzter Wasserversorgungssysteme 91
2.3.4 Bewertung von Regionen 98
2.3.5 Erweiterungsmöglichkeiten 102
2.3.6 Bemerkungen 102

3 Bewertung einzelner Strukturkomponenten einer Wasserversorgung 104

3.1 Strukturen der Wasseraufbringung 106

3.1.1 Gewinnung von Oberflächenwasser 106
3.1.2 Quellwasser 107
3.1.3 Brunnenwasser 108
3.1.4 Regenwasser 110
3.1.5 Zusätzlich die Bewertung beeinflussende Umstände 111

3.2 Strukturen der Wasserverteilung 112

3.2.1 Holversorgung 112
3.2.2 Gerinne und offene Kanäle 113
3.2.3 Rohrleitungen 114

3.3 Zusätzlich die Bewertung beeinflussende Umstände 115

3.3.1 Technische Aspekte 115
3.3.2 Organisatorische Rahmenbedingungen 115

Literatur 116

Einleitung

Wirft man einen makroökonomischen Blick auf unsere Welt, so findet man zwei Arten von Staaten. Die sogenannten entwickelten Länder und die – Entwicklungsländer. Mit dem Ende des Kolonialismus, der darauf abzielte, dass die Kolonien dem jeweiligen Mutterland möglichst viele Ressourcen einbrachten, um dieses wirtschaftlich zu stärken, gab es im zwanzigsten Jahrhundert einen Paradigmenwechsel. Der Gedanke der Entwicklungshilfe kam auf. Es ging darum, der durch Kolonialismus, Krieg, und bisweilen willkürlich gezogene Grenzen ökonomisch weniger effizienten „dritten Welt" durch gezielte Förderung zu einer besseren wirtschaftlichen Entwicklung zu verhelfen.

Gegen Ende des zwanzigsten Jahrhunderts wurde der Begriff ´Entwicklungshilfe´ – der eine gewisse Selbstgefälligkeit der ´entwickelten´ Staaten der ´ersten Welt´ impliziert – durch ´Entwicklungszusammenarbeit´ ersetzt. Die Entwicklungszusammenarbeit (EZA) zielt auf nachhaltige wirtschaftliche, soziale, und ökologisch verträgliche Entwicklung durch die gezielte Förderung von Projekten, mit einem Schwerpunkt auf ´Hilfe zur Selbsthilfe´.

Beim Verfolgen der Medienberichte erscheint es oft, dass gerade Entwicklungsländer häufiger von schweren Naturkatastrophen heimgesucht werden, und dass die Auswirkungen deutlich gravierender sind als in den sogenannten Industrieländern. Unabhängig davon, ob dies auf tatsächliche meteorologische und geogene Rahmenbedingungen oder auf eine Infrastruktur mit geringeren Sicherheitsspielräumen zurückzuführen ist, wurden gerade vor dem Hintergrund solcher Medienberichte die Kapazitäten für eine auch international ausgerichtete Katastrophenhilfe stark erhöht.

Fluten und Flutkatastrophen haben die menschliche Zivilisation, die vom Wasser abhängig ist, seit jeher begleitet. Wie es scheint, ist es bis heute nicht gelungen, die Gewalten der Natur vollständig zu zähmen. Gerade aus Entwicklungsländern bekommt man immer wieder Berichte über verheerende Flutkatastrophen, die hunderte oder tausende, manchmal zehntausende Menschen um ihr Leben und noch viele mehr um ihr Hab und Gut bringen. Ein herausragendes Beispiel war die große Flutkatastrophe im südostafrikanischen Mozambique zu Beginn des Jahres 2000. Sie war Anlass für die Idee zu dieser Arbeit.

Mozambique ist eines der Schwerpunktländer der österreichischen Entwicklungszusammenarbeit. Im Rahmen einer Sektorpolitik wird bei der Förderung von Projekten besonderes Gewicht auf den Sektor der Wasserversorgung gelegt. Sauberes Wasser und hygienische Abwasserableitung stellen erst die sanitären Rahmenbedingungen her, die eine wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen.

Gerade in bestimmten Regionen in Mozambique sind größere Fluten alle paar Jahre wiederkehrende Ereignisse. Wie sieht es nun aus mit der Wasserversorgung im Falle eines Flutereignisses? Wie wirkt sich der gestiegene Wasserspiegel auf die verschiedenen Anlagen der Wasseraufbringung und Wasserverteilung aus? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die zu versorgende Bevölkerung? Welche Maßnahmen sind bei Eintritt solcher Ereignisse im Rahmen der Katastrophenhilfe zu setzen? Wo kann man in der Entwicklungszusammenarbeit Schwerpunkte setzen, um im Rahmen der an Ort und Stelle verfügbaren Ressourcen entsprechende technische Verbesserungen anzubringen? Wie lässt sich die Anfälligkeit der Wasserversorgungsanlagen gegenüber Flutkatastrophen mindern?

Diese Arbeit entwickelt einen systematischen Ansatz zur Beantwortung aller dieser Fragen. Der Fokus liegt dabei auf Wasserversorgungssystemen in Entwicklungsgebieten. Dabei wird eine Methode entwickelt, die Vulnerabilität von Wasservorsorgungskomponenten, -anlagen, Wasserversorgungssystemen und schließlich die Vulnerabilität der Wasserversorgung ganzer Regionen zu quantifizieren. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, bei der Entwicklungszusammenarbeit lokale und regionale Schwerpunkte zu setzen. Zugleich werden geeignete technische Möglichkeiten zur raschen Bereitstellung sauberen Trinkwassers in Katastrophenfällen aufgezeigt – auch solche, die von österreichischen Einsatzorganisationen verwendet werden.

1 Grundlagen

1.1 Wasser

Wasser bedeckt zu 75% die Oberfläche unseres – blauen – Planeten. Es ist die Grundlage jeden Lebens. Die spezielle Bedeutung des Wassers ist auf eine Reihe einzigartiger Eigenschaften zurückzuführen. Um diese besser zu verstehen, ist es sinnvoll, sich auf die molekulare Ebene zu begeben.

1.1.1 Physikalisch – chemische Eigenschaften

Wasser (Dihydrogenoxid, H_2O), ist ein gewinkeltes Molekül aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Es Verhält sich als elektrischer Dipol. Die beiden nicht bindenden Elektronenpaare (´lone pairs´) des Sauerstoffs bilden den negativen Pol, die beiden Wasserstoffatome den positiven Pol. Die große Polarität des Wassermoleküls führt zur Ausbildung von sogenannten Wasserstoffbrückenbindungen[1]. Idealtypisch sollten sich – der Hybridisierungstheorie folgend - die beiden Lone Pairs des Sauerstoffs und die Wasserstoffatome genau Tetraedersymmetrisch um den Kern des Sauerstoffatoms (Symmetriezentrum) anordnen.

In der Realität findet man zwischen den beiden Wasserstoffatomen aber nur einen Winkel von 104,5°, anstatt der erwarteten 109,5° für einen Tetraeder. Der Grund dafür ist, dass die beiden negativ geladenen, nicht bindenden Elektronenpaare einander abstoßen und folglich die beiden Wasserstoffatome „zusammendrücken“. Dieser Effekt wird durch das VSEPR[2]-Modell erklärbar [1].

[1] Der Sauerstoff entzieht dem Wasserstoff die Elektronen, aus dem H-Atom wird formal ein Proton (Wasserstoffion); Das Proton als positiv geladenes Teilchen ist den Lone Pairs jedes benachbarten Sauerstoffatoms gegenüber affin. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit wechselt ein Proton von einem Sauerstoffatom auf ein anderes über, welches selbst eines seiner ursprünglichen Protonen an ein weiteres abgibt, usw. Dieser Ablauf findet dauernd statt, in beide (Reaktions-)Richtungen. Effektiv werden dadurch benachbarte Wassermoleküle stärker aneinander gebunden, der Siede- und Schmelzpunkt dieser einfachen, leichten Verbindung erhöht sich.

[2] Valence Shell Electron Pair Repulsion Modell

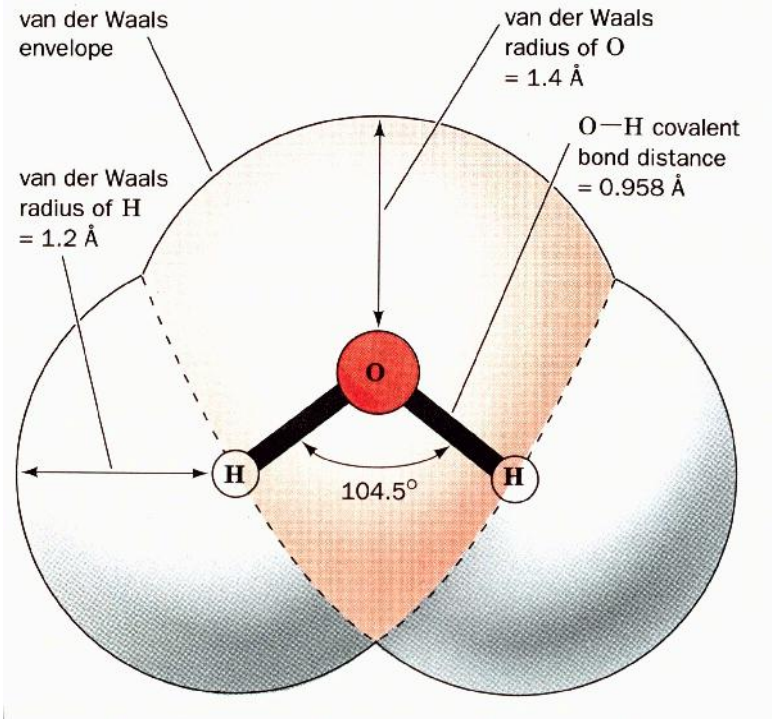


Abb. Molekülbau des Wassers

Diese Besonderheiten des Wassers haben weitreichendste Konsequenzen für seine Eigenschaften, die man täglich beobachten kann.

Der Siedepunkt und der Schmelzpunkt des Wassers liegen, verglichen mit ähnlichen Verbindungen (H_2S, HCl, NH_3, ...), außergewöhnlich hoch (0°C und 100°C). Es weist sehr hohe Werte für Verdampfungswärme und Wärmekapazität aus, und prägt dadurch entscheidend das Wetter und das Klima auf unserem Planeten. Durch die hohe Polarität ergibt sich eine große Oberflächenspannung und die Eigenschaft, ionische und polare Verbindungen, anorganische (z.B. Steinsalz) wie organische (z.B. Ethanol), hervorragend zu lösen.

Festes Wasser (Eis) hat bei Normaldruck eine kristalline Raumnetzstruktur, bei der sich die Wassermoleküle so ausrichten, dass jedes O-Atom möglichst tetraedrisch (das Wassermolekül ist nicht ideal tetraedersymmetrisch!) von vier anderen O-Atomen umgeben ist. Diese Kristallstruktur wird durch die Wasserstoffbrückenbindungen stabilisiert.

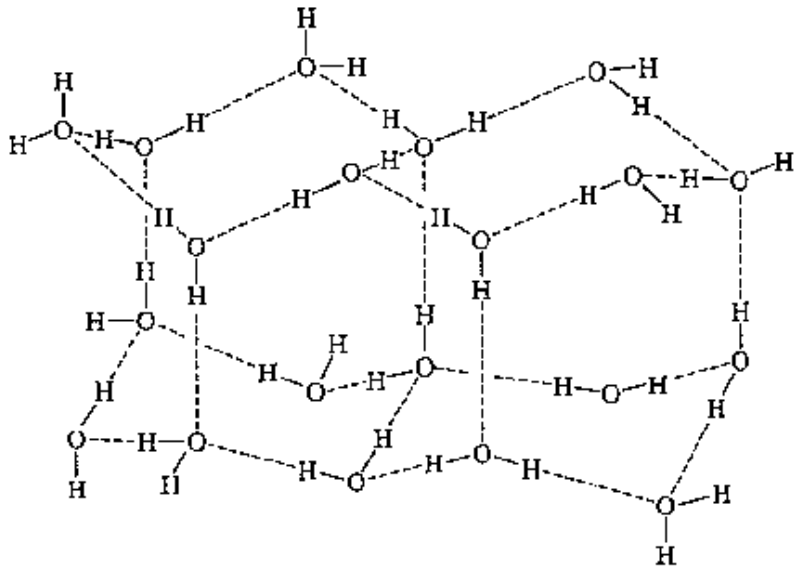


Abb. Struktur von Eis

Diese Struktur benötigt mehr Raum als flüssiges Wasser, in dem zwar auch Wasserstoffbrückenbindungen existieren, die Moleküle aber nicht in einer derartigen Ordnung vorliegen. Die Zwischenräume, die im Eiskristall frei bleiben, werden beim Schmelzen mit Wassermolekülen gefüllt, bevor sich der Kristall auflöst. In flüssigem Wasser finden sich nur fluktuierende, oligomolekulare Cluster aus in sich geordneten Wassermolekülen.

Flüssiges Wasser sollte somit dichter als festes Eis sein. Tatsächlich findet man das Dichtemaximum von Wasser unter Normaldruck bei 4°C. Beim Gefrieren muss sich das Wasser also ausdehnen, für die Eisstruktur braucht es 9% mehr Raum. Dadurch kommt die Sprengwirkung des Wassers bei Frost zustande. Unter Druck steigt das Bestreben der Moleküle im Eiskristall, auch die Zwischenräume zu füllen – Eis schmilzt unter Druck. Aus diesem Grund wird Schifahren und Eislaufen im Winter möglich.

Das Zustandsdiagramm gibt Aufschluss über das Verhalten des Wassers bei verschiedenen Temperaturen und Drücken.

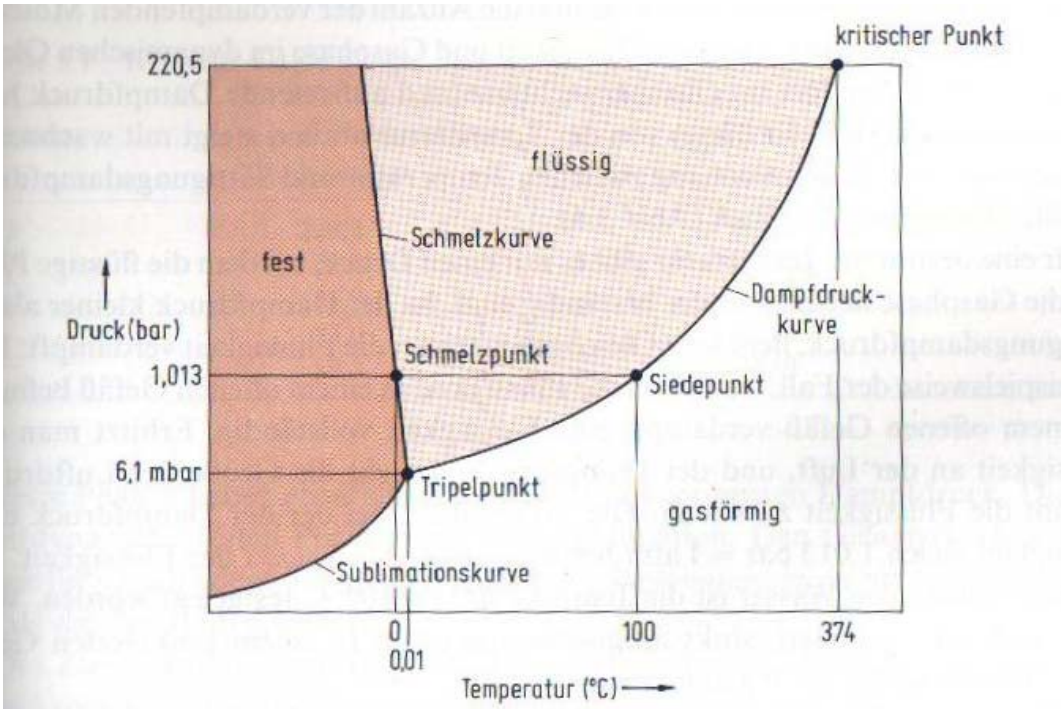


Abb. Zustandsdiagramm des Wassers (aus [1]). Im Tripelpunkt stehen alle drei Phasen fest, flüssig und gasförmig im Gleichgewicht, entlang der Sublimations-, Schmelz- und Dampfdruckkurve die beiden jeweils angrenzenden Phasenzustände. Übersteigt der Dampfdruck den Außendruck (gewöhnlich 1,013 bar), siedet das Wasser.

Augenscheinlich ist die nach links geneigte Schmelzkurve, Sie bildet das Phänomen, dass Eis bei Erhöhung des Druckes schmilzt, ab. Es ist dies eine Eigenschaft, die man nur bei wenigen Stoffen findet[3].

[3] Druckerhöhung bewirkt die bevorzugte Bildung eines möglichst kompakten Zustandes. Für die meisten Stoffe ist dies ausgehend vom Gas der flüssige Zustand und ausgehend von der Flüssigkeit der feste Zustand. Wasser hingegen ist als Flüssigkeit, wie beschrieben, dichter.

Nachfolgende Übersicht veranschaulicht alle wichtigen Eigenschaften und Anomalien des Wassers (aus[2]).

Eigenschaft	Symbol	Vergleich mit anderen Flüssigkeiten	Bedeutung für die Umwelt
Dichte	ρ	Maximum bei 4°C (Normaldruck) expandiert beim Gefrieren, schmilzt bei Druckerhöhung	erschwert das Gefrieren, verursacht saisonale Stratifikation, ermöglicht das rutschen auf Eis
Schmelz- und Siedepunkt	T_{schm}, T_K	außerordentlich hoch für eine derart niedermolekulare Verbindung	Wasser wird unter den auf der Erde herrschenden Bedingungen flüssig
Wärmekapazität	c_p, c_v[a]	zweithöchste Wärmekapazität alle Flüssigkeiten (nach NH3)	puffert gegen Extremtemperaturen
Verdampfungswärme	ΔH_v[b]	außerordentlich hoch	puffert gegen Extremtemperaturen
Oberflächenspannung	σ	hoch	wichtig für die Tropfenbildung, Wolkenbildung und Regen
Lichtabsorption	A	stark im UV-Bereich, kaum für sichtbares Licht	Regulierung der biologischen Aktivitäten (Photosynthese) und der Atmosphärischen Temperatur
Eigenschaften als Lösungsmittel	ε^{χ}	stark dipolar, löst Salze (Ionen) und polare Moleküle	Transport von gelösten Substanzen im hydrologischen Kreislauf und in Lebewesen

1.1.2 Wasserkreislauf

Alles auf der Erde frei verfügbare Wasser etwa 1,4 Mrd. km³ oder $1,4 * 10^{18}$ Tonnen, nimmt an einem stetigen Kreislauf teil. 97,5% dieses Wassers entfallen auf Weltmeere und Salzseen.

[a] man unterscheidet die Wärmekapazität bei konstantem Druck (c_p) und die Wärmekapazität bei konstantem Volumen

[b] angegeben als Verdampfungsenthalpie ΔH_v.

[c] die relative Dielektrizitätskonstante ε gibt an, wie stark sich ein Molekül im elektrischen Feld ausrichtet. Sie ist daher ein Maß für die Polarität einer Verbindung. Die Polarität bestimmt maßgeblich die Eigenschaften einer Flüssigkeit als Lösungsmittel.

An Süßwasser stehen also in den verschiedensten Zuständen, Lagerstätten und Formen, ungefähr 35 Mio. km³, das sind 3,5 * 10^{16} Tonnen, als Süßwasser zur Verfügung. Die Süßwasservorkommen der Erde lassen sich etwa folgendermaßen gliedern (aus [3]):

Wasservorkommen	Wasservolumen [km³]	Anteil
Polareis, Meereis, Gletscher, Schnee	***24.360.000***	***69,6%***
davon		
Antarktis	21.600.000	61,7%
Grönland	2.340.000	6,7%
Arktische Inseln	83.500	0,2%
Gebirge	40.600	0,1%
Permafrost	300.000	0,9%
Grundwasser	***10.530.000***	***30,1%***
davon		
bis 100m Tiefe	3.600.000	10,3%
Bodenfeuchte	***16.500***	***0,047%***
Süßwasserseen	***91.000***	***0,260%***
Moore, Sümpfe	***11.500***	***0,033%***
Flüsse	***2.100***	***0,006%***
Organismen	***1.100***	***0,003%***
Atmosphäre (Luftfeuchtigkeit und Wolken)	***12.900***	***0,037%***
Summe Süßwasser	**35.025.100**	***100,0%***
Gesamtwasservorkommen der Erde	**1.400.000.000**	**100,0%**
Süßwasser und atmosphär. Wasser	35.000.000	2,5%
Salzwasser	1.365.000.000	97,5%

Es bleibt anzumerken, dass auf unserem Planeten noch wesentlich mehr als die 1,4 * 10^{18} Tonnen Wasser existieren. Die große restliche Menge H_2O ist chemisch als Kristallwasser fest an die verschiedensten Mineralien gebunden. Dieses Wasser kann nur bei extremen Ereignissen, etwa bei Vulkanausbrüchen, aus der jeweiligen Kristallstruktur entweichen. Es nimmt daher nur in geologischen Zeiträumen am gesamten Wasserkreislauf teil und kann für die im Rahmen dieser Arbeit angestellten Betrachtungen außer Acht bleiben.

Sowohl Süßwasser als auch Salzwasser werden im stetigen Wechsel von Tag und Nacht, Temperaturen und Jahreszeiten ständig zwischen Grundwasservorkommen, Oberflächenwässern und atmosphärischen Wässern im Kreis geführt. Das Oberflächenwasser steht in ständigem Austausch mit dem Grundwasser. Zugleich verdunstet andauernd ein Teil dieses Wassers in die Atmosphäre. Dort kommt es bei geeigneten Druck- und Temperaturverhältnissen zunächst zur Bildung von Wolken, und schließlich zu Niederschlag in Form von Regen.

Der Regen ergießt sich sowohl über Wasserflächen als auch über Landflächen. Ein Teil des Niederschlagswassers wird von der Biosphäre aufgenommen und später durch Transpiration oder Ausscheidung wieder an die Umwelt abgegeben. Der Rest des auf festem Untergrund

niedergegangenen Wassers sickert in den Untergrund und trägt zur Grundwasserneubildung bei, oder fließt an der Oberfläche in Flüssen Richtung Meer ab. Je stärker dabei der Untergrund bereits an Wasser gesättigt ist, desto größer ist der Wasseranteil, der oberflächlich abfließen muss. Reichen die gewöhnlichen Flussläufe nicht mehr aus, um die niedergegangenen Wassermengen zu transportieren, kommt es zu Überschwemmungen und Fluten.

Das Bild zeigt einen schematischen Überblick über den natürlichen Kreislauf des Wassers.

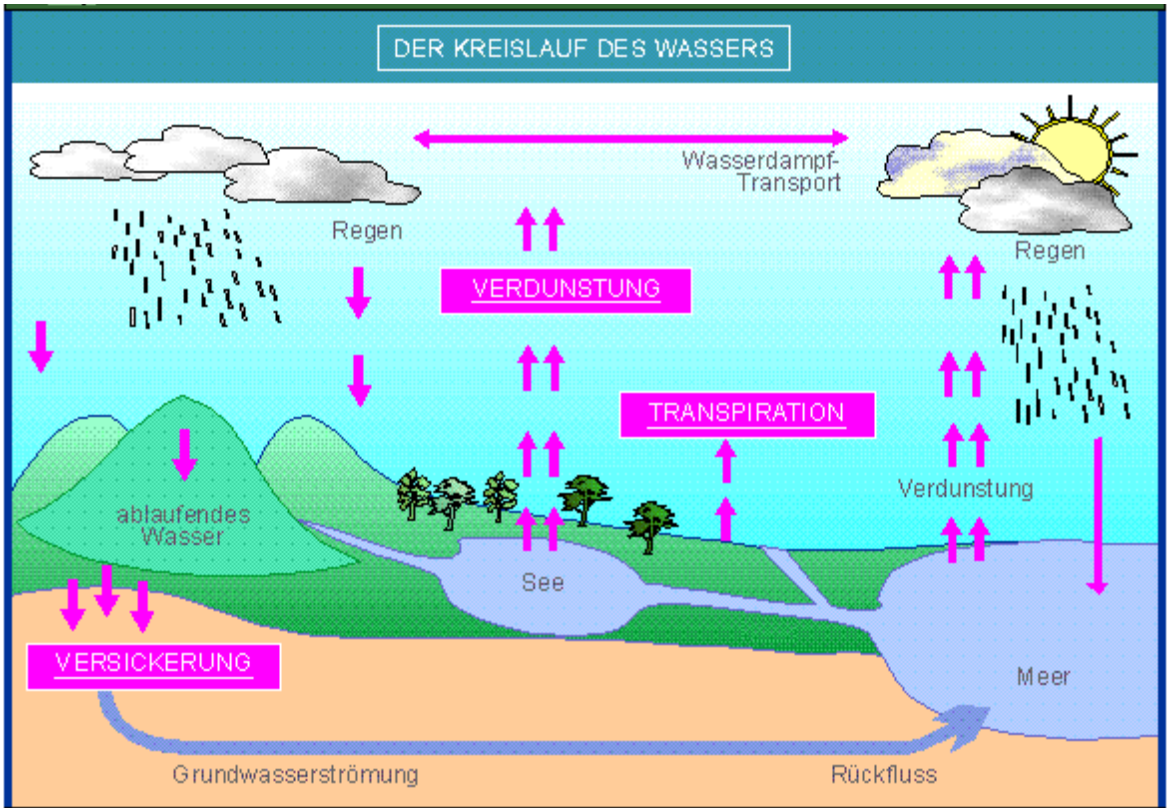


Abb. Kreislauf des Wassers

1.2 Wasserversorgung

Für den eigenen Nahrungs- und Flüssigkeitsbedarf sowie für die einfachsten hygienischen Grundbedürfnisse benötigt ein Mensch mindestens fünf Liter Wasser täglich., um wenigstens seine dringendsten Bedürfnisse abdecken zu können. Je nach Verfügbarkeit weiteren Wassers und der im jeweiligen Haushalt angewandten Technologie[4] ist die Wassermenge pro Kopf, die für ein erträgliches oder angenehmes Leben erforderlich ist, deutlich höher. In Wien beträgt der durchschnittliche Wasserverbrauch ca. 150 Liter pro Einwohner und Tag. International sind auch Verbrauchswerte über 200 Liter pro Einwohner und Tag nichts ungewöhnliches. Für ländliche Gebiete mit gering ausgebauter Wasserversorgungsinfrastruktur – etwa in Entwicklungsländern – kann man den täglichen Wasserbedarf pro Kopf anhand folgender Tabelle abschätzen.

[4] Etwa das Vorhandensein einer Dusche, eines Bads, oder einer Waschmaschine

Art der Wasserversorgung	mittlerer Verbrauch [l / (Ew*d)]	Spanne [l / (Ew*d)]
Kommunale Wasserstelle:		
Entfernung >1000m	7	5 -10
Entfernung 500 - 1000m	12	10 - 15
Dorfbrunnen, Entfernung > 250m	20	15 - 25
öffentlicher Hydrant, Entfernung > 250m	30	20 - 50
Anschluss im Hof des eigenen Hauses:	40	20 - 80
Anschl. Innerhalb des eigenen Hauses:		
ein Hahn	50	30 - 60
mehrere Hähne	150	70 - 250

Trinkwasser für den menschlichen Bedarf muss hygienisch unbedenklich sein, es darf keine schädlichen Substanzen und keine Krankheitserreger enthalten. Die ex lege definierten Mindesterfordernisse an ´Trinkwasser´ sind in den einzelnen Staaten unterschiedlich. Die Weltgesundheitsorganisation definiert in ihren „Guidelines for drinking Water Quality“ ausführlich Mindeststandards für Trinkwasserqualität[5].

Um Trinkwasser der geforderten Qualität in den erforderlichen Mengen zu erhalten, stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich mit den technischen Möglichkeiten der Trinkwassergewinnung und –aufbereitung. Dabei wird sowohl auf den heutigen Stand der Technik als auch auf improvisierte Methoden eingegangen. Letztere kommen überall dort zur Anwendung, wo der Bau von technologisch auf dem letzten Stand befindlichen Anlagen mit den an Ort und Stelle vorhandenen Ressourcen – vor allem finanziell – nicht möglich bzw. sinnvoll ist. Es zeigt sich, dass es auch möglich ist, mit einfachen Mitteln Trinkwasser einer akzeptablen Qualität bereitzustellen.

Die im Folgenden vorgestellten Methoden der Wassergewinnung und -Aufbereitung werden später unter der Annahme eines Hochwasserereignisses auf ihre Eignung zur Bereitstellung trinkbaren Wassers untersucht und bewertet.

1.2.1 Arten von Wasserressourcen

Die Verwendung von Salzwasser zur Trinkwassergewinnung ist zwar durch Verwendung von Meerwasserentsalzungsanlagen möglich, der Betrieb dieser Anlagen ist jedoch sehr teuer und technologisch aufwendig, kommt daher für Entwicklungsgebiete keinesfalls in Frage. Die gegenständliche Betrachtung konzentriert sich daher auf die Nutzbarmachung von Süßwasservorkommen.

Grundsätzlich stehen, in abhängig von der Art des Wasservorkommens, fünf Arten von Wasserressourcen für die Gewinnung von Trinkwasser zur Auswahl.

[5] World Health Organisation „WHO Guidelines for Drinking Water Quality“, Genf 1993. Es werden mikrobiologische, chemische und radiologische Parameter berücksichtigt.

Wasserressource	hygienischer Ausgangszustand	Bedarf nach Aufbereitung	Ergiebigkeits-Schwankungen
Regenwasser	gut, Probleme durch unhygienische Fassung	nein bei hygienischer Fassung und Lagerung	stark
Oberflächenwasser	schlecht	ja	kaum
Quellwasser	schwankend	unterschiedlich	stark
uferfiltriertes Grundwasser	gut	oft nicht erforderlich	nein
andere Grundwasseraquifere	gut	oft nicht erforderlich	nein

Oberflächenwasser aus Flüssen oder Seen steht zwar meist reichlich zur Verfügung, ist aber fast immer fäkal verunreinigt und bedarf unbedingt einer Aufbereitung. Es wird technisch durch Rohre oder Gitter entnommen.

Quellwasser ist gekennzeichnet durch oft starke Schwankungen der Ergiebigkeit und – vor allem wenn im Einzugsgebiet Kontaminationen natürlicher oder anthropogener Art vorkommen – auch der Wasserqualität. Viele Quellen versiegen in Trockenperioden ganz.

Für die hygienische Fassung von Quellwasser sind geschlossene Fassungsbauwerke, die um den Quellmund errichtet werden, oder andere konstruktive Mittel wie Schächte oder Drainagerohre erforderlich. Das Quellwasser soll zwischen Austritt und Fassung nicht mehr ins Freie gelangen, um die Möglichkeit einer Kontamination von außen auszuschließen.

Uferfiltriertes Grundwasser unterliegt der natürlichen Filter- und Reinigungswirkung des Bodens, und dies umso stärker, je größer die unterirdische Sickerstrecke ist. Die Qualität des Wassers ist durch die natürliche Filterung meist deutlich besser als jene von Oberflächen- oder Quellwasser. Ein Problem können lösliche Salze im Boden darstellen, etwa Eisen, Mangan, oder Fluorid. Für die Gewinnung kommen Schachtbrunnen (veraltet) oder Bohrbrunnen (Vertikal- oder Horizontalfilterbrunnen) in Frage.

Zu den ´anderen Grundwasserfassungen´ zählen alle derartigen Wassergewinnungen, die nicht unmittelbar an einem Flusslauf oder an einer Quelle[6] liegen. Dabei kann es sich um Tiefengrundwasser oder Wasser aus weniger tiefen, aber ausgedehnten Grundwasserreservoiren handeln (meist in Senken). Auch hier können lösliche Salze aus dem Boden, wie Eisen, Mangan, oder Fluorid problematisch sein. Für die Gewinnung kommen Schachtbrunnen oder Bohrbrunnen in Frage.

Die Sammlung von Regenwasser von Hausdächern oder in Zisternen ist aufgrund der hygienischen Umstände bei der Fassung[7] und Lagerung ist überholt. Auch ergeben sich große Probleme durch die Unregelmäßigkeit und Unvorhersehbarkeit der Regenfälle. Diese Art der Wassergewinnung ist aber gerade in ländlichen Entwicklungsgebieten auch heute zu finden.

[6] streng genommen zählt auch Quellwasser zur Kathegorie ´Grundwasser´, da es dem Boden entspringt
[7] die notwendigerweise offenen Fassungsanlagen verschmutzen schnell

1.2.2 Möglichkeiten der Wassergewinnung

1.2.2.1 Stand der Technik

1.2.2.1.1 Flusswasser

In fast allen Ländern der Welt, insbesondere in grundwasserarmen Gebieten, wird heute ein großer Teil des benötigten Trinkwassers direkt oder indirekt aus Oberflächenwasser, meist aus Flüssen, gewonnen. Österreich bildet hier mit 1% Anteil von Oberflächenwasser an der Gesamtwasseraufbringung eine große Ausnahme [3].

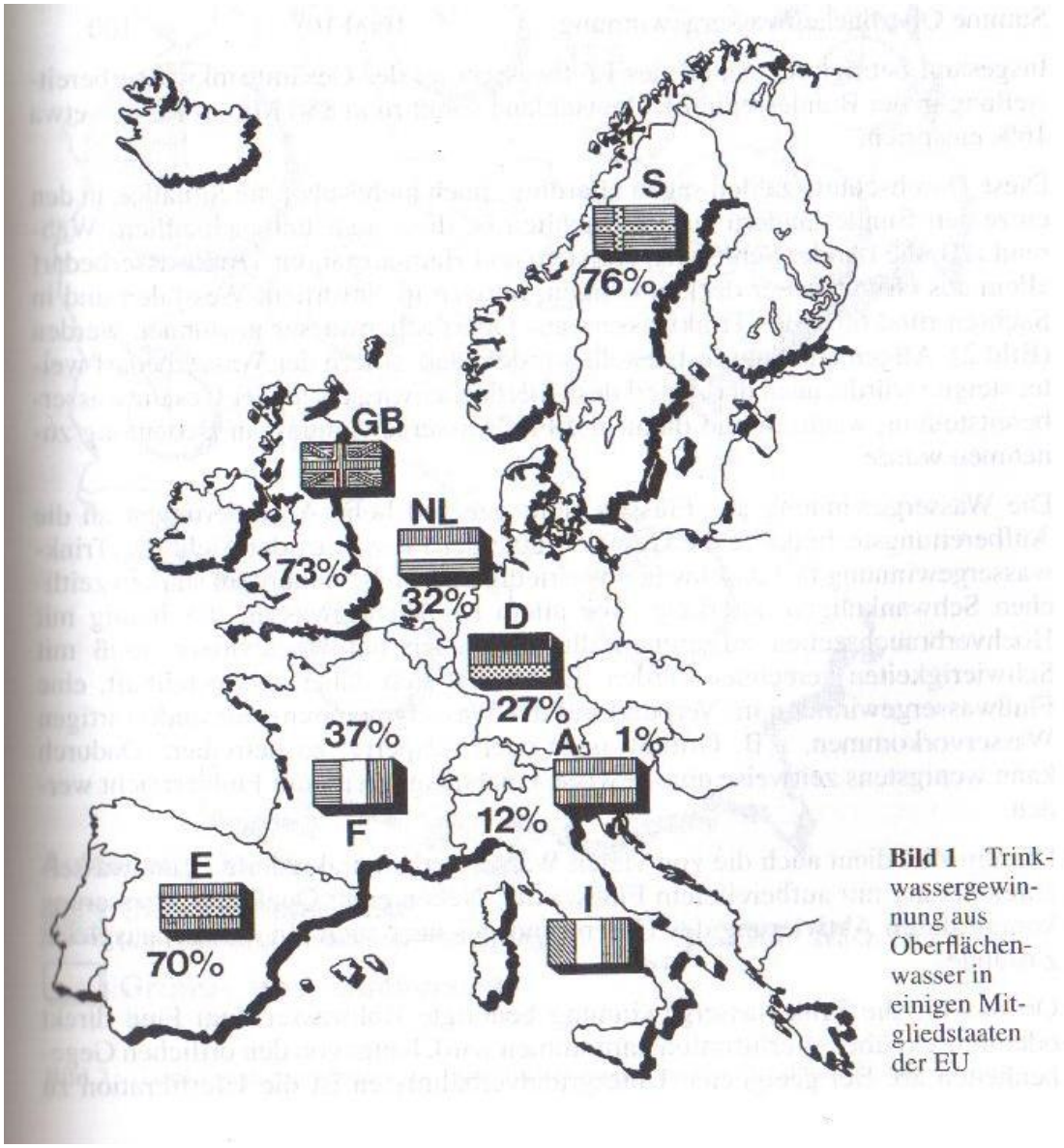


Bild 1 Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser in einigen Mitgliedstaaten der EU

Abb.: Anteil des Oberflächenwassers an der gesamten Trinkwassergewinnung in einigen Staaten der EU (aus [3]).

Die Qualität von Flusswasser ist in Hinblick auf die Trinkwassergewinnung fast immer ungenügend. Überdies unterliegt sie zeitlichen Schwankungen. Niedrigwasser, oft schlechterer Qualität, fällt meist mit Hochverbrauchszeiten zusammen, und auch Hochwasser kann zu erheblichen Problemen führen.

Um die heute in Industrieländern gestellten Maximalanforderungen an sauberes Trinkwasser mit Flusswasserfassungen erfüllen zu können, ist ein sehr hoher Aufbereitungsaufwand erforderlich. Man muss davon ausgehen, dass im Rohwasser alle erdenklichen hygienisch relevanten Stoffe in mehr oder weniger hohen Konzentrationen vorhanden sind, das sind disperse und kolloiddisperse Verunreinigungen (Trübung), anorganische und organische Störstoffe, Bakterien, sonstige Mikroorganismen, und Viren.

Die Aufbereitung von Flußwasser zu Trinkwasser erfolgt in den drei Stufen Vorreinigung, Feinreinigung und Desinfektion. Das Bild zeigt die verschiedenen Verfahrensstufen und Kombinationsmöglichkeiten von Reinigungsschritten bei der Flusswasseraufbereitung. Einige davon werden im Abschnitt 1.2.3 näher behandelt.

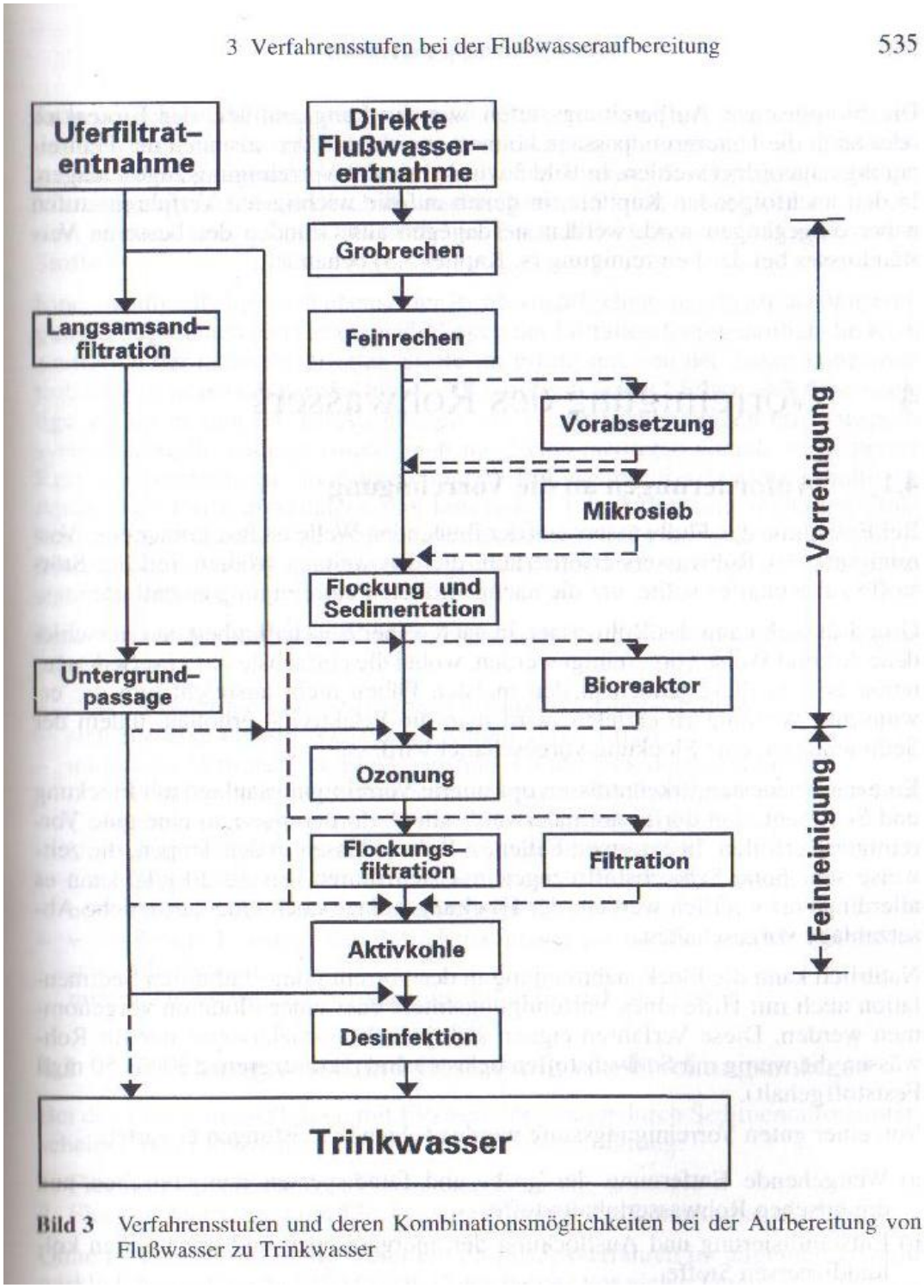


Abb.: Verfahrenstufen und deren Kombinationsmöglichkeiten bei der Aufbereitung von Flusswasser zu Trinkwasser (aus [3]).

1.2.2.1.2 Wasser aus Seen und Speicherbecken

Wenn die relativ sicheren und kostengünstigen Möglichkeiten der Grund- oder Quellwasserfassung nicht zur Verfügung stehen, kommt neben der Wassergewinnung aus Flüssen auch die Nutzung von stehenden Gewässern in Frage. Der Vorteil besteht im

Ausgleich von Ergiebigkeitsschwankungen und in der geringeren Hochwasseranfälligkeit dieser Wasserressourcen. In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, einen Bach oder kleineren Fluss zum Zweck der Trinkwassergewinnung aufzustauen [3In Hinblick auf die Qualität des Rohwassers ist See- und Speicherwasser genauso problematisch wie das Wasser der Zubringerflüsse. Eine Aufbereitung ist unumgänglich.

Neben der bereits für das Flusswasser (1.2.2.1.1) diskutierten Qualitätsproblematik kommt bei Seen noch eine Eutrophierungsgefahr[8] hinzu, eine zu starke Zufuhr an Nährstoffen und Phosphaten muss daher vermieden werden.

Die Wasserentnahme erfolgt über Pumpwerke. Die Abbildung zeigt Das Schema einer derartigen Anlage am Bodensee.

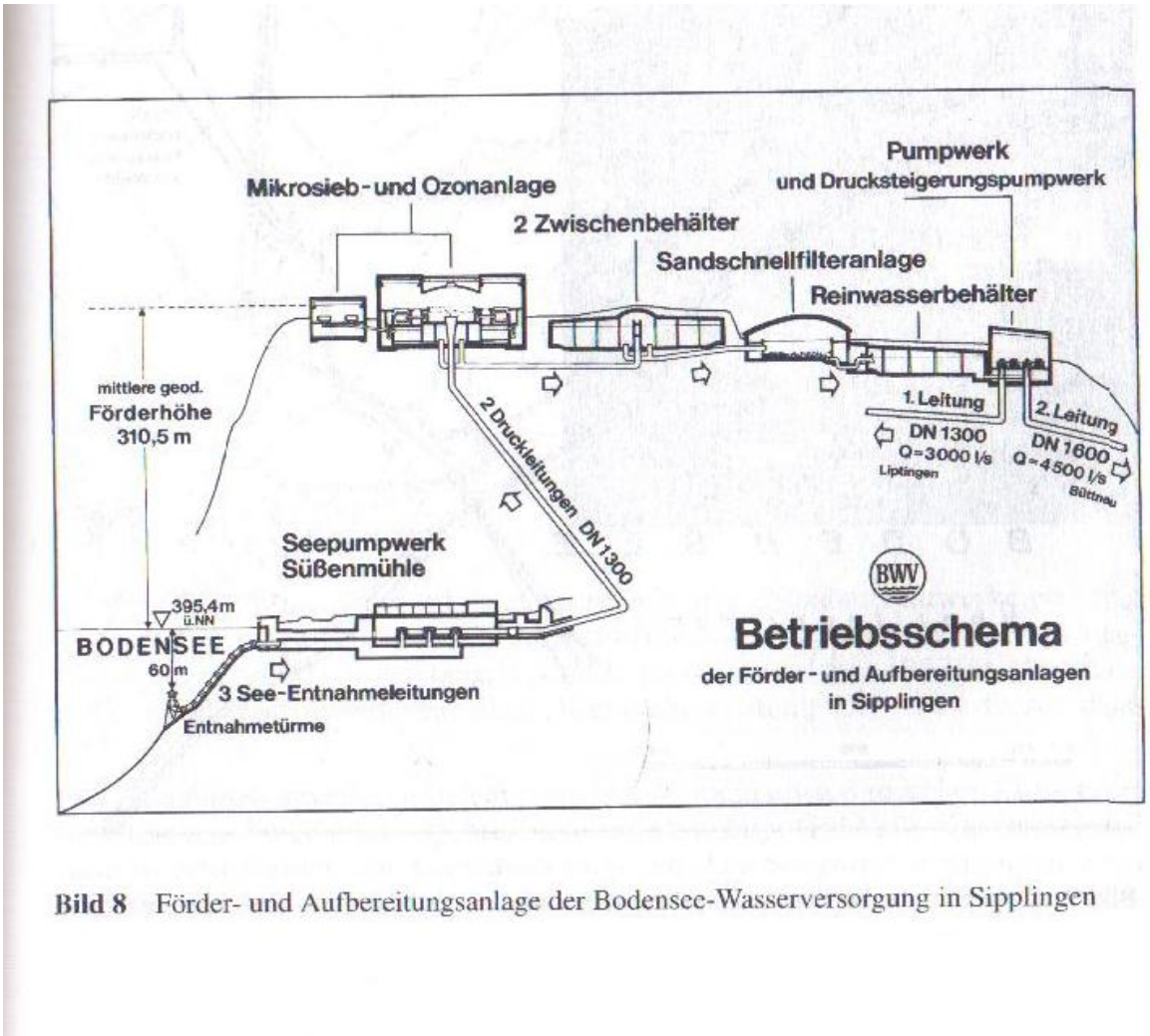


Bild 8 Förder- und Aufbereitungsanlage der Bodensee-Wasserversorgung in Sipplingen

Abb.: Förder- und Aufbereitungsanlage der Bodensee-Wasserversorgung in Sipplingen (D) (aus [3]).

1.2.2.1.3 Quellfassungen

[8] Eutrophierung ist die Anreicherung eines Gewässers mit Nährstoff, die in der Folge zu starkem Algenwachstum, zu Sauerstoffmangel im Wasser, zur Verfaulung, und über lange Perioden zur Versumpfung führen kann.

Quellfassungen zur Wasserversorgung sind vor allem in gebirgigen Ländern weit verbreitet. Beispielsweise wird die Millionenstadt Wien über die beiden Wiener Hochquellwasserleitungen zu 95% mit Quellwasser versorgt. Unter günstigen Bedingungen entspricht Quellwasser den Qualitätsanforderungen für Trinkwasser, durch Umgebungseinflüsse und Unregelmäßigkeiten in der Ergiebigkeit kommt es aber immer wieder zu Trübungen oder mikrobiellen Verunreinigungen. Eine vorsorgliche Desinfektion von Quellwasser ist daher wünschenswert.

Die Fassungsbautechnik hat sich in den letzten Jahrzehnten kaum mehr verändert, bis auf Weiterentwicklungen bei Kunststoffen und anderen Baustoffen, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Die Fassung soll in der wasserführenden Schicht bis auf die undurchlässige Sohle heranreichen[9]. Die bauliche Ausführung kann, in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten, als Graben oder als Stollen erfolgen. Weitere Teile einer Fassungsanlage sind die Zuleitung zur Brunnenstube und die Brunnenstube.

Die umseitige Abbildung zeigt schematisch verschiedene Arten des Quellfassungsbaus.

[9] einen Quellaustritt findet man dort, wo unter einer wasserdurchlässigen Gesteinsschicht eine wasserundurchlässige liegt, die sich bis an die Oberfläche erstreckt und so besonders an Hängen den Wasseraustritt erzwingt.

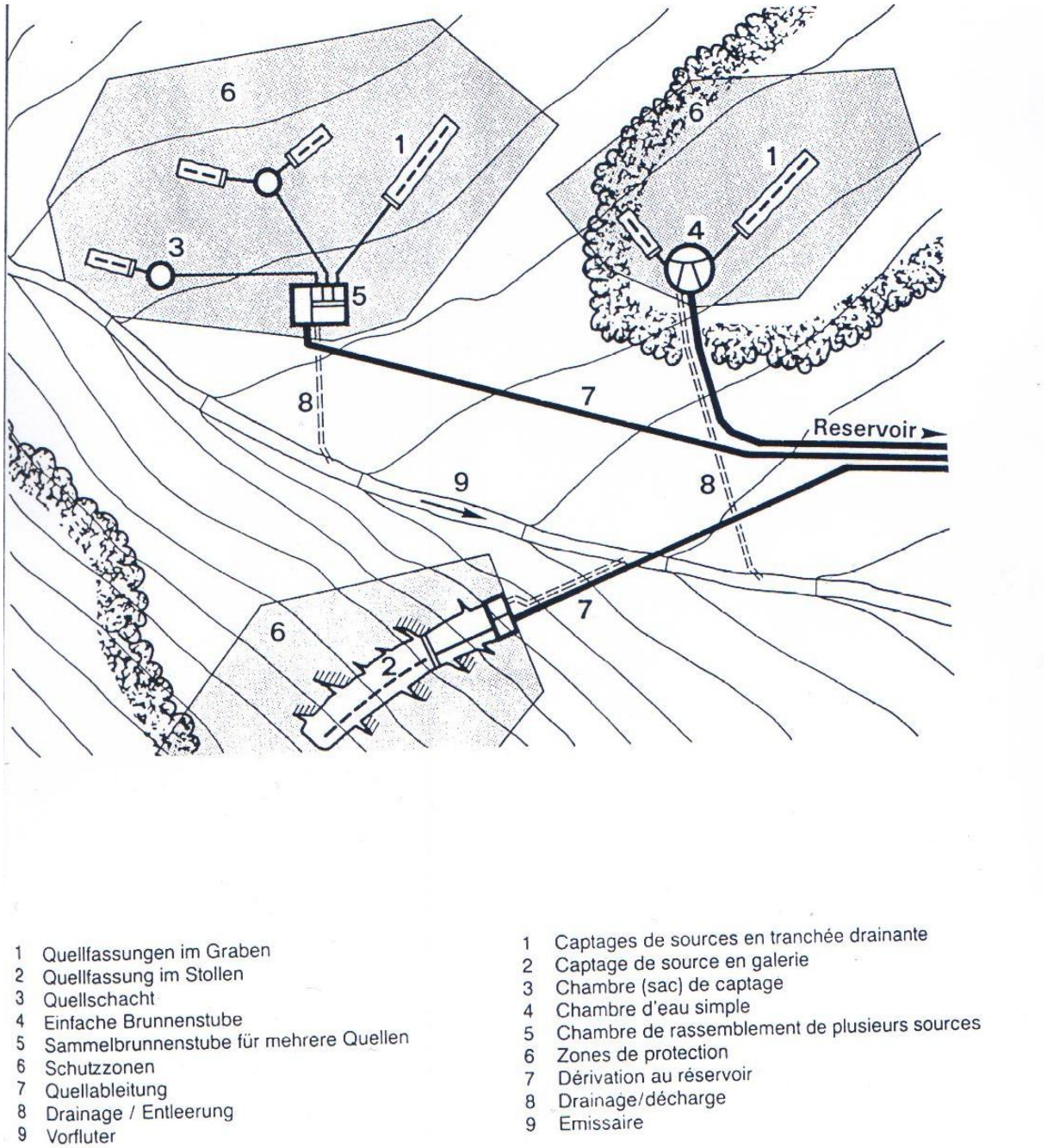


Abb. Verschiedene Bauarten von Quellfassungen, schematisch, Grundriss (aus [5])

Ein Quellfassungsgraben ist nach dem Bau nicht mehr zugänglich. Im Graben befindet sich ein mit Filterkies umgebenes Sickerrohr. Er ist oben und seitlich mit einem Abschlussdamm aus wasserdichtem Beton umgeben. Dieser hat eine Öffnung hin zur wasserführenden Schicht, für die Infiltration. Das Sickerrohr leitet das Wasser Richtung Brunnenstube ab. Die Abbildung zeigt das Schema eines Quellfassungsgrabens.

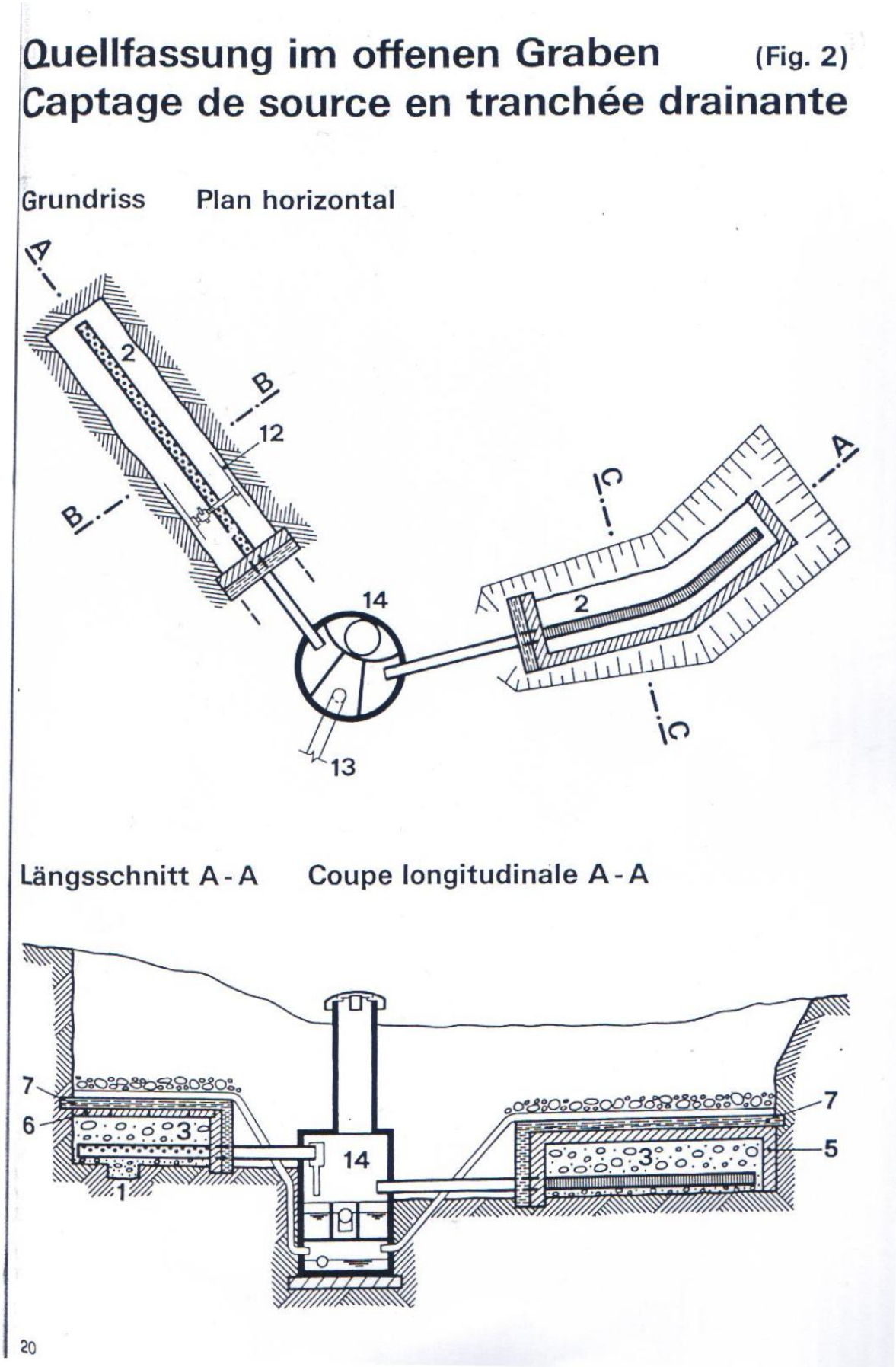


Abb. Schema eines Quellfassungsgrabens (aus [5])

Quellfassungsstollen werden nur für bedeutende Quellwasseraustritte gebaut. Dabei handelt es sich meist um Felsquellen. Die Stollen bestehen aus einem Fassungsteil und einem Zugangsteil. Der Fassungsteil kann sich dabei über einen längeren Stollenabschnitt, mit seitlichem Wassereintritt, erstrecken. Die Wasserleitung führt vom Fassungsteil über den Zugangsteil zur Brunnenstube.

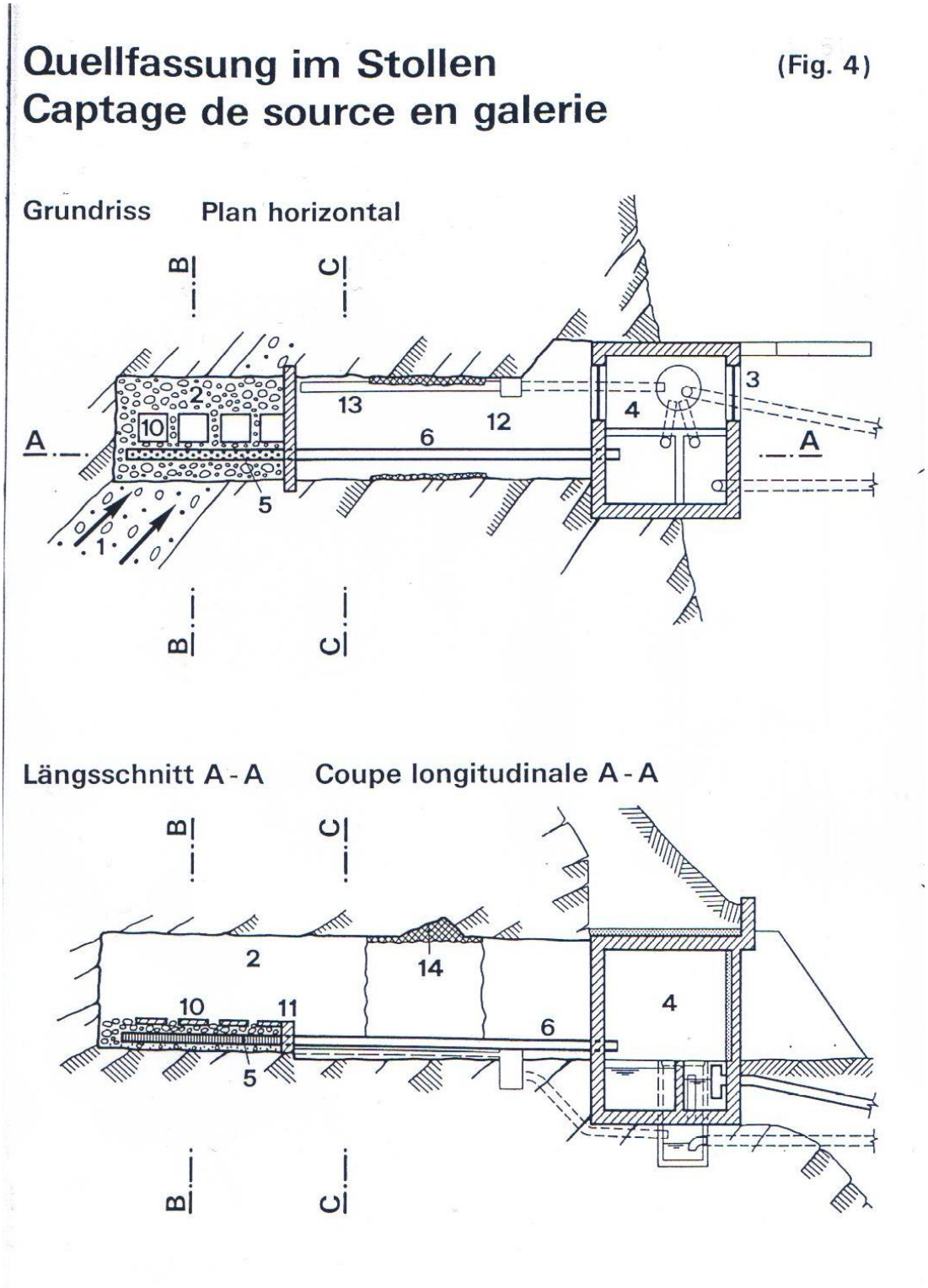


Abb. Schema eines Quellfassungsstollens (aus [5])

Die Brunnenstube dient zu einem ersten Absetzen von Schwebstoffen und für Ertrags-Qualitäts- und Temperaturmessungen. Sie beinhaltet Ein- und Ausleitungen, Überfallkanten, und andere hydraulische Einbauten. In einer Brunnenstube (oder Kammer) können Wässer aus mehreren Quellfassungen zusammenlaufen. Die Brunnenstube muss gewährleisten, dass das Wasser in Hinblick auf Qualität von außen nicht beeinflusst werden kann. Dies bedingt eine wasserdichtes Bauweise. Alle ins Freie führenden Öffnungen sind gegen das Eindringen von Kleintieren oder Insekten geschützt, etwa durch Schutzgitter oder Siphonierung der Überlauf- und Entleerungsleitungen.

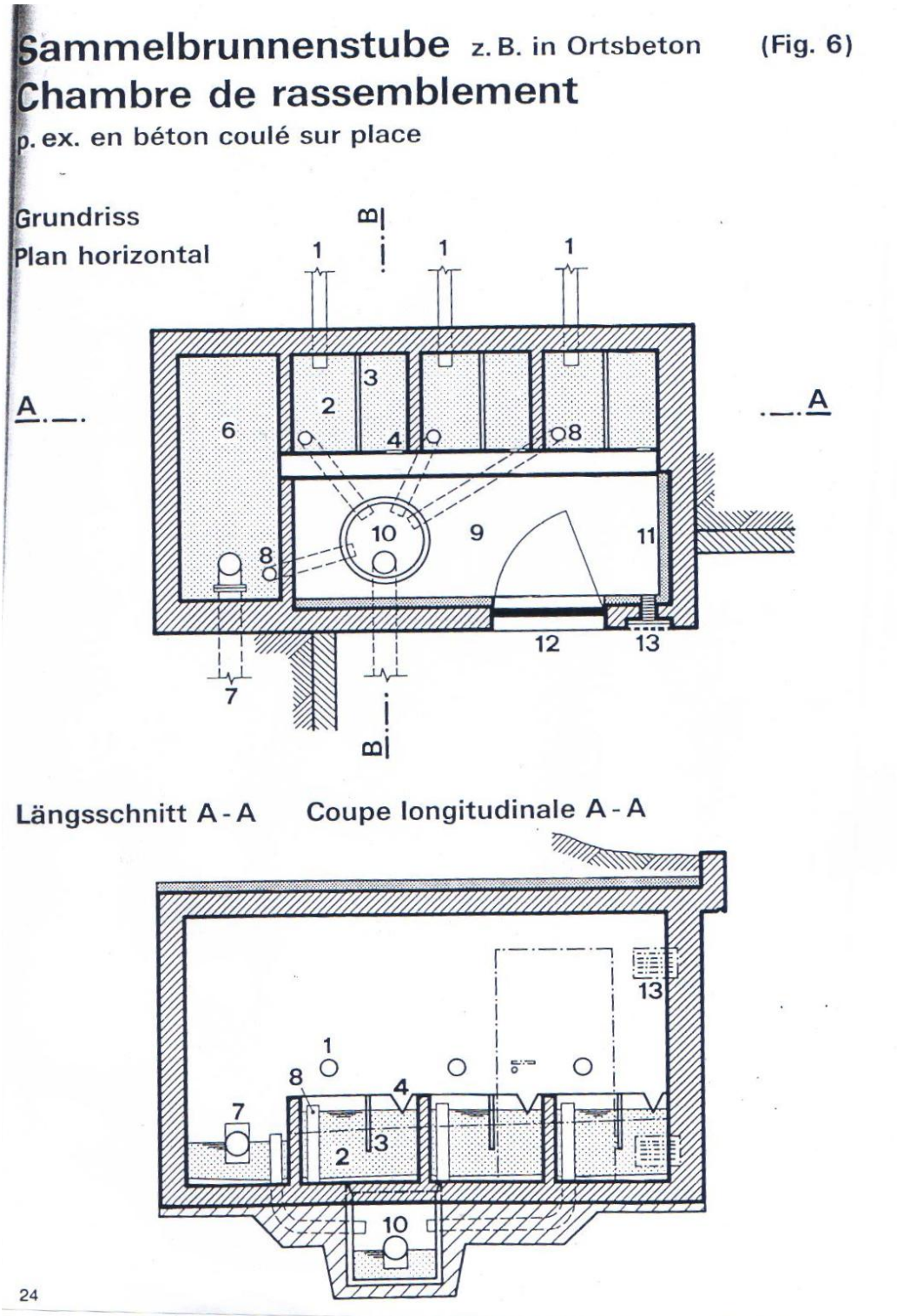


Abb. Schema einer Sammelbrunnenstube (aus [5])

1.2.2.1.4 Vertikale Brunnen

Durch Brunnen kann man sowohl uferfiltriertes als auch anderes Grundwasser aus dem Boden fördern. Die älteste Bauform eines vertikalen Brunnens ist der Schachtbrunnen. Er hat heute nur noch historische Bedeutung, aufgrund vieler hygienischer Probleme werden heute alle

Brunnen als Bohrbrunnen angelegt. In Entwicklungsgebieten kann man aber sehr wohl benutzte und benutzbare Schachtbrunnenanlagen finden, diese sind in 1.2.2.2.4 näher erläutert.

Bei der Konstruktion eines Bohrbrunnens wird die Bohrung bis in die wasserführende Schicht, und ausreichend tief in diese hinein, vorgetrieben. Anschließend wird das Bohrloch mit Brunnenrohren zum Förderbrunnen ausgebaut. Dabei wird zwischen dem Förderrohr und der Bohrlochwandung eine Schicht von sauberem Filterkies eingebracht. Im seinem oberen Abschnitt ist das Förderrohr dicht, im unteren Teil ist es perforiert, um das Grundwasser aufnehmen zu können. Die Abbildung zeigt das Schema eines Vertikalfilterbrunnens [3].

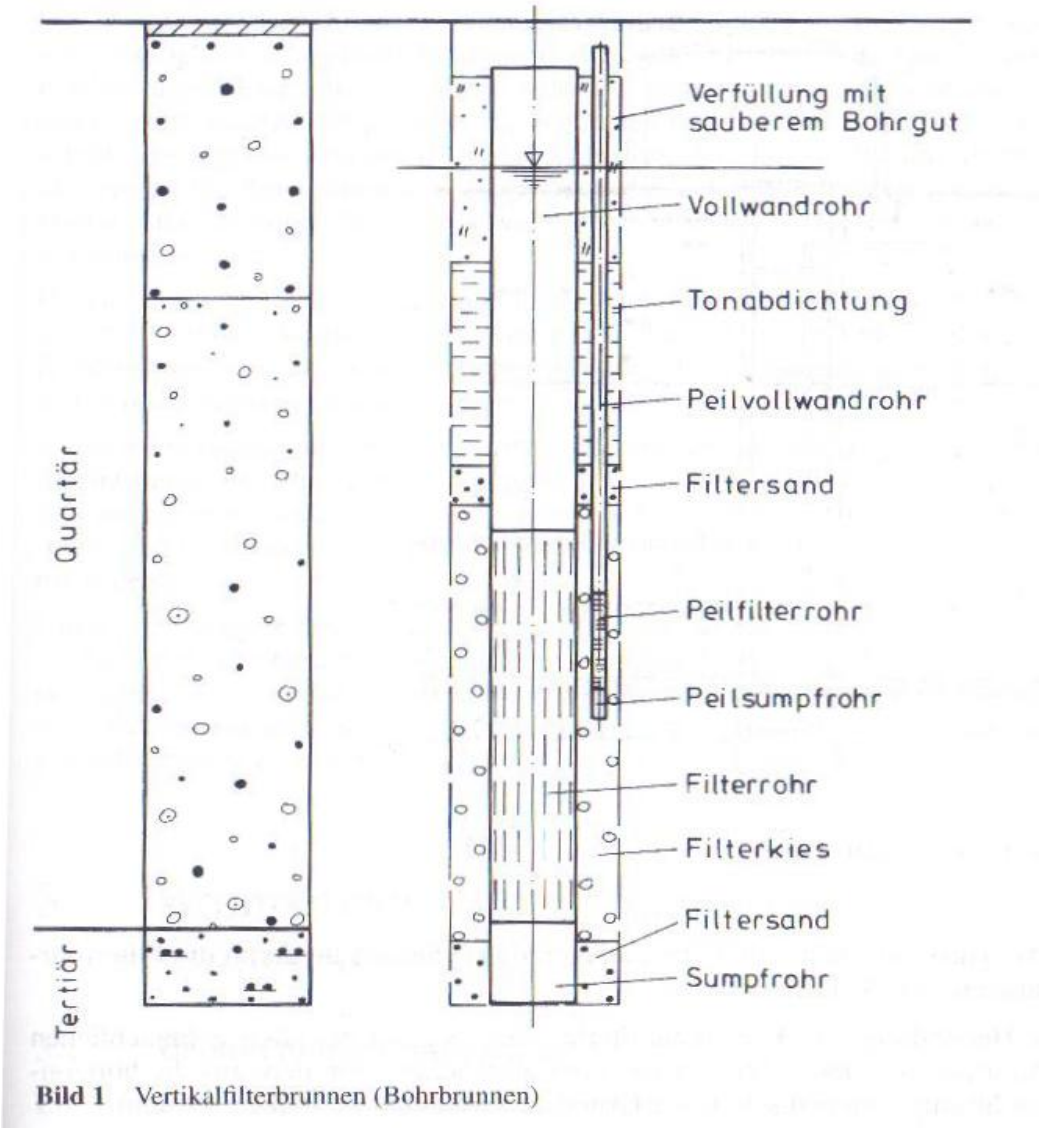


Bild 1 Vertikalfilterbrunnen (Bohrbrunnen)

Abb. Bohrbrunnen (Vertikalfilterbrunnen)

Zur Förderung wird das Wasser meist elektrisch gepumpt. An der Erdoberfläche schließt oft ein begehbares Schachtbauwerk den Brunnen ab, sodass Verunreinigungen nicht in das Brunneninnere gelangen können. Kleinere Brunnen sind nur mit einem kleinen, verschließbaren Gehäuse oder mit einer Abdeckung versehen. Gerade bei der Fassung von

uferfiltriertem Grundwasser an Flüssen stellt sich das Problem der Überschwemmung und damit der möglichen Kontamination des Brunnens durch Oberflächenwasser. Dem kann man auf zwei Arten Abhilfe schaffen. Das Schachtbauwerk oder das Gehäuse können abgedichtet werden, und, wesentlich einfacher und oft wirksamer, der Kopf des Brunnens kann auf ein erhöhtes Fundament gestellt werden. Dadurch erhöht zwar sich in geringem Maß der Energieaufwand für das Pumpen, in häufig von Hochwasser heimgesuchten Gebieten kann dies jedoch eine deutliche Herabsetzung der Überschwemmungsgefährdung des jeweiligen Brunnens bringen.

1.2.2.1.5 Horizontalfilterbrunnen

Horizontalfilterbrunnen werden zur Gewinnung von Grundwasser oder Uferfiltrat in flachgründigen Grundwasservorkommen eingesetzt. Anders als beim Vertikalfilterbrunnen wird das Grundwasser mit mehreren, von einem zentralen Schacht sternförmig nach allen Seiten ausgehenden, horizontalen Fassungssträngen entnommen. Unter dem hydrostatischen Druck der auflagernden Wassersäule tritt dabei das Wasser von selbst in den vertikalen Schacht ein.

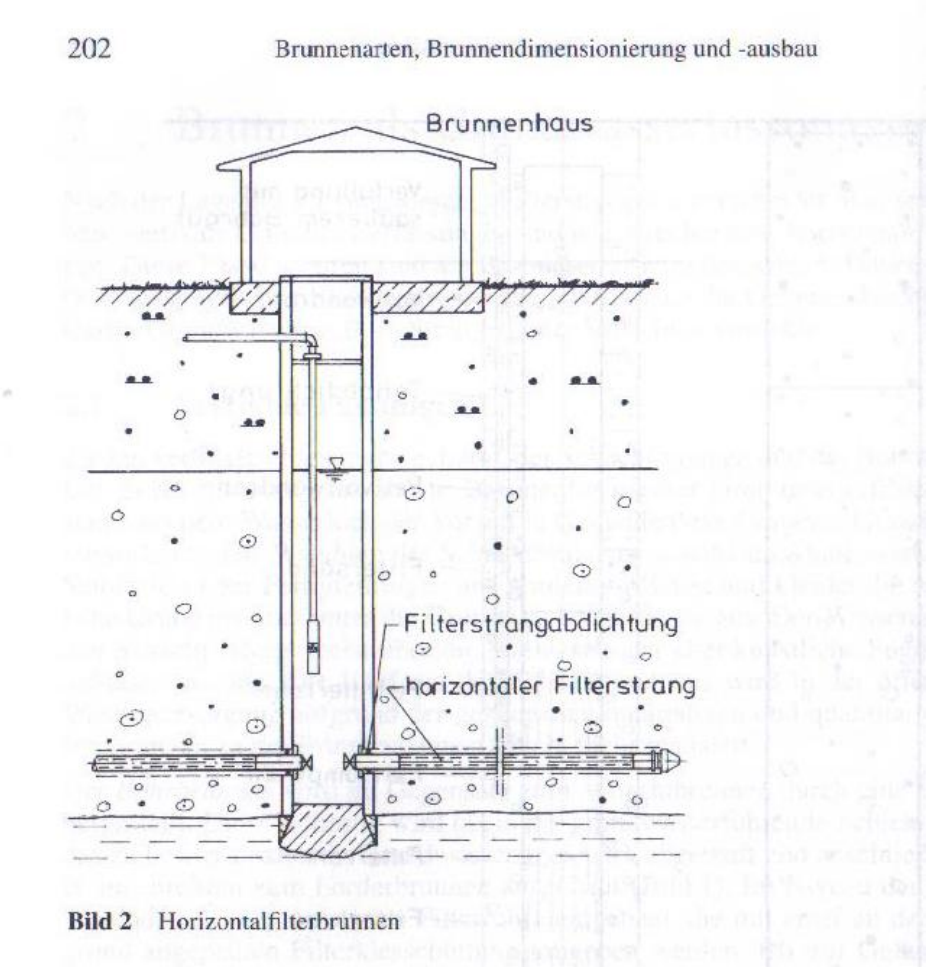


Abb. Horizontalfilterbrunnen

Der Bau der horizontalen Fassungsstränge kann durch Vortrieb oder durch Einspülen durchgeführt werden. Der Vorteil der Horizontalfilterbrunnen ist die höhere Förderkapazität

einer einzelnen Wasserfassung, die ein Vielfaches eines Vertikalfilterbrunnens an der selben Stelle ausmacht. Ein Horizontalfilterbrunnen ist daher dort, wo es geologisch möglich ist, eine wirtschaftliche Alternative.

1.2.2.2 Improvisierte Methoden

In ländlichen Entwicklungsgebieten ist es oft nicht sinnvoll, ´state-of-the-art´ Anlagen für eine Wasserversorgung zu errichten. Selbst wenn der Preis für die Anlagenerrichtung, der in aller Regel die ökonomischen Möglichkeiten der ansässigen Bevölkerung bei Weitem übersteigt, durch nationale oder internationale Geldgeber bezahlt wird, könnten solche Anlagen aufgrund der hohen Kosten für Wartung und Ersatzteile, und aufgrund des Mangels an entsprechend geschultem Personal, nicht betrieben werden. Es sind Fälle bekannt, wo wertvolle Anlagen errichtet wurden, die in weiterer Folge durch die ansässige Bevölkerung nicht richtig bedient bzw. gewartet werden konnten, und so der Verödung preisgegeben wurden.

In ländlichen Entwicklungsregionen ist es daher oft besser, auf Methoden zurückzugreifen, die zwar nicht das in Industrieländern gewohnte Maximum an Effizienz und Betriebssicherheit bieten können, dafür aber an die örtlichen Möglichkeiten und an die Lebensweise der Menschen angepasst sind. Oft lässt sich mit relativ einfachen Mitteln eine starke Verbesserung der Versorgungsqualität erreichen. Im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit wird gerade für ländliche Regionen in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkt auf derartige Methoden gesetzt.

1.2.2.2.1 Sammeln von Regenwasser

Stehen (im Moment) keine anderen Möglichkeiten der Wassergewinnung zur Verfügung, so ist es möglich, Regenwasser zu sammeln und als Brauch- und Trinkwasser zu verwenden. Besonders letztere Art der Nutzung ist mit einer Reihe von hygienischen Problemen verbunden, die sich aus den Umständen bei der Gewinnung ergeben[10].. Meist dient ein Hausdach, aus Ziegel oder Blech (dieses sollte rostfrei sein) zur Fassung des Regenwassers, das von einer Dachrinne abgeleitet und etwa in Fässern gesammelt wird. Staub, Blätter und Vogelexkremente sammeln sich in der niederschlagsfreien Zeit auf dem Dach. Daher ist es nicht empfehlenswert, sofort nach dem Einsetzen von Niederschlägen mit der Sammlung von Trinkwasser zu beginnen. Erst nachdem das Dach freigespült ist, kann mit der Nutzung begonnen werden. Allzu häufiges Reinigen des Daches ist nicht empfehlenswert, da hierbei die idealerweise glatten Dachelemente leicht beschädigt werden können. Die entstehenden Vertiefungen oder Furchen sind ein umso besserer Sammel- und Brutplatz für Verunreinigungen und Insekten. Der Ablauf der Dachrinne sollte durch ein Gitter gegen das Eindringen solcher Verschmutzungen geschützt werden. Wenn das Dach an seiner Oberfläche Einbuchtungen oder Vertiefungen aufweist, kann sich an diesen Stellen Wasser sammeln und dient als Brutstätte für Mikroorganismen und Insekten. Solche Dachschäden sind sofort nach ihrer Entdeckung auszubessern.

Aus allen diesen Gründen sollte das erste Regenwasser, am Beginn der Niederschläge, unbedingt abgeleitet und nicht gesammelt werden. Die Behältnisse, in denen das Wasser gesammelt und aufbewahrt wird, sind abgedeckt oder verschlossen zu halten.

[10] Regenwasser an sich ist meist hygienisch unbedenklich.

Die auf diese Weise gewinnbare Wassermenge kann wie folgt abgeschätzt werden. Jeder Millimeter Niederschlag bringt auf einer Dach-Grundrissfläche von 1m² etwa 0,8 l gewinnbares Wasser, unter Berücksichtigung der Verdunstung in warmen Regionen. Aus der erfahrungsgemäß jährlich und jahreszeitlich neidergehenden Regenmenge lässt sich auf einfache Weise die benötigte Dachfläche berechnen. Für trockene Jahre ist zur Sicherheit mindestens 50% zusätzliche Dachfläche vorzusehen.

Die Sammlung von Regenwasser ist aus hygienischer Sicht nur der direkten Entnahme unbehandelten Oberflächenwassers aus Flüssen oder Seen vorzuziehen. Sobald eine einigermaßen hygienische Alternative zur Verfügung steht, die die benötigten Wasserquantitäten erbringen kann, etwa ein Brunnen in brauchbarem Zustand, ist auf diese Art der Wassergewinnung zu verzichten. Prinzipiell ist die Gewinnung von Regenwasser auch bei Hochwasser uneingeschränkt möglich, solange das Haus und die Dachkonstruktionen erhalten bleiben, und die Sammelbehälter nicht überflutet werden [11].

1.2.2.2.2 Fassung von Oberflächenwasser

1.2.2.2.2.1 einfache Filterung

Der Bau von Drainageleitungen im Untergrund von Flussläufen ist technologisch aufwendig und kommt daher in ländlichen Entwicklungsregionen oft nicht in Frage. Eine einfache Alternative ist der Einbau eines Filterkastens (z.B. die Filter-Box der britischen Firma SWS[11]) in den Flussuntergrund. Dieser verstärkte Kasten wird mit der Öffnung nach unten ausreichend tief in den Flussuntergrund eingegraben. Auf seiner Innenseite ist er mit einer Filtersiebplatte ausgestattet, außen befindet sich ein Anschluss für eine Schlauch- oder eine Rohrverbindung. Nach dem Eingraben und anschließen beginnt man mit starker Pumpleistung Wasser durch den Filter zu saugen. Dadurch wird der Flusssand auf der nach unter gerichteten Innenseite des Kastens komprimiert, eine Filterschicht aus Flusssediment entsteht.

[11] Vgl.[11], Apendix D

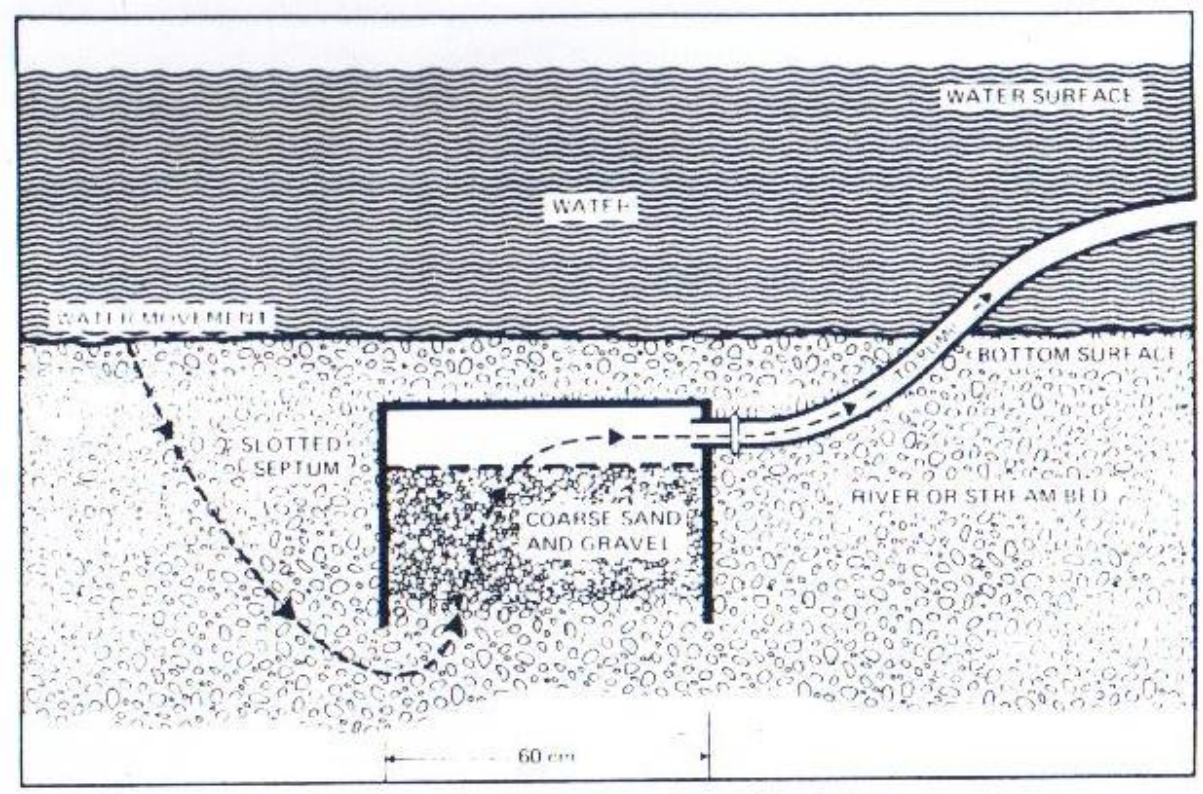


Fig. 19. The S.W.S. filter. (From Cansdale).

Abb. einfacher Filterkasten zur Flusswassergewinnung (aus [11])

Der Vorteil dieses Systems ist die einfache Handhabung und Installation, sowie eine große Flexibilität. Das Gerät kann bei Bedarf beliebig oft aus-, und an anderen Standorten wieder eingegraben werden. Benötigt wird jedenfalls zu Beginn eine starke Motorbetriebene Pumpe. Trinkwasseraufbereitung wäre zwar wünschenswert ist aber nicht absolut erforderlich. Gegenüber offenen Schachtbrunnen, offenen Quellfassungen oder der direkten Flusswasserfassung stellt dieses System bereits ohne Aufbereitung meist eine Verbesserung dar. Bemerkenswert ist auch die große Flexibilität einer derartigen Wasserfassung gegenüber Hochwasserereignissen. Es ist einzig darauf zu achten, dass die Anlage nicht unter dem Druck der Fluten frei- oder fortgespült wird.

1.2.2.2.2.2 Direkte Fassung von Fluss- oder Seewasser

Stehen keine anderen Alternativen zur Verfügung, so wird das Wasser oft direkt einem Flusslauf oder einem See entnehmen. Dieses Wasser wird aber, selbst wenn man nur niedrigste hygienische Standards anlegt, in fast jedem Fall Aufbreitung benötigen. Beim Bau von Fassungsleitungen in einen Fluss ist neben konstruktiven Vorsorgemaßnahmen wie einer festen Verankerung oder Schutzkonstruktionen gegen Treibgut darauf zu achten, dass möglichst ein Ort gewählt wird, an dem eine Versandung und Verschlammung durch Flusssediment nicht wahrscheinlich ist[12]. Die Gewässerseitige Öffnung der Fassung sollte zumindest mit einem Gitter oder einem Maschendraht ausgestattet sein.

[12] das sind etwa steinige, klüftige Uferabschnitte, oder, in Ermangelung solcher Bereiche, gerade Abschnitte am Flusslauf.

1.2.2.2.3 Fassung von Quellwasser

Wasserquellen entspringen meist in höheren Lagen. Sie sind daher von Hochwasserereignissen oft nicht direkt, im Sinn eines Eintritts quellfremden Wassers am Quellmund, beeinflusst. Bei starken Niederschlägen steigt, mit unterschiedlicher Verzögerung, die Ergiebigkeit von Quellen mitunter stark an.

1.2.2.2.3.1 Benutzung von offenen Quellaustritten

Quellen sind meist an Hügel- oder Berghängen gelegen. Das Quellwasser ist gewöhnlich sauber und genießbar, vorausgesetzt, dass es sich dabei um eine ´echte´ Quelle handelt und nicht um den Wiederaustritt eines Flusses, der über eine kurze Strecke unterirdisch verläuft. Quellwasseraustritte liegen meist hoch genug, um von Hochwasserereignissen nicht direkt betroffen zu sein. Starke Regenmengen können aber bewirken, dass durch den verstärkten Durchfluss Trübstoffe oder andere, auch biologische, Kontaminanten mitgeschleppt und zutage gefördert werden. Die direkte Entnahme des Wassers an einer offenen Quelle ist problematisch, vor allem dann, wenn die Quelle unmittelbar einen kleinen Teich oder See speist, aus dem dann das Wasser entnommen wird. Dieser kann durch alle möglichen Einflüsse verunreinigt werden. Es gelten dann hinsichtlich Aufbereitung dieselben Erfordernisse wie für Oberflächenwasser.

1.2.2.2.3.2 Einfache Quellfassungsbauwerke

Aus diesen Gründen ist es sehr empfehlenswert, Quellfassungen durch bauliche Maßnahmen gegen eine Verunreinigung von außen zu schützen. Dies ist auch mit verhältnismäßig einfachen Mitteln möglich (siehe Abbildung unten). Befindet sich die Quelle beispielsweise an einem Hügel, so gräbt am Quellaustritt ein Stück weit in den Abhang hinein, lässt einen Zwischenraum und errichtet eine Wand aus Steinen davor, deren Fugen frei und damit wasserdurchlässig blieben. Über dieser Wand wird später die Brunnenstube errichtet. Der Zwischenraum wird mit Kies oder Schotter gefüllt. In der Brunnenstube bringt man nun unterhalb des Niveaus des Quellaustritts ein Fassungsrohr mit Gitter oder Abschirmung am Eintrittspunkt an. Die Abschirmung verhindert, dass Steine oder Tiere in das spätere Trinkwasser gelangen. Zusätzlich wird eine Überlaufrinne in entsprechender Höhe angebracht, die bei Bedarf das gesamte Quellwasser ableiten kann. Auch das Überlaufrohr muss durch ein einsprechend feines Gitter gegen das Eindringen von Insekten oder Tieren schützen. Das Gehäuse sollte die Geländeoberkante um mindestens 30cm überragen, um den Eintritt am Hang abfließendenden Oberflächenwassers zu verhindern. Die Brunnenstube ist mit einer Öffnung für regelmäßige Reinigungsarbeiten zu versehen. Die unmittelbar vor dem Quellaustritt aufgeschüttete Kiesschicht oben mit Lehm abgedichtet, um auch auf dieser Seite den Eintritt von Oberflächenwasser zu verhindern [11].

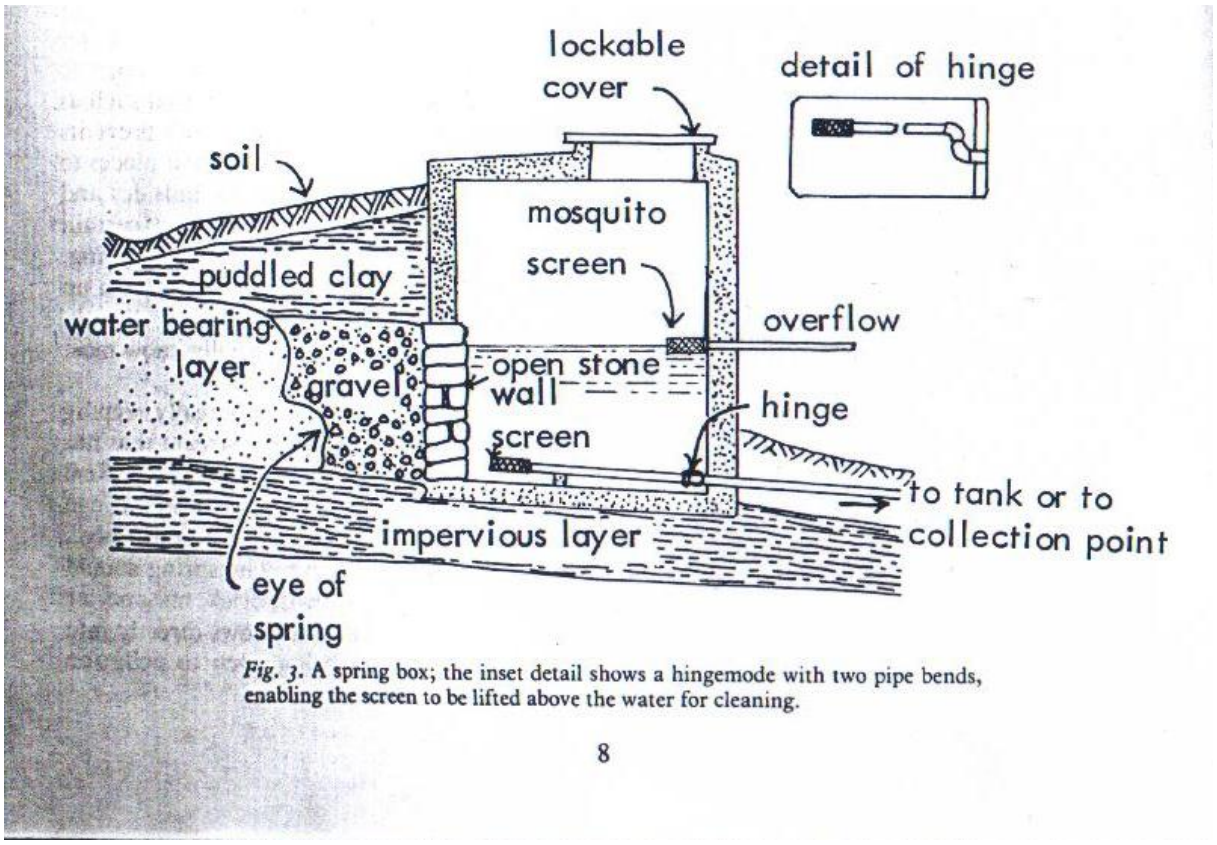


Abb. Einfach konstruierte Quellfassung mit Brunnenstube (aus [11])

1.2.2.2.4 Brunnenbau

Neben der Bohrung von Brunnen mit dem Stand der Technik entsprechenden Baufahrzeugen und Bauwerkzeugen, gibt es vier Möglichkeiten des Brunnenbaus. Diese sind in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

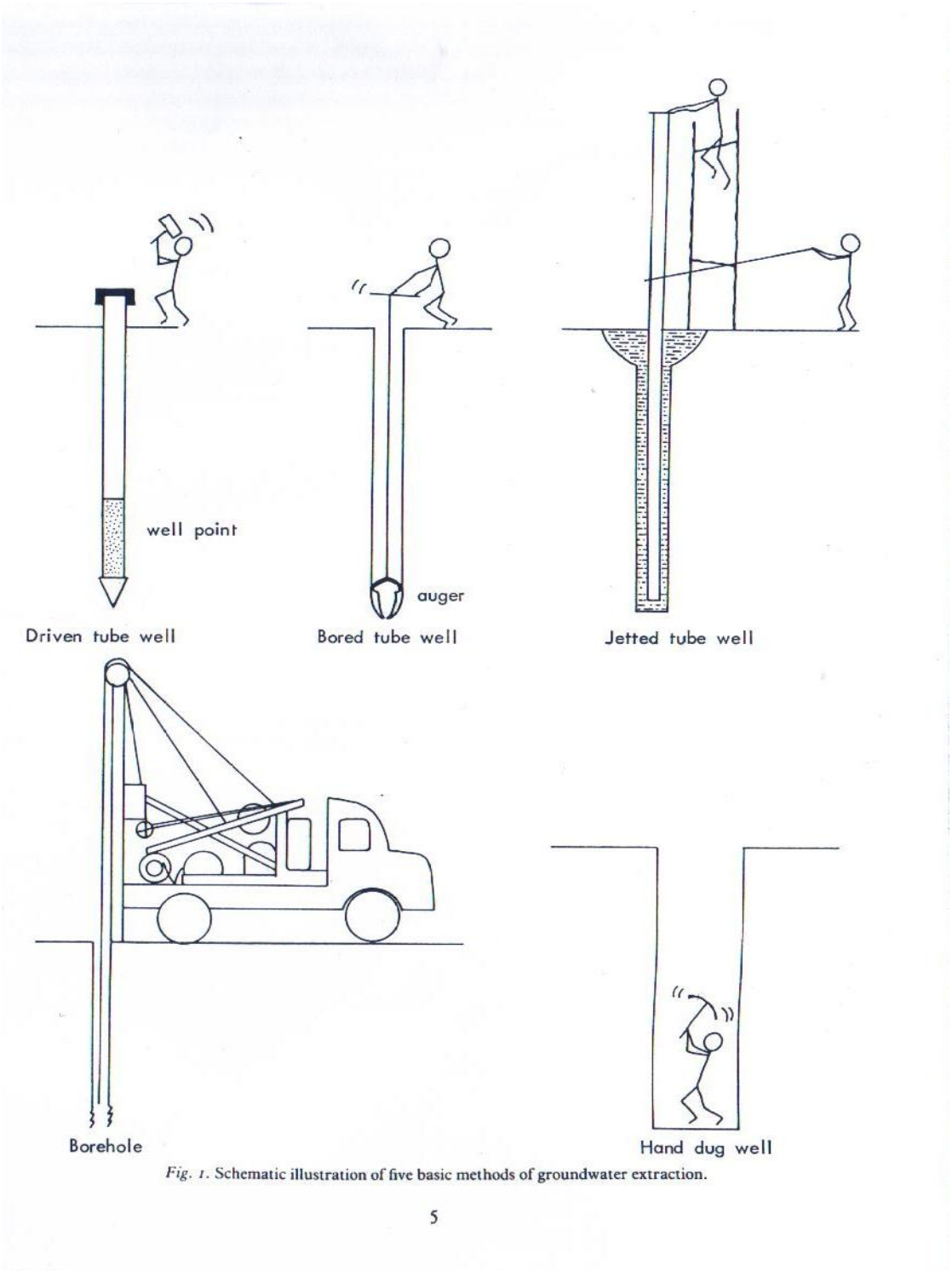


Fig. 1. Schematic illustration of five basic methods of groundwater extraction.

5

Abb. Schematische Darstellung der Möglichkeiten maschinellen und nicht maschinellen Brunnenbaus (aus [11])

1.2.2.2.4.1 Bohrung durch Einhämmern (´Schlagen´ eines Brunnens)

Diese älteste Methode des Brunnenbaus gilt heute als historisch. Dabei wird ein stählerner Bohrkopf wird durch Einhämmern mit einem schweren Gewicht[13] in die Tiefe geschlagen. Sie ist in der Praxis nur in Gebieten anwendbar, wo Grundwasser in einer Tiefe von maximal 2m vorhanden ist. Tiefere Wasserschichten lassen sich aufgrund des großen benötigten Kraftaufwandes und technischer Schwierigkeiten (Verbiegen des Bohrgestänges durch das Hämmern) kaum auf diese Weise erschließen.

1.2.2.2.4.2 Bohrung von Hand

Unter Verwendung entsprechender Werkzeuge können Brunnen auch von Hand gebohrt werden.

Der obere, trockene Teil des Bohrlochs kann mit einem Handbohrer (siehe umseitige Abbildung, a) in den Boden getrieben werden. Dieses einfache Bohrwerkzeug ist so konstruiert, dass es das Untergrundmaterial durch den gewinkelten Bohrkopf während des Drehens zutage befördert. Harte Untergrundschichten können mit einem Steinmeißel (siehe untenstehende Abbildung, c) durch Einhämmern überwunden werden. Nach dem Erreichen feuchter Bodenschichten wird ein Spiralförmiger Bohrkopf (siehe untenstehende Abbildung, b) eingesetzt, da das zuerst verwendete Bohrwerkzeug das lockere Untergrundmaterial nicht mehr nach oben befördern kann. Wenn das Wasser erreicht ist, muss für den weiteren Vortrieb ein Schöpfwerkzeug (siehe untenstehende Abbildung, d) verwendet werden. Dieses besteht aus einer Kombination zweier Rohre, unten mit einer Klappe versehen. Nach dem Einhämmern füllt sich das Rohr beim Hochziehen, die Klappe schließt sich. Wenn der Schöpfer voll ist, wird er zur Oberfläche gezogen, entleert, und der Arbeitsgang wiederholt.

[13] Vorschlaghammer, schwerer Stein

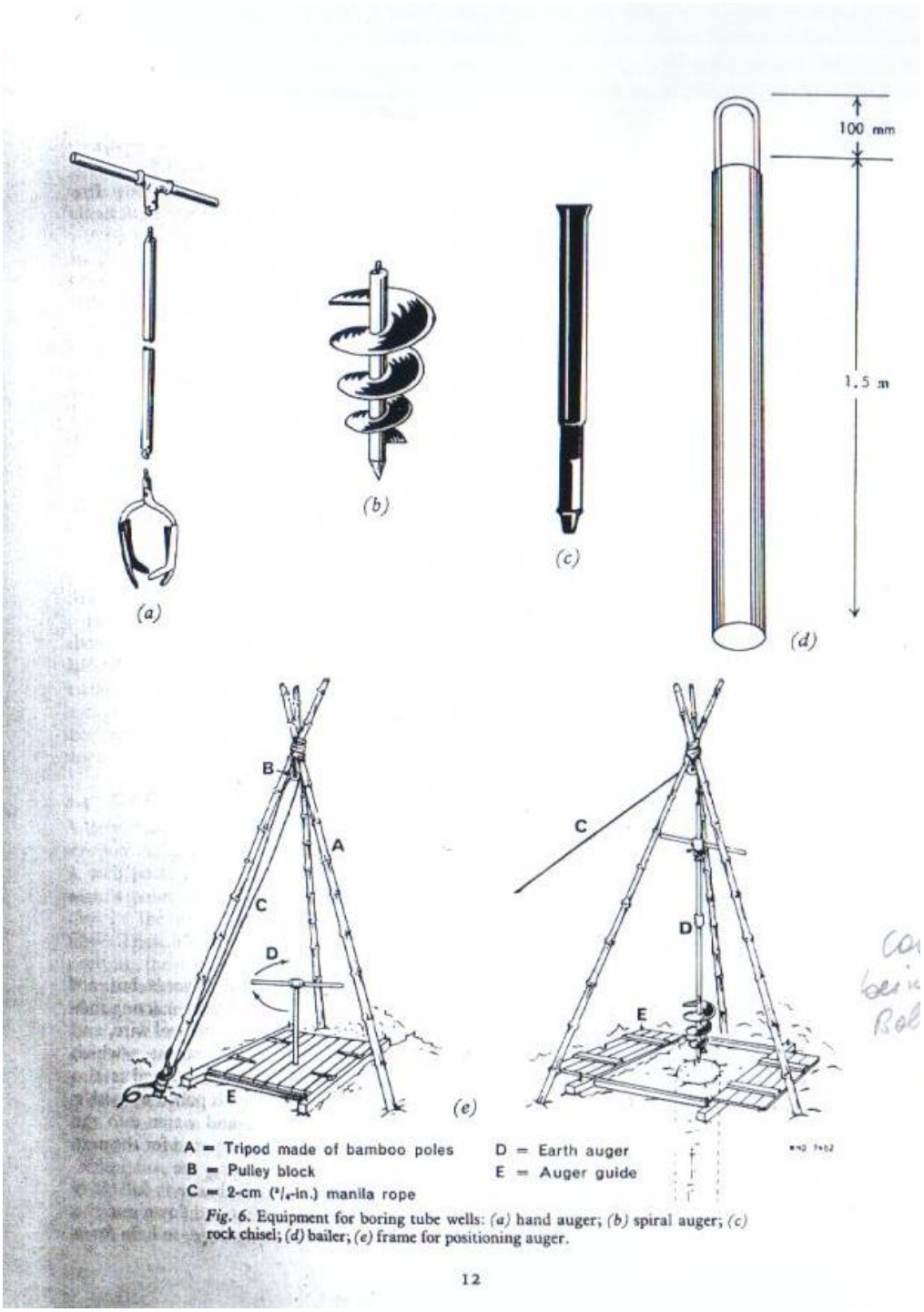


Abb. Einfache Bohrwerkzeuge (aus [11])

Bohrlöcher in lockeren oder nassen Bodenschichten neigen dazu, von den Seiten her einzufallen. Es ist daher oft notwendig, das Bohrloch während der Arbeiten durch ein loses Gehäuse zu stabilisieren. Dazu führt man möglichst lange[14], an Stahlseilen gehaltene Stahl- oder PVC-Rohre in das Bohrloch ein. Abschließend führt man die Bohrarbeiten fort. Es sollte bis mindestens 7m unterhalb des Wasserspiegels gebohrt werden.

[14] die Literatur [11, S. 13] spricht von mindestens 7m.

Nach Abschluss der Bohrarbeiten wird die permanente Außenumhüllung des Bohrlochs angebracht. Hiezu kann man vorgefertigte Metallrohrelemente mit Schlitzen bzw. Löchern verwenden. Die Außenhülle wird in das Gehäuse eingeführt.

Nun werden die eigentlichen Rohrleitungen für das zu pumpende Wasser in das Bohrloch abgesenkt und stückweise miteinander verschraubt. Die Rohre für den unteren Bohrlochabschnitt sind mit Schlitzen versehen, die den Wasserdurchtritt ermöglichen. Das erste in das Bohrloch eingesetzte Rohr ist an seiner Unterseite mit einer Kappe verschlossen, die den Eintritt von Untergrundmaterial in die Pumpleitung verhindert. Je nach Art der zu installierenden Pumpe wird an der richtigen Stelle ein Pumpzylinder eingefügt. Die oberen Rohre sind dicht und verhindern den Zutritt von Oberflächenwasser.

Nun kann die Außenumhüllung des Bohrlochs entfernt werden. Sie ist für weitere Bohrungsarbeiten verwendbar. Der Zwischenraum zwischen der nunmehr permanenten Außenumhüllung und dem Bohrloch wird am Schluss mit Sand, Kies, Schotter oder gebranntem Lehm gefüllt und dient als zusätzliche, künstliche Filterschicht.

Alternativ kann die Außenhülle für das Bohrloch auch aus Bambus oder den Stämmen des Arcea-Nußbaumes, mit eigenhändig gesägten Schlitzen, gefertigt werden oder aus von einen Töpfer hergestellten Lehmrohren, ebenfalls mit hineingeschnittenen Schlitzen, gefertigt werden [11].

1.2.2.2.4.3 Vortrieb eines Bohrlochs durch Aufschlämmen

Aufschlämmmethoden funktionieren nur auf weichen Böden. Normalerweise bedarf es einer starken Wasserpumpe und spezieller Ausrüstung, um in ein durch einen wirbelnden Wasserstrahl aufgeweichtes Bohrloch einen Bohrer vorzutreiben. Es gibt jedoch eine äußerst einfache Methode, wie man mit improvisierten Mitteln zu einem tauglichen Brunnen gelangen kann.

An der Bohrstelle wird ein Holzgerüst aufgebaut und von Hand ein etwa metertiefes Loch gegraben. Dieses wird anschließend mit Wasser gefüllt. Ein 4m langes Stahlrohr von etwa 50mm Durchmesser wird vorne mit einem angespitzten Bohrkopf versetzt. Das Rohr wird senkrecht am Gerüst so fixiert, dass man es ungehindert vertikal bewegen kann, und fix mit einem entsprechend langen Hebel verbunden.

Durch Betätigung des Hebels kann man nun das angespitzte Rohr auf- und abbewegen und auf diese Weise in den Untergrund vortreiben. Zugleich sitzt oben auf dem Gerüst ein Mann, der beim Hochhebeln des Rohres dessen obere Öffnung mit seiner Handfläche verschlossen hält, und sie beim Hineinstoßen des Rohres öffnet. Auf dieses Weise wird der nasse Abraum aus dem Bohrloch entfernt.

Das Bohrloch sollte immer vollständig mit Wasser gefüllt sein. Das Hinzufügen von etwas Kuhdung (1:20) zum Schlämmwasser hilft, das Versickern von Wasser im Bohrloch zu

verzögern. Wenn das Bohrloch nach diesen Arbeiten sorgfältig desinfiziert wird, ergibt sich durch diese Maßnahme kein hygienisches Problem.

Ein Gehäuse (s.o.) ist bei diesen Arbeiten meist nur für die ersten 7m notwendig. Nach Beendigung der Bohrarbeiten werden mit Schlitzen versehene Rohrelemente (Rohrmaterialien und –präparation s.o.) in das nach wie vor mit Wasser gefüllte Bohrloch eingeführt.

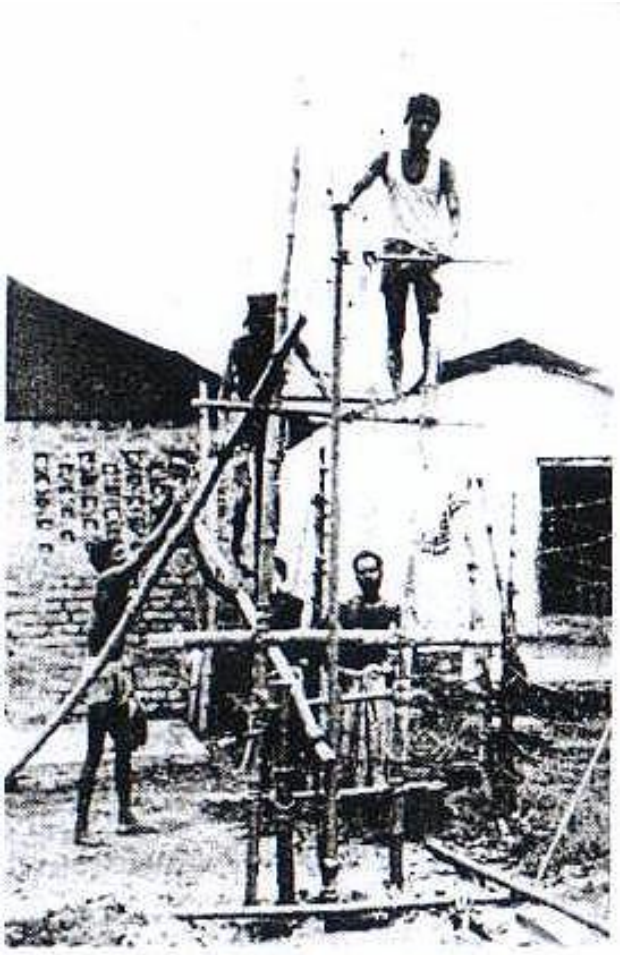


Fig. 10. The palm-and-sludge method.

Abb. Aufschlämmen eines Bohrlochs mit einfachen Mitteln (aus [11])

1.2.2.2.4.4 Schachtbrunnen

Offene Schachtbrunnen für die Trinkwasserversorgung sind aufgrund vielfacher hygienischer Probleme, vom Eindringen kontaminierten Oberflächenwassers oder Spülwassers, über seitlichen Sickerwassereintrag oder Kontamination durch das Schöpf- bzw. Entnahmegefäß, bis zum achtlosen oder boshaften Einwerfen von Müll in den Brunnenschacht, problematisch. Bohrbrunnen werden bevorzugt. Dennoch hat dieses Fassungsprinzip einige Vorteile gegenüber einem Bohrloch. Ein Schachtbrunnen ist zugleich Wasserfassung und Wasserspeicher. Daher ist er besonders in Gebieten geeignet, die eine geringe hydrogeologische Ergiebigkeit aufweisen. So sind in vielen ländlichen Entwicklungsgebieten

Schachtbrunnenanlagen zu finden. Der Schachtbrunnen übertrifft den Bohrbrunnen durch eine höhere mögliche Entnahmeleistung, ohne dass eine Pumpvorrichtung benötigt wird[15].

Brunnenschächte werden von Hand gegraben. Der Vortrieb eines solchen Brunnens ist bis 25m Tiefe noch sinnvoll, für tiefere Brunnen sind in jedem Fall Bohrlöcher besser geeignet.
Bei einem Schachbrunnen unterscheidet man zwei Abschnitte.
Einerseits den ausgemauerten Brunnenschacht, der den trockenen Teil des Brunnens bildet, andererseits den perforierten und segmentierten Senkkörper, der bis in die wasserführende Bodenschicht eindringt. Das Wasser sickert durch den Senkkörper in den Brunnen.

[15] wenngleich die Zudeckelung des Brunnenschachtes und die Ausstattung des Brunnens mit einer Pumpe aus hygienischer Sicht sehr empfehlenswert ist (siehe weiter unten in diesem Abschnitt).

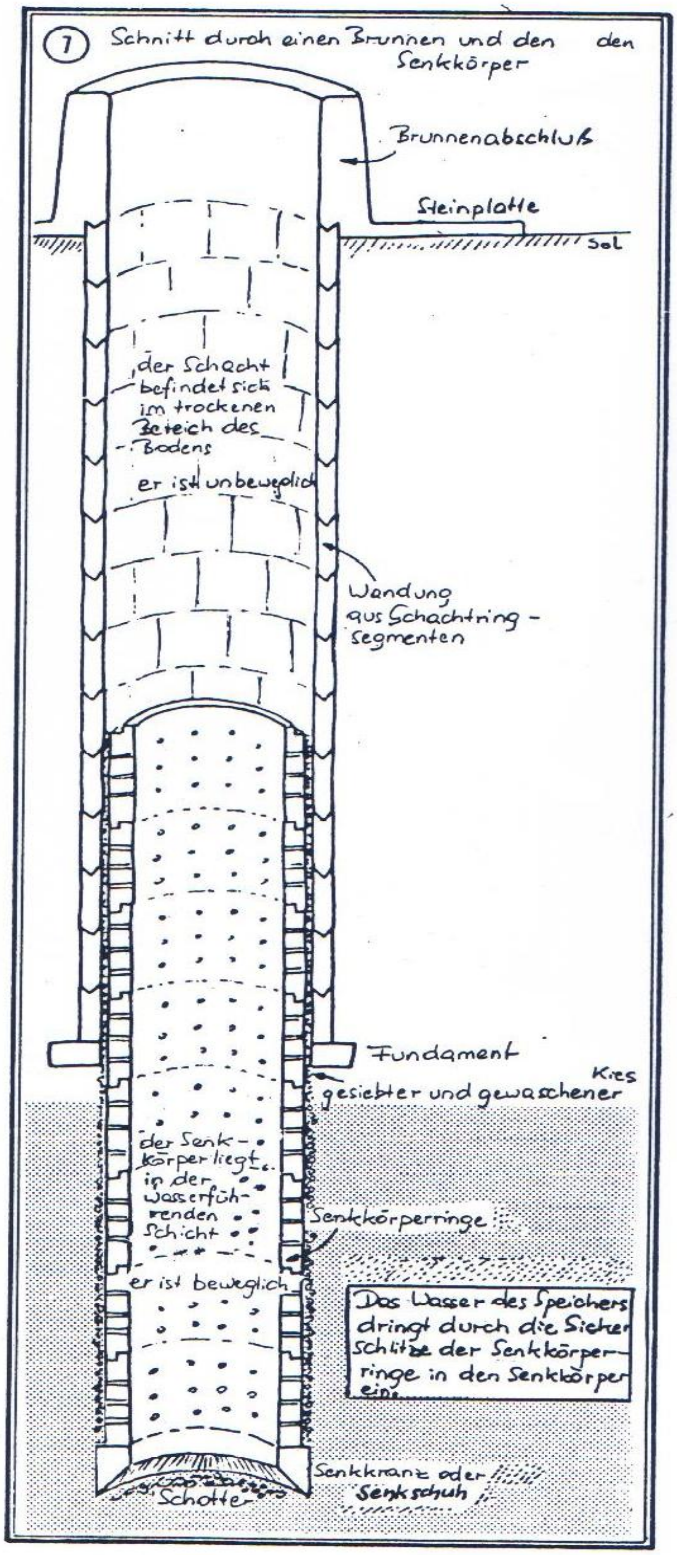


Abb.: Aufbau einer Schachtbrunnenanlage mit Senkkörper (aus [9])

der Senkkörper ruht im Brunnenschacht und wird von diesem stabil und in exakt lotrechter Position gehalten. Er ist vertikal nicht fixiert. Bei einem möglichen späteren, weiteren Brunnenvortrieb (in Trockenperioden empfehlenswert) ´rutscht´ der Senkkörper daher durch sein Eigengewicht nach. Der Innendurchmesser des Senkkörpers muss mindestens 1,25 m betragen, um dem Brunnengräber genug Raum für seine Arbeit zu lassen.

Mit dem Mauern des Brunnschachtes wird begonnen, wenn der Brunnengräber erstmals auf eine feuchte Bodenschicht gestoßen ist und somit der Erfolg gesichert ist. Ausgehend von einem im Untergrund fixierten Fundament wird der Brunnenschacht unter Zuhilfenahme eines Senkbleis exakt lotrecht hochgemauert.

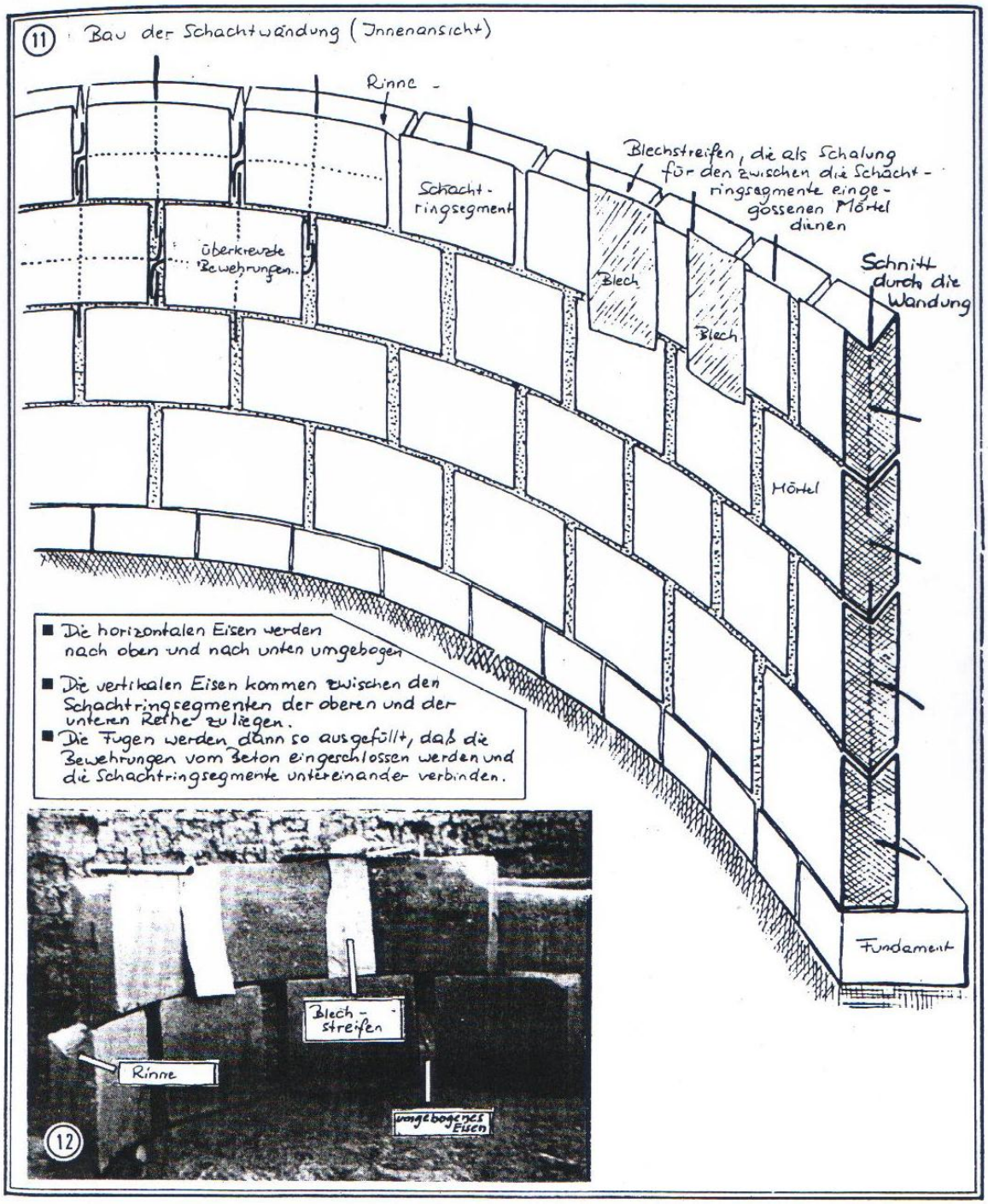


Abb. Ausmauerung eines Brunnenschachtes (aus [9])

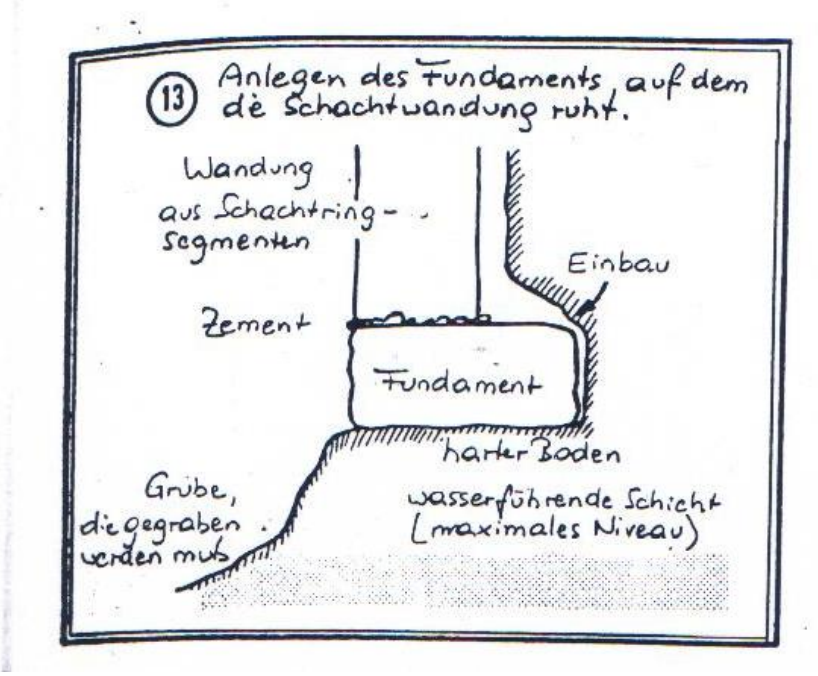


Abb. Fundament der Schachtausmauerung (aus [9])

Der Senkkörper wird aus vorher gegossenen Senkkörperringen aus Beton, deren Wandungen mit Löchern versehen sind, um später den Wasserdurchtritt zu ermöglichen, zusammengesetzt. Der unterste Ring, der sogenannte Senkschuh, ist an seiner Unterseite durch eine abgeschrägte Kante, stabilisiert durch Betoneisenelemente, versehen.

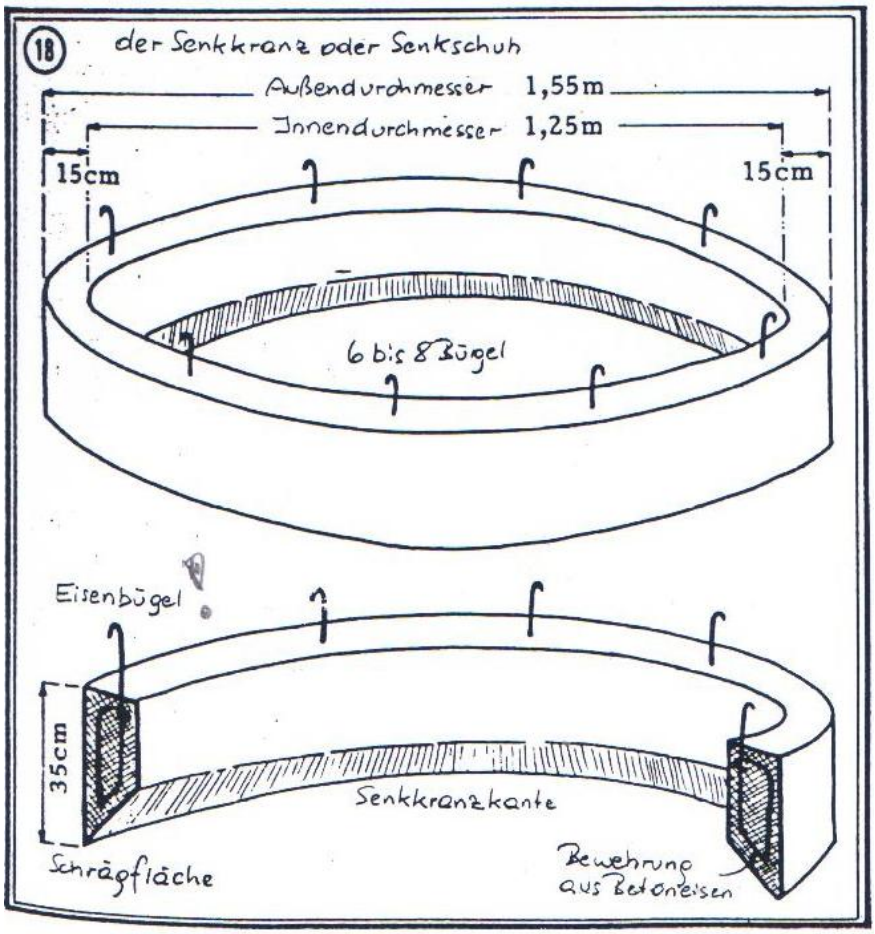


Abb. unterster Senkkörperring (Senkschuh) mit abgeschrägter Senkkranzkante (aus [9])

Nach Fertigstellung des Brunnenschachts wird der Senkschuh am Untergrund genau waagrecht eingesetzt und diesem ein oder mehrere Senkkörperringe aufgesetzt. Nun kann der Brunnenvortrieb fortgesetzt werden, wobei der Senkkörper selbstständig nach unten nachrutscht und sukzessive neue Senkkörperringe von oben aufgesetzt werden, bis die wasserführende Schicht erreicht ist. Anders als bei Bohrbrunnen ist es hier nicht möglich, sehr tief in die wasserführende Schicht vorzudringen. Meist muss der Brunnengräber ab einem ´Wasserstand´ von 0,5m seine Arbeiten einstellen.

Es bleibt anzumerken, dass die oben beschriebene Methode des Schachtbrunnenbaus mit Senkkörper dem höchsten Stand der Technik entspricht, der mit einfachen, auch in Entwicklungsgebieten verfügbaren Mitteln einsetzbar ist. Sie wird von Entwicklungshilfeorganisationen angewandt, wenn man sich tatsächlich zum Bau eines Schachtbrunnens entschließt. Es lassen sich in ländlichen Entwicklungsregionen sehr wohl auch einfacher konstruierte Schachtbrunnenanlagen, mit durchgängigen Schächten ohne Senkkörper, die unter Umständen nur dürftig ausgemauert sind, finden.

1.2.2.2.4.5 Aus- und Umbau eines Schachtbrunnens

Schachtbrunnen sind mit einer Reihe von hygienischen Problemen behaftet. Es empfiehlt sich daher, bereits bestehende Schachtbrunnenanlagen durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Es bestehen folgende Möglichkeiten:

- Seitliche Abdichtung des Brunnenschachts. Ältere Schachtbrunnen oder solche, die ohne Bedachtnahme auf die Möglichkeit eines Sickerwassereintritts gebaut wurden, sind in den oberen Bereichen des Brunnenschachtes nicht dicht. Unter Zuhilfenahme entsprechender Dichtmassen durch simples Aufgraben an der Außenseite und auffüllen des ausgehobenen Bereichs mit abgedichtetem Lehm. Diese Maßnahme ist auch bei Hochwasser hilfreich, sie verhindert, dass durch den gestiegenen Grundwasserspiegel ungefiltertes Wasser aus oberflächenahen Bodenschichten seitlich in den Schacht eindringt. Eine Skizze eines auf diese Weise abgedichteten Brunnens, der auch noch weiteren Verbesserungsmaßnahmen (s.u.) unterzogen wurde, findet sich am Ende dieses Abschnitts.

- Die einfachste Verbesserungsmethode für einen Schachtbrunnen ist die Konstruktion einer erhöhten Schürze aus Beton um den Brunnenschacht herum, die von einer Vertiefung für das abrinnende Wasser umgeben ist. Auf diese Weise kann die Kontamination des Brunnens durch vom Boden zurücktropfendes, Kontaminiertes Wasser nahezu völlig verhindert werden. Auch diese Verbesserungsmethode ist in der untersten Abbildung skizziert.

- Noch besser geschützt ist ein Schachtbrunnen, wenn man ihn (zusätzlich) mit einer vollständigen Abdeckung aus Beton versieht, die mit einer verschließbaren Öffnung für Wartungsarbeiten ausgestattet ist. Zusätzlich ist es sinnvoll, eine (Hand-)Pumpe auf dieser Abdeckung anzubringen, die das Wasser zutage fördert. Eine Kontamination durch das Schöpfgefäß kann nicht mehr stattfinden.

- Schließlich ist es möglich, einen Pumpmechanismus und eine äußere Umhüllung anzubringen und anschließend den Brunnen zuzuschütten. Auf diese einfache Weise hat man den Schachtbrunnen in einen hygienisch weniger problematischen ´Bohrbrunnen´ umgewandelt.

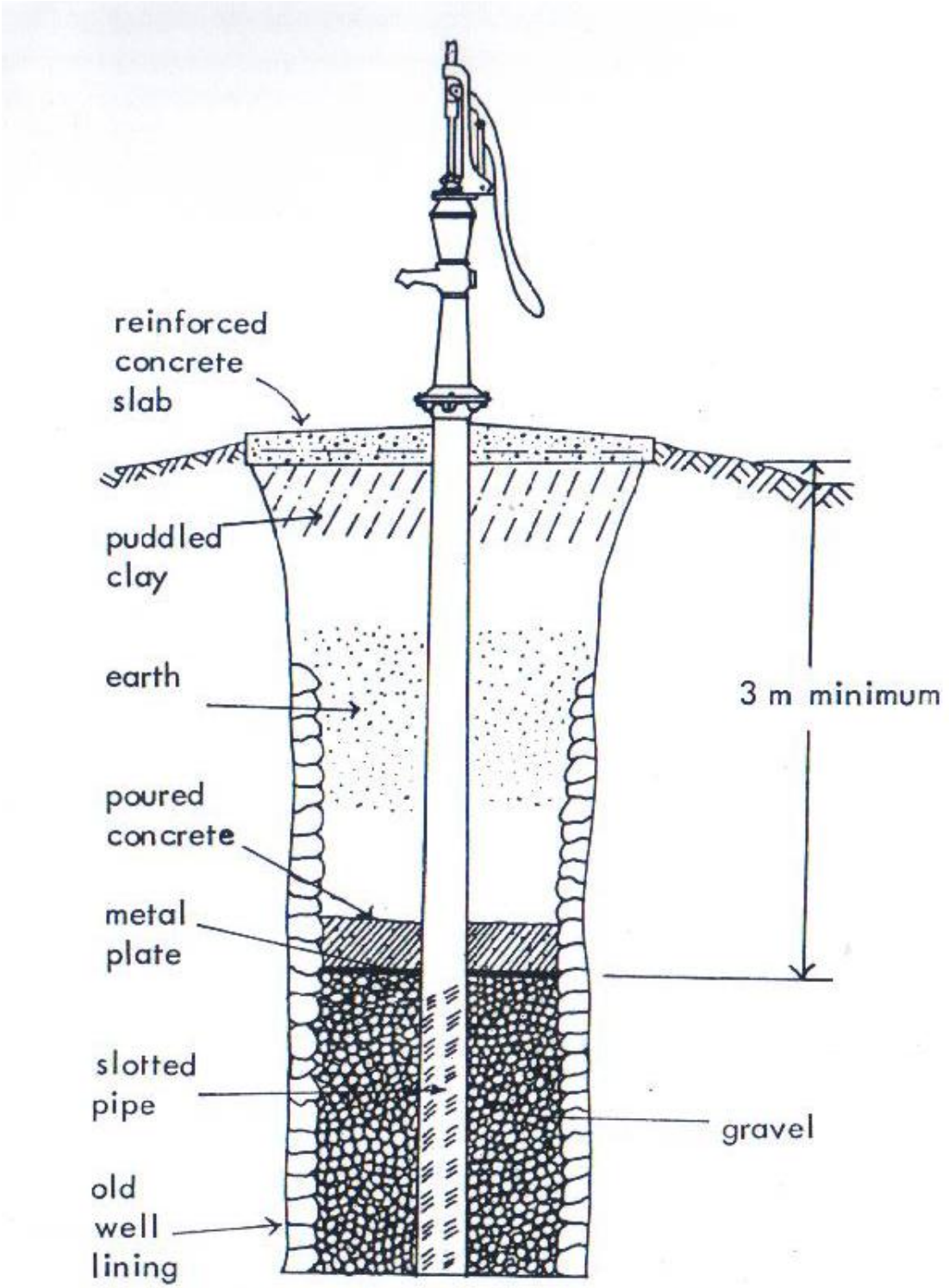


Fig. 14. A hand-dug well converted into a tube well. (After Wagner and Lanoix).

Abb. zugeschütteter und abgedichteter Schachtbrunnen mit Pumpmechanismus (aus [11])

- Unabhängig von allen vorgenannten Maßnahmen kann man Gefäße mit Desinfektionsmitteln (´pot chlorinator´, siehe 1.2.3.2.5) in den Schachtbrunnen einhängen, und so einer möglichen Verkeimung des Brunnens Vorschub leisten. Das Gefäß muss regelmäßig mit definierten Mengen Desinfektionsmittel aufgefüllt werden (vgl. Abschn. 1.2.3).

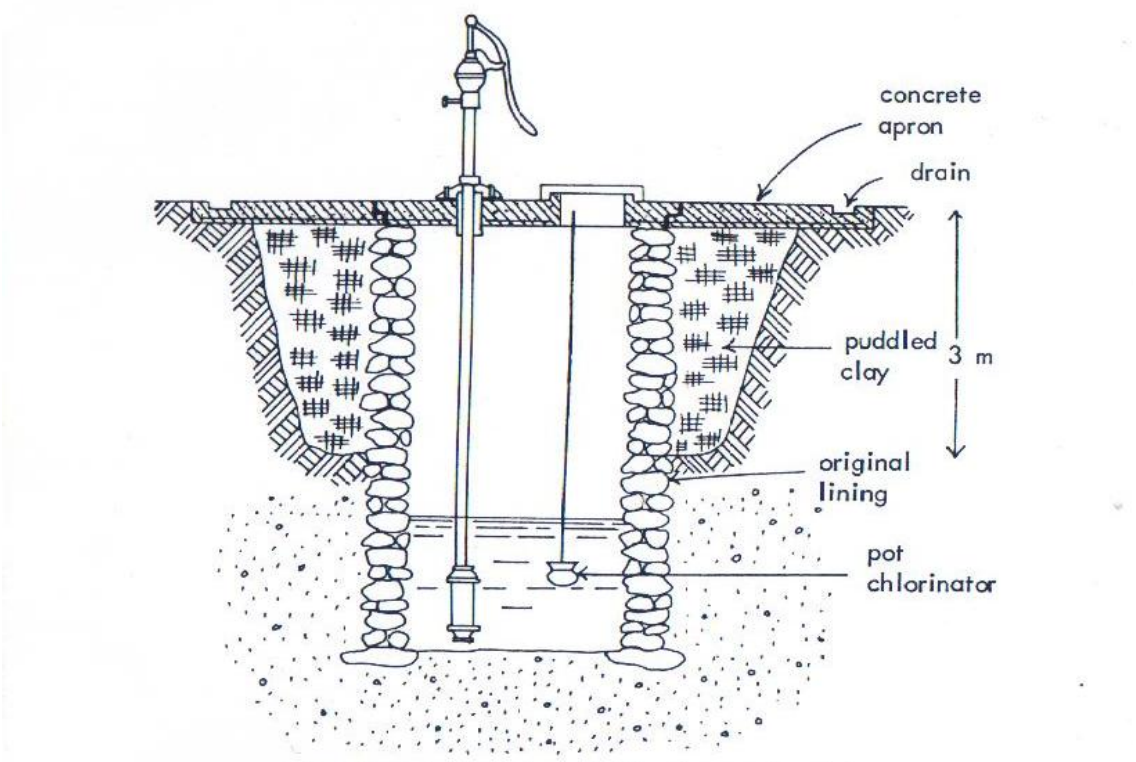


Fig. 12. Improving an existing well. (After Wagner and Lanoix).

19

Abb.: nachträgliche seitliche Abdichtung eines Schachtbrunnens mit abgedichtetem Lehm und Ausstattung desselben mit einer Pumpe und einem diskontinuierlichen Desinfektionssystem (aus [11])

1.2.3 Arten der Wasseraufbereitung

1.2.3.1 Stand der Technik

Trinkwasseraufbereitung ist ein komplexer Prozess unter Anwendung verschiedener physikalischer und Chemischer Verfahren. Prinzipiell hat sich an den angewendeten Verfahrensschritten in den letzten Jahrzehnten kaum etwas verändert, nur die Geräte und einige Methoden wurden verbessert. Das umseitige Bild zeigt ein Schema aller heute verwendeten wichtigen Trinkwasseraufbereitungsmethoden, in der Reihenfolge ihrer Anwendung.

Je nachdem, um welche Art von Wasserressource (1.2.1) es sich handelt, ist die Anwendung verschiedener Verfahrensschritte in verschiedenen Abfolgen erforderlich. Oberflächenwasser benötigt die intensivsten und komplexesten Behandlungsverfahren.

Die verschiedenen Trinkwasseraufbereitungsverfahren lassen sich Gliedern in Grob- oder Vorreinigungsverfahren, Hauptreinigungsverfahren und Desinfektionsschritte.

Abb.: Schema der Trinkwasseraufbereitung (nach [6], adaptiert)

1.2.3.1.1 Vorreinigungsverfahren

1.2.3.1.1.1 Belüftung und Gasaustausch, ´Trockenfiltration´

Bei der Belüftung geht es darum, das Rohwasser mit Sauerstoff anzureichern[16], und störende Gase, wie CO_2 oder H_2S aus biologischen Prozessen, abzutrennen. Zu diesem Zweck lässt man das Wasser über Kaskaden oder Wellbahnen laufen.

Bei der sogenannten Trockenfiltration[17] lässt man das Wasser bei nicht überstautem Filterbett durch die Schüttung hindurchrieseln [6]. Zusätzlich kann Luft eingeblasen werden, um Oxidationsvorgänge und biologische Prozesse zu befördern. Aus älteren Erfahrungen deutscher Wasserwerke mit Trockenfilteranlagen sind für die in der Tabelle angegebenen Verbindungen folgende Abtrennungsraten bekannt.

Verbindung	Abtrennungs-rate
Fe^{X+}	98%
Mn	15%
NH_4	53%
H_2S	100%
CO_2	60%
$KMnO_4$	43%

Die Trockenfiltration ist daher eher als Luftoxidationsmethode denn als Filtrationsmethode zu verstehen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die horizontale Trockenfiltration (Horizontal Roughing Filter, HRF). Diese Methode wird beispielsweise in Dortmund zur Vorreinigung des Flusswassers verwendet. Auf diese Weise können gröbere Schwebstoffteilchen effizient abgetrennt werden, die Trübung wird deutlich gesenkt. Dadurch werden die darauffolgenden Filterstufen weniger belastet. Die Bilder zeigen schematisch eine HRF-Anlage:

[16] Dadurch werden u.a. Eisen- und Mangansalze in ihre lösliche, fällbare oxidierte Form übergeführt

[17] Da ein Freilaufenlassen der Schüttung wird in der Filtration allgemein als ´Trockenlaufen´ bezeichnet. Dadurch hat sich für dieses Verfahren die kurze, aber nicht besonders glückliche Bezeichnung ´Trockenfiltration´ eingebürgert.

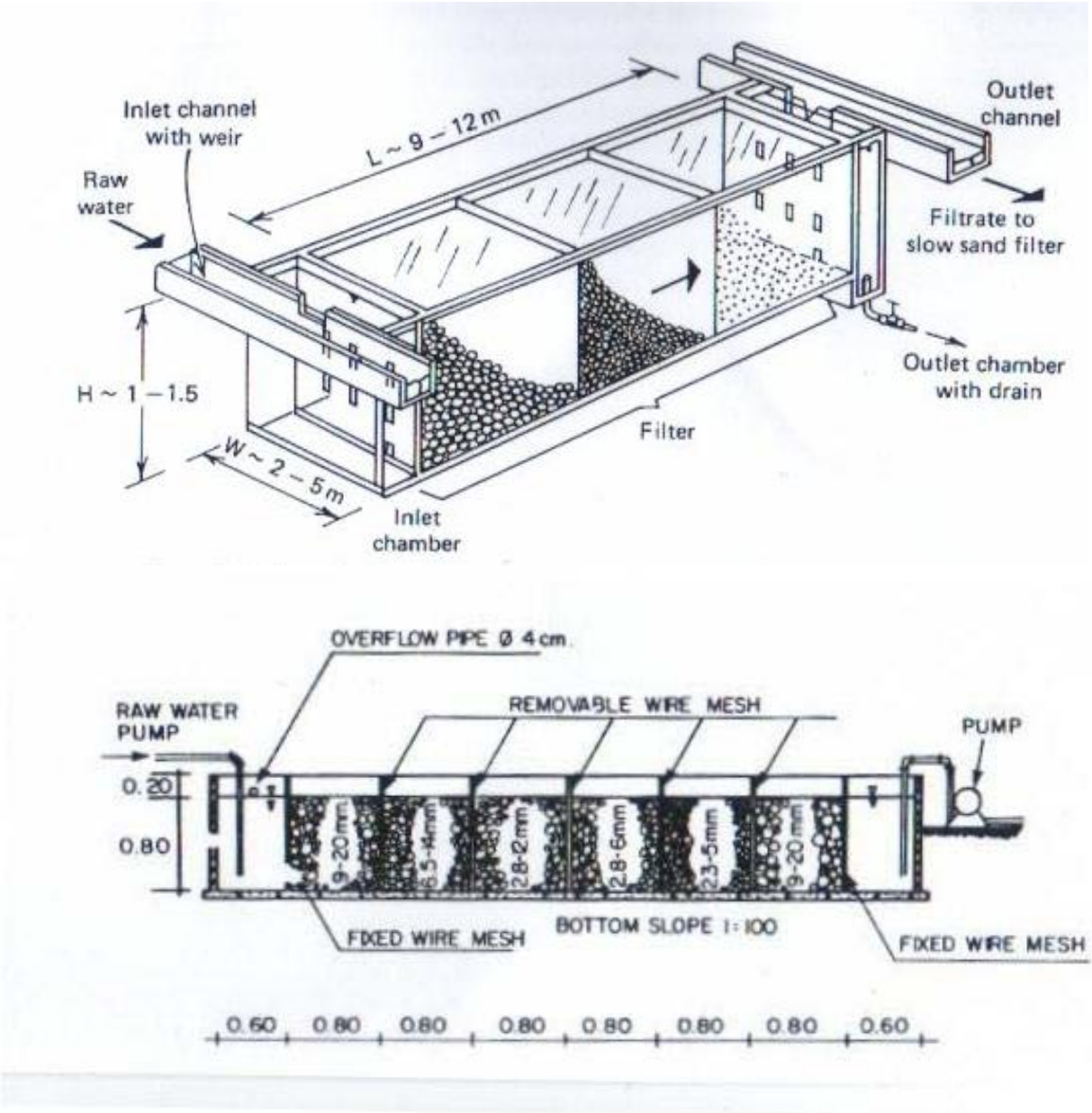


Abb.: Schema Horziontal-flow Roughing Filter (HRF)

1.2.3.1.1.2 Sieben, Sedimentation und Vorfiltration

Um zu vermeiden, dass bei der Fassung von Oberflächenwasser eventuell mitgeschlepptes Treibgut in die Aufbereitungsanlage gelangt, muss das eintretende Wasser gesiebt werden. Je nach Bedarf werden einfache Gitter oder Rechen an der gewässerseitigen Eintrittsöffnung, oder auch zusätzlich engmaschigere Siebkonstruktionen verwendet. Mikrosiebe dienen zur Entfernung von Plankton.

Wenn Oberflächenwasser mit größeren Mengen an Treibsand beladen ist[18], kann es zweckmäßig sein, dieses vor jeder weiteren Behandlung einer Sedimentation zu unterziehen, um die Hauptmenge des mitgeschleppten, absetzfähigen Materials abzutrennen.

[18] gerade auch in tropischen Flüssen

Sedimentationsanlagen im technischen Maßstab werden grundsätzlich für kontinuierliche Sedimentation ausgelegt. Das Bild zeigt das Schema eines Sedimentationsbeckens.

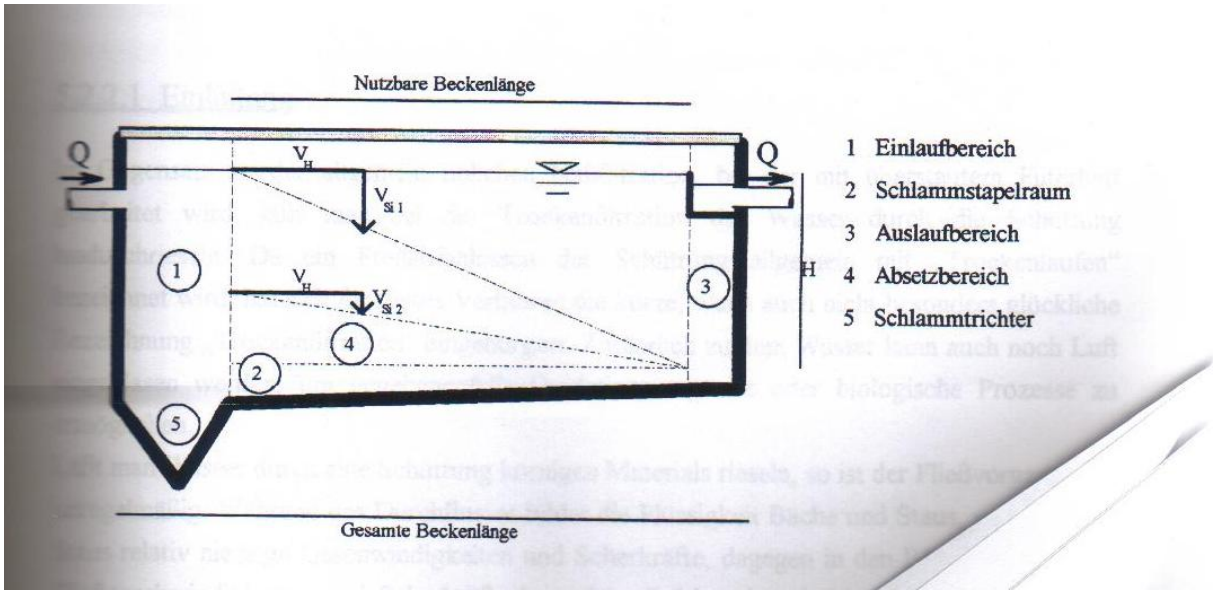


Abb. allgemeines Schema eines horizontal durchströmten Sedimentationsbeckens (aus [6])

Das Becken wird vom Wasser langsam durchströmt, während sich der Schlamm am Beckenboden absetzt und sich im Schlammtrichter sammelt, von wo er leicht abgezogen werden kann.

Alternativ oder zusätzlich zur Sedimentation kann man das Wasser einer Vorfiltration unterziehen, beispielsweise einer Schnellfiltration, etwa bei weniger belasteten Wässern, wenn gleich im Anschluss daran desinfiziert wird. Eine genauere Beschreibung von Methoden und Anlagen der Schnellfiltration findet sich in 1.2.3.1.2.

1.2.3.1.1.3 Flockung und Fällung

Viele Wasserinhaltsstoffe liegen in kolloidaler oder feinsuspendierter Form vor. Um diese anzutrennen, bedient man sich der Flockungsverfahren. Durch die Zugabe eines Flockungsmittels werden die abstoßenden elektrostatischen Kräfte, die zwischen den dispergierten Partikeln wirken, überwunden. Sie agglomerieren zu makroskopischen Flocken.

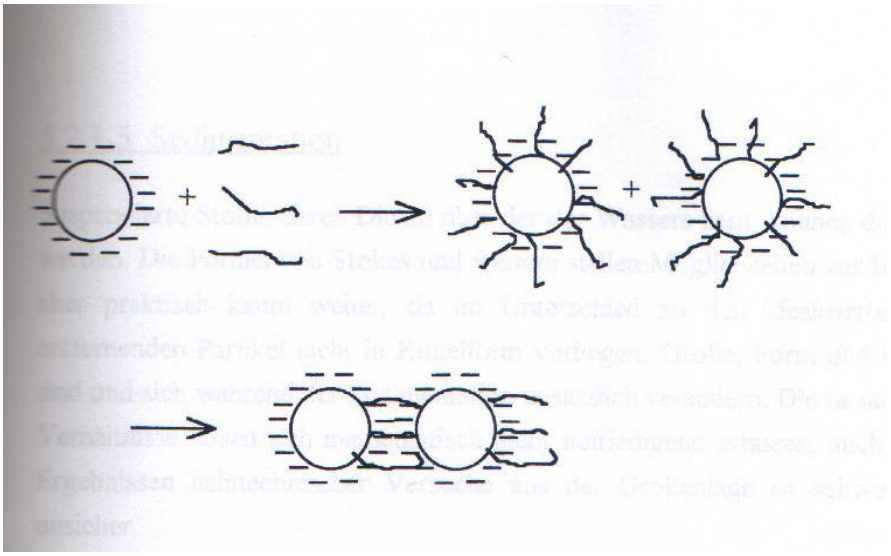


Abb. Wirkmechanismus von Flockungmitteln an suspendierten Partikeln (aus [6])

Während bei der Flockung unlösliche, fein dispergierte Partikel in größere Kompartimente übergeführt werden, werden durch Fällung im Wasser echt gelöste Stoffe in chemisch in unlösliche Verbindungen umgewandelt, die dann zusammen mit den Flockungsprodukten abgetrennt werden. Flockung und Fällung sind nicht immer exakt voneinander abgrenzbar. Es hängt von den Rahmenbedingungen[19] ab, ob es zu Flockungs- oder Fällungserscheinungen kommt.

Die ausgeflockten Wasser-Schwebepartikel können dann durch Sedimentation oder Filtration leicht abgetrennt werden.

Als Flockungsmittel werden vor allem Eisen- und Aluminiumsalze, Polyaluminiumchlorid (PAC), und organische Polymere als Flockungshilfsmittel verwendet.

1.2.3.1.2 Hauptreinigungsverfahren

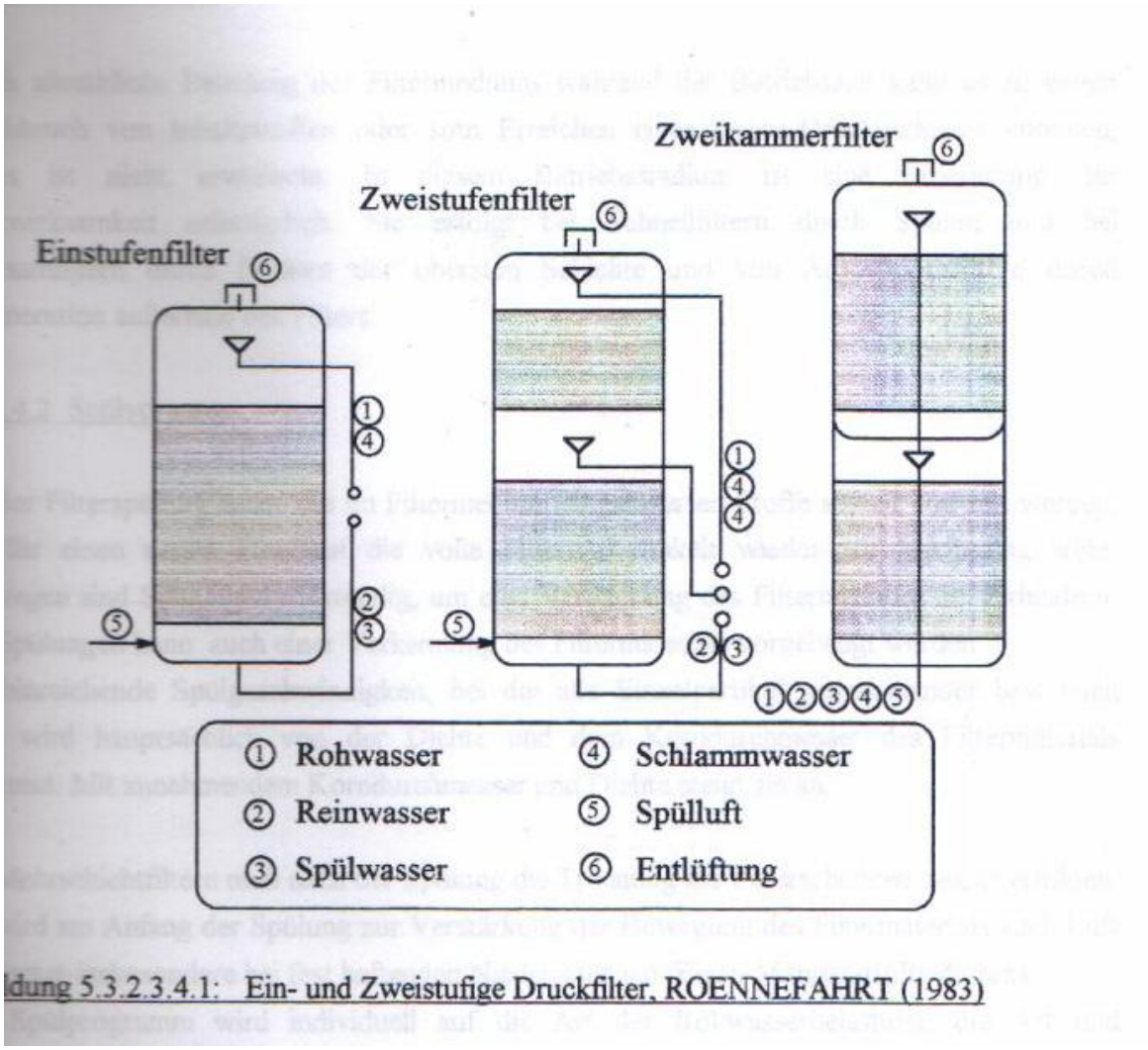
1.2.3.1.2.1 Filtration

Bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser oder jeder anderen Art von durch disperses Material verunreinigtem Wasser ist die Filtration das zentrale Glied der Aufbereitungskette. Bei der Wasseraufbereitung kommen meist Schüttgut-Filter mit feinkörnigem Material[20] zum Einsatz. Treibende Kraft zur Filtration ist die Schwerkraft, ein Überdruck auf der Zulaufseite (Druckfiltration) oder ein Unterdruck auf der Filtratseite (Vakuumfiltration). Man unterscheidet Schnellfilter- und Langsamfilteranlagen.

Schnellfilter zur Wasseraufbereitung weisen gewöhnlich eine Filtergeschwindigkeit von 4 bis 7 m/h[21] auf. Besondere Konstruktionen erreichen 15 m/h, bei Druckfiltern[22] sind

[19] pH-Wert, Zugabemenge, u.a.
[20] beispielsweise Sand, Kohle, Anthrazit, Lava, Bimsstein
[21] offene Schnellfilter, arbeiten nur mit dem Druck einer wenige dm hohen Wassersäule

Filtergeschwindigkeiten bis zu 50 m/h möglich [6]. Es gibt Einschichtschnellfilter (veraltet) und Mehrschichtschnellfilter. In mehrstufigen Filtersystemen wird in der ersten Stufe gröberes Filterkies zur Vorreinigung (siehe auch 1.2.3.1.1) grobdisperser Stoffe eingesetzt. Das Bild zeigt schematisch den Aufbau verschiedener Druckschnellfilter-konstruktionen.



dung 5.3.2.3.4.1: Ein- und Zweistufige Druckfilter, ROENNEFAHRT (1983)

Abb. Ein- und zweistufige Druckfilter (aus [6]).

Man unterscheidet Kuchenfiltration und Tiefenfiltration. Schnellfilteranlagen basieren gewöhnlich auf zweiterem Prinzip.

[22] geschlossene Schnellfilter, werden mit Überdruck betrieben.

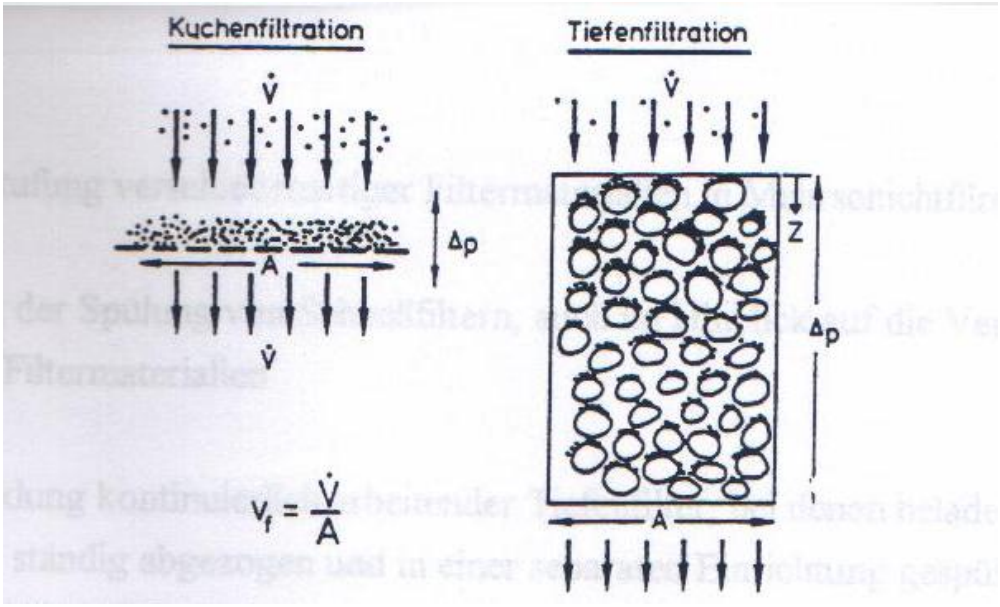


Abb. Prinzip von Kuchen- und Tiefenfiltration (aus [6])

Durch die allmähliche Beladung des Filtermediums während der Betriebszeit steigt die Gefahr eines Durchbruchs von Inhaltsstoffen oder der Druckverlust steigt in Richtung seiner auslegungstechnischen Grenze. Daher ist es notwendig, das Filtermaterial in regelmäßigen abständen zu regenerieren, d.h. von seiner Beladung zu befreien. Dies erfolgt bei Schnellfiltern durch (Rück-)spülen. Im Abwärtsstrom betriebene Filter werden aufwärts im Gegenstrom gespült. Bei Mehrschichtfiltern ist zusätzlich gefordert, dass die feinere Filterschicht nicht ausgetragen wird, und dass die Schichten wieder in der gewünschten Ordnung übereinander zu liegen kommen (Klassierung).

Langsamfilter, verwendet werden ausschließlich Langsamsandfilter, weisen Durchflussgeschwindigkeiten von 0,05 m/h bis maximal 0,2 m/h auf. Sie dienen der Feinreinigung von vorher durch Flockung, Sedimentation oder Schnellfiltration vorgereinigtem Wasser.

Die Anlagen bestehen aus großflächigen Becken von oft mehreren tausend Quadratmetern, die 0,7 m bis 1,2 m hoch mit Quarzsand einer Korngröße von 0,5 mm – 1 mm, gefüllt sind. Das Wasser steht 0,5m bis 1m über der Filterschüttung.

Die Wirkung beruht auf dem Absetzen von Resten disperser wassergetragener Partikel, in der Hauptsache aber auf aerob biochemischen Prozessen durch den Bakterienrasen, der sich nach kurzer Zeit an der Oberfläche der Filterkiesschüttung bildet. Die wichtigsten Reinigungseffekte bei der Langsamsandfiltration sind:

- Mechanische Abscheidung von Schwebstoffen
- Förderung von Flockungsvorgängen an Kolloiden
- Vermehrung der zur Adsorption verfügbaren Oberfläche durch die Mikroorganismen
- Aufnahme von organischen und anorganischen Schadstoffen durch die Mikroorganismen
- Antibiotische Wirkung auf Pathogene

Nach Ablauf einer Filterlaufzeit[23] werden die obersten 20cm Filterschicht mechanisch abgetragen, und der Prozess von neuem gestartet. Sinkt die Höhe des Schüttguts unter 0,6m, muss Sand nachgefüllt werden.

1.2.3.1.2.2 Oxidation und Vordesinfektion mit Ozon

Die in Industriestaaten gesetzlich geforderte Trinkwasserqualität ist oft nur durch Ozonung[24] zu erreichen. Ozon (O_3) ist eine instabile Form elementaren Sauerstoffs. Ozon gewinnt man in einem energieaufwendigen Prozess durch elektrische Entladung aus Luft oder aus reinem Sauerstoff. Da sich Ozon von selbst zersetzt und nicht gelagert werden kann, muss es in situ, am Ort der Anwendung, hergestellt werden. Diese Instabilität bietet jedoch zugleich den Vorteil, dass nach kurzer Zeit kein störendes Ozon mehr im Wasser vorhanden ist.

Ozon ist mit Ausnahme von Fluor das allerstärkste Oxidationsmittel[25]. Organische Halogenverbindungen werden quantitativ in entsprechende Sauerstoffverbindungen, die weniger toxisch und durch Mikroorganismen[26] leichter metabolisierbar sind, übergeführt.

Ozon wirkt für Mirkoorganismen aller Art und für Viren stark schädigend, sodass ein Einsatz als Desinfektionsmittel möglich ist. Wenn die Oxidation im Vordergrund steht, kann man diesen Schritt als Vordesinfektion bezeichnen.

1.2.3.1.2.3 Adsorption an Aktivkohle

Aktivkohle ist Kohlepulver mit hoher spezifischer Oberfläche[27]. Die Herstellung erfolgt aus gewöhnlicher Holzkohle oder Koks durch Zugabe spezieller Reagenzien[28], von Wasserdampf oder von CO_2 während bzw. nach der Verkokung.

Aktivkohleadsorption ist ein hochwirksamer physikalisch-chemischer Vorgang. Bei sorgsamer Prozessführung erreicht man in der Wasseraufbereitung durch Aktivkohleadsorption folgende Effekte, in quantitativem Ausmaß:

- Abtrennung von Geruchs- und Geschmacksstoffen, sowie von Resten an Ozon
- Abtrennung aller Arten von Kohlenwasserstoffen
- Abtrennung organischer Chlorverbindungen
- Abtrennung von Pflanzenschutzmitteln, Pflanzenschutzmittelresten, und von Huminstoffen,

[23] Bei genügender Vorklärung 100 – 300 Tage [6]

[24] So ist einzig Ozon in der Lage, halogenierte Kohlenwasserstoffe im Wasser auf ´saubere´ Art in unschädlichere Verbindungen wie Alkanole, Carbonyle oder Carboxyle zu verwandeln

[25] Die Redoxreaktion $\mathbf{O_2 + 3H_2O \rightarrow O_3 + 2\,H_3O^+ + 2e^-}$ hat ein Standardpotential von +2,15 V; dies wird nur von $\mathbf{2F^- \rightarrow F_2 + 2e^-}$ (+2,87 V) übertroffen.

[26] etwa bei der Langsamsandfiltration, vgl. 1.2.3.1.2.1

[27] 800 – 1200 m² pro Gramm Aktivkohle

[28] z.B. Imprägnierung von Holz mit $ZnCl_2$ (wirkt dehydratisierend) und anschließendes Erhitzen (Beginn der Verkokung) [6]

kurz, die Abtrennung allen organischen und einigen Anorganischen Materials. In Wasserwerken kommt Aktivkohle in zwei Applikationsformen zur Anwendung.

Gekörnte Aktivkohle wird in ausschließlich in Filtern eingesetzt. Oft ist diesen Aktivkohlefiltern eine Ozonung (1.2.3.1.2.2) vorgeschaltet. Neben der Adsorption findet in diesen Filteraggregaten ein biologischer Abbau von Wasserinhaltsstoffen statt. Die Schichthöhe beträgt 1,5 m bis 4 m, die Filtergeschwindigkeiten zwischen 4 m/h und 22 m/h. Aktivkohlefilter müssen von Zeit zu Zeit, wenn sie beladen sind, regeneriert werden. Im Wasserwerksbetrieb kommen ausschließlich thermische Desorptions- („Stripping-„) Methoden in Frage, da die chemische Regeneration aufgrund der Toxizität der benötigten Lösungsmittel ausscheidet. Die Desorption erfolgt bei 100°C bis 300°C, die anschließende Reaktivierung der Aktivkohle bei 750°C bis 800°C, beides mit Wasserdampf.

Weit verbreitet ist nach wie vor die Zugabe *pulverförmiger Aktivkohle* bei der Trinkwasseraufbereitung [6]. Die Zugabe kann zu Beginn des Aufbereitungsprozesses vor der Sedimentation zusammen mit dem Flockungsmittel oder vor dem Filter, in einem eigenen Reaktionsbehälter, stattfinden. Diese Art der Aktivkohleverwendung ist äußerst flexibel, so kann die Zugabe abhängig von sich ändernden Wassereigenschaften nur bei Bedarf zugegeben werden. Problematisch ist manchmal die Abtrennung durchdringender, feinster Partikel. Darüber hinaus vergrößert sich der Schlammanfall.

1.2.3.1.3 Desinfektionsverfahren

Keine der weiter oben beschriebenen Methoden zur Wasserbehandlung, auch nicht Kombinationen davon, können die für Trinkwasser geforderten hygienischen Qualitätskennwerte[29] garantieren. Dies ist nur möglich durch dir Anwendung von chemischen oder physikalischen Desinfektionsverfahren [6].

1.2.3.1.3.1 Zugabe von Chlor (Cl_2)

Die Chlorung ist für die zentrale Wasserversorgung noch immer das am häufigsten eingesetzte Desinfektionsverfahren. Elementares Chlor reagiert im Wasser nach

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$$

Die dabei gebildete unterchlorige Säure (HOCl) ist die eigentlich desinfizierend wirkende Substanz. Die Applikation erfolgt als Chlorgas aus Flaschen, als Natriumhypochlorit (NaOCl) bzw. als Chlorbleichlauge (Natriumhypochlorit-Lösung). Bei der technischen Chlordesinfektion kann man auf jahrzehntelange Erfahrung zurückgreifen, die Betriebskosten sind gering. Die Desinfektionswirkung lässt sich leicht über den Gehalt an residualem Chlor[30] überprüfen. Im Allgemeinen werden 0,2 – 0,3 mg/l Chlor zugegeben, die genau benötigte Menge ist von der Wasserbeschaffenheit abhängig und muss durch Laborversuche ermittelt

[29] Trinkwasser muss von Krankheitserregern frei sein. Sterilität ist nicht gefordert, die Gesamtkeimzahl sollte jedoch klein sein, es darf zu keinen Massenentwicklungen im Versorgungssystem kommen.
[30] Chlor, das nach einer entsprechenden Reaktionszeit, mind. 30 Minuten, nicht abreagiert ist.

werden. Problematisch ist, dass Chlor dazu neigt, mit organischen Verunreinigungen Trihalomethane (Haloforme) zu bilden, die im Verdacht stehen, Krebs zu erregen.

1.2.3.1.3.2 Desinfektion mit Chlordioxid (ClO_2)

Chlordioxid ist ein orangefarbenes, instabiles, explosives Gas. Seine Oxidationskraft ist 2,5 mal stärker als jene von elementarem Chlor. Aufgrund seiner Instabilität kann es nicht gelagert werden, es muss an Ort und Stelle hergestellt werden. Dies erfolgt durch die simultane Zugabe von Chlorgas (Cl_2) und festem, lagerfähigem, Natriumchlorit (NaOCl) in das Wasser, wo folgende Reaktion abläuft.

$$\mathbf{Cl_2 + 2NaClO_2 \rightarrow 2ClO_2 + NaCl}$$

Aufgrund des geringeren Chlorgehaltes entstehen bei der Chlordioxiddesinfektion auch weniger Trihalomethane, bei größerer Oxidationseffizienz. Aus diesem Grund wird von den Wasserversorgungsunternehmen verstärkt Chlordioxid anstelle von Chlorgas zur Desinfektion herangezogen.

1.2.3.1.3.3 (Haupt-)Desinfektion Ozon (O_3)

Ozon entfaltet im Wasser eine starke oxidative und mikrobizide Wirkung. Aufgrund seiner Instabilität wird es an Ort und Stelle hergestellt und unmittelbar dem Wasser zugeleitet. Eine genauere Beschreibung von Ozon findet sich in 1.2.3.1.2. Ozon zersetzt sich in Wasser rasch und hat eine geringere Depotwirkung als Chlor. Zugabemengen von 0,4 mg/l sind ausreichend, wobei eine Reaktionszeit von mindestens vier Minuten gewährleistet werden muss.

1.2.3.1.3.4 UV Bestrahlung

UV- Strahlen im Wellenlängenbereich zwischen 200nm und 300nm[31] haben eine mikrobizide Wirkung durch Zerstörung des genetischen Materials dieser Lebewesen. Aufgrund des eher geringen Durchdringungsvermögens der UV-Strahlen in Wasser müssen dünne Wasserfilme mit starken Lampen ausgeleuchtet werden. Eine 25 W – Lampe sterilisiert bei einer maximalen Schichtdicke von 15 bis 20 cm ca. 2000 l/h, das entspricht 12,5 Wh / m³. In der Praxis wird meist bei 40 Wh / m³ gearbeitet, um eine schnelle Sterilisierung des Wassers zu gewährleisten. Vorteilhaft ist, dass keinerlei schädliche Reaktionsnebenprodukte entstehen.

Anders als chemische Desinfektionsmittel resultiert UV-Bestrahlung in keinerlei Depotwirkung, desinfiziertes Wasser ist nach der Desinfektion für eine (Wieder-)Verkeimung genauso anfällig wie zuvor. Unter Umständen kann die Verkeimungsneigung nach eine UV-Desinfektion sogar höher sein als vor dieser Behandlung. Langkettige, schwer assimilierbare Moleküle werden durch UV-Licht in kürzere, durch Mikroorganismen leicht metabolisierbare Verbindungen gespalten. Im Keimfreien Wasser kann es durch das Fehlen einer Konkurrenz

[31] Optimale Desinfektionswirkung bei ca. 260 nm, verwendet wird meist UV-Strahlung mit 254 nm.

um das Vorhandene Nährstoffangebot zur explosionsartigen Vermehrung einer bestimmten Keimart kommen.

1.2.3.1.3.5 Silberung

Silber entfaltet eine toxische Wirkung auf Mikroorganismen, während es für den Menschen beim Verzehr weitgehend unbedenklich ist. Dies resultiert in einer nachhaltigen Desinfektionswirkung auf mit Silber behandeltes Wasser. Das Silbergeschirr, das in früheren Zeiten ausschließlich privilegierten Schichten zugänglich war, war also nicht nur Statussymbol, sondern hatte auch einen hygienischen Effekt. Nach Zugabe von Silbersalzen, etwa Silbernitrat, und einer Einwirkzeit von drei Stunden ist die Desinfektion voll wirksam. Gefordert ist eine Konzentration von 25 – 75 µg Silber[32] je Liter Wasser. Die Effizienz dieser Methode ist unbestritten, aufgrund der hohen Kosten wird sie jedoch nur in besonderen Fällen eingesetzt. Vorteilhaft ist die auch noch nach Monaten und Jahren aufrechte Depotwirkung des Silberdesinfektionsmittels[33]. Silbersalze werden daher Trinkwasservorräten, die lange lagern sollen, oder Trinkwasserpackungen zur Vorratshaltung für Notstände beigemengt.

1.2.3.2 Improvisierte Methoden

Trinkwasseraufbereitung ist ein Gebiet, das teuer, aufwendig und kompliziert erscheint, zu kompliziert insbesondere für ländliche Entwicklungsregionen. Zu kompliziert ist sie jedoch nur, wenn man sie an den in Industrieländern üblichen Verfahren misst. Es ist sehr wohl möglich, bekannte Anlagen- und Verfahrenstypen in einer Weise zu vereinfachen, dass auch unter einfacheren Bedingungen ein zufriedenstellendes Maß an Hygiene im Wasser erreicht werden kann.

1.2.3.2.1 Belüftung

Die Belüftung ist das einfachste Verfahren bei der Wasseraufbereitung und ist geeignet zur Behandlung von Oberflächenwasser oder Brunnenwasser. Dieser Schritt hilft, schon in der Vorbehandlung Geruchs- und Geschmacksstoffe aus dem Wasser zu neutralisieren. Belüftung bewirkt im wesentlichen die Anreicherung von Sauerstoff im Wasser, die Entfernung von gelösten Eisen- bzw. Manganverbindungen[34], das Austreiben von überschüssigem CO_2[35], die Verringerung des Gehalts an H_2S, CH_4 und anderen flüchtigen organischen Verbindungen, und eine Temperaturabsenkung. Es bieten sich drei Methoden zur Trinkwasserbelüftung an:

[32] Bezieht sich auf reines Silber bzw. Ag^+, nicht auf $AgNO_3$ (Silbernitrat).
[33] Meist Silbernitrat, $AgNO_3$
[34] Lösliche Eisen- und Mangansalze im Wasser reagieren mit dem Luftsauerstoff zu höher oxidierten, unlöslichen Hydroxiden. Diese Fallen als Schlämme Wasser aus und können dann durch Sedimentation oder Filtration entfernt werden.
[35] Kann Korrosion an Beton- und Metallelementen verursachen

- Beim *Verregnen* tropft das Wasser durch eine Reihe von Brausen, gelöcherten Rohren oder Blechen in kleinen Tropfen von oben nach unten. Durch Füllung der Bleche mit grobem Kies kann der Effekt noch verstärkt werden.

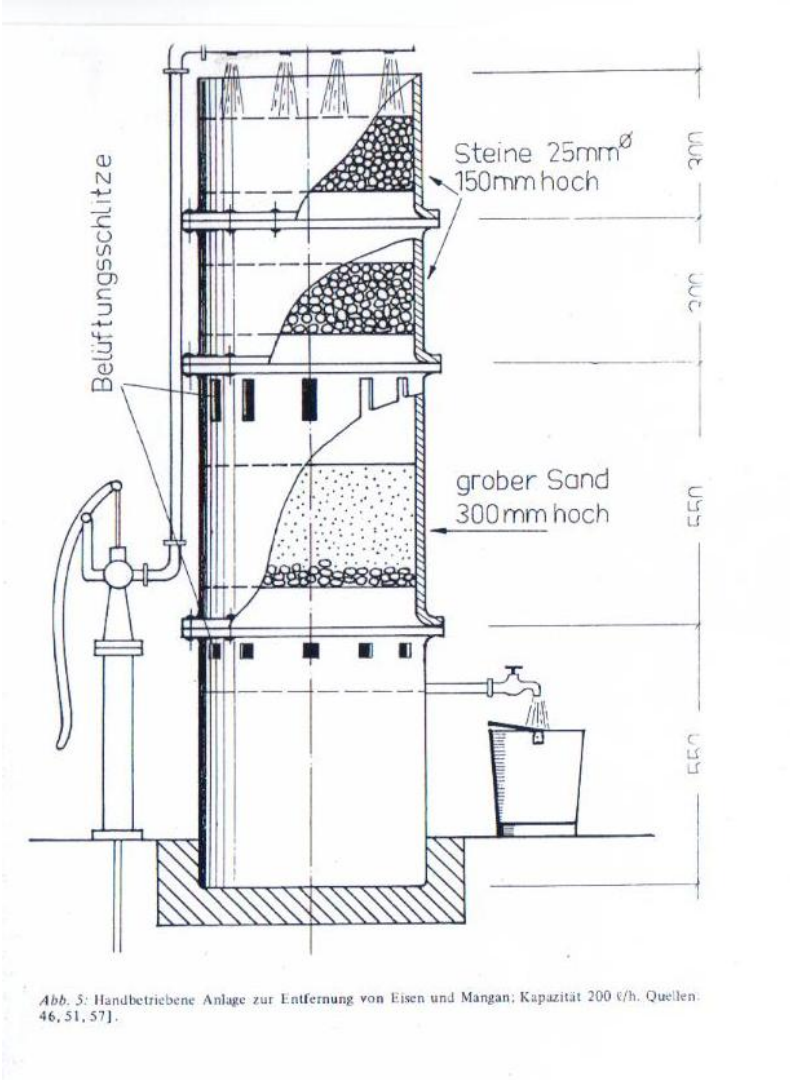


Abb. 5: Handbetriebene Anlage zur Entfernung von Eisen und Mangan; Kapazität 200 ℓ/h. Quellen: 46, 51, 57].

Abb.: handbetriebene Anlage zur Wasserbelüftung durch Verregnen (aus [13])

- Beim *Verrieseln* lässt man das Wasser über mehrere Kaskaden laufen, am einfachsten zu bewerkstelligen durch eine Treppe aus Stein, Beton oder Holz. Durch den Einbau von Hindernissen kann der Effekt verstärkt werden.

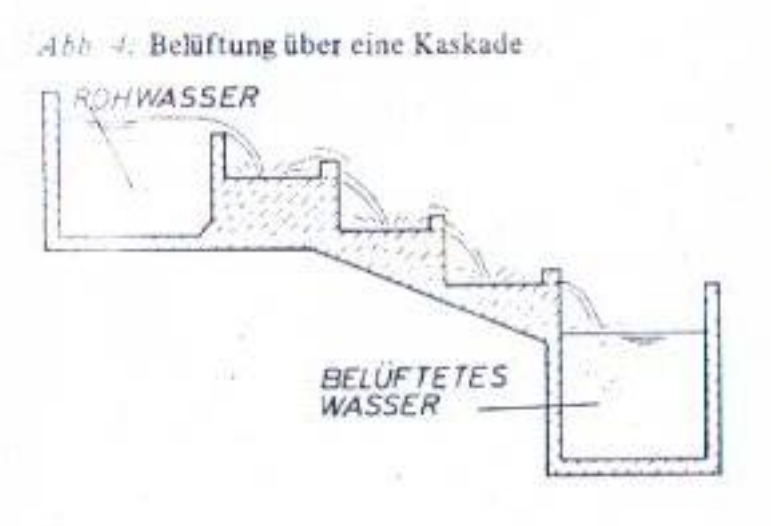


Abb. Belüftung über eine Kaskade (aus [13])

- Die wirksamste Art der Belüftung ist die *Verdüsung*, wobei das Wasser unter Druck zustäubt wird. Dieses Verfahren ist technisch am aufwendigsten, sodass es in ländlichen Entwicklungsregionen kaum angewandt werden kann.

Die Abbildung zeigt eine kleine, einfach herzustellende Belüftungsanlage. Sie kann aus Metallfässern oder zylindrischen Zementrohren hergestellt werden. Die Böden bestehen aus Drahtnetzen oder Gitterosten, von denen die oberen beiden mit Kies, und der untere mit Sand gefüllt wird. Eine Handpumpe sorgt für die Wasserbeförderung.

1.2.3.2.2 Sedimentation

Sedimentation ist in erster Linie für die Behandlung von Oberflächenwasser notwendig.
Sowohl diskontinuierliche als auch kontinuierliche Sedimentation lassen sich mit einfachen Mitteln bewerkstelligen.

Zur *diskontinuierlichen Sedimentation* wird ein Absetzbecken benötigt. Dieses ist für geringere Wassermengen geeignet. Das Wasser wird eingeleitet und je nach gewünschtem Reinigungseffekt nach zwei Tagen bis mehreren Monaten abgezogen. Im einfachsten Fall kann man das Absetzbecken zwischen aufgeschütteten Erdwällen oder als Senke im Boden anlegen. Eine Abdichtung des Untergrunds ist in jedem Fall notwendig. Es ist von Vorteil, zwei Absetzbecken parallel anzulegen, sodass auch während der Reinigung des Einen das Andere zur Verfügung steht.

Für größere Wassermengen ist die *kontinuierliche Sedimentation* besser geeignet. Hierbei fließt das Wasser in ständigem, langsamem Strom durch das Becken. Es gibt Absetzbecken mit horizontaler und solche mit vertikaler Strömung, wobei mit horizontalen Becken durchwegs bessere Ergebnisse erzielt werden. Das Bild zeigt ein einfaches Auslegungsschema für ein Absetzbecken.

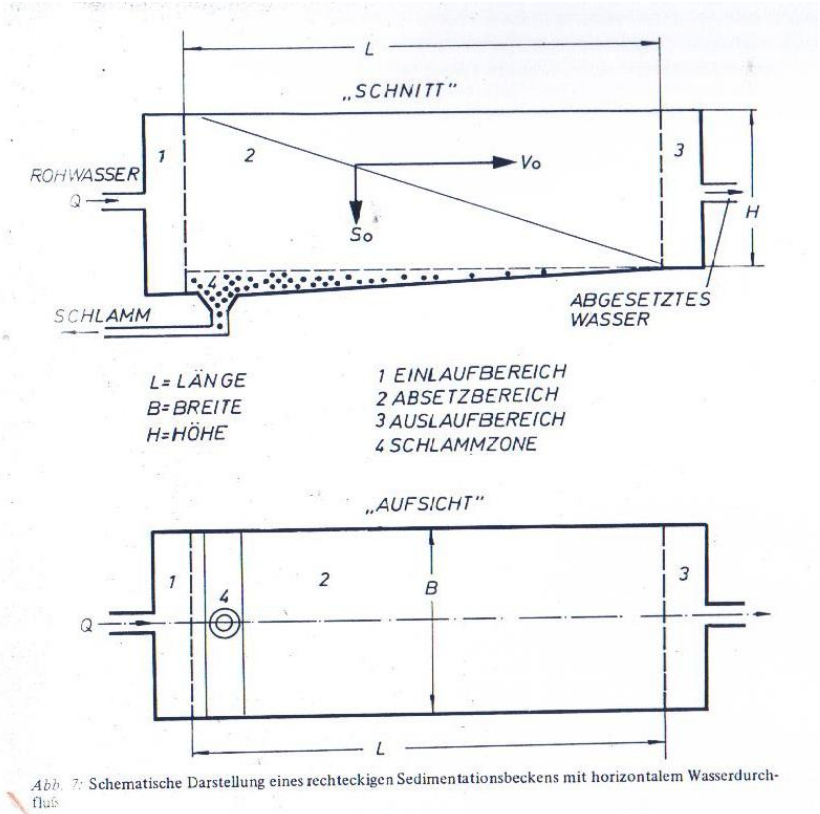


Abb. 7: Schematische Darstellung eines rechteckigen Sedimentationsbeckens mit horizontalem Wasserdurchfluß

Abb. Rechteckiges Sedimentationsbecken mit horizontalem Wasserdurchtritt (aus [13])

ein geneigter Boden im Absetzbecken ist von Vorteil, da sich der Schlamm am Tiefpunkt sammelt und dort leicht abgezogen werden kann. Ist der Boden mehr als 45° geneigt, rutscht der Schlamm von selbst hinunter. Ein Absetzbecken kann aus abgedichtetem Beton oder Mauerwerk, oder aus etwa mit Folien wasserdicht ausgekleideten Erdwällen konstruiert werden.

Für alle Absetzbecken gilt: Sie müssen regelmäßig vom Schlamm gereinigt werden. Eine Abdeckung als Schutz vor äußerer Verunreinigung ist unbedingt notwendig. Auch muss das Eindringen von Insekten verhindert werden

1.2.3.2.3 Koagulation (Flockung)

Flockung ist ein Verfahren das in der Aufbereitungstechnik in größerem Maßstab regelmäßig eingesetzt wird. Es erfordert gewöhnlich komplexe technische Ausrüstung und gut ausgebildetes Personal zur Bedienung. Dennoch existieren einige Methoden aus dem Hausgebrauch, die gerade in Entwicklungsgebieten, oft traditionell, zur Anwendung kommen.

Neben der Zugabe käuflicher Aluminium- oder Eisensalze finden verschiedene natürlich vorkommende Materialien hier Anwendung, z.B. Tonerden aus Flüssen[36], Steine aus Wüstengegenden, oder Erde von Termitenhügeln. Sie enthalten verschiedene zur Koagulation geeignete Mineralien. Im Wesentlichen wird dadurch eine Reduktion der Trübung erreicht.

[36] aus dem Sudan ist beispielsweise ´rauwaq´ (=Reinigungserde) bekannt.

Auch einige Pflanzenextrakte lassen sich zu diesem Zweck einsetzen. Beispiele sind die Samen des indischen Nirmali-Baumes (strychnos potatorium), Samen der in Indien und Afrika beheimateten Moringa-Bäume, Rinde des südamerikanischen Baumes Schinopsis Quebracho, und andere. Der genaue physikalisch-chemische Wirkmechanismus dieser pflanzlichen Materialien ist nicht genau erforscht, und kann oft nur phänomenologisch beschrieben werden. Beispielsweise bringt eine Wasserbehandlung mit Moringa Olifeira bringt eine starke Reduktion der Trübung, angenehmen Geschmack, und eine leichte Absenkung des Gehalts an Mikroorganismen [13].

Das Abtrennen des Flockungsmittels nach der Behandlung erfolgt durch Absetzen (1.2.3.2.2) oder Filtern (1.2.3.2.4).

1.2.3.2.4 Filtrationsmethoden

Filtration ist ein entscheidender Schritt bei der Trinkwasseraufbereitung. Die meisten in entsprechend ausgestatteten Wasserwerken angewendeten Methoden sind jedoch für ländliche Entwicklungsregionen mit einem zu hohen technischen, logistischen und personellen Aufwand verbunden. Es existieren aber sehr wohl Methoden, mit denen man auch in diesen Umgebungen eine effiziente Filterung des zum Trinken bestimmten Wassers erzielen kann.

a. Grobfilter

Grobfilter sind ´schnelle´ Filter, die grobe Partikel zurückhalten und so die Trübung des Wassers herabsetzen. Sie dienen oft als Vorfilter für einen Langsam(sand)filter. Als Filtermedium können, Kies, Sand oder Holzkohle[37] dienen. Diese Materialien können auch in Schichten übereinander in Becken oder Fässern zum Einsatz kommen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Keramikfiltern. Herzstück ist der keramische Filtereinsatz (Filterkerze). Diese bringen eine sehr gute Filterleistung, abhängig von der Porengröße des Materials werden auch Mikroorganismen, im günstigsten Fall quantitativ abgetrennt. Filterkerzen können in eigenen tönernen Haushaltsfiltern oder einfach zwischen zwei Krügen als Siphonfilter eingesetzt werden [13].

[37] Holzkohle ist aufgrund der Eigenschaft, rasch zu verkeimen und dadurch nach kurzer Zeit den Keimgehalt im Filtrat noch zu steigern, nicht empfehlenswert.

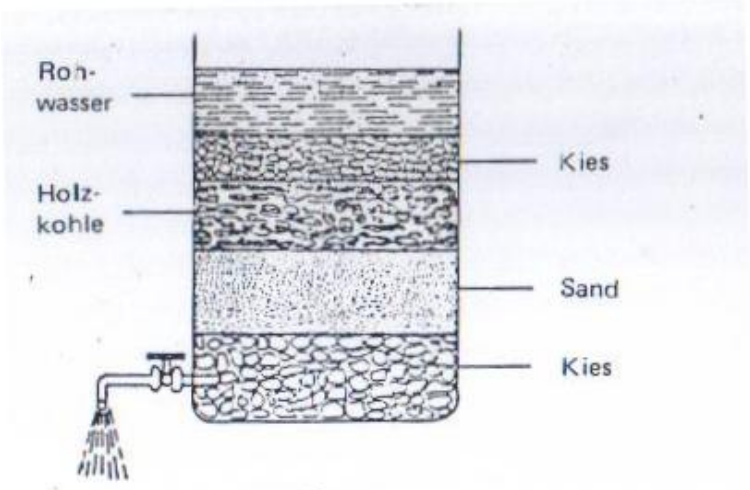
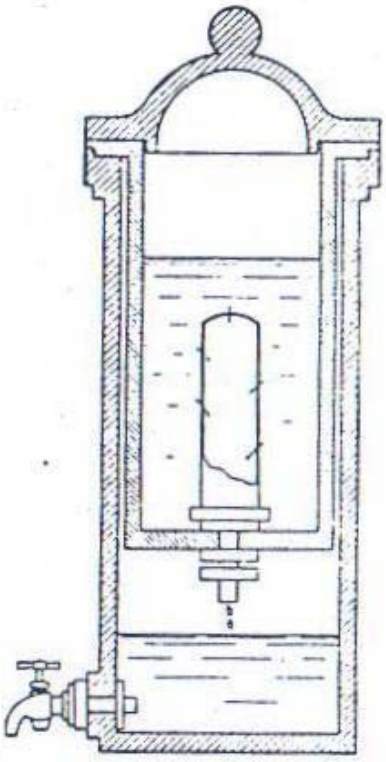


Abb. 16: Mehrschichtenfilter

Abb. Mehrschicht – Grobfilter



4

Abb. Haushaltsfilter mit Filterkerze (Schwerkraftfilter, diskontinuierliche Wasserzugabe) (aus [13])

Abb.: Verwendung einer handelsüblichen Filterkerze als Siphonfilter zwischen zwei Krügen (aus [13])

Durch Anlegen von Druck, etwa durch eine Pumpe, lässt sich die Filtergeschwindigkeit noch deutlich steigern. Es sind auch Tonfilter-Varianten mit Silber-Imprägnierung möglich. Diese zeichnen sich eine zusätzliche bakterizide Wirkung aus.

b. Langsamsandfilter

Langsamsandfilter weisen sowohl eine physikalische auch eine mikrobiologische Reinigungswirkung aus. Die Instandhaltung ist einfacher als bei Schnellfilteranlagen und kann auch von angelernten Arbeitskräften übernommen werden. In einfachen Ausführungen können Langsamsandfilterbecken oder Aggregate in Entwicklungsregionen aufgebaut und eingesetzt werden. Die Abbildung zeigt eine Ausführungsmöglichkeit.

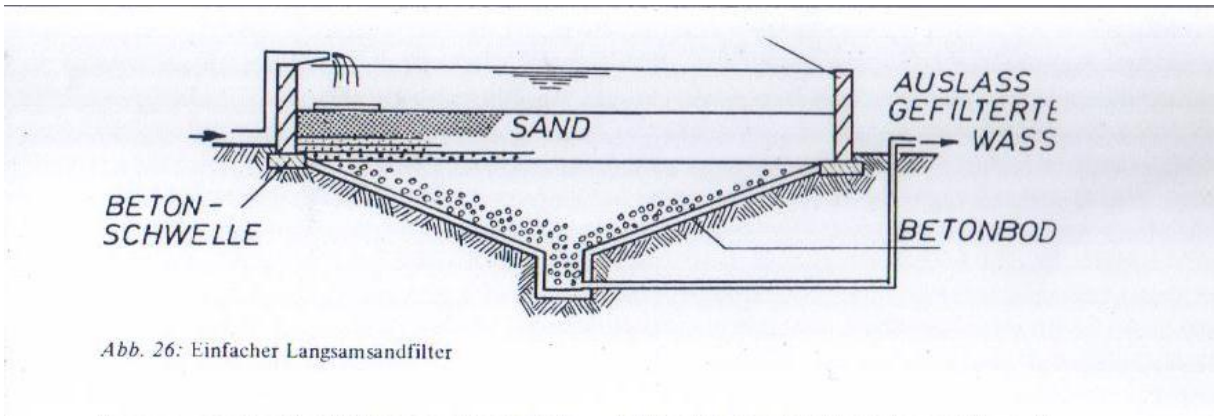


Abb. 26: Einfacher Langsamsandfilter

Abb. Einfacher Langsamsandfilter (aus [13])

Im einfachsten Fall lässt sich ein Langsamsandfilter für den Hausgebrauch auch in einem desinfizierten Metallfass realisieren.

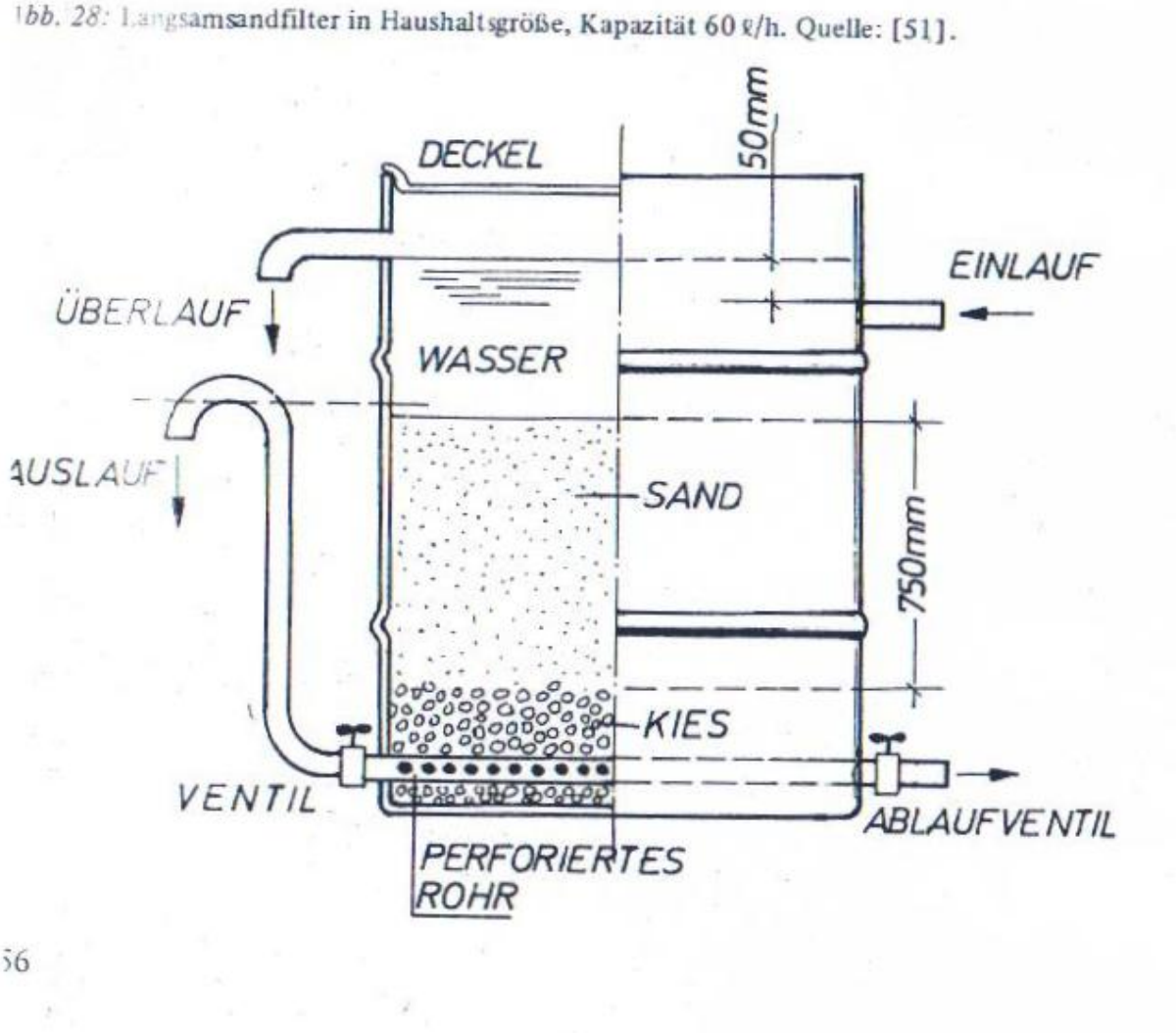


Abb. Langsamsandfilter in Haushaltsgröße, Kapazität ca. 60 l/h (aus [13])

Die Anwendung eines Grobfilters vor einer Langsamsandfiltration ist sinnvoll. Dies ist am einfachsten durch das Hintereinanderschalten zweier derartiger Filter-Fässer zu realisieren.

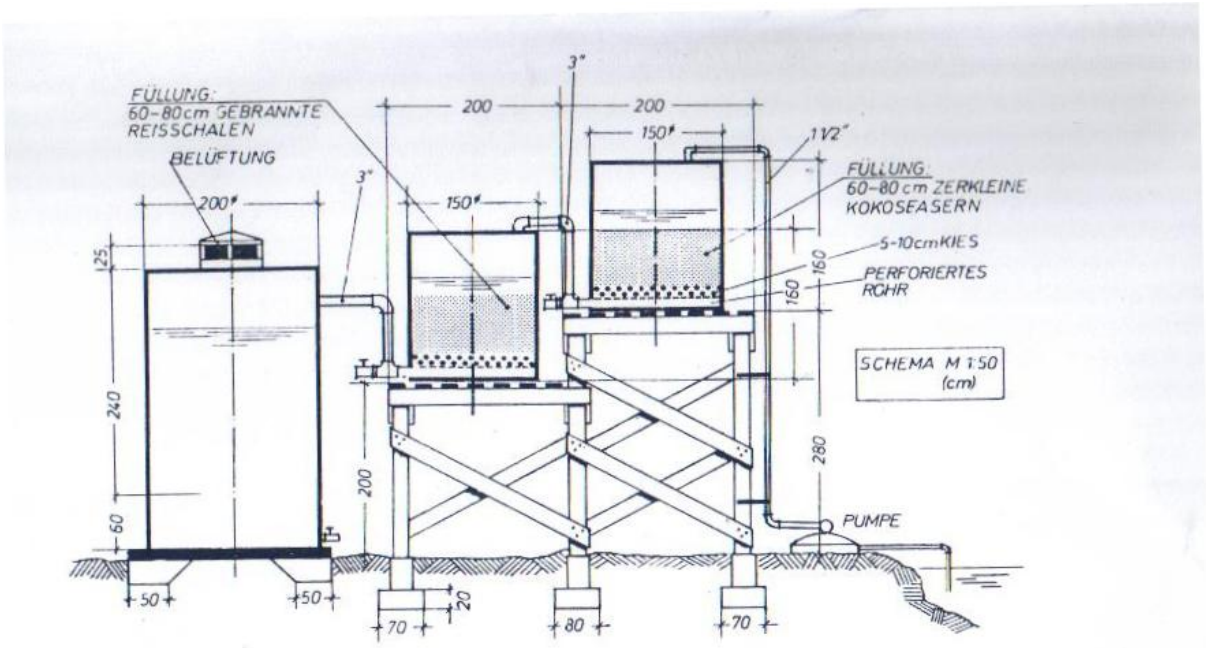


Abb. 29: Zweistufenfilter. Quelle: [74, 75, 76].

Abb. Zweistufen-Filter aus Fässern (aus [13])

Das Bild zeigt ein Anlagenschema, das in Südostasien entwickelt wurde. Als Filtergefäße kommen Fässer, Tonkrüge oder Betonbehälter in Frage. Das verwendete Filtermaterial sind Kokosfasern und gebrannte Reisschalen. Die gesamte Anlage kann weitestgehend aus lokal vorhandenen Materialien und Abfallstoffen hergestellt werden, die Investitionskosten sind daher bei bemerkenswerter Filterleistung [38] niedrig.

c. Andere Filtermethoden

Eine Alternative zum Langsamsandfilter ist die sogenannte Untergrundpassage.

[38] In mikrobiologischer Hinsicht kann ein solches kleines Filteraggregat natürlich nicht die Leitungen eines echten Langsamsandfilterbeckens bringen. Dennoch ist die Verbesserung der Wasserqualität erheblich.

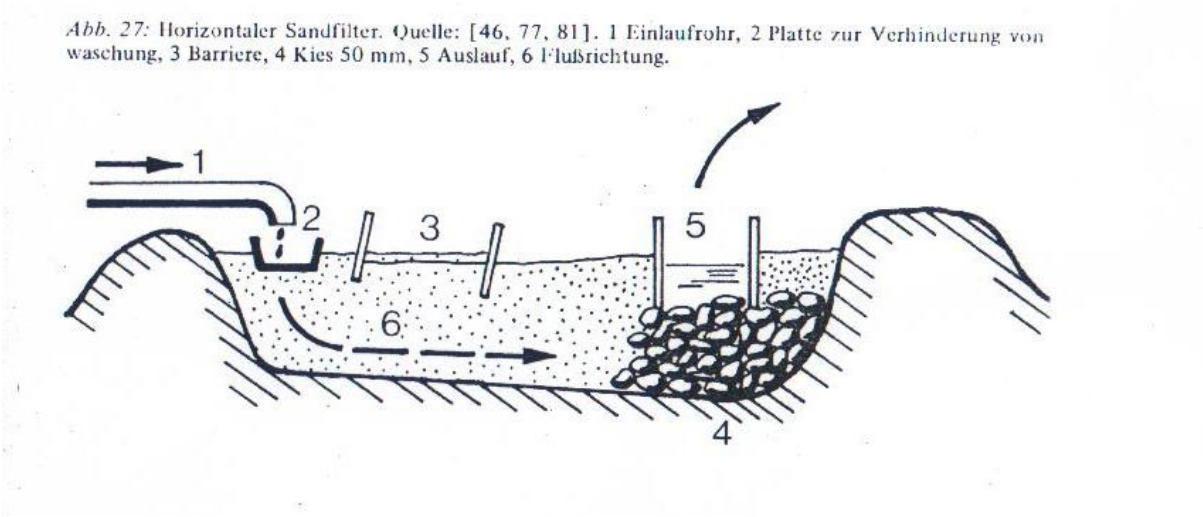


Abb. Untergrundpassage in einfacher Ausführung (aus [13])

Die Reinigungseffizienz ist zwar etwas niedriger als bei Langsamsandfiltern, dafür lassen sich hier auch abgedichtete Erdwälle als Beckenbegrenzung einsetzen. Diese Konstruktion ist noch wesentlich einfacher realisierbar als ein gewöhnlicher, vertikaler Langsamsandfilter.

Konventionelle Schnellfilterung und Aktivkohlefiltration kommen aufgrund der technischen Anforderungen in ländlichen Entwicklungsgebieten kaum in Betracht.

1.2.3.2.5 Chemische Desinfektion (Entkeimung)

Von allen in Kapitel 1.2.3.1.3 beschriebenen Desinfektionsmethoden für Trinkwasser ist die Chlorung das mit Abstand am weitesten verbreitete Verfahren. Zu diesem Thema liegen jahrzehntelange Erfahrungswerte vor, es ist wirksam und kostengünstig in der Anwendung. Es stellt daher die einzige chemische Trinkwasserdesinfektionsmethode dar, die im Rahmen ländlicher Entwicklungsgebiete mit vertretbarem Aufwand zum Einsatz gebracht werden kann, obwohl auch hier für die richtige Dosierung und Anwendung von Chlorungsmitteln gewisse Kenntnisse erforderlich sind. Unsachgemäßer oder unregelmäßiger Einsatz von Chlordesinfektionsmitteln führt zu sehr unverlässlichen Ergebnissen und zu immer wieder auftretenden Verkeimungen. Damit die Desinfektion ihre Wirkung entfalten kann, ist es unbedingt notwendig, nur gefiltertes Wasser einer solchen Behandlung zu unterziehen[39]. Brunnenwasser kann direkt desinfiziert werden, Oberflächenwasser muss vorher einer Langsamsandfiltration unterzogen werden [11, 13].

1.2.3.2.5.1 Chlorungsmittel

Neben gasförmigem Chlor aus Flaschen, das zwar sehr wirksam ist, aber aufgrund seiner Toxizität und der Explosionsgefahr zu gefährlich für die hier betrachteten Zwecke ist, stehen

[39] Mikroorganismen neigen dazu, an Schwebstoffen und Partikeln, insbesondere auch in deren Poren, zu haften und auf diese Weise der Wirkung des Desinfektionsmittels zu entgehen.

folgende flüssige und feste Applikationsformen von chemisch gebundenem, Chlor, mit unterschiedlichen Aktivchlorgehalten[40], zur Auswahl [13].

Name	chem. Formel	% Aktivchlor, ca.	benötigte. Menge zur Herst. von 1l 1%iger Lösung
Natriumhypochlorit	NaOCl	14%	71g
Haushaltsbleichlauge	NaOCl	5%	200g
Javelwasser	NaOCl	1%	1000g
Chlorkalk	$CaO * 3Ca(OCl)_2 * 3H_2O$	30%	40g
HTH	$Ca(OCl)_2$	70%	15g

Natriumhypochlorit wird in ein- bis fünfzehnprozentigen Lösungen angeboten. Das Hypochlorit-Ion (OCl^-), oder die zugehörige hypochlorige Säure (HOCl) ist die eigentlich bei der Chlordesinfektion wirksame Verbindung im Wasser (vgl. 1.2.3.1.3.1). Hypochlorit-Lösungen sind instabil und werden durch Sonnenlicht besonders rasch zersetzt. Auch bei Aufbewahrung in dunklen Glas- oder Plastikflaschen verliert eine vergleichsweise stabile[41] einprozentige Lösung (*Javelwasser*) nach einem Jahr einen großen Teil ihrer Wirkung. Eine Vorratshaltung ist daher unwirtschaftlich [11].

Chlorkalk oder Bleichpulver ist billig und einfach erhältlich. Wenn es frisch ist, enthält es ca. 35% aktives Chlor, dieser Wert nimmt jedoch an der Luft und unter Sonnelicht rasch ab. Eingesetzt werden in der Regel Lösungen. Dazu vermischt man das Pulver mit ein wenig Wasser und bereitet ein Paste. Diese wird im nächsten Schritt langsam unter Rühren mit Wasser verdünnt, bis das gewünschte Volumen erreicht ist, dann lässt man das Sediment absetzten und dekantiert ab. Die Lösungen enthalten 1-5% freies Chlor.

HTH (High Test Hypochlorite) ist eine stabilisierte Form von Calciumhypochlorit ($Ca(OCl)_2$), mit Aktivchlorgehalten zwischen 60 und 70%. Es erhält seine Ausgangsstärke bei sachgemäßer Lagerung über ein Jahr lang. HTH ist teurer als Chlorkalk, kann wegen der erhöhten Haltbarkeit aber trotzdem wirtschaftlich sein. Es ist als Granulat oder in Tablettenform (´Chlortabletten´) erhältlich.

1.2.3.2.5.2 Berechnung der erforderlichen Chlor-Zugabemenge

Um den durch die Verwendung von Chlordesinfektionsmitteln gewünschten Effekt verlässlich und wiederholbar zu erzielen, ist es unbedingt nötig, die zuzugebende Desinfektionsmittelmenge genau zu bemessen. Durch direkten Zusatz von festen Desinfektionsmitteln lässt sich die gewünschte Menge nicht immer mit der erforderlichen Genauigkeit erzielen. Es ist daher empfehlenswerter, auch diese Komponenten vorher zu lösen. Ziel ist es, die optimale Entkeimungswirkung bei geringstmöglichem Chlorbedarf zu erreichen. Der Chlorbedarf einer gegebenen Wasserquelle ist vor Ort zu bestimmen. Dazu nimmt man Ein-Liter-Proben des zu untersuchenden Wassers, dosiert verschiedene Desinfektionsmittel und untersucht nach drei Minuten den Restchlorgehalt. Dieser sollte optimalerweise zwischen 0,1 und 0,3 mg/l liegen. Bei stark verschmutzten oder verdächtigen

[40] Menge tatsächlich freigesetzten und wirksamen Chlors (Cl_2), in Massenprozent.
[41] Mit steigender Konzentration nimmt die Stabilität einer Natriumhypochlorit-Lösung ab [13].

Wässern kann auch höher dosiert werden. Die Bestimmung kann durch Zugabe von Farbreagenzien erfolgen, im Handel sind einfache Test-Kits für diesen Zweck erhältlich [13].

Für die Bestimmung gilt:

Chlorbedarf [g/m³ = mg/l] = Chlorverbrauch [mg/l]+ gewünschter Restchlorgehalt [mg/l]

Chlorbedarf [g/m³] **x** zu chlorierende Wassermenge [m³/h] =
= pro Stunde benötigte Menge Aktivchlor [g/h]

Benötigte Menge Chlorlösung [l/h] =
= (stündlich ben. Menge Aktivchlor [g/h]) / (Konzentration der Chlorlösung [g/l])

Wenn die Wasserqualität der untersuchten Quelle schwankt, ist es empfehlenswert, diese Bestimmung in regelmäßigen Abständen zu wiederholen.

1.2.3.2.5.3 Applikation

- **Diskontinuierliche Chlorung**

Für Wassertanks und kleine Wassermengen in Flaschen oder anderen Gefäßen kommen Methoden mit diskontinuierlicher Desinfektionsmittelzugabe zum Einsatz. Dies geschieht bei Ersteren durch Zudosieren einer vorher berechneten Menge an Desinfektionslösung (s.o.), und bei Zweiteren durch Verwendung von im Handel erhältlichen Chlortabletten.

Für Brunnen und Wassertanks ist die Diffusionschlorung interessant. Dazu erforderliche, besonders einfach herzustellende und handzuhabende Geräte wurden von Cpheri und Neeri (vgl. [13]) in Indien entwickelt. Es handelt sich um verschiedene Arten von Töpfen oder Gefäßen[42], die beim Aufschwimmen oder Eintauchen über einen längeren Zeitraum konstant Chlor an das Wasser abgeben. Die Abbildung zeigt verschiedene Modelle solcher Geräte.

[42] die englische Literatur spricht vom ´pot chlorinator´.

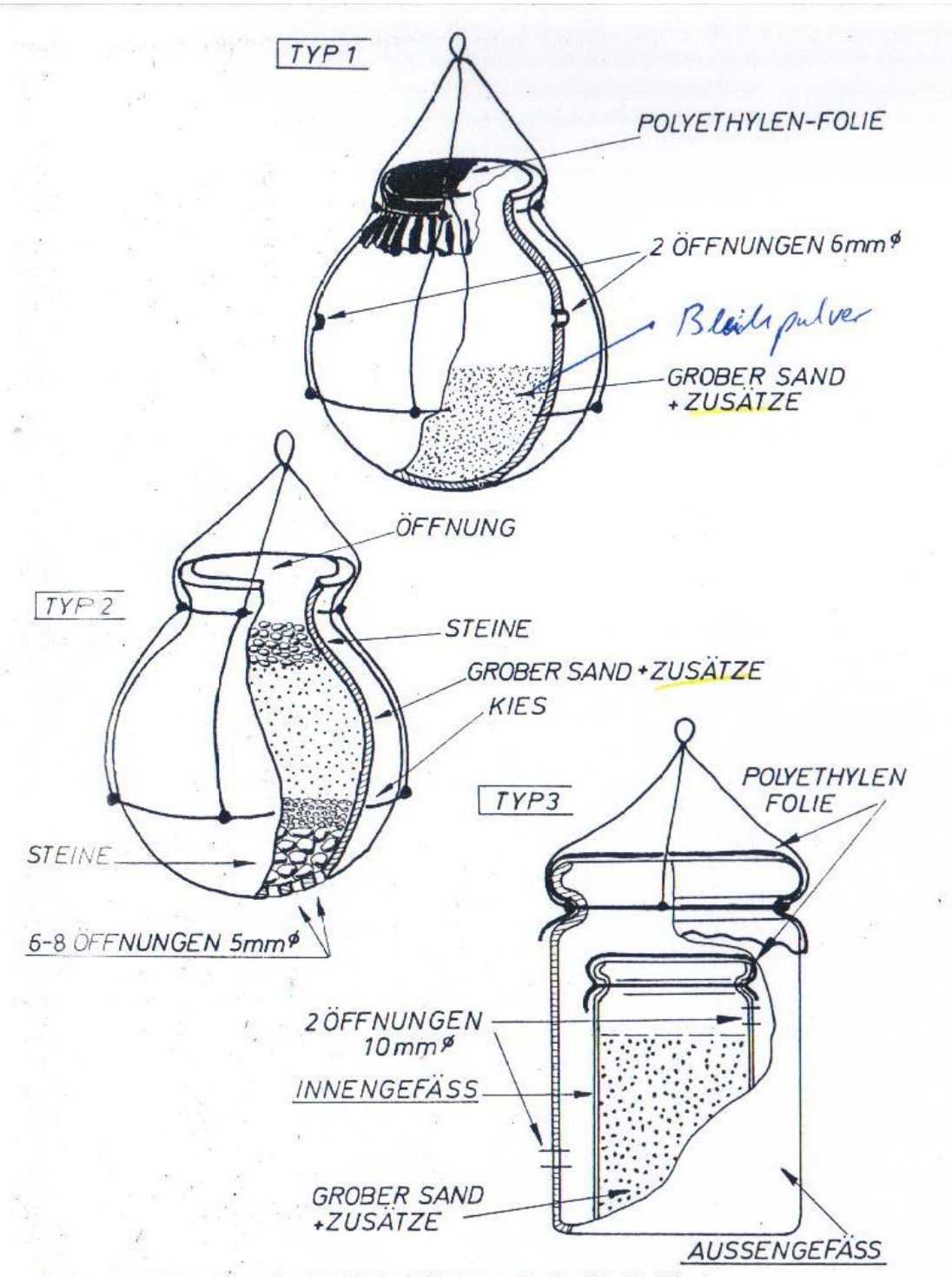


Abb. 32: Verschiedene Geräte für die Diffusions-Chlorierung. Quelle: [84, 85, 51].

Abb. Verschiedene, einfach herstellbare Geräte zur Diffusions-Chlorung (aus [13])

- **Kontinuierliche Chlorung**

Für durchströmte Systeme, wie Wasserleitungen lassen sich einfache Dosiervorrichtungen konstruieren. Diese Regeln die Zugabe an Desinfektionsmittel in Abhängigkeit vom Durchfluss in der Leitung. Die Abbildung zeigt ein Beispiel.

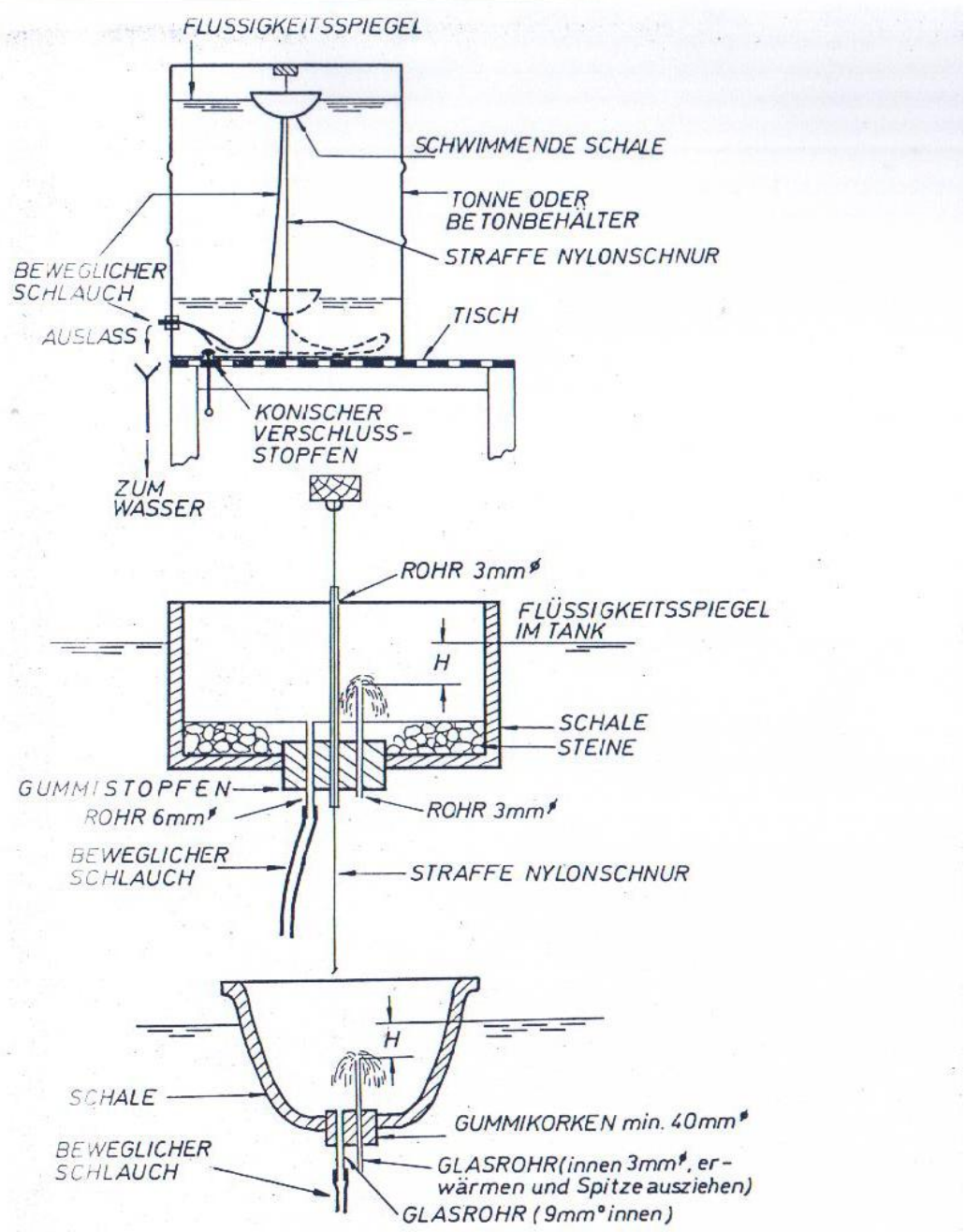


Abb. 35: Tropfdosiergerät mit schwimmender Schale. Quelle: [51, 56, 88].

Abb. Tropfdosiergerät für Desinfektionsmittel mit schwimmender Schale im Fass (aus[13])

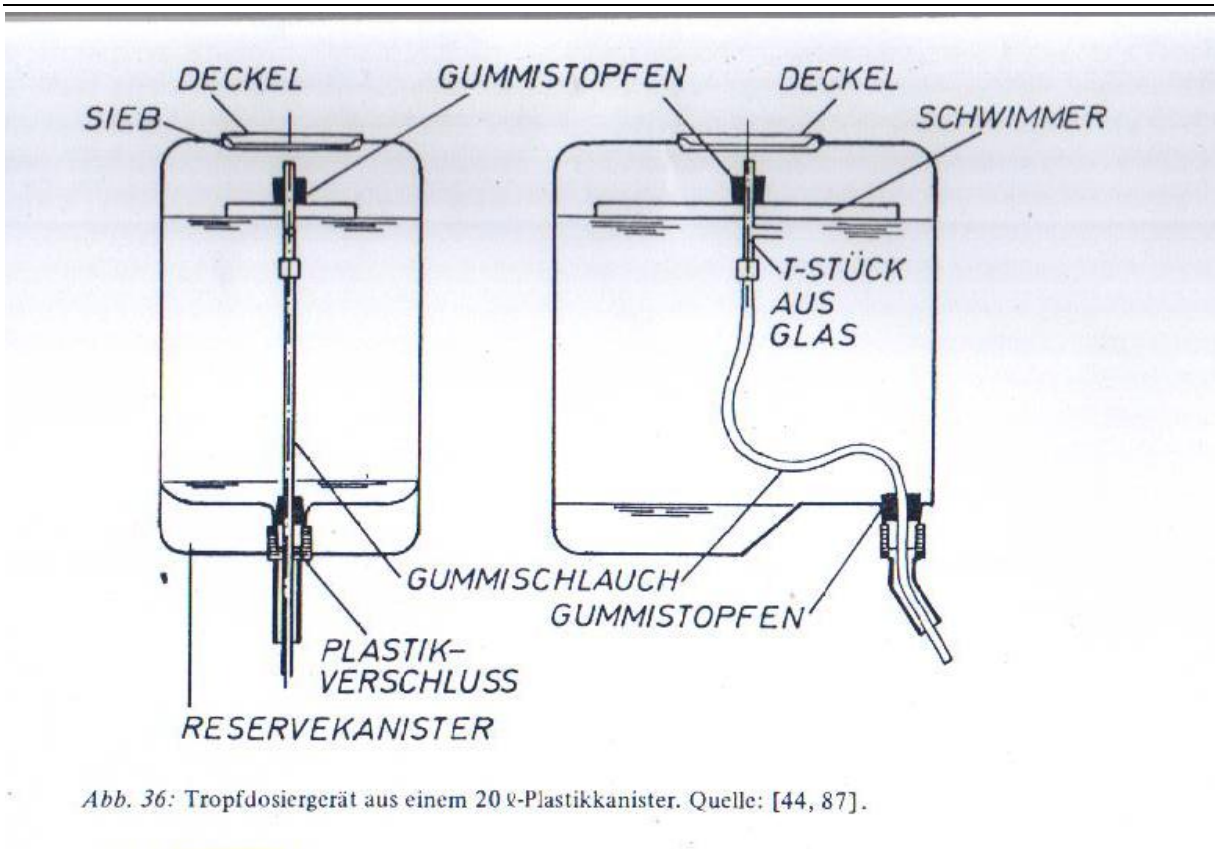


Abb. 36: Tropfdosiergerät aus einem 20 ℓ-Plastikkanister. Quelle: [44, 87].

Abb. Tropfdosiergerät aus einem Plastikkanister (aus [13])

In einem mit Bitumen ausgestrichenen Metallfass schwimmt eine befestigte und stabilisierte Schale in der Desinfektionslösung. Die Eintauchtiefe der Schale bestimmt die Abgabemenge an Desinfektionsmittel. Wenn man die Schale vom Flüssigkeitsspiegel abhebt, wird der Auslass vollkommen gestoppt.

1.2.3.2.6 Übersicht: improvisierte Methoden der Trinkwasseraufbereitung

Die Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der beschriebenen Methoden zur Trinkwasseraufbereitung und eine grobe Bewertung ihrer Effizienz [13].

	Vorbehandlung			Aufbereitung			
Parameter	Belüftung	Sedimentation	Koagulation	Grobfilterung	Schnellfilterung	Langsamfilterung	Chlorung
Trübung	0	2	3	2	3	4	0
Bakterien	0	1 - 2	0 - 1	2 - 3	2	4	4
Verfärbung	0	1	3	1 - 2	1	2	2
Geruch und Geschmack	2	1	1	2	2	2	1
Organische Stoffe	1	2	1	3	3	4	4
Eisen und Mangan	2	1	1	3*	4*	4	0

kein Effekt: 0 * in Verbindung mit einer Belüftung
Ansteigende Effizienz: 1-4

1.2.4 Arten des Wassertransports

Das Vorhandensein von Wasser ist eine der Grundvoraussetzungen für menschliche Besiedlung. Wasser wird benötigt zum Trinken und zur Nahrungszubereitung, für sanitäre Notwendigkeiten, Waschtätigkeiten, und für technische Anwendungen. Je einfacher und näher das Wasser verfügbar ist, desto mehr wird davon verwendet[43], desto mehr steigt die Lebensqualität.

Die Wasserversorgungsquelle ist fast immer räumlich von den Verbrauchern getrennt. Daher bedarf es spezifischer Transportsysteme, um die störungsfreie Versorgung der Verbraucher mit Trinkwasser zu gewährleisten.

1.2.4.1 Stand der Technik

Ein modernes Wasserversorgungssystem besteht aus Wasserversorgungsquellen verschiedenster Art (1.2.1) aus einem mehr oder weniger verzweigten Leitungsnetz und aus Behältern zur Wasserspeicherung. Wenn die Wasserspender weitere Strecken vom Versorgungsgebiet entfernt sind, müssen außerdem Fernleitungsstrukturen vorhanden sein.

1.2.4.1.1 Fernleitungen

Fernleitungen können entweder als große Rohrleitungen oder als Freispiegelleitungen ausgelegt sein. Letztere sind besonders empfindlich gegen Sickerwassereinträge, aber auch bei Rohrleitungen ist unbedingt auf Dichtigkeit zu achten, um das Eindringen von Zusitzwässern zu verhindern. Findet vor dem Einspeisen in die Rohrleitung eine Desinfektion statt, so erfüllt die Leitung eine zusätzliche Funktion als (Rohr-)Reaktor. Bei derartigen Anwendungen ist auf umfassenden Korrosionsschutz der Rohre zu achten. Meist werden für Fernleitungen Stahlrohre verwendet [4]. Alternativ kommen auch Spannbetonrohre zum Einsatz. Fernleitungen werden fast immer so ausgelegt, dass der Wassertransport in dieser Leitung rein gravitativ erfolgen kann. Dabei ist es unbedingt notwendig, Entlüftungsmöglichkeiten[44] bzw. Installationen zum Entleeren den Leitung vorzusehen. Den Verlauf der Fließstrecke kreuzende Senken und Täler werden durch Aquädukte oder Düker überwunden.

1.2.4.1.2 Wasserbehälter

Wasserbehälter haben die Aufgabe, Unterschiede zwischen Wasserzufluss und –entnahme auszugleichen und einen Vorrat zur Überbrückung von Betriebsunterbrechungen bereitzustellen. Sie sind meist zentral und auf erhöhten Punkten gelegen, um eine vom

[43] Dieser direkte Zusammenhang zwischen Verfügbarkeit des Wassers und individuellem Verbrauch lässt sich auf alle Fälle bis zu einer Pro-Kopf-Wassernutzung von 150 l / (Ew*d) annehmen. Die Tabelle in 1.2 verdeutlicht den beschriebenen Zusammenhang.

[44] Anderenfalls kommt es bei Bildung eines Luftstaus an einem Hochpunkt der Leitung unter Umständen zum völligen Stillstand der Wasserbeförderung.

Behälter aus eine gravitative Versorgung der jeweiligen Gebiete zu ermöglichen. In flachen Gegenden ohne natürliche Erhebungen werden diese Behälter als Wassertürme ausgeführt. Das Bild zeigt einen Vergleich möglicher Designs.

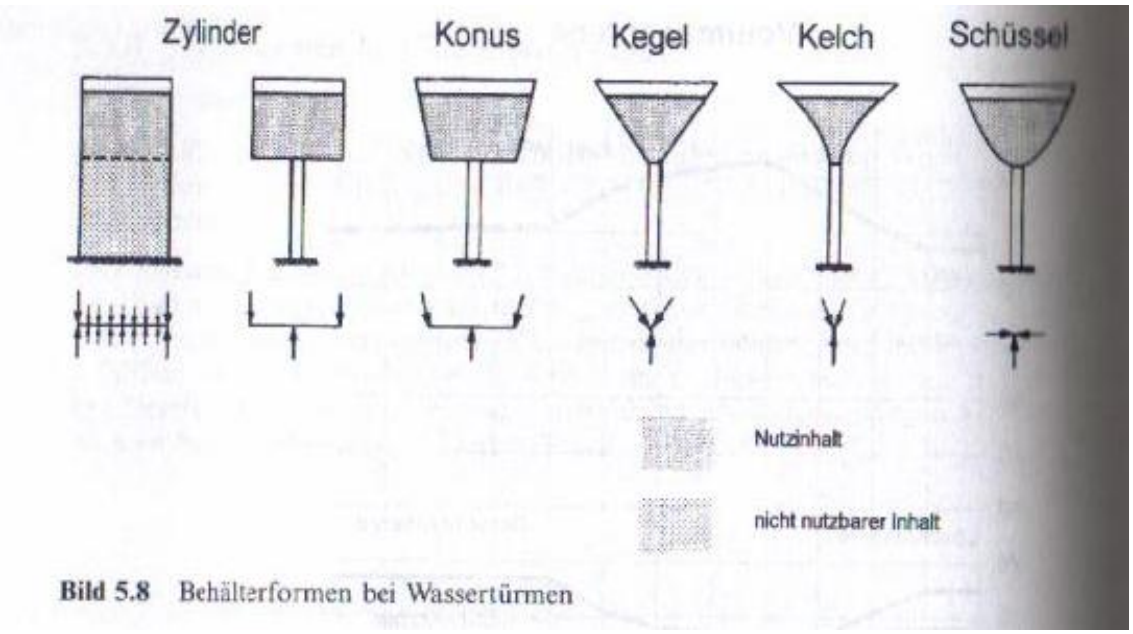


Abb. Behälterformen bei Wassertürmen (aus [4]).

Wasserbehälter müssen vollständig wasserdicht sein. Selbst Behälter, die nicht an Anhöhen erbaut sind, sind daher vor den Auswirkungen von Hochwasserereignissen geschützt, solange nicht das Fundament, etwa durch Aufweichung des Bodens, gefährdet ist.

1.2.4.1.3 Rohrleitungsnetze

Das Wasser aus Behältern oder Fernleitungen gelangt über Rohrleitungssysteme zum Verbraucher. Diese Rohrleitungen sind grundsätzlich unterirdisch verlegt und dürfen nicht direkt über das Kanalisationssystem erreichbar sein, um jede Möglichkeit einer fäkalen Kontamination auszuschließen. Rohrleitungsnetzwerke können als Verästelungsnetz oder als Ringleitungsnetz ausgelegt sein.

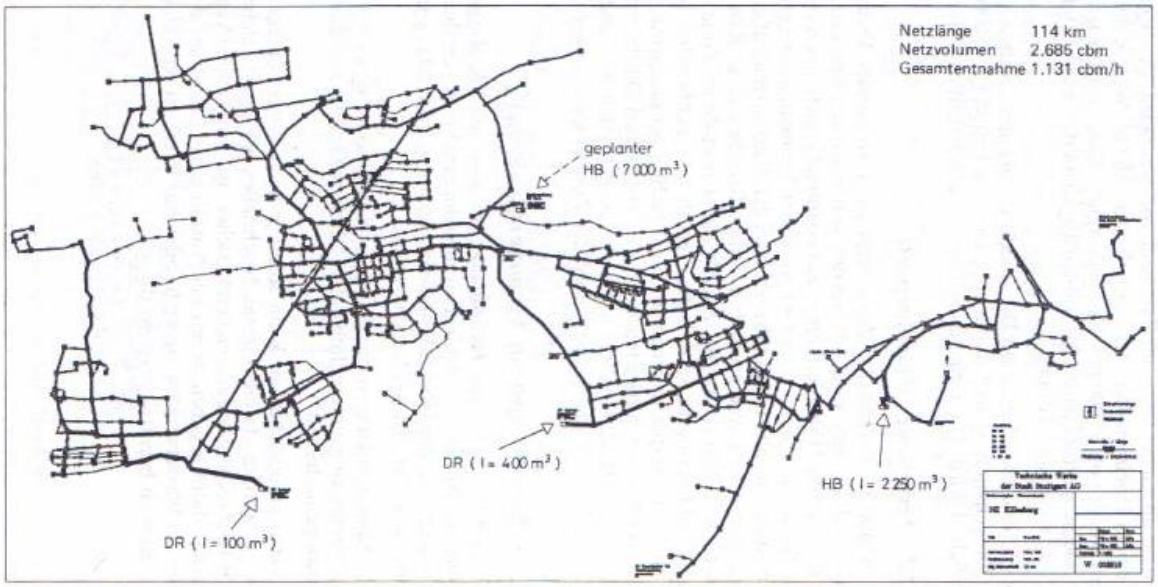


Abb. Vermaschtes Verästelungsnetz (aus [4])

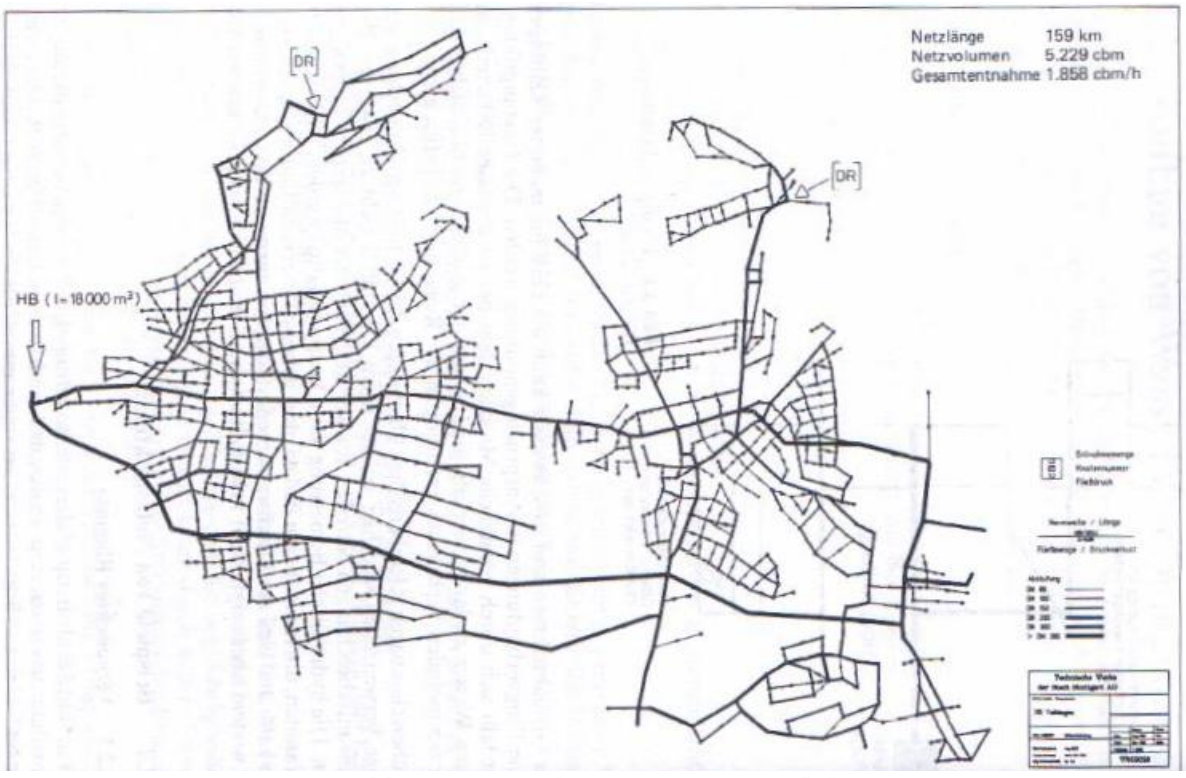


Abb. Vermaschtes Ringnetz (aus [4])

Ringnetze bieten den Vorteil, dass es bei einem Rohrgebrechen an einer bestimmten Stelle im Netz möglich ist, nach dem Absperren („Abschiebern“) des defekten Teilstücks das dahinterliegende Gebiet von der anderen Seite aus zu versorgen. Außerdem kommt es nicht so leicht zu langen Stehzeiten des Wassers in wenig benutzen Rohrnetzabschnitten.

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung und Auslegung von Rohrleitungsnetzen ist, die Anzahl und Art auch der möglicherweise erst später hinzukommenden Verbraucher zu

berücksichtigen. Wird zum Beispiel nachträglich eine wasserverbrauchsintensive Brauerei an eine nicht ausreichend leistungsfähige Leitung angeschlossen, kann es insbesondere in Verästelungsnetzen zu Unterdrücken und zum Effektiven Absaugen des Wassers der ´Unterlieger´, bis hin zum Einsaugen von Luft ins Netz, kommen.

Gerade die Wasserleitungsnetze größerer Wohngebiete und Städte haben Gesamtlängen von hunderten oder sogar tausenden Kilometern. Durch Korrosion und andere Alterungsprozesse der Leitungen kommt immer wieder zu Undichtigkeiten oder Versagen von einzelnen Rohrsträngen. Die Konsequenz sind Wasserverluste. Diese bewegen sich für größere Wasserversorgungssysteme zwischen 5% und über 50%, je nach Gesamtzustand des Netzes und Wartungsintensität. Als Rohrmaterialien werden Stahl, duktiles Gusseisen, Kunststoffe (PVC, PE) oder glasfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt (aus [4]).

1.2.4.2 Improvisierte Strukturen

Größere Fernleitungen kommen für ländliche Entwicklungsregionen nicht Frage. Sofern ein Wasserbehälter konstruiert wird, ist auf seine Wasserdichtheit zu achten, etwa durch ausstreichen mit Bitumen oder anderen Dichtmassen nach dem Mauern. Folgende interessante konstruktive Varianten gibt es im Rohrleitungsbau.

1.2.4.2.1 Rohrleitungen

Wasser für den Hausgebrauch sollte keinesfalls in offenen Kanälen rinnen, sondern in jedem Fall durch Rohrleitungen transportiert werden, ansonsten ist es den gleichen Kontaminationsquellen wie gewöhnliches Oberflächenwasser ausgesetzt; wenn es durch menschliche Siedlungsgebiete fließt, sogar in verstärktem Ausmaß.

Neben Stahl oder Kunststoff als Rohrmaterial gibt es die Möglichkeit, Wasserleitungsrohre aus Bambusrohr zu fertigen. Diese halten zwar nur geringe Drücke aus und sind so hauptsächlich für Anschnitte, in denen das Wasser kontinuierlich fließt und nicht abgesperrt wird, geeignet. Dafür können sie aus lokal vorhandenen Materialien von Hand hergestellt und auch in Regionen verlegt werden, in denen kaum andere Ressourcen vorhanden sind.

Zur Herstellung einer Bambusrohrleitung geht man von Bambusstämmen des gewünschten Durchmessers aus. Die an den Verdickungen des Bambusrohres querschnittsflächenartig gelegenen Membranen müssen mit einem entsprechenden Bohrgerät durchstoßen werden. Bei Mangel an geeigneten Werkzeugen lässt sich ein geeigneter Bohrer auch durch Aushämmern eines Stahlstabes und befestigen dieser Spitze an einem Stahl- oder Bambusrohr herstellen [11].

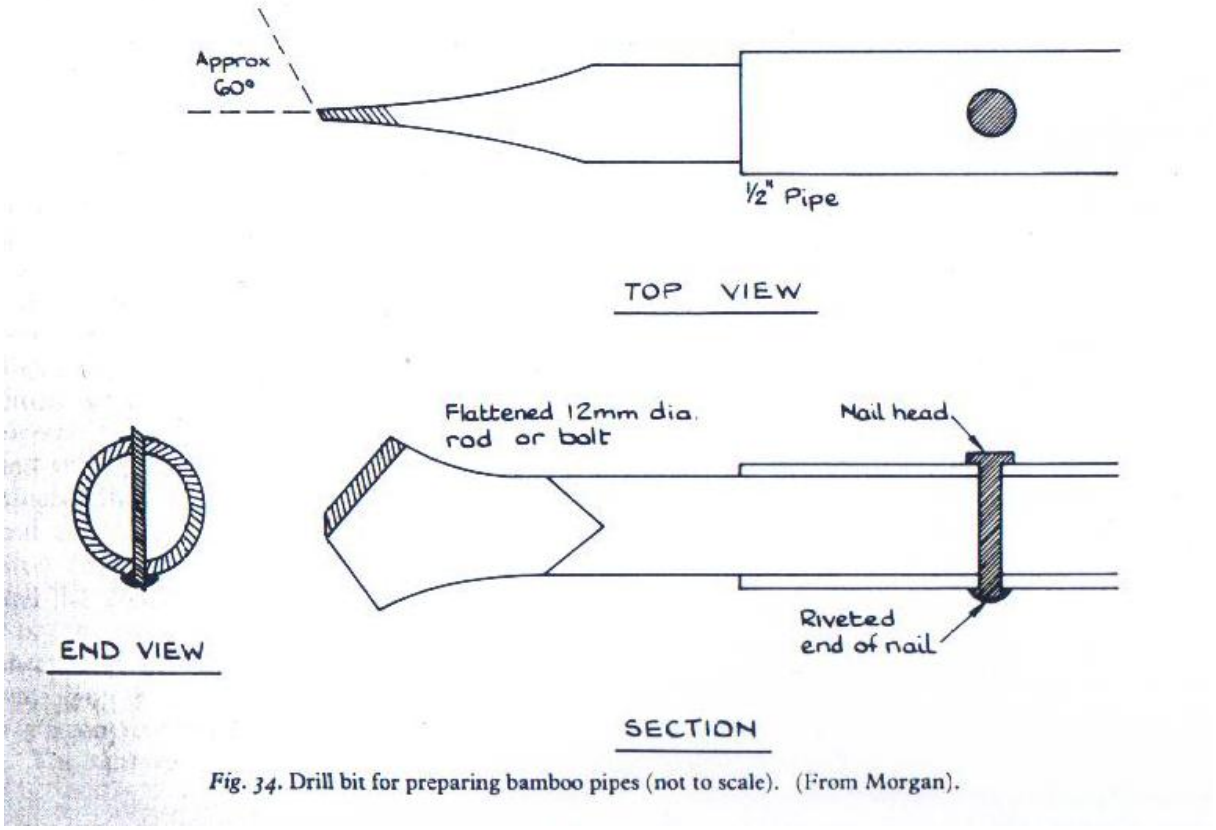


Abb. Selbsthergestellter Bohrer zur Herstellung von Leitungsrohren aus Bambus (aus [11])

Die einzelnen, auf diese Weise hergestellten Rohre können auf verschiedene Arten miteinander verbunden werden. Egal, ob man sich eines dritten kurzen Bambusstücks bedient und eine entsprechende Dichtmasse anwendet, oder ob man den Gummi alter Autoreifen mit Drähten um die Verbindungsstelle befestigt. Wichtig ist nur, dass die Verbindung zwischen den Rohren wasserdicht ist und es auch bleibt. Die Abbildung zeigt verschiedene Möglichkeiten von Bambusrohrverbindungen.

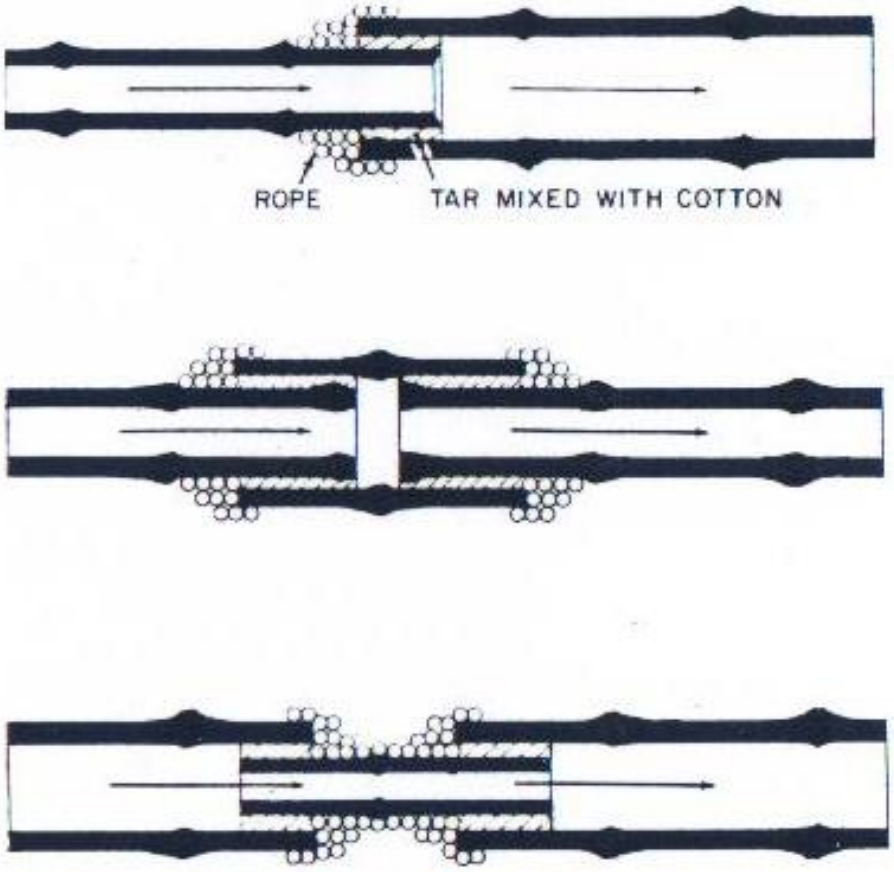


Fig. 35. Construction of joints in bamboo pipe; three possible methods. (From McJunkin).

Abb. Möglichkeiten der dichten Verbindung zwischen einzelnen Bambusrohrsträngen (aus [11])

Bambusrohrleitungen sind auch bei sachgemäßer Konstruktion und Verlegung höchstens fünf Jahre beständig. Die Lebensdauer der Bambusrohrstränge lässt sich verlängern, wenn man die Leitungsteile aus noch grünem Bambus fertigt und diese Komponenten mehrere Stunden in einer Lösung aus Borsäure und Borax[45] tränkt.

Wo immer das möglich ist, sollte man Wasserrohre unterirdisch verlegen, mindestens 30cm tief und dort, wo Erosionsgefahr besteht, mindestens 1m tief[46]. Nur dort, wo eine Verlegung der Leitungen in den Untergrund nicht möglich ist, etwa auf felsigem Boden sollten die an der Oberfläche verlaufenden Stränge mit Schüttgut bedeckt und mit Steinen gut abgesichert werden. Eine Umhüllung, etwa eine Plastikfolie, schützt vor Verbiss durch Tiere und gegen äußere Frostschäden in kalten Regionen.

[45] Borsäure und Borax werden zu gleichen Teilen vermischt und in 20 Teilen Wasser gelöst.
[46] Zum Vergleich: in Wien ist für Wasserleitungsrohre per Verordnung eine Verlegungstiefe von mindestens 1,5m vorgeschrieben

1.2.4.2.2 Öffentliche Wasserstellen

Dort, wo es nicht oder noch nicht möglich ist, Rohrnetzanschlüsse für jeden Haushalt zu konstruieren[47], sind öffentliche Wasserstellen das zentrale Element der Wasserversorgung. Solche Wasserstellen sind oft der meistfrequentierte Ort in der ganzen Ansiedlung und brauchen daher regelmäßige Kontrolle und Wartung. Eine solche Wasserstelle sollte an die übliche Art und Weise, das Wasser zu transportieren, angepasst sein. Wird etwa das Wasser in Krügen auf dem Kopf getragen, so sollte eine Art Ladeplattform in 1,4m Höhe vorhanden sein, und eine niedrigere für junge und alte Menschen. Es ist wichtig, dass ausgegossenes Wasser sich nicht in Lacken um die Wasserstelle sammelt, die sonst eine Brutstätte für Insekten und Mikroorganismen darstellen. Das Wasser sollte ungehindert in eine Auffangrinne fließen können, von wo es z.B. in eine Schottergrube abgeleitet werden kann [11].

[47] Selbst bei Vorhandensein der technischen und finanziellen Ressourcen kann die Installation individueller Rohrnetzanschlüsse für jeden Haushalt problematisch sein. Der Wasserverbrauch jedes auf diese Weise aufgewerteten Haushalts steigt sofort von ca. 20l/d auf 80 l/d oder mehr (vgl. 1.2).

1.3 Hochwasser und Fluten

Hochwasser und Fluten begleiten den Menschen seit dem Beginn seiner Siedlungstätigkeit. Es liegt in der Natur der Flüsse, deren Nähe für den Menschen so wichtig ist, dass sie von Zeit zu Zeit aus ihren Ufern treten, wenn es die meteorologischen und hydraulischen Rahmenbedingungen nicht anders zulassen. Dadurch kommt es immer wieder zu Gefährdungen der in der Nähe dieser Flüsse siedelnden Menschen und ihrer Güter. Trotz aller Technologie ist man auch heute noch nicht in der Lage, dieses Problem vollständig in den Griff zu bekommen. Es existieren zwar verschiedenste Arten von Hochwasserschutzbauten, dennoch ereignen sich immer wieder Überflutungen auch in solcherart geschützten Bereichen.

1.3.1 Ursachen von Fluten

Obwohl auch andere Flutereignisse Auswirkungen auf Wasserversorgungssysteme haben können, ist dies bei Flussüberschwemmungen am ehesten zu erwarten.

Anlagen einer Wasserversorgung wie Brunnen oder Oberflächenwasserfassungen befinden sich häufig an Flüssen, was diese besonders anfällig gegenüber Hochwässern an ebendiesen Flüssen macht. Diese Arbeit beschäftigt sich daher hauptsächlich mit Hochwässern und Fluten an größeren Flüssen.

1.3.1.1.1 Natürliche Abflussschwankungen und -spitzen

Kein Fluss befördert konstant dieselbe Menge an Wasser pro Zeiteinheit. Abhängig von der Jahreszeit, der aktuellen Witterung und den vorherrschenden hydraulischen Verhältnissen im Boden können die Wasserstände beträchtlich schwanken.

Hochwasser ist ein Teil des natürlichen Wasserkreislaufs. Entsprechend gilt auch für ein Hochwasser die Wasserhaushaltsgleichung [7].

$$\mathbf{N = V + A + (R - B)}$$

mit

N	...	Niederschlag
V	...	Verdunstung
A	...	Abfluss
R	...	Rücklage
B	...	Aufbrauch

Alle genannten Größen sind Volumenströme, messbar in m³/s. Der Term (R – B) wird als Speicherglied bezeichnet und quantifiziert den Wasserrückhalt im betroffenen Gebiet.

Der nach der Benetzungsphase durch den Bodenbewuchs hindurchtretende Niederschlag trifft auf die Bodenoberfläche und versickert zu großen Anteilen. Das Wasser, das an der

Oberfläche verbleibt, füllt Mulden, bildet Rinnsale und fließt oberflächig dem Gefälle folgend ab (als sogenannter Oberflächenabfluss oder surface runoff). Ein anderer Teil des Niederschlags fließt in den oberen Bodenschichten als oberflächennaher Abfluss (als Zwischenabfluss oder interflow) innerhalb kurzer Zeit dem Vorfluter zu. Teilweise findet ein Austausch mit dem Oberflächenabfluss statt. Oberflächen- und Zwischenabfluss machen zusammen den Direktabfluss aus, der während eines Hochwassers den Hochwasserscheitel prägt. Ein dritter, über eine tiefere und längere Bodenpassage dem Gewässer zuströmender Abflussanteil, der Basisabfluss (base flow) prägt das mittel- und langfristige Ausklingen der Hochwasserwelle.

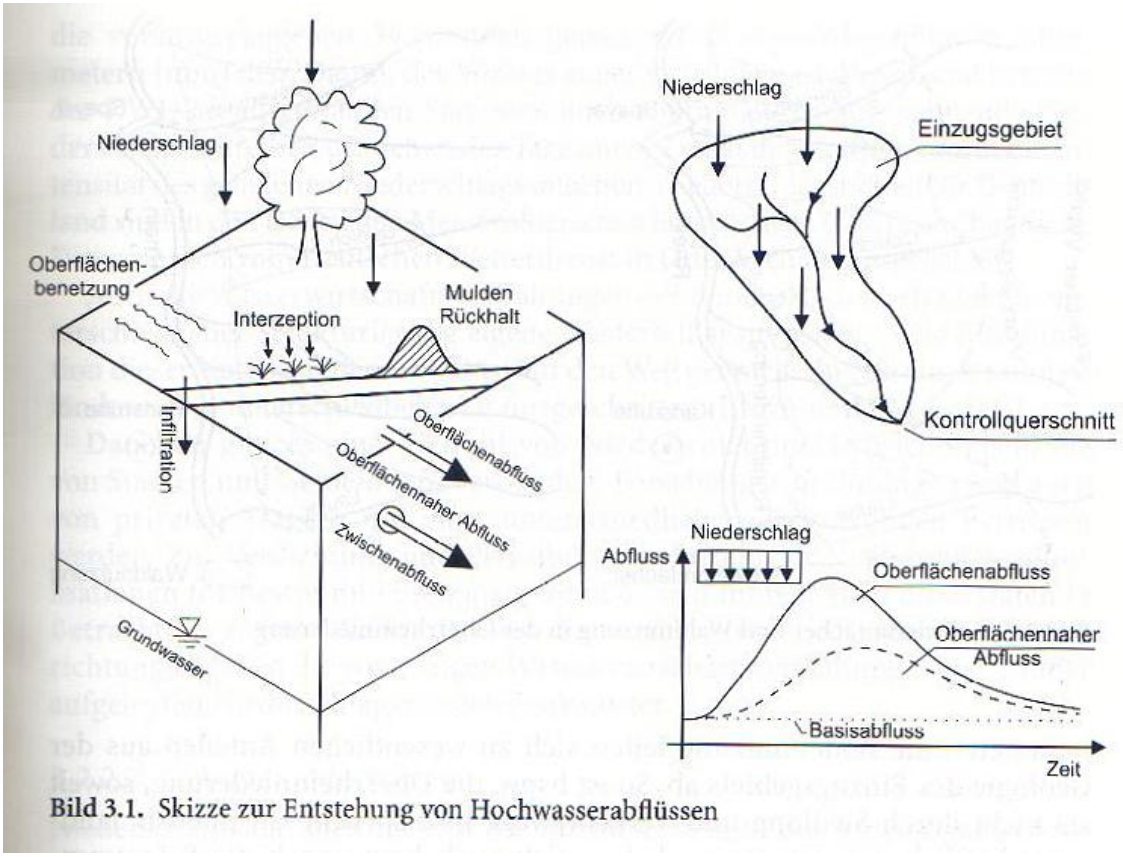


Abb. Entstehung und Ablauf von Hochwasserabflüssen (aus [6]).

Der Gebietsrückhalt, das ist der Anteil des Niederschlags, der für eine bestimmte Zeit vom Einzugsgebiet zurückgehalten wird, bevor es zum Abfluss kommt, ist entscheidend für die quantitative Ausprägung des Hochwassers. Dieser ist geprägt durch die Speichereigenschaften des Einzugsgebiets. Zum Ausmaß der Wasserspeicherung trägt in erster Linie der Boden, aber auch der Bewuchs und die Geländeart, sowie das Vorhandensein natürlicher Überschwemmungsgebiete wie Auen bei. Das Bild zeigt eine allgemeine Wasserbilanz für ein Einzugsgebiet.

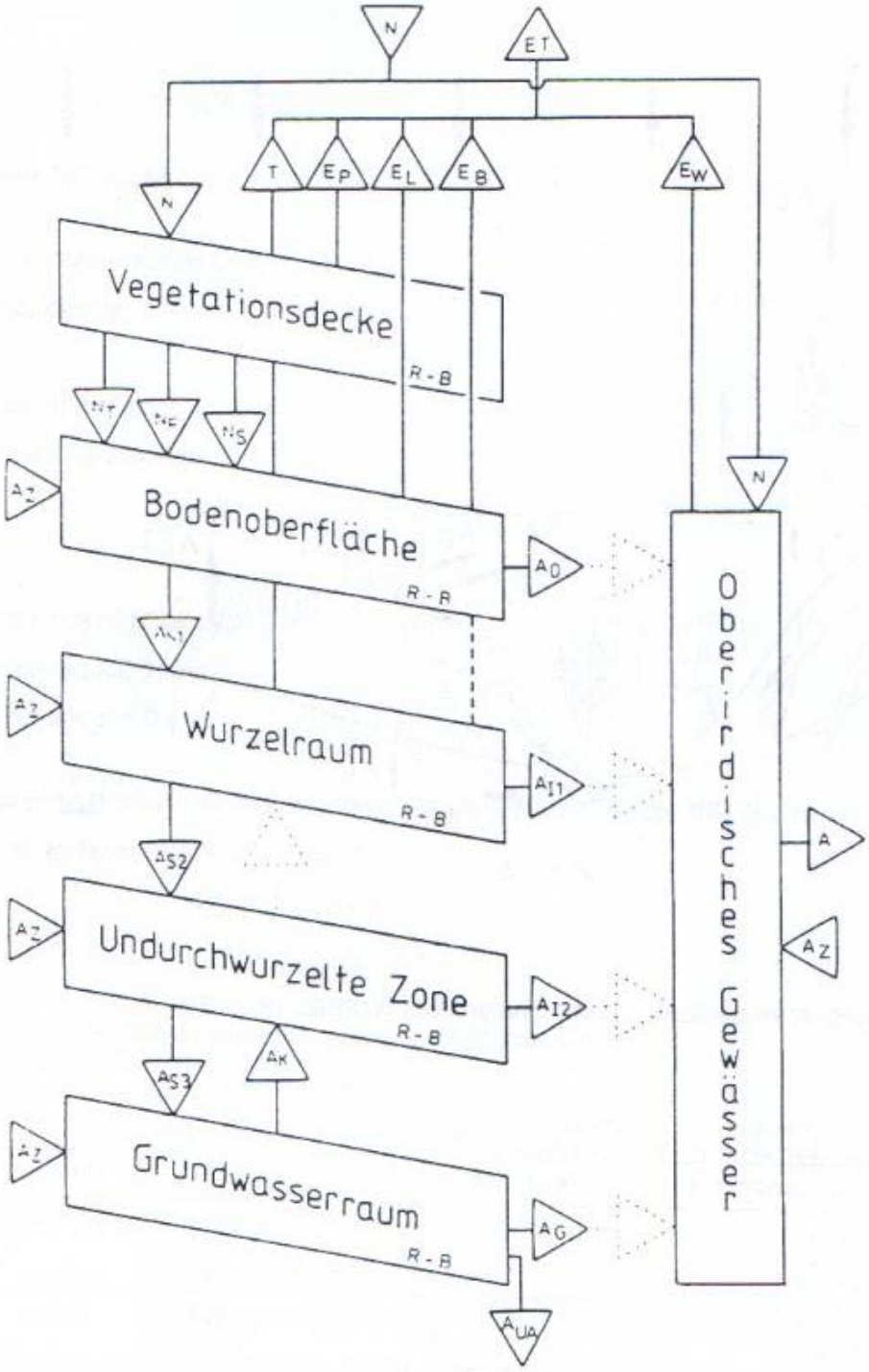


Abb.: Allgemeine Wasserbilanz für ein Flusseinzugsgebiet

Erst bei Überforderung aller vorhandenen Speichermedien kommt es zu extremen und unerwarteten Hochwassererscheinungen.

1.3.1.1.2 Überlagerung von Teilwellen eines Hochwassers

In vielen Fällen reicht die Kapazität der Speicher- und Ausuferungsräume eines einzelnen Flusslaufs aus, um Abflussschwankungen, die sich allein aus Änderungen der Wasserbilanz im eigenen Einzugsgebiet ergeben, ohne größere Überflutungen zu bewältigen. In ungünstigen Fällen kommt es jedoch zur Überlagerung von Hochwasserwellen aus den Zubringerflüssen mit jener des Hauptstroms. Besonders stark wirkt dieser Effekt dort, wo mehrere Zubringerflüsse, deren Einzugsgebiet jeweils ungefähr gleich weit von der Einmündung in den Hauptstrom entfernt ist, in einem kleinen Gebiet alle in den Hauptstrom münden. Hier kommt es besonders leicht zu außergewöhnlich intensiven Sturzfluten (´Flush Floods´). Dies ist besonders in den Tropen, wo nach oft längeren Trockenperioden, großflächig massive Niederschläge einsetzen, problematisch.

1.3.1.1.3 Einwirkungen des Menschen

Der Mensch in seinem Bestreben, sich die Natur und den verfügbaren Raum mit größtmöglicher Effizienz nutzbar zu machen, leistet in vielen Gebieten einen nicht unbeträchtlichen Beitrag zum Verlauf und zur Schadenswirkung von Hochwasserereignissen. Das Spektrum der anthropogenen Beeinflussungen reicht von der Erhöhung des Wasserabflusses infolge einer Versiegelung der Bodenoberfläche mit Verkehrswegen und Besiedlung über die Beschleunigung des Hochwassers durch das Abschneiden der natürlichen Ausuferungsflächen entlang der Gewässer bis zur Vergrößerung der Sedimentfracht durch erosionsfördernde Bodennutzung.

In jüngster Zeit wird zunehmend auch die Einflussnahme des Menschen auf das Klima und damit auch auf die Niederschläge diskutiert. Eine signifikante Häufung von Hochwasserereignissen, aber auch von extremen Trockenperioden in den letzten Jahrzehnten gilt für einige Regionen als nachgewiesen. Ein Zunehmen von meteorologischen Randbedingungen, die zu Hochwasser auslösenden Niederschlägen führen, wird nicht ausgeschlossen.

Anthropogen beeinflusst ist aber nicht nur der Hochwasserabfluss, sondern vor allem auch das Schadensrisiko in gewässernahen Räumen. Viel mehr Menschen als früher nutzen die Räume entlang der Gewässer mit immer hochwertigeren Ansprüchen an Siedlung, Verkehr und Gewerbe. Diese Risikokonzentration, ohne sich über die gestiegenen Risiken Rechenschaft abzulegen, ist die Hauptursache für den weltweit beobachteten Anstieg der Hochwasserschäden. Die trügerische Sicherheit, die durch die Abschirmung mittlerer und auch größerer Hochwässer durch Hochwasserschutzbauten entsteht, trägt bei Eintritt extremer Hochwässer, bei denen diese Hochwasserschutzbauten überlastet werden, noch zur Schadensvergrößerung bei – es wurden ja im Vertrauen auf den konstruktiven Hochwasserschutz wertvollere Güter und Anlagen im Gefahrenbereich angesiedelt.

1.3.2 Auswirkungen von Flutereignissen auf Anlagen einer Wasserversorgung

1.3.2.1 Hydraulische Wirkungen auf bauliche Strukturen

Wenn nicht zu diesem Zweck errichtete Bauten von Wasser umspült werden, wirkt sich das markant auf die statische Lastverteilung in und an diesem Gebäude aus. Zusätzlich kommt es zu einer Aufweichung des Untergrundes. Die Konsequenz kann bei exponierten Gebäuden das Freispülen des Fundaments sein, was bis zum Kollaps dieser Struktur führen kann. Darüber hinaus enthält das Flutwasser eine Menge Treibgut, das zu zusätzlichen Zerstörungen an getroffenen Strukturen führen kann.

1.3.2.2 Hygienische Aspekte

Das Wasser eines über die Ufer getretenen Flusses ist in hygienischer Hinsicht noch bedenklicher als es das Flusswasser vor dem Eintritt des Hochwasserereignisses war. Neben den von vornherein im Fluss vorhandenen Verunreinigungen und pathogenen Keimen kommt es durch die Überschwemmung zum Mitreißen von Abfällen, zur Vermischung mit Abwasser und zum Mitschleppen von Ölen und Ölrückständen. Besonders größere Hochwasserereignisse gehen daher mit latenter Seuchengefahr einher. Wenn sich das Flutwasser mit dem Wasser, das zur Verwendung als Trinkwasser bestimmt ist, etwa in Brunnen, mischt, kann dieses Wasser nicht mehr zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden. Nach dem Anklingen des Hochwassers verbleibt eine Schicht aus Geröll, Schlamm und abgesetztem Treibgut an der Oberfläche, die entfernt werden muss.

1.3.2.3 Flutwirkungen auf Wasserfassungen

Lässt man bauwerksphysikalische Betrachtungen außer Acht, kann ein Flutereignis auf mehrere Arten auf eine Wasserfassung einwirken.

Durch die flutauslösenden Niederschläge oder auch nur durch den hohen Wasserstand des betroffenen Flusses kommt es zu einer markanten Erhöhung des Grundwasserpegels im Einzugsgebiet der Wasserfassung.

Wenn der Fluss über seine Ufer tritt und das Einzugsgebiet der Wasserfassung überschwemmt, sickert noch zusätzlich Wasser von oben in den ohnehin schon der Sättigung nahen Boden ein. Es kommt zu einem Austausch von Grund- und Oberflächenwasser. Das durch die Fassung geförderte Wasser wird kontaminiert.

Bei vollständiger Überflutung des Wasserfassung kommt es zum direkten Eintritt von Oberflächenwasser in die Anlage. Die Wasserreinigungsanlagen werden kontaminiert und ist bis eine Desinfektion erfolgt nicht benutzbar.

1.3.2.3.1 Wirkung auf Brunnen

Brunnen sind die durch Hochwasser und Überflutungen am meisten gefährdeten Wasserfassungen. Viele Brunnen dienen zur Gewinnung von uferfiltriertem Grundwasser und sind daher naturgemäß in der Nähe der potentiell hochwasserführenden Flüsse gelegen.

Im Zuge eines Hochwasserereignisses kommt es zunächst zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels. Allein dadurch kann es bereits zur Beeinträchtigung der Qualität des Brunnenwassers kommen, da das durch die obersten Bodenschichten fließende Grundwasser nicht ausreichend filtriert wird. Eine ausreichende Aufenthaltszeit[48] im Boden ist nicht gewährleistet.

Noch gravierender wirkt sich eine Überflutung des Brunnens oder des Fassungsbauwerks aus. Wenn Flutwasser in die Bohrung gelangt, ist der Brunnen kontaminiert und muss nach dem Abklingen der Flut desinfiziert werden.

Offene Schachtbrunnen sind die durch Hochwasserereignisse am stärksten gefährdete Brunnenbauart, da sie aufgrund ihrer Konstruktion gegen ein Eindringen des an der oberflächlich zufließenden Flutwassers über keinerlei Schutz verfügen.

1.3.2.3.2 Wirkung auf Quellfassungen

Wasserquellen sind meist an Berg- oder Hügelhängen gelegen und befinden sich nur selten im Überflutungsbereich eines Flusses. Sie werden daher durch das Flutwasser kaum direkt in Mitleidenschaft gezogen. Im Gefolge der starken Niederschläge, die das Flutereignis auslösen, kann es zu starken Anstiegen der Quellergiebigkeit kommen. Bei empfindlichen Quellen sind Trübungen und ein Mitschleppen von organischem Material und Keimen möglich. Verglichen mit Wasser aus überfluteten Brunnen bleiben die Folgen für das Quellwasser jedoch vergleichsweise gering.

1.3.2.3.3 Wirkung auf Oberflächenwasserfassungen

Solange es sich um ein Hochwasserereignis ohne Ausuferung des Flusses handelt, bleiben Oberflächenwasserfassungen meist vollkommen unbeeinflusst. Die erhöhten Mengen an Schwebstoffen und Treibsand müssen von einer entsprechend ausgestatteten Fassungs- und Aufbereitungsanlage problemlos bewältigt werden. Kommt es zum Übertritt des Flusses über seine Ufer, kann der Betrieb aufgrund unpassierbarer Zufahrtswege gestört sein. In extremen Fällen kann es durch die hydraulische Last zum Durchbrechen von Wasser durch einzelnen Anlagenteile bzw. zur Beschädigung der Anlage kommen. Gut ausgestattete Wassergewinnungsanlagen sollten aber auch für Flutereignisse so ausgelegt sein, dass kein Schaden zu erwarten ist.

[48] Pathogene Keime sterben in der freien Natur an Nährstoffmangel. Daher gilt die Faustregel, dass ein Brunnen erst ab einer Aufenthaltzeit des Wasser im Boden von mindestens 60 Tagen trinkwasserhygienisch akzeptables Wasser liefert.

Anders sieht es bei improvisierten Strukturen zur Gewinnung von Oberflächenwasser aus. Weniger robuste Konstruktionen können leicht von der Flut beschädigt oder fortgespült werden. Außerdem besteht die Gefahr der Anlandung. Die durch eine Flut transportierten Schwebstoffe und Sande lagern sich beim Zurückgehen des Wasserspiegels wieder ab. Dadurch kann sich bei unregulierten Flüssen der Verlauf der Uferbänke erheblich verschieben. So kann es passieren, dass sich die ursprünglich am Flussufer gelegenen Fassungsanlagen nach einer Flut Dutzende oder Hunderte Meter landeinwärts befinden.

1.4 Entwicklungszusammenarbeit

1.4.1 Definition und Ziele

Die Österreichische Entwicklungszusammenarbeit wird von Bundesministerium für auswärtige Angelegenheiten koordiniert. Ziel der Österreichischen Entwicklungszusammenarbeit (ÖEZA) ist es, eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung in den Partnerländern zu fördern, die einen direkten Niederschlag in der Armutsbekämpfung findet. Die Förderung von Demokratie, Konfliktprävention und Friedenssicherung, die Gleichstellung der Geschlechter sowie Umweltschutz sind Grundprinzipien, die in allen Programmen und Projekten berücksichtigt werden sollen.

Bei der Armutsbekämpfung geht die OEZA nach folgenden Leitlinien vor:

- Auswahl der ärmsten Länder als Schwerpunkt- und Kooperationsländer

- Auswahl besonders bedürftiger Regionen, Provinzen und Distrikte innerhalb der Partnerländer und Unterstützung des Dezentralisierungsprozesses

- Unterstützung von Dezentralisierungsprozessen in den Partnerländern

- Orientierung der Politikansätze und Prioritäten in den Sektoren auf solche mit unmittelbarer Auswirkung für Arme (Kleinlandwirtschaft, integrale ländliche Entwicklung, Wasserversorgung, Basisgesundheitsversorgung, Grundschulbildung)

- Berücksichtigung von besonders benachteiligten Bevölkerungsgruppen (insbesondere Frauen und Kinder)

Die gesamte öffentliche Entwicklungszusammenarbeit Österreichs (ODA) 2000 betrug 459 Mio. EUR / 6,3 Mrd. ATS[49].

Schwerpunktländer der ÖEZA waren:

In *Afrika* Äthiopien, Burkina Faso, Burundi, Kap Verde, Kenia, Mocambique, Naminia, Ruanda, Südafrika, Senegal, Simbabwe, Tansania, und Uganda;

In *Asien* Bhutan, Nepal, Pakistan, und Palästina

In *Lateinamerika* Costa Rica,. El Salvador, Guatemala und Nicaragua.

[49] 1999: 6,8 Mrd. ATS

1.4.2 Sektorpolitik – Bedeutung des Wassers

Die Österreichische Entwicklungszusammenarbeit konzentriert sich explizit auf den Wassersektor, mit den Aspekten der Wasserversorgung und Siedlungshygiene. Die Wassersektorpolitik ist eine Grundlage für die Programmierung und eine Entscheidungshilfe für die Auswahl, Planung, Durchführung, Prüfung und Kontrolle von Vorhaben der österreichischen Entwicklungszusammenarbeit. Interventionen der ÖEZA im Wassersektor mit dem Schwerpunkt Basisversorgung und Siedlungshygiene auf kommunaler Ebene („Water and Health for People“) sollen in folgenden Bereichen zur Entwicklung beitragen:

Wasser als Nahrungsmittel, als Beitrag zu Gesundheitsvorsorge, als Komponente der Regionalentwicklung und Mittel zur Freisetzung produktiver Arbeits- und Bildungszeit [17].

Dies ist kongruent mit den nationalen Programmen der Entwicklungsländer, von denen die meisten Aktivitäten im Wassersektor als wesentlichen Beitrag zur Basisversorgung, zur gesundheitlichen Vorsorge, und damit zur Armutsbekämpfung enthalten.

Während die Gesamtausgaben für die EZA rückläufig sind, steigt der Anteil des Wassersektors daran sowohl in relativen als auch in absoluten Zahlen [17]. Dies unterstreicht die Bedeutung von Wasserversorgung und Siedlungshygiene im Kontext einer nachhaltigen ökonomischen und sozialen Entwicklung und somit die Notwendigkeit weiterer – auch konzeptueller, wie im Fall dieser Arbeit – Beschäftigung mit diesem Thema.

2 Auswirkungen von Flutkatastrophen auf die Wasserversorgung

2.1 Intention

Nicht nur die österreichische, sondern auch die internationale Entwicklungszusammenarbeit legt einen starken Schwerpunkt auf die Implementierung von hygienischen, beständigen und mit den lokal verfügbaren Mitteln handhabbaren Strukturen und Anlagen der Wasserversorgung [17].

In gemäßigten Regionen fallen die Niederschläge gewöhnlich regelmäßig und verlässlich. Man hat Zeit, die Risiken, die mit Extremereignissen verbunden sind, einzuschätzen und entsprechende Vorkehrungen und Versicherungen zu treffen.

Anders in den trockeneren Gebieten der Welt, wo die Böden weniger produktiv und die Niederschläge unregelmäßiger und mit starken Intensitätsunterschieden auftreten. Das Risiko von Dürreperioden und Flutereignissen ist wesentlich größer.

Diese zwei Arten von Naturkatastrophen – Dürren und Fluten – sind in trockeneren Gebieten aufgrund des variableren, tropischen Klimas aber nicht nur schwerwiegender, sie verursachen auch deutlich größere Schäden an den betroffenen ökonomischen und sozialen Strukturen. Gerade ländliche Bevölkerung ist oft unterernährt und anfälliger für Krankheiten.

Der Katastrophencharakter dieser Ereignisse nimmt also nicht aufgrund einer Vergrößerung der Häufigkeit von Dürre- und Flutperioden[50] zu, sondern aufgrund der hohen und noch steigenden *Vulnerabilität* der betroffenen Gesellschaften gegenüber diesen Naturereignissen.

Katastrophen führen zu Migration der betroffenen Menschen in angrenzende Gebiete, wodurch in diesen Zielregionen der Bevölkerungsdruck steigt. In städtischen Ballungsräumen etwa führt dies zum Entstehen von unkontrollierten, informellen Siedlungen. Arbeitsplätze sind rar, sowohl öffentliche als auch individuelle finanzielle Mittel sind kaum vorhanden. Gerade solche, informelle, Siedlungs- und Gesellschaftsstrukturen sind besonders empfindlich für die Auswirkungen von Naturkatastrophen. Maßnahmen zum Schutz vor Fluten, Feuer und Stürmen fehlen oft völlig. Das Resultat ist eine sich immer weiter ziehende Spirale von Armut und Abhängigkeit von externer Hilfe [18].

Es ist daher sinnvoll, bei der Verwendung von Mitteln der Entwicklungszusammenarbeit einen Fokus auf die *Reduktion der Vulnerabilität* von Gesellschaften gegenüber Katastrophenereignissen zu legen. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, den vorderhand unscharfen Begriff der Vulnerabilität fassbar zu machen, um eine richtige Beurteilung treffen zu können.

[50] Die sehr langfristigen Effekte der globalen Klimaerwärmung bleiben vorerst unberücksichtigt. Diese werden hier nicht verleugnet, sind aber in einer kurz- und mittelfristigen Betrachtung nicht im Zentrum des Interesses. Eine genaue Beschreibung, Quantifizierung und Abschätzung der Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung, gerade auch mit Bezug auf afrikanische Staaten, findet sich in [19].

Die Vulnerabilität verschiedenster Wasserversorgungsanlagen und –strukturen in verschiedensten Lagen gegenüber Flutkatastrophen soll ergründet und in einem einheitlichen System kongruent darstellbar gemacht werden.

2.2 Vulnerabilität und Risiko

Vulnerabilität ist definiert als die Suszeptibilität (Empfindlichkeit, Schadensanfälligkeit) gegenüber einem potentiell schadensauslösendem Naturereignis [15]. Sie ist bestimmt durch die Gesamtheit aller Gegebenheiten im potentiell von Naturereignissen betroffenen Raum. Vulnerabilität ist daher ein systemimmanenter Zustand, der sich nur durch Änderungen am System reduzieren lässt. Im weitesten Sinn umfasst die Vulnerabilität alle technischen, ökonomischen und sozialen Gegebenheiten. Diese Arbeit bleibt auf die Betrachtung der Vulnerabilität von Wasserversorgungsanlagen begrenzt. Da jedoch gerade die Wasserversorgung eine entscheidende Schnittstelle von Technik, Ökonomie und sozialem Leben ist, kann die Vulnerabilität von Wasserversorgungsanlagen bereits einen guten Hinweis auf die Vulnerabilität der anderen Bereiche geben.

Risiko ist das Produkt aus Vulnerabilität (potentieller Schaden) und Eintrittswahrscheinlichkeit. Die Vulnerabilität bestimmt den potentiellen Schaden. Gerade im Bereich der Naturkatastrophen gibt es viele Ansätze, die auf eine Quantifizierung des Risikos hinauslaufen. Bei der Behandlung der gegenständlichen Thematik fallen zwei Dinge auf:

Die technischen Einrichtungen, die eine Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit außergewöhnlicher Naturereignisse möglich machten[51], sind gerade in den Gebieten, die im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen, den ländlichen Entwicklungsregionen, meist nicht in der erforderlichen Dichte vorhanden. Eine Grobe Abschätzung der gefährdeten Regionen ist nur durch Fernerkundung möglich. Eine sinnvolle und hinreichend genaue Quantifizierung lokal und regional wirksamer Einflüsse, die zu solchen Ereignissen führen, ist hingegen in der Regel nicht möglich.

Noch fundamentaler ist aber, dass auch nach erfolgreicher Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit beispielsweise von Starkniederschlägen ja noch kein Beitrag zur Lösung der daraus resultierenden Hochwasser- und Flutproblematik geleistet worden ist. Mehr noch, es ist nicht möglich, Einfluss auf diese Wahrscheinlichkeit zu nehmen, sie wird weitestgehend von der Natur vorgegeben.

Aus diesem Grund legt die gegenständliche Arbeit ganz bewusst ihren Fokus auf die Vulnerabilität. Vulnerabilität entsteht durch menschliche Anlagen und Konstruktionen, durch menschliches Handeln und menschliches Verhalten. Hier ist es möglich, mittel- und langfristig Verbesserungen und damit eine Senkung des Schadensausmaßes im Gefolge von Fluten zu erreichen, die für die Entwicklung der betroffenen Regionen von ganz entscheidender Bedeutung sein kann.

Ideal wäre es, analog zu den häufig zu findenden Darstellungen des Risikos (die Abbildung zeigt eine Flut-Risikokarte von Südostafrika), die Vulnerabilität zu visualisieren und auf Karten darstellbar zu machen. Dies ist ungleich schwieriger, da Risiko wesentlich leichter auf messbare und berechenbare Parameter zurückgeführt werden kann als Vulnerabilität, die die dahinterliegenden Prozesse berücksichtigen muss.

[51] im konkreten Fall flächendeckende Wetter- und Niederschlagsmeßstationen sowie richtig kalibrierte und ablesbare Pegelmesseinrichtungen an Flüssen.

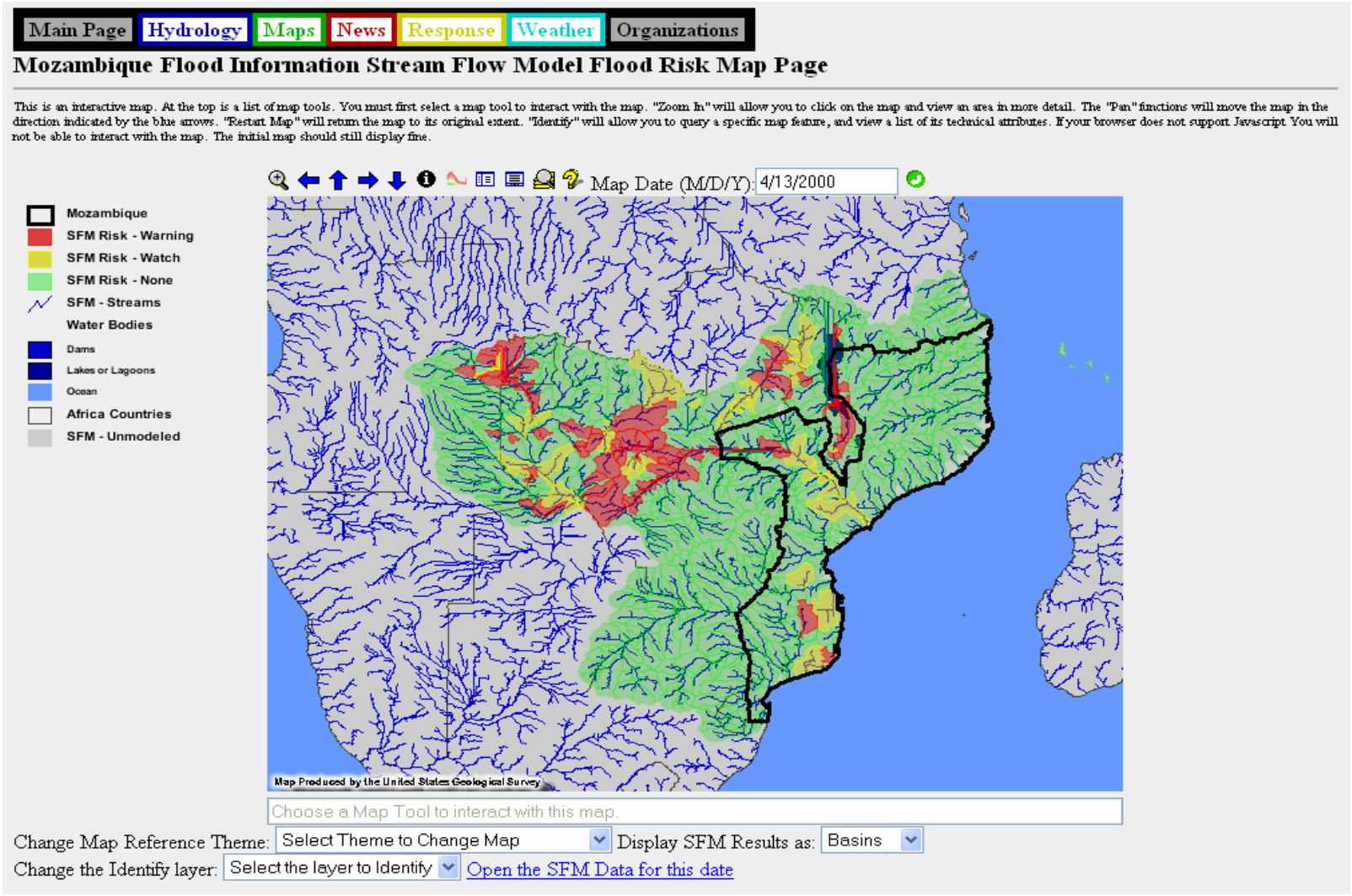


Abb.: Flutrisikokarte für Mozambique und Umgebung. Die Karte wird täglich aktualisiert und kann unter http://edcnts11.cr.usgs.gov/mozflooding/sfm/newsfmmap/default.asp online abgerufen werden.

2.3 Methodik

2.3.1 Prinzip

Im diesem Kapitel wird ein systematischer Ansatz entwickelt, mit Hilfe dessen eine Bewertung von Wasserversorgungsanlagen, insbesondere auch von improvisierten Strukturen, wie sie in den Kapiteln 1.2.2.2, 1.2.3.2, 1.2.4.2 ausführlich beschrieben wurden, und häufig gerade in ländlichen Entwicklungsregionen zu finden sind, ermöglicht wird. Zentrales Kriterium dabei ist nicht nur eine durchgängige Quantifizierbarkeit der Bewertungsvariablen, die sich bereits durch die Verwendung diskreter, klassifizierter Maßeinheiten erreichen ließe, sondern auch eine vollständige, unmittelbare Kompatibilität mit numerischen Bewertungsgrößen und Rechenverfahren. Dies lässt sich am besten verwirklichen, wenn alle verwendeten Variablen durchgängig in Prozent angegeben werden. Auch solche Bewertungen, die aufgrund einer qualitativen Betrachtung der einzelnen Strukturkomponenten gewonnen werden, und daher in diskrete Kathegorien gegliedert sind, lassen sich durch Zuordnung eines Prozentwerts zu jeder dieser Kathegorien angeben[52]. Neben der dadurch gewonnenen Flexibilität bei der Auswertung und Darstellung von Ergebnissen erhält man auf diese Weise die Möglichkeit, nach einer Betrachtung von einzelnen Strukturen am Ort ihrer Verwendung entsprechende Korrekturen an den Einzelbewertungen vorzunehmen, um die Wirklichkeit besser wiederzugeben[53]. In Abhängigkeit von der Datenlage kann die Bewertung also beliebig verfeinert werden, ohne dass das System dadurch gestört würde.

2.3.2 Bewertung einzelner Strukturkomponenten

Die Bewertungsmethodik setzt an den kleinsten Struktureinheiten einer Wasserversorgung, den einzelnen Fassungen und Verteilungsanlagen, im Folgenden allgemein als ´Komponenten´ bezeichnet, an. Dabei wird jede einzelne der in Kapitel 1.2 beschriebenen Wasserversorgungskomponenten einer Bewertung hinsichtlich ihrer Vulnerabilität gegenüber Flutkatastrophen unterzogen. Diese Vulnerabilität wird durch einen Wert von null bis

[52] Diskrete Bewertungsgrößen werden also in ein kontinuierliches Maßsystem ´übersetzt´.

[53] Beispiel: aufgrund einer Bewertung der allgemeinen Anlagenschemata lassen sich die verschiedene Arten von Oberflächenwasserfassungen in ihrer Vulnerabilität gegenüber Flutereignissen in fünf Kathegorien, z.B. A, B, C, D und E, wobei zur Kathegorie A kaum von Fluten beeinträchtigte Systeme gehören und in Kathegorie E die am stärksten betroffenen Strukturen zu finden sind.

Anstelle die Vulnerabilität nun obiger Bewertung entsprechend mit den Kathegorien A, B, C, D oder E anzugeben, ordnet man dieser Größe in einer sinnvollen Weise Prozentwerte zu. In obigem Beispiel sei also der Vulnerabilitäts-Kathegorie A der Wert 10% zugeordnet. Für B wähle man 30%, für C 50%, für D 70% und für F 90%.

Stellt sich nun bei der Bewertung einer konkreten, vor Ort in Verwendung befindlichen Wasserfassung, die aufgrund ihrer Bauart mit 70% Vulnerabilität bewertet wurde, heraus, dass diese durch die lokalen Gegebenheiten (z.B. feste Verankerung im Untergrund, Besondere Abdichtungsmaßnahmen zur Verhinderung eines Wassereintritts) heraus, dass diese Anlage im Vergleich mit anderen Wasserfassungen derselben Bauart besonders geschützt gegen Fluteinwirkung ist, kann man die Bewertung z.B. auf 55% korrigieren. Das Berechnungs- und Bewertungssystem bleibt ungeachtet dieser Anpassung der Bewertung konsistent, neue Kathegorien müssen nicht eingeführt werden.

einhundert Prozent angegeben. Eine Anlage mit 0% Vulnerabilität wird von Flutereignissen überhaupt nicht betroffen. 100% Vulnerabilität bedeutet, dass man bei steigendem Wasserspiegel davon ausgehen kann, dass bereits nach kurzer Einwirkung die gesamte Anlage bis auf Weiteres nicht verwendbar ist und zur Versorgung nicht zur Verfügung steht[54]. Die Zuordnung kann allgemein für einen beschriebenen Anlagentyp erfolgen oder spezifisch nach einer Untersuchung der Anlage an Ort und Stelle und einer Beurteilung ihrer Lage. Richtwerte für die Beurteilung der Vulnerabilität der einzelnen Strukturkomponenten einer Wasserversorgung findet sich in Kapitel 3.

2.3.3 Bewertung zusammengesetzter Wasserversorgungssysteme

2.3.3.1 Überblick und Beschreibung der Methode

Sind alle in Frage kommenden Komponenten einer Wasserversorgung bewertet, kann man im nächsten Schritt daran gehen, eine Bewertung für ein ganzes Wasserversorgungssystem zu erstellen. Dabei werden alle in dem betrachteten System vorkommenden Komponenten mit ihrer jeweiligen Bewertungskennzahl für ihre Vulnerabilität gegen Hochwasser und Fluten einbezogen und nach ihren Beiträgen zur Gesamtwassermenge gewichtet. Als Ergebnis erhält man einen Gesamtwert für die Vulnerabilität des betrachteten Wasserversorgungssystems gegen Hochwasser.

Die Bewertung und Gewichtung wird für die Wasseraufbringung und für die Wasserverteilung gesondert durchgeführt[55]. Beide Ergebnisse werden miteinander verglichen. Der größere der beiden Vulnerabilitätswerte ist ausschlaggebend.

Eine solche Berechnung kann wie folgt aussehen:

dörfliche Wasserversorgung (Aufbringung)

	Fördermenge [m³/d]	Mengen-anteil	Vulnera-bilität	Beitrag zur ges. Vuln.
Bohrbrunnen	10	59%	30%	18%
Schachtbrunnen	5	29%	70%	20%
Quelle	2	12%	90%	11%
gesamt	17	100%		**49%**

[54] Die prozentmäßige Darstellung erweist sich bei der späteren Erweiterung dieser Bewertung auf ganze Wasserversorgungssysteme und regionale Strukturen als großer Vorteil.

[55] Eine Wasserversorgung besteht aus zwei Teilsystemen, der *Wasseraufbringung* und der *Wasserverteilung*. Bei einem Ausfall jedes dieser Teilsysteme für sich ist das Gesamtversorgungssystem gleichermaßen betroffen. Ohne ein funktionierendes Verteilungssystem nützen auch völlig intakte Wasseraufbringungsanlagen nichts, und umgekehrt. Die verteilte und bei den Verbrauchern ankommende Wassermenge (X) kann von der geförderten Wassermenge (Q) unterschiedlich sein. Da die Vulnerabilität des gesamten Wasserversorgungssystems gesucht ist, muss folglich die Berechnung ein weiteres Mal, jetzt bezogen auf die Wasserverteilungsstruktur, erfolgen.

dörfliche Wasseraufbringung (Verteilung)

	beförd. Menge [m³/d]	Mengenanteil	Vulnerabilität	Beitrag zur ges. Vuln.
Rohrleitungen	10	59%	50%	29%
Holversorgung	7	41%	0%	0%
gesamt	17	100%		**29%**

=> kennzeichnender Wert für die Vulnerabilität dieser Wasseversorgung: 49%

Die Regeln für die Berechnung dieser Tabellen und das oben dargestellte Beispiel werden im folgenden Abschnitt genau erläutert.

2.3.3.2 Rechenregeln

2.3.3.2.1 Wertung und Gewichtung nach Anteilen der Wasseraufbringung

Die folgende Aufstellung zeigt alle in die Berechnung eingehenden Größen, sowie die Ergebnisse.

Komponente i	Wassermenge Q_i [m³/d]	Wassermengenanteil q_i	Bewertungskennzahl Vulnerabilität V_i	Beitrag zur Gesamtvulnerabilität b_i
Komponente 1	Q_1	q_1 %	V_1 %	b_1 %
Komponente 2	Q_2	q_2 %	V_2 %	b_2 %
Komponente 3	Q_3	q_3 %	V_3 %	b_3 %
Komponente 4	Q_4	q_4 %	V_4 %	b_4 %
	Q_{ges}	100%		**$V_{ges,\,a}$ %**

Dabei bedeuten

Q_i	Beitrag der Komponente i (Wasseraufbringungskomponente) zur Gesamtwasseraufbringung [%]
Q_{ges}	Gesamte Wasseraufbringung der betrachteten Wasserversorgung [m³/d]
q_i	Anteil der Komponente i an der Gesamtwasseraufbringung [%]
b_i	Beitrag der Komponente i zur Gesamtvulnerabilität [%]
V_i	Vulnerabilität der Komponente i gegen Hochwasser [%]
$V_{ges,\,a}$	Vulnerabilität des Gesamtsystems gegen Hochwasser [%] (berechnet von der Wasseraufbringung)

Die Bewertungskennzahlen der Vulnerabilität gegen Hochwasser V_i werden für alle betrachteten Komponenten nach ihren Beiträgen Q_i zur Gesamtwasseraufbringungsmenge Q_{ges} (in m³/d) gewichtet. b_i sind die resultierenden Beiträge dieser Komponenten zur Vulnerabilität dieses Systems. Diese erhält man durch Addition aller b_i.

Die Berechnung erfolgt nach

$$\mathbf{b_i\,[\%] = q_i * V_i}$$

$$\mathbf{\Sigma^{(i)}\ q_i = 100\%}$$

b_i	Beitrag des Wasserspenders i zur Gesamtvulnerabilität [%]
q_i	Anteil des Wasserspenders i an der Gesamtwasseraufbringung [%]
V_i	Vulnerabilität des Wasserspenders i gegen Hochwasser [%]

Komponenten, die keinen Betrag zur Wasseraufbringung leisten, können außer Acht gelassen werden.

Beispiel: Brunnen A bringt 70% der Wassermenge in einem Versorgungssystem auf und habe eine Vulnerabilität von 30%. Sein Beitrag zur Vulnerabilität ist dann 30% * 70% = 21%.

Die Gesamtvulnerabilität des betrachteten Wasserversorgungssystems ist die Summe aller Einzelbeiträge zur Vulnerabilität.

$$\mathbf{V_{ges,\,a}\,[\%] = \Sigma^{(i)}\ b_i\,[\%]}$$

$V_{ges,\,a}$	Vulnerabilität des Gesamtsystems gegen Hochwasser [%], berechnet von der Wasseraufbringung

2.3.3.2.2 Wertung und Gewichtung nach Anteilen der Wasserverteilung

Die Berechnung erfolgt gemäß folgender Aufstellung:

Kopmponente i	Wassermenge X_i[m³/d]	Wassermengenanteil x_i	Bewertungskennzahl Vulnerabilität V_i	Beitrag zur Gesamtvulnerabilität b_i
Komponente 1	X_1	x_1 %	V_1 %	b_1 %
Komponente 2	X_2	x_2 %	V_2 %	b_2 %
Komponente 3	X_3	x_3 %	V_3 %	b_3 %
Komponente 4	X_4	x_4 %	V_4 %	b_4 %
	X_{ges}	100%		**$V_{ges,\,d}$ %**

Dabei bedeuten

X_i	Beitrag der Komponente i (Wasserverteilungskomponente) zur Gesamtwasserverteilung [%]
X_{ges}	gesamte täglich an die Verbraucher verteilte Wassermenge in der betrachteten Wasserversorgung [m³/d]
x_i	Anteil der Komponente i an der Gesamtwasserverteilung
$V_{ges,\,d}$	Vulnerabilität des Gesamtsystems gegen Hochwasser [%] (berechnet von der Wasserverteilung)

Die Berechnung erfolgt nach

$$\mathbf{b_i\ [\%] = x_i * V_i}$$

$$\mathbf{\Sigma^{(i)}\ x_i = 100\%}$$

b_i	Beitrag der Wasserverteilungskomponente i zur Gesamtvulnerabilität [%]
x_i	Anteil der Wasserverteilungskomponente i an der Gesamtwasserversorgung [%]
V_i	Vulnerabilität der Wasserverteilungskomponente i gegen Hochwasser [%]

Komponenten, die keinen Beitrag zur Wasserverteilung leisten, können hier außer Acht blieben.

Beispiel: 60% der Wasserversorgung erfolgt über ein altes Rohrnetz mit einer Vulnerabiltät von 10%. Der Beitrag dieses Netzes zur Vulnerabilität ist 10% * 60% = 6%.

Die Gesamtvulnerabilität des betrachteten Wasserversorgungssystems ist dann die Summe aller Einzelbeiträge zur Vulnerabilität.

$$\mathbf{V_{ges,\ d}\ [\%] = \Sigma^{(i)}\ b_i\ [\%]}$$

$V_{ges,\ d}$	Vulnerabilität des Gesamtsystems gegen Hochwasser [%] (berechnet von der Wasserverteilung)

Bei der Bewertung von Strukturen der Wasserverteilung ist unbedingt zu beachten:

Hintereinandergeschaltete Strukturen der Wasser*verteilung* sind hinsichtlich ihrer Vulnerabilität einzeln zu bewerten. Für die Wassermenge bzw. den Anteil an der Gesamtwassermenge, die durch diesen zusammenhängenden Komponentenstrang transportiert wird, ist die Vulnerabilität der Struktur, die die größte Vulnerabilitäts-Bewertungskennzahl x_i aufweist, ausschlaggebend[56].

2.3.3.2.3 Gesamtbeurteilung eines Wasserversorgungssystems

Nach Gewichtung und Addition der Beiträge aller Komponenten zur Vulnerabilität des Gesamtsystems hat man nun zwei Ergebnisse $V_{ges,\ a}$ und $V_{ges,\ b}$ (in Prozent), die die Vulnerabilität des untersuchten Wasserversorgungssystems in Prozent wiedergeben. Eines ist bezogen auf das Teilsystem Wasser*aufbringung*, das andere bezogen auf das Teilsystem

[56] Prinzip einer Kette, die so stark ist wie ihr schwächstes Glied.

Wasser*verteilung*. Die zur Beschreibung des betreffenden Systems letztlich heranzuziehende Bewertungskennzahl ist *die größere der beiden errechneten Kennzahlen*[57].

$$\mathbf{V_{ges} = V_{ges,\,a}\,[\%]}$$
$$(V_{ges,\,a} > V_{ges,\,d})$$

$$\mathbf{V_{ges} = V_{ges,\,d}\,[\%]}$$
$$(V_{ges,\,d} > V_{ges,\,a})$$

Bei der Wasserverteilung gibt es nicht so viele technische Varianten wie bei der Wasserversorgung, und diese Anlagen zum Wassertransport sind durch Flutereignisse gewöhnlich weniger beeinflussbar. Daher wird in den meisten Fällen die Struktur und die Vulnerabilität der Wasseraufbringungseinrichtungen für die Beurteilung des Systems ausschlaggebend sein. Der Richtigkeit halber sollte aber die zweite Betrachtung nicht fehlen.

2.3.3.3 Anschauliches Beispiel

Die Tabellen aus diesem Beispiel wurden in 2.3.3.1 verwendet, um einen kurzen Überblick über die Methode zu geben. Im Folgenden sind alle zugrundeliegenden Gegebenheiten,. Überlegungen und Berechnungen ausführlich beschrieben.

Ein Dorf in der Nähe eines größeren Flusses an einem Hügel wird aus drei verschiedenen Wasserspendern versorgt.

Gegebenheiten der Wasserversorgung

- Ein seitlich abgedichteter Bohrbrunnen liefert täglich im Durchschnitt 10m³ Wasser. Das Wasser wird bei Bedarf mit einem Dieselaggregat in einen kleinen Behälter unmittelbar beim Brunnen gepumpt. Desinfektion ist keine vorhanden. Aus diesem Behälter wird ein kleines Rohrnetz gespeist, das die umliegenden Häuser versorgt. Die Eisenrohre verlaufen im Durchschnitt 30cm unter der Erde, liegen aber mancherorts frei. An einigen offenliegenden Stellen wurden gebrochene Eisenrohre durch Plastik-, oder auch Holz- und Bambusrohre ersetzt. Der Brunnen versorgt 25 Familien, insgesamt 150 Menschen, mit 10m³ Wasser täglich.

- Neben diesem Bohrbrunnen wurde an einem anderen Ort des Dorfes ein Schachtbrunnen gegraben, der an der Oberfläche mit einer 0,8m hohen, kreisrunden, möglicherweise nicht vollständig dichten Mauer umgeben ist. Das Wasser wird ohne Desinfektion mittels einer Winde, an deren Seil die Bewohner einen Wasserkanister herunterlassen, entnommen. 200 Menschen holen sich auf diese Weise täglich insgesamt 5m³ Wasser ab.

[57] Für die Vulnerabilität ausschlaggebend ist die Fähigkeit des Systems, Menschen mit Trinkwasser zu versorgen. Im Anlassfall ist es gleichgültig, ob die Trinkwasserversorgung aufgrund von Aufbringungs- oder verteilungsproblemen nicht funktioniert. Daher ist in jedem die größere der Vulnerabilitäten der beiden Teilsysteme (Wasseraufbringung und Wasserversorgung) für die Bewertung des Gesamtsystems maßgebend.

- Ein Teil der am Hügel wohnenden Bevölkerung entnimmt sein Wasser aus einer nahe am Fluss gelegenen offenen Quelle, das unmittelbar am Austritt einen kleinen Teich bildet. Bei größeren Hochwasserereignissen wird dieser Teich regelmäßig überschwemmt. 100 Menschen versorgen sich so mit 2m³ Wasser täglich.

Bewertung der Wasseraufbringung

- Dem Bohrbrunnen wurde nach einem Lokalaugenschein wurde eine Vulnerabilität von 30% zugeordnet.

- Der Schachtbrunnen hat eine Vulnerabilität von 70%.

- Die Gegebenheiten an der überschwemmbaren Quelle entsprechen einer Vulnerabilität von 90%.

Berechnung

Das Wasser*aufbringungs*system besteht also drei Komponenten, dem Bohrbrunnen, dem Schachtbrunnen, und der Quelle. Ausgehend von den gefundenen Werten für die Vulnerabilität ergibt sich folgende Kalkulation:

dörfliche Wasserversorgung (Aufbringung)

	Fördermenge [m³/d]	Mengen-anteil	Vulnera-bilität	Beitrag zur ges. Vuln.
Bohrbrunnen	10	59%	30%	18%
Schachtbrunnen	5	29%	70%	20%
Quelle	2	12%	90%	11%
	17	100%		**49%**

Alle drei Komponenten leisten einen unterschiedlichen Beitrag zur Gesamtversorgung und haben unterschiedliche Werte für ihre Vulnerabilität. In der rechten Spalte finden sich die einzelnen Beiträge b_i zur Gesamtvulnerabilität. Unten rechts, fett hervorgehoben, die Vulnerabilität der Wasserversorgung dieses Dorfes gegenüber Hochwasser (49%). In diesem Beispiel besteht gerade bei der Quelle und beim Schachtbrunnen Verbesserungspotential.

Gegebenheiten der Wasserverteilung

Die Wasser*verteilung* im Dorf geschieht auf zwei Wegen. 10m³/d werden über das Rohrnetz, die restlichen 7m³ von Hand im Wege einer Holversorgung befördert.

Bewertung der Wasserverteilung

Bei Überflutung des Untergrunds kann sich das Sickerwasser leicht mit dem in den Rohren transportierten Trinkwasser mischen. Nach einem Lokalaugenschein wird diesem Netz eine Vulnerabilität von 50% zugeordnet.

Die restlichen 7m³ Wasser werden von der Bevölkerung eigenhändig entweder vom Schachtbrunnen oder von der Quelle geholt. Eine Holversorgung, das Holen von Wasser an sich, ist von Flutereignissen vollkommen unbeeinflusst[58]. Die Vulnerabilität dieser Holversorgung ist daher 0%.

Berechnung

Bei der Wasserverteilung könne zwei verschiedene Strukuren, das Rohrnetz und die Holversorgung, unterschieden werden. Es ergibt sich:

dörfliche Wasseraufbringung (Verteilung)

	beförd. Menge [m³/d]	Mengen-anteil	Vulnera-bilität	Beitrag zur ges. Vuln.
Rohrleitungen	10	59%	50%	29%
Holversorgung	7	41%	0%	0%
	17	100%		**29%**

Es ergibt sich eine Gesamtvulnerabilität der Wasserverteilung von 29%. Die Gesamtvulnerabilität der Wasseraufbringung war 49%. *Somit beträgt die Vulnerabilität der Wasserversorgung dieses Dorfes 49%.*

[58] Unabhängig davon, dass wahrscheinlich die Wasserfassung bereits unbrauchbar wäre, wäre selbst bei vollständiger Überflutung eine Holversorgung durch die Verwendung von Booten möglich, das Wasser von der Fassung zum Verbraucher zu transportieren. Der Transportprozess an sich, in diesem Fall der Holprozess, wird nicht durch die Flut behindert.

2.3.4 Bewertung von Regionen

2.3.4.1 Überblick und Beschreibung der Methode

Ist die Vulnerabilität eines Wasserversorgungssystems auf diese Weise bestimmt, kann man mit allen weiteren Wasserversorgungssystemen und -betrieben in der näheren und weiteren Umgebung genauso verfahren. So erhält man eine Reihe von Kennzahlen für die Vulnerabilität dieser Wasserversorgungseinheiten gegen Fluten.

Auf der Basis dieser Daten ist es nun möglich, eine ganze Region in Hinblick auf die Vulnerabilität der dort befindlichen Wasserversorgungsanlagen gegen Hochwasser und Fluten zu bewerten. Die Grenzen der betrachteten Regionen lassen sich beliebig wählen, etwa nach der Anzahl der vorhandenen Daten, nach politischen Bezirken, nach topologischen oder hydrologischen Kriterien.

Nach Auswahl der interessierenden Region werden alle Wasserversorgungssysteme, die sich in diesem Gebiet befinden, zusammen mit ihrer Vulnerabilität (in Prozent) und mit Kennwerten, nach denen man ihren Beitrag zur Gesamtwasserversorgung der Region gewichten kann, betrachtet. Dies kann wie folgt aussehen[59]:

	Bwt.-kennzahl Vulnerabilität Vges, j	produzierte Wassermenge Qges, j [m³/d]	Vuln.-beitrag gewichtet nach Menge VQ, j	versorgte Bevölkerung [Einwohner]	Vuln.-Beitrag gewichtet nach Einw.-zahl VE, j
Wasserversorgung 1	5%	10	0,0%	500	0,1%
Wasserversorgung 2	50%	65	1,5%	3500	9,7%
Wasserversorgung 3	30%	2000	27,8%	12000	20,0%
Wasserversorgung 3	65%	80	2,4%	2000	7,2%
		2155	**31,8%**	18000	**37,1%**

Für diese Gewichtung bieten sich zwei Parameter an, die täglich produzierte[60] und verteilte Trinkwassermenge oder die Anzahl der durch das jeweilige System versorgten Bevölkerung. Erstere Gewichtungsmethode stellt technische Kapazitäten in den Vordergrund, Zweitere ist eine stärker sozio-ökonomisch ausgerichtete Betrachtung. Da keiner der beiden Betrachtungsweisen von vornherein der Vorzug gegeben werden kann, sollte sich die Auswahl des Gewichtungsparameters im Einzelfall nach der Intention des Betrachters richten, bzw. beide Betrachtungen nebeneinandergestellt werden.

[59] Die Regeln für die Berechnung dieser Tabellen und das oben dargestellte Beispiel werden im Abschnitte 2.3.4.3 genau erläutert.
[60] In diesem Kontext bedeutet das Wort ´produziert´: gefördert und bis zum Verbraucher transportiert

2.3.4.2 Rechenregeln

Die Berechnung erfolgt gemäß folgender Aufstellung:

Wasserversorgung j	Bewertungskennzahl Vulnerabilität $V_{ges, j}$	produzierte Wassermenge $Q_{ges, j}$ [m³/d]	Vulnerabilität gewichtet nach Menge $v_{Q, j}$	versorgte Bevölkerung [Einwohner]	Vulnerabilität gewichtet nach Einw.-zahl $v_{E, j}$
Wasserversorgung 1	$V_{ges, 1}$	$Q_{ges, 1}$	$v_{Q, 1}$	E_1	$v_{E, 1}$
Wasserversorgung 2	$V_{ges, 2}$	$Q_{ges, 2}$	$v_{Q, 2}$	E_2	$v_{E, 2}$
Wasserversorgung 3	$V_{ges, 3}$	$Q_{ges, 3}$	$v_{Q, 3}$	E_3	$v_{E, 3}$
		Q_{reg}	$V_{Q, reg}$	E_{reg}	$V_{E, reg}$

Dabei bedeuten

$V_{ges, j}$	Vulnerabilität des Wasserversorgungssystems j gegen Hochwasser [%]
$Q_{ges, j}$	gesamte im Wasserversorgungssystem j produzierte Wassermenge
Q_{reg}	Gesamte produzierte Wassermenge in der betrachteten Region [m³/d]
$v_{Q, j}$	Vulnerabilität des Wasserversorgungssystems j gegen Hochwasser, gewichtet nach der in diesem System produzierten Wassermenge [%]
$V_{Q, reg}$	Vulnerabilität der Wasserversorgung der gesamten betrachteten Region, gewichtet nach Anteilen der in der gesamten Region produzierten Wassermenge [%]
E_j	Anzahl durch das Wasserversorgungssystem j versorgter Einwohner
$v_{E, j}$	Vulnerabilität des Wasserversorgungssystems j gegen Hochwasser, gewichtet nach dem Anteil der durch dieses System versorgten Bevölkerung an der Gesamtzahl der Einwohner in dieser Region [%]
$V_{E, reg}$	Vulnerabilität der Wasserversorgung der gesamten betrachteten Region, gewichtet nach Anteilen an der gesamten versorgten Einwohnerzahl [%]

Ausgehend von den errechneten Gesamtvulnerabilitäten $V_{ges, j}$ für die einzelnen Wasserversorgungssysteme und deren Gesamtproduktionsmengen $Q_{ges, j}$ sowie den Einwohnerzahlen E_j in den jeweils versorgten Gebieten, erhält man die Vulnerabilität der Wasserversorgung einer ganzen Region $V_{Q, reg}$ bzw. $V_{E, reg}$ (beide in Prozent), berechnet von der Wassermenge bzw. von der Einwohnerzahl. $V_{E, reg}$ gewichtet strukturschwache[61] Wasserversorgungssysteme, in denen dem Einzelnen weniger Wasser zur Verfügung steht, stärker.

Bekannt sind alle $V_{ges, j}$ und alle $Q_{ges, j}$ sowie E_j.

[61] bezogen auf die Wasserversorgungsinfrastruktur. Ein solches Gebiet ist allerdings fast immer auch allgemein strukturschwach.

Die Berechnung erfolgt nach:

Q_{reg} und E_{reg} ergeben sich durch Addition:

$$\mathbf{Q_{reg} = \Sigma^{(j)}\, Q_{ges,\,j}}$$

$$\mathbf{E_{reg} = \Sigma^{(j)}\, E_{j}}$$

Die einzelnen Beiträge zur Vulnerabilität in der Region ergeben sich nach

$$\mathbf{v_{Q,\,j} = V_{ges,\,j} * (Q_{ges,\,j} / Q_{reg})}$$

$$\mathbf{v_{E,\,j} = V_{ges,\,j} * (E_{j} / E_{reg})}$$

Für die gesamte Region findet man schließlich

$$\mathbf{V_{Q,\,reg} = \Sigma^{(j)}\, V_{Q,\,j}}$$

bzw.

$$\mathbf{V_{Q,\,reg} = \Sigma^{(j)}\, V_{E,\,j}}$$

2.3.4.3 Beispiel

Die Tabelle aus diesem Beispiel wurde in 2.3.4.1 verwendet, um einen kurzen Überblick über die Methode zu geben. Im Folgenden sind alle zugrundeliegenden Gegebenheiten,. Überlegungen und Berechnungen ausführlich beschrieben.

Gegebenheiten

Eine Region erstrecke sich entlang eines Flusses. In der Region gibt es vier Wasserversorgungssysteme.

Am Oberlauf des Flusses befindet sich ein Dorf mit 500 Einwohnern. Sie beziehen ihre 10m³ Wasser täglich aus nahen Quellen und sind von Hochwasserereignissen kaum betroffen. Die Vulnerabilität beträgt 5%. (Wasserversorgung 1)

Ein Stück stromabwärts befindet sich eine ausgedehntere ländliche Gegend mit 3500 Einwohnern und verschiedensten kleinen Wasserversorgungsanlagen, mit einer durchschnittlichen Vulnerabilität von 50%. Benötigt werden 65m³ Wasser pro Tag. (Wasserversorgung 2)

Die Hauptstadt der Region hat 12000 Einwohner, wird zentral über einige Brunnen mit Uferfiltrat versorgt. Die Vulnerabilität liegt bei 30%, der tägliche Verbrauch ist 2000m³/d. (Wasserversorgung 3)

Am Flussdelta befinden sich wieder ländliche Strukturen. Die 2000 Einwohner decken ihren Bedarf von 80m³ täglich aus Brunnen oder Oberflächenwasser. Die Vulnerabilität beträgt 65%. (Wasserversorgung 4)

Berechnung

Für die gesamte Region ergibt sich:

	Bwt.-kennzahl Vulnerabilität Vges, j	produzierte Wassermenge Qges, j [m³/d]	Vuln.-beitrag gewichtet nach Menge VQ, j	versorgte Bevölkerung [Einwohner]	Vuln.-Beitrag gewichtet nach Einw.-zahl VE, j
Wasserversorgung 1	5%	10	0,0%	500	0,1%
Wasserversorgung 2	50%	65	1,5%	3500	9,7%
Wasserversorgung 3	30%	2000	27,8%	12000	20,0%
Wasserversorgung 4	65%	80	2,4%	2000	7,2%
		2155	31,8%	18000	37,1%

Auf Basis der dargestellten Methode werden Daten für ländliche und städtische, kleine und große Wasserversorgungssysteme kompatibel. Man erkennt aber den nivellierenden Effekt der Gesamtbetrachtung: die kleinste Wasserversorgung hat mit Abstand die geringste

Vulnerabilität, ein Umstand, der bei einer Betrachtung auf regionalem Niveau nicht mehr ersichtlich ist.

Die Vulnerabilitäten für die Gesamtregion ($V_{Q, reg}$ und $V_{E, reg}$), von denen eine auf Basis der produzierten Wassermenge und die andere auf Basis der versorgten Bevölkerung berechnet wurden, können, wie auch in diesem Beispiel, deutlich unterschiedlich sein. Dies ergibt sich durch die unterschiedliche Gewichtung.

2.3.5 Erweiterungsmöglichkeiten

Das dargestellte Modell beschreibt einen methodischen Ansatz zur Klassifizierung und Bewertung bestimmter Strukturen und Regionen in Hinblick auf das Intaktbleiben der an Ort und Stelle befindlichen Wasserversorgung nach Fluten. Als entscheidende Kenngröße wurde dabei die Vulnerabilität identifiziert (2.2). Es ist möglich, ausgehend von den dargelegten Beschreibungen der verschiedenen Strukturen einer Wasserversorgung (Kap. 1.2 und Kap. 3) und von der in Kapitel 2 beschriebenen Methodik, dieses Modell um andere Bewertungsvariablen zu erweitern.

Die Einführung und Definition der Flexibilität als Kennwert wäre eine solche Möglichkeit. Gemeint ist die Flexibilität des Systems unter dem Eindruck zerstörerischer Natur- oder Kriegsereignisse, etwa die Möglichkeit, nach einer Zerstörung rasch wieder ein ähnliches System zu installieren, oder die Möglichkeit, das ganze System an einen anderen Ort zu verlegen[62].

Diese Alternativen Bewertungsparameter müssen jedoch nicht zwingend etwas mit Katastrophen zu tun haben. Auch die Hygiene oder die Verlässlichkeit eines Systems können auf diese Weise unter Verwendung dieses Modells quantifiziert werden.

Die Anwendung des beschriebenen Modells führt fast zwingend zur Beschäftigung mit der Problematik einer Notversorgung der betroffenen Bevölkerung in Zeiten einer Flut. In die Berechnung und Gewichtung der Vulnerabilitäten sind Aspekte einer möglichen Notversorgungskapazität ganz bewusst nicht eingeflossen. Das Modell orientiert sich ausschließlich an technischen Gegebenheiten, mit dem Ziel, es möglichst reproduzierbar zu halten[63]. Erst in einem zweiten Schritt, nach erfolgter Bewertung, kann man überlegen, wie und mit welcher Effizienz eine mögliche Trinkwassernotversorgung im Flutfall gestaltet werden kann. Eine Möglichkeit wäre, ausgehend vom hier beschriebenen Modell Szenarien zu entwickeln, die die unter solchen Umständen möglichen Gegebenheiten abbilden.

2.3.6 Bemerkungen

Durch die Angabe aller wichtigen Modellvariablen in Prozent und die Verwendung der weiter oben beschriebenen Algorithmen kann beim Anwender und Leser der Eindruck entstehen,

[62] Beipiel: Einfache Filteranlage für Oberflächenwasser

[63] lässt man Aspekte einer möglichen Notversorgungskapazität etwa in die Bewertung einzelner Anlagen mit einfließen, so können die entsprechenden Bewertungskennzahlen zweier ansonsten identischer Anlagen voneinander abweichen. Dadurch wird es schwierig, Bewertungen verschiedener Wasserversorgungsstrukturen kompatibel zu halten.

dass es sich bei den Ergebnissen um Größen handelt, die man auf einer kontinuierlichen Skala von 0% bis 100% beliebig genau ermitteln könnte. Dem Anwender dieses Modells muss klar sein, dass die Basis-Eingabewerte, das sind die Vulnerabilitäten der einzelnen Wasserspender und Wasserverteilungskomponenten, diskrete, aus einer Beurteilung resultierende Größen sind. Das Modell kann daher nur so exakt sein wie die Bewertung der einzelnen Wasserversorgungsanlagen, auf der sie fußt. Dennoch ermöglicht sie einen raschen, umfassenden, durchgängigen, und bis zur einzelnen Komponente auflösbaren Blick auf die ansonsten nicht quantifizierbare Größe ´Vulnerabilität gegen Hochwasser´.

Mit einer Untersuchung der vorhandenen Wasserversorgungskomponenten in einem (Wasserversorgungs-)Gebiet und einer Kalkulation in zwei einfachen Tabellen lässt sich die Vulnerabilität des – beliebig wählbaren – Gebiets gegen Hochwasser und Fluten angeben. Die Ergebnisse lassen sich sowohl auf elementare Einzelkomponenten herunterbrechen als auch für große Regionen integriert darstellen. Die Ergebnisse können gestaffelt nach der Größe der betroffenen Bevölkerung oder nach der produzierten Trinkwassermenge zusammengefasst werden. Auch eine flächenhafte Auflösung und graphische Darstellung in Form einer Karte ist möglich.

Eine Bewertung von Wasserversorgungsanlagen sollte immer durch Lokalaugenschein erfolgen.

3 Bewertung einzelner Strukturkomponenten einer Wasserversorgung

Kapitel 1 beschreibt viele unterschiedliche Möglichkeiten und Bauweisen für Anlagen einer Wasserversorgung. Diese zeichnen sich – abhängig von ihrer Bauweise und von ihrem allgemeinen Zustand – durch unterschiedliche Vulnerabilität gegen Hochwasser aus. Gerade die Bewertungskennzahlen dieser Vulnerabilität sind die wichtigste Größe, die in das hier beschriebene Modell eingeht. Ihnen kommt daher besondere Bedeutung zu. Dieses Kapitel bietet Hilfestellung bei der Beurteilung der verschiedenen in Kapitel 1.2 beschriebenen Strukturen einer Wasserversorgung in Hinblick auf ihre Vulnerabilität gegen Hochwasser. Die hier angegebenen Bewertungskennzahlen verstehen sich als Richtgrößen, die bei der Implementierung dieses Bewertungssystems durch einen Lokalaugenschein und eine Beurteilung der Anlage an Ort und Stelle ergänzt und präzisiert werden müssen.

Umseitige Tabelle bietet einen Überblick über Anlagen der Wasserversorgung und Wasserverteilung, zusammen mit den diesen Strukturen zuordenbaren Bewertungskennzahlen für ihre Vulnerabilität gegen Hochwasser. Die angegeben Zahlen verstehen sich alle als Richtwerte. Sie vermitteln einen Eindruck von im Rahmen des vorgestellten Systems sinnvollen Größen und Relationen. Sie können und sollen für einzelne Anlagen nach einer Besichtigung entsprechend angepasst werden.

Die nachfolgenden Abschnitte 3.1 und 3.2 beschreiben die in der Tabelle dargestellten Anlagen näher und erläutern die angegebenen Vulnerabilitäts-Bewertungskennzahlen.

Struktur	Richtwert Bewertungkennzahl	Abschnitt
Wasseraufbringung		
Oberflächenwasser		3.1.1
direkte Entnahme aus Fluss	90%	3.1.1.1
durch eine mobile Entnahmevorrichtung	70%	3.1.1.2
durch ein Entnahmebauwerk	30% - 50%	3.1.1.3
durch ein für Hochwasser Ausgelegtes Entnahmebauwerk	10% - 30%	3.1.1.4
Quellwasser		3.1.2
direkte Entnahme beim Quellaustritt	90%	3.1.2.1
Quellfassung. mit Quellkammer und / oder Brunnenstube (improvisiert)	50%	3.1.2.2
Quellfassung mit gut abgesicherter Quellkammer und / oder Brunnenstube	10% - 30%	3.1.2.3
Brunnenwasser		3.1.3
Schachtbrunnen offen, Abdichtung mangelhaft	90%	3.1.3.1
Schachtbrunnen offen, abgedichtet	70%	3.1.3.2
Schachtbrunnen abgedeckt und abgedichtet	30% - 50%	3.1.3.3
Vertikalfilterbrunnen, Abdichtung mangelhaft	50%	3.1.3.4
Vertikalfilterbrunnen, angedichtet	30%	3.1.3.5
Horizontalfilterbrunnen, Abdichtung mangelhaft	50%	3.1.3.6
Horizontalfilterbrunnen, abgedichtet	10% - 30%	3.1.3.6
Regenwasser	20% - 90%, je nach Ausführung	3.1.4

Wasserverteilung		
Holversorgung		3.2.1
von einer Quelle oder von einem Fluss	0%	3.2.1.1
von einer zentralen Wasserstelle	je nach Anlage, 30% - 90%	3.2.1.2
Gerinne und offene Kanäle	70% - 90%	3.2.2
Rohrleitungen		3.2.3
mit überirdisch verlaufenden Abschnitten und / oder mit improvisierten Komponenten	50%	3.2.3.1
in wesentlichen Abschnitten weniger als 0,5m tief verlegt	30%	3.2.3.2
tiefer verlegtes Rohrnetz	10%	3.2.3.3

3.1 Strukturen der Wasseraufbringung

3.1.1 Gewinnung von Oberflächenwasser

3.1.1.1 Direkte Entnahme ohne weitere Behandlung

direkt und unbehandelt einem Fluss entnommenes Wasser ist, auch ohne dass es zu einem Flutereignis kommt, aus hygienischer Sicht eine der schlechtesten denkbaren Alternativen. Bei einem Hochwasser trübt sich solches Flusswasser durch aufgewirbelten Schlamm stark ein. Durch das Übertreten der Ufer, das auch viele Kilometer oberstrom erfolgt sein kann, werden zusätzlich Mikroorganismen, Substanzen (besonders heikel sind Ölrückstände), Partikel, bis hin zu großem Treibgut mitgeschleppt, die gar nicht aus dem Bereich des Flussbetts stammen. Die Variationsbreite und Intensität möglicher Kontaminationen wird dadurch um vieles größer.

Unbehandeltes Flusswasser aus einem hochwasserführenden Fluss sollte nur in höchster Not getrunken werden. Dieser Art der Wassergewinnung wird daher eine Bewertungskennzahl von 90% zugeordnet.

3.1.1.2 Oberflächenwasserfassung durch ein mobile Entnahmevorrichtung

Quasimobile Entnahmevorrichtungen mit einfachem Filter- und Pumpaggregat, wie in 1.2.2.2.2a beschrieben, könnten bei rechtzeitiger Durchführung entsprechender Maßnahmen auch im Flutfall weiter zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser herangezogen werden. Gelingt es, aufgrund vorheriger Warnung das Filteraggregat rechtzeitig abzubauen und nach dem Anstieg des Wasserspiegels wieder, unter einiger Improvisation, einzusetzen, so wäre ein Betrieb auch in Zeiten der Flut denkbar.

Folgende zwei Umstände wirken in diesem Zusammenhang problematisch:

Die Wasserqualität im Flutfall ist wesentlich schlechter als in Zeiten normaler Wasserstände. Auch bei ordnungsgemäßem Betrieb des Filteraggregats ist damit zu rechnen, dass das zur Verwendung als Trinkwasser bestimmte Filtrat vergleichsweise beeinträchtigt ist.

Auch wenn der Ausbau der Anlage rechtzeitig gelungen ist, ist die ordnungsgemäße Installation des Filterkastens bei stark schwankenden Wasserständen und veränderlichen Uferkonturen schwierig.

Alle diese Aspekte führen zu einer Bewertungskennzahl von 70% für die Vulnerabilität der betrachteten Oberflächenwassergewinnungsmethode.

3.1.1.3 Oberflächenwasserfassung durch ein Entnahmebauwerk

Oberflächenwasserfassungen größeren Umfangs, die gewöhnlich zu einer Aufbereitungsanlage führen, sind robust konstruiert und sollten die physikalischen Lasten, die durch das Hochwasser verursacht werden, in aller Regel überstehen. Oft wird jedoch durch die Qualitätsverschlechterung eines hochwasserführenden Flusses die dahinterliegende Trinkwasseraufbreitungsanlage in ihrer Kapazität überfordert und muss abgeschaltet werden. Daher wird solchen Anlagen für ihre Vulnerabilität eine Bewertungskennzahl von 50% zugeordnet.

3.1.1.4 Oberflächenwasserfassung durch ein für Hochwasser ausgelegtes Entnahmebauwerk

Bauwerke zur Fassung von Oberflächenwasser, die dafür ausgelegt sind, auch wenn der Fluss Hochwasser (bis zu einem bestimmten Pegel) führt, trinkbares Wasser zu liefern, sind aus diesem Grund wesentlich weniger anfällig für die flutbedingten Probleme einer Trinkwasserversorgung. Es gibt aber sehr wohl auch für solche Anlagen Grenzpegelstände, ab denen abgeschaltet werden muss. Dieser Art von Wasserwerk kann hinsichtlich ihrer Vulnerabilität durch Bewertungskennzahlen im Bereich von 10% bis 30% beschrieben werden.

3.1.2 Quellwasser

Wasserquellen finden sich in den meisten Fällen in höheren Lagen und sind daher in aller Regel nicht direkt von Hochwasserereignissen betroffen. Wohl kann es durch den Anstieg der Niederschläge, der anderenorts Überflutungen von Flüssen auslöst, zu starken Anstiegen der Quellergiebigkeit und einer damit verbundenen Herabminderung der Quellwasserqualität kommen. Diese Art von Beeinträchtigung ist aber wesentlich milder als eine solche durch echte Überflutung und nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Die Bewertungskennzahl der Vulnerabilität aller Arten von Quellwassergewinnungen ist daher in den meisten Fällen 0%. Die untenstehenden Bewertungen beziehen sich daher nur auf jene Ausnahmefälle von Quellen, die innerhalb von Fluteinzugsgebieten liegen (z.B. Quellfassungsstollen in einer Talsohle vgl. 1.2.2.1.3).

3.1.2.1 Direkte Entnahme beim Quellaustritt

Die direkte Entnahme Quellwasser an einer Wasserstelle nahe ihrem Austritt ist mit ähnlichen Problemen behaftet wie die direkte Entnahme von Flusswasser. Im Fall eines Hochwasserereignisses kann es zur Überflutung der betroffenen Wasserstelle und folglich zu einer Vermischung des Quellwassers mit dem Flutwasser kommen. Die Bewertungskennzahl für die Vulnerabilität solcher Wassergewinnungsmethoden ist daher 90%.

3.1.2.2 Quellfassung mit Quellkammer und/oder Brunnenstube (improvisiert)

Ist die Quellwasserfassung mit einer Quellkammer und / oder einer Brunnenstube ausgebaut, so ist die Vulnerabilität deutlich geringer. Diese Konstruktionen müssen für eine ordnungsgemäße Erfüllung ihres Zwecks wasserdicht konstruiert sein. Sie sind jedoch nicht von vornherein für eine Wassereinwirkung von außen ausgelegt. Bei einer Kontamination des Quellwassers durch von außen eindringendes Hochwasser ist die Wasserqualität stark beeinträchtigt, das Wasser ist dann kaum besser als jenes des über die Ufer getretenen Flusses. Daher wird dieser Art von Wasserfassung ein Bewertungskennzahl für die Vulnerabilität von 50% zugeordnet.

3.1.2.3 Quellfassung mit gut abgesicherter Brunnenstube

Robuste, abgesichert konstruierte und auch von außen dichte Quellkammern sind bedeutend beständiger gegen Fluteinwirkungen. Solchen Konstruktionen, die zumeist aus industriell gefertigten Materialen bestehen, werden Bewertungskennzahlen für ihre Vulnerabilität im Bereich zwischen 10% und 30% zugemessen.

3.1.3 Brunnenwasser

Brunnen dienen häufig zur Gewinnung von uferfiltriertem Wasser. Selbst wenn dies nicht der Fall ist, finden sie sich meist in tiefen Lagen. Der Vulnerabilität von Brunnenanlagen gegen Fluteinwirkungen kommt daher besondere Bedeutung zu.

Die erste Einwirkung eines Hochwassers ist ein Ansteigen des Grundwasserspiegels. Durch seitlich aus oberen Bodenschichten in das Bohrloch oder den Brunnenschacht eindringendes Wasser, das nur mehr in geringem Ausmaß gefiltert ist, kann es bereits zu ersten Beeinträchtigungen des Brunnenwassers kommen. Dagegen lässt sich durch seitliche Abdichtung des Bohrlochs bzw. des Schachts Abhilfe schaffen[64]. Kommt es zu einer Überflutung des ganzen Brunnens, ist ein massives Eindringen von Oberflächenwasser zu befürchten. Ein derart kontaminierter Brunnen muss vor seiner Inbetriebnahme gereinigt und desinfiziert werden. Nur die dichtesten, verschlossenen Brunnenkonstruktionen (Spezialbauweise für Bohrbrunnen) können ein solches Eindringen verhindern. Einfache Abhilfe schafft die Konstruktion einer seitlich abgedichteten Brunnenanlage auf einem erhöhten Betonfundament.

3.1.3.1 Schachtbrunnen offen, nicht oder mangelhaft abgedichtet

Einfache offene Schachtbrunnenkonstruktionen, deren seitliche Abmauerung in den oberen Bereichen des Schachts nicht ausreichend dicht ist und die auch über keine zusätzlichen Abdichtungsmaßnahmen gegen ein seitliches Eindringen von Wasser verfügen, sind am

[64] vgl. Abbildungen in 1.2.2.1.4, 1.2.2.1.5, und 1.2.2.2.4.5

ehesten und frühesten von Hochwassereinwirkungen betroffen. Die Bewertungskennzahl für die Vulnerabilität solcher Konstruktionen ist daher 90%.

3.1.3.2 Schachtbrunnen offen, abgedichtet

Schachtbrunnenkonstruktionen mit intakter seitlicher Abdichtung bieten einen besseren Schutz vor einer Kontamination des Brunnenwassers bei Hochwasser. Wenn die den Schacht oben abgrenzende äußere Abmauerung ebenfalls dicht ist, kann im Idealfall sogar bei nicht zu hohen Überflutungen ein Eindringen von Oberflächenwasser verhindert werden. Solchen Brunnenkonstruktionen wird eine Bewertungskennzahl für ihre Vulnerabilität von 70% zugemessen.

3.1.3.3 Schachtbrunnen abgedeckt, und auch oben abgedichtet, gegebenenfalls mit Pumpe

Das sind abgedeckte Schachtbrunnenanlagen, die oben mit einer Betonplatte versiegelt sind und mit einer Klappe für Probenahme-, Desinfektions- und als Einstieg für Instandhaltungsarbeiten versehen sind. Die Wasserentnahme erfolgt über eine (Hand-)Pumpe. Dies bietet beim gewöhnlichen Brunnenbetrieb ein hohes Maß an zusätzlicher Sicherheit vor unwillkürlicher und achtloser Kontamination. Auch im Flutfall kann sich eine solche Konstruktion als nützlich erweisen, vor allem dann, wenn auch der Klappenmechanismus dicht schließt und die Betonabdeckung keine Beschädigungen, die einen Wassereintritt ermöglichen würden, aufweist. Schachtbrunnen, mit Abdeckungskonstruktionen dieser Art ausgestattet sind, werden Bewertungskennzahlen für ihre Vulnerabilität im Bereich von 30% - 50% zugewiesen.

3.1.3.4 Vertikalfilterbrunnen (Bohrbrunnen), ohne oder mit mangelhafter Abdichtung

Bei Bohrbrunnen ist der weitläufige Brunnenschacht durch ein Bohrloch weit geringeren Durchmessers ersetzt, in dem sich das Brunnengestänge befindet. Allein dadurch wird die Möglichkeit, dass unerwünschtes Fremdwasser oder andere Dinge in den Brunnen gelangen, stark reduziert. Die einfachere Ausführungsvariante eines Bohrbrunnens ist der Vertikalfilterbrunnen (1.2.2.1.4). Neben Bohr- und Brunnenbaumethoden, die dem Stand der Technik entsprechen, sind auch improvisierte Brunnenbaumethoden (1.2.2.2.4) bekannt. Wichtig beim Vertikalfilterbrunnen ist die seitliche Abdichtung des Bohrlochs mit Beton, Lehm, oder anderem, um ein Einsickern von Oberflächenwasser in das Bohrloch zu verhindern. Ist dies nicht oder nicht gut gewährleistet, so kommt es bei einem Anstieg des Grundwasserspiegels zu einer seitlichen Intrusion von nicht ausreichend gefiltertem Wasser. Bei Überflutung kann das Oberflächenwasser kaum gehindert in das Bohrloch eindringen und den Brunnen in einer Weise kontaminieren, die später eine Sanierung erforderlich macht. Für derart unzureichend abgedichtete Vertikalfilterbrunnenkonstruktionen liegt die Bewertungskennzahl der Vulnerabilität gegenüber Hochwasser bei 50%.

3.1.3.5 Vertikalfilterbrunnen (Bohrbrunnen), abgedichtet

Ein Vertikalfilterbrunnen, der hinreichend gegen das seitliche Einsickern von Wasser in das Bohrloch geschützt ist, erweist sich auch im Hochwasserfall als zuverlässiger. Solange nur der Grundwasserspiegel ansteigt, bleibt eine solche Anlage unbeeinflusst. Kommt es zu einer tatsächlichen Überflutung des Brunnens, so bedarf es besonderer Absicherungs- oder Abdichtungsmaßnahmen, um das Eintreten von Oberflächenwasser in das Bohrloch zu verhindern. Gut abgedichtete Vertikalfilterbrunnenanlagen, die nicht über diese besonderen Ausbaumaßnahmen verfügen, haben Bewertungskennzahlen für ihre Vulnerabilität von etwa 30%.

3.1.3.6 Horizontalfilterbrunnen (Bohrbrunnen)

Horizontalbrunnen sind wie die oben beschriebenen Vertikalfilterbrunnenanlagen Bohrbrunnen. Der Unterschied besteht darin, dass beim Horizontalfilterbrunnen in einer bestimmten Tiefe, vom zentralen Schacht radial horizontale Fassungsstränge ausgehen. Letztere befinden sich (wenn der Brunnen nicht ausgetrocknet ist) in einer permanent grundwasserführenden Schicht und sind daher von Hochwasserereignissen nicht betroffen. Für ein Eintreten von Wasser in die zentrale Bohrung – was zu einer Kontamination des zu fördernden Wassers unmittelbar nach der Fassung in den horizontalen Strängen führt – gelten die gleichen Kriterien wie für Vertikalfilterbrunnen. Es sind daher bei der Beurteilung der Vulnerabilität von Horizontalfilterbrunnen Bewertungskennzahlen von 50% (Bohrung nicht vollständig dicht) bzw. 10 - 30% (Bohrung vollständig dicht) heranzuziehen. Wie beim Vertikalfilterbrunnen kann durch zusätzliche Ausbauten eine zusätzliche Verbesserung der Vulnerabilität erreicht werden.

3.1.4 Regenwasser

3.1.4.1 Regenwasserfassung von Dächern

Das Regenwasser an sich ist unbeeinflusst von Hochwasserereignissen. Entscheidend ist die Auslegung und der Zustand der Fassungskonstruktion. Wenn das Wasser in Fässern gesammelt wird, ist die Höhe ihrer Oberkante entscheidend für die Vulnerabilität dieser Wassergewinnung gegen Hochwasser. Es ist daher vorteilhaft, die Wasserfässer höher zu lagern (etwa auf einem Holz- oder Steinpodest).

Oft fließt das Wasser auch über eine Dachrinne in eine Zisterne. Was in Zeiten gewöhnlichen Betriebs aus hygienischer Sicht vorteilhaft sein kann, erweist sich im Hochwasserfall oft als Nachteil. Zisternen liegen meist unterhalb der Bodenoberkante, z.B. auf Kellerniveau. Sie werden nicht in einer Weise konstruiert, die ein Eindringen unerwünschten Wassers von oben verhindern würde. Bei Überflutungen sind sie folglich oft als Erste betroffen.

Die Beurteilung der Vulnerabilität von Regenwasserfassungen von Dächern wird daher individuell unterschiedlich ausfallen. Da sie dezentral ist, kann sie nur als Durchschnitt über die einzelnen Kleinanlagen angegeben werden, und muss oft abgeschätzt werden. Die Bewertungskennzahlen können zwischen 20% und 90% Vulnerabilität gegen Hochwasser liegen.

3.1.5 Zusätzlich die Bewertung beeinflussende Umstände

Das Vorhandensein bestimmter Anlagenkomponenten, Anlagenkonfigurationen oder Anlagenausführungen kann die Vulnerabilität von Wasserfassungen gegenüber Hochwasserereignissen verringern. Wie und wie stark einzelne Ausführungsvarianten die Bewertungskennzahl einer Anlage verändern, ist vom Beobachter an Ort und Stelle zu beurteilen. Im Folgenden werden einige mögliche Anlagenvariationen beschrieben.

3.1.5.1 Vorhandensein einer Aufbereitung (Belüftung, Filtration, Flockung)

Besonders die Qualität des Oberflächenwassers eines hochwasserführenden Flusses – aber auch jene von anderen Wasserreservoiren, die mit dem Hochwasser in Austausch treten – ist stark beeinträchtigt. Wenn Aufbreitungsanlagen (Belüftung, Flockung und / oder Filteranlagen) vorhanden sind und auch unter Flutbedingungen betriebsbereit bleiben, reduzieren sie den Schwebstoff- und unter Umständen auch den Keimgehalt der zum Trinken bestimmten Wassers erheblich. Die Auswirkungen einer Flut auf eine solche Wasseraufbringungsanlage sind dementsprechend geringer, die Vulnerabilität ist kleiner.

3.1.5.2 Vorhandensein einer stationären Desinfektionsanlage oder von Desinfektionsmitteln

Die Zugabe von Desinfektionsmitteln ist – bei richtiger Anwendung – die verlässlichste Methode der Entkeimung von Wasser (vgl. 1.2.3.1.3, 1.2.3.2.5). Wenn eine Wasserfassung von Hochwasser betroffen ist, ist die Verkeimungsgefahr besonders groß. Wenn stationäre Desinfektionsanlagen zur Verfügung stehen, die unter dem Einfluss des Hochwassers funktionsfähig bleiben, oder wenn flexible, diskontinuierliche Methoden der Desinfektion[65] (meist der Chlorung) verfügbar sind kann die Qualität jeder Art von verfügbarem Wasser stark verbessert werden, die Vulnerabilität des Systems ist geringer.

3.1.5.3 Hochwassersichere Bauweise bei Brunnen und Wasserfassungen

Eine sehr einfache konstruktive Schutzmaßnahme für Wasserfassungen gegen Hochwasser ist, sie durch einen Sockel aus Beton oder einem anderen wasserdichten Material zu erhöhen. Dies ist eine vor allem im Brunnenbau sehr nützliche Praxis. Wenn der Brunnen ausreichend gegen ein seitliches Eindringen des an der Oberfläche angestauten Wassers geschützt ist, so bleibt der Brunnen, solange der Wasserspiegel nicht den Kopf der Konstruktion umspült, von dem Flutereignis unbeeinflusst. Die Vulnerabilität des Systems sinkt in entsprechendem Ausmaß.

[65] z.B. Chlorung von Brunnen oder Behältern aus für eine Zugabe konstruierten, einfachen Behältnissen, oder – wenn verfügbar – die Zugabe von Chlortabletten zum Wasser (1.2.3.2.5 c).

3.1.5.4 Besondere Abdichtungsmaßnahmen bei Fassungsanlagen

Wasserfassungsanlagen primär in einer Weise konstruiert, die den Austritt des in ihnen befindlichen Wassers verhindern soll. Erst in zweiter Linie ist die Verhinderung eines Eintritts von Wasser aus der Umgebung wichtig. Schutzmaßnahmen in diesem Zusammenhang sind oft so ausgelegt, dass sie den Eintritt von Niederschlags- oder Spülwasser in das System verhindern. Im Flutfall ist der Druck des von außen herankommenden Wassers wesentlich größer. Es bedarf oft besonderer konstruktiver Vorkehrungen, um ein Eintreten von Flutwasser in eine Wasserfassungsanlage zu verhindern. In erster Linie geht es dabei um entsprechend robuste Konstruktionen und verlässliche Abdichtungen für die Anlagen. Auch Sonderbauweisen, etwa mit eigenen dicht verschließbaren Gehäusen, sind möglich. Taugliche derartige Maßnahmen verringern die Vulnerabilität.

3.2 Strukturen der Wasserverteilung

3.2.1 Holversorgung

In Entwicklungsregionen, wo es oft keine Rohrleitungen und Hausanschlüsse gibt, ist die individuelle Holversorgung das Mittel der Wasserverteilung. Das Wasser wird – oft von Frauen – in Krügen, Flaschen, Behältern oder Kübeln zu den jeweiligen Haushalten geschleppt.

3.2.1.1 Holversorgung von einer Quelle oder von einem Fluss

Das Wasser wird direkt an einer Wasserquelle oder einem Fluss abgeschöpft und fortgetragen. Diese Art der Wasserverteilung ist von Flutereignissen gänzlich unbeeinflusst (die gleiche Vorgangsweise ist auch im Flutfall möglich). Diese Art der Wasserverteilung leistet daher keinen Beitrag zur Vulnerabilität eines Wasserversorgungssystems gegen Hochwasser (0%)[66].

[66] Diese Beurteilung mag den Leser auf den ersten Blick verwundern. Sie ist in der Bewertungssystematik begründet, die die einzelnen Wasseraufbringungs- und Wasserverteilungsschritte scharf trennt. Im vorliegenden Fall wird nicht die Qualität des vorhandenen Wassers beurteilt. Es geht ausschließlich um den Vorgang des Transportierens von Wasser in Behältnissen. Dieser Prozess der Wasser*verteilung* an sich wird durch die Flut nicht beeinträchtigt. Im Gegenteil, das Wasser, das zuvor aus dem Fluss geholt wurde, liegt nun näher. Die Qualität bzw. die Anfälligkeit (entspricht hier der Vulnerabilität) der Qualität des transportierten Wassers gegenüber einer Beeinträchtigung durch Flutereignisse wurde bereits vorher, im Rahmen der Wasser*aufbringung* bewertet und fließt in die Kalkulation der Gesamtvulnerabilität mit ein (vgl. 2.3.3).

Das Prinzip lässt sich anhand eine Schachtbrunnens, von dem die Menschen täglich ihr Wasser abholen verdeutlichen. ausschlaggebend für die Vulnerabilität sind einzig die Bauweise und der Zustand des Brunnens, nicht jedoch der Vorgang des Wassertransports zu den Haushalten, der individuell durch die Menschen, die das Wasser holen, abläuft.

3.2.1.2 Holversorgung von einer öffentlichen Wasserentnahmestelle

Wenn die Holversorgung von einer zentralen, öffentlichen Wasserstelle (etwa ein ´Brunnen´ mit einer Zuleitung von der Wasserfassung und mehreren Wasserhähnen für die Entnahme) aus stattfindet, so kann die Wasserverteilung von diesem Punkt aus nur so lange gewährleistet sein, wie diese Wasserstelle nicht überschwemmt oder anderweitig durch die Hochwassereinwirkung beeinträchtigt wird. Für die Beurteilung der Vulnerabilität solcher Wasserstellen gegen Hochwasser sind zwei Kriterien ausschlaggebend:

Die Vulnerabilität der Zuleitungen zu dieser Wasserstelle. Es handelt sich dabei entweder um Gerinne (3.2.2) oder um Rohrleitungen (3.2.3), deren Vulnerabilität in den folgenden Abschnitten diskutiert wird.

Die Bauweise der betrachteten Wasserstelle selbst. Entscheidend für die Vulnerabilität ist die Bauart und Dichtigkeit der Konstruktion. Massiver Beton mit innen eingelassen Leitungsrohren ist beispielsweise resistent gegen von außen eindringendes Wasser, ein in einem offenen Becken endender Leitungskanal bietet dagegen kaum Sicherheit gegen Wassereintritt von außen. Zugleich ist die Höhe der Hähne oder Öffnungen, die zur Wasserabgabe dienen, wichtig. Wenn die Konstruktion dicht ist, können höher gelegene Auslässe noch einwandfreies Wasser liefern, während niedrigere Hähne bereits unter Wasser stehen.

Die Vulnerabilität einer solchen Wasserverteilungsstruktur ist durch die jeweils höhere der beiden Bewertungskennzahlen (jene für die Zuleitungen und jene für die Wasserstelle selbst - gekennzeichnet.

Die tatsächliche Bewertungskennzahl ergibt sich aus einer Beurteilung der Anlage durch Lokalaugenschein. Je nach Ausführung wird ein Bereich von 30% bis 90% empfohlen.

3.2.2 Gerinne und offene Kanäle

Der einfachste Weg, Wasser über Distanzen zu transportieren, ohne dass es getragen werden muss, ist, es über ein Gerinne laufen zu lassen. Diese können zu ebener Erde oder, beispielsweise auf Pfosten, erhöht angelegt sein. Auch Abdeckungen für Gerinne sind möglich und empfehlenswert. Charakteristisch für Gerinne ist aber, dass sie zumindest auf ihrer Oberseite nicht dicht abgeschlossen sind (im Unterschied zu Rohren).

In Hinblick auf Hochwasserereignisse sind solche Konstruktionen besonders anfällig gegen einen Eintrag von Überschwemmungswasser. Je nachdem, ob das Gerinne ebenerdig oder in einer gewissen Höhe über dem Boden verläuft, kommen Bewertungskennzahlen für die Vulnerabilität gegen Hochwasser zwischen 70% und 90% in Frage. In Ausnahmefällen, wenn das Gerinne in ausreichender Höhe verläuft und durch entsprechend stabile Strukturen abgestützt wird, kann dieser Wert auch niedriger liegen.

Bei der Bewertung der Vulnerabilität sind offene Kanäle dieser Art von Gerinne gleichzuhalten.

3.2.3 Rohrleitungen

Von allen Wassertransportsystemen (mit Ausnahme der reinen Holversorgung, die andere Nachteile birgt) sind Rohrleitungssysteme in Flutfällen die zuverlässigsten. Dennoch hängt es stark von der Art der verwendeten Materialien, der Verlegungstiefe, dem Alter und dem Zustand des jeweiligen Rohrnetzes ab, wie gut das transportierte Wasser gegen ein Eindringen von Überschwemmungswasser geschützt ist.

3.2.3.1 Versorgung über ein Rohrnetz mit improvisierten Komponenten bzw. überirdisch verlaufenden Abschnitten

Ein aus improvisierten Komponenten bestehendes Rohrnetz, oder eines, das teilweise überirdisch verläuft, bietet dem ankommenden Flutwasser vergleichsweise viele Möglichkeiten, sich mit dem in den Rohren transportierten Trinkwasser zu vermischen. Rohrkonstruktionen als Holz oder Bambus neigen wesentlich rascher als solche aus anderen Materialien (PVC, Eisen, Stahl) dazu, Undichtigkeiten und Schwachstellen zu bilden. Kommt es zu einem Versagen der Rohrleitungskomponenten, so ist die Versorgung in diesem Teil des Netzes Unterbrochen. Die Bewertung der Vulnerabilität solcher Verteilungssysteme obliegt einer Beobachtung und Beurteilung an Ort und Stelle. Ohne genauere Kenntnis der Netzbeschaffenheit kann für solche Systeme eine Bewertungskennzahl von 50% gelten.

3.2.3.2 Versorgung über ein weniger als 0,5m tief verlegtes Rohrnetz

Unterirdisch verlaufende Rohrnetze werden umso unabhängiger von äußeren Einflüssen, je tiefer im Boden sie verlegt sind. Zugleich steigt mit zunehmender Verlegungstiefe der Aufwand für Installation und Wartung. Für Rohrnetze, bei denen das ganze Leitungssystem oder wesentliche Teile davon weniger als 0,5m tief im Boden liegen, wird für die Vulnerabilität gegen Überflutungen eine Bewertungskennzahl von 30% angenommen.

3.2.3.3 Versorgung über ein tiefer verlegtes Rohrnetz

Tief liegende Rohrnetze sind praktisch unbeeinflusst von Hochwassereinwirkungen. Nur sehr vereinzelt kann es zum Versagen von Rohren, etwa nach dem Zusammenbruch darüber gelegener Bauwerke, kommen. Ohne genauere Kenntnis der Netzbeschaffenheit kann für solche Systeme eine Bewertungskennzahl von 10% gelten.

3.3 Zusätzlich die Bewertung beeinflussende Umstände

3.3.1 Technische Aspekte

Bestimmte Anlagenkomponenten, Anlagenkonfigurationen oder Anlagenausführungen haben Einfluss auf die Vulnerabilität von Wasserverteilungssystemen, insbesondere von Rohrnetzen, gegenüber Hochwasserereignissen. Wie und wie stark einzelne Ausführungsvarianten und Anlagenzustände die Bewertungskennzahl eines Verteilungssystems verändern, ist vom Beobachter an Ort und Stelle zu beurteilen. Im Folgenden werden einige mögliche Anlagenvariationen beschrieben.

Rohrnetze, die aus dauerhaften Materialen (PVC, PE, Stahl) gefertigt sind und relativ neu oder gut instandgehalten sind, sind auch gegenüber Hochwassereinflüssen weit weniger empfindlich als alte Rohrleitungssysteme mit häufigen Gebrechen. Guten Aufschluss über den Zustand eines Netzes geben die Rohrnetzverluste (sofern darüber Aufzeichnungen geführt werden). Größere Netze mit Verlusten unter 5% der täglich beförderten Menge sind in außerordentlich gutem Zustand, solche mit Verlustanteilen von 50% oder mehr sind in schlechter Verfassung[67].

3.3.2 Organisatorische Rahmenbedingungen

Das Funktionieren von Anlagen in Krisensituationen ist in besonderem Maße von den organisatorischen Gegebenheiten und Abläufen, die vor und während einer Krise geschehen, abhängig. Gut betreute und gewartete Anlagen arbeiten auch unter den Extrembedingungen eines Hochwassers zuverlässiger. Kundiges Personal kann an Ort und Stelle rasch Anpassungen oder Instandsetzungen durchführen, und so die Vulnerabilität der betroffenen Anlage verringern. Organisation und Management können also auch in Hinblick auf die hier diskutierte Bewertungsmethodik bedeutsam sein. Beispielweise kann ein gut funktionierender Verband der Wasserversorger in der Region ganz entscheidende Unterstützung bieten, wenn es um fachliches Know-How, um technische oder um personelle Ressourcen geht.

Dennoch wurde bei der Entwicklung dieses Bewertungsmodells ganz bewusst auf die Miteinbeziehung dieser organisatorischen Aspekte verzichtet. Die Bewertung ganzer Organisationen und Organisationsstrukturen, die darüber hinaus überaus unterschiedliche Größen haben können wäre die Basis für eine eigenständige betriebswirtschaftliche Arbeit. Darüber hinaus bleibt es herausfordernd, inwieweit sich die Ergebnisse einer Bewertung der organisatorischen Rahmenbedingungen mit den Ergebnissen einer rein technischen Bewertung verbinden ließen.

[67] Aus Gesprächen mit Verantwortlichen bei den Wiener Wasserwerken bzw. beim Rand Water Board (Johannesburg, Südafrika)

Literatur

Themengebiet Technik, Wasserversorgung und Hochwasser

1 Riedel: Anorganische Chemie, 3. Auflage, De Gruyter, New York (1994)

2 Sigg, Stumm, „Aquatische Chemie – Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und natürliche Gewässer, 3. Auflage, Verlag der Fachvereine, Zürich (1994)

3 DVGW: Lehr- und Handbuch der Wasserversorgung Bd. 1, „Wassergewinnung und Wasserwirtschaft“, Oldenbourg, München (1996)

4 DVGW: Lehr- und Handbuch der Wasserversorgung Bd. 2, „Wassertransport und –Verteilung“, Oldenbourg, München (1999)

5 SVGW: „Richtlinien für Projektierung, Ausführung und den Betrieb von Quellfassungen“, SVGW, Zürich (1988)

6 T. Aichinger: „Aufbereitung von Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung“, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Siedlungswasserbau, Universität für Bodenkultur Wien (1996)

7 H. Patt, „Hochwasser – Handbuch: Auswirkungen und Schutz“, Springer, Berlin (2001)

8 K. Svoboda: „Beeinträchtigung der Wasserversorgung aus oberflächennahen Brunnen durch Hochwasser“, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (2001)

Themengebiet Wasserversorgung und Hochwasser in Entwicklungsgebieten

9 Chleq, Depriez, „Land und Wasser auf der Flucht“, deutsche Übers. d. frz. Originalausgabe „Eau et terres en fuite“, aus der Fachbibliothek für Entwicklungszusammenarbeit in der Abteilung für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz des Instituts für Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft (IWGA-SIG) an der Universität für Bodenkultur, Wien

10 Kalbermatten: “Appropriate Technology for Water Supply and Sanitaion: Technical an Economic Options“, World Bank (1980)

11 Cairncross, Feachern: “Small Water Supplies”, Ross Bulletin No. 10, Ross Institute Information and Advisory Service, London (1978)

12 IRC International Water and Sanitation Service: “Community Self-Improvement in Water Supply and Sanitation”, Training Series No. 5, The Hague (1988)

13 G. Heber: “Einfache Methoden zur Aufbereitung von Trinkwasser”, e. Veröff. Von Dt. Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE, Dt. Gesellschaft für Techn. Zusammenarbeit (GTZ), Braunschweig (1984)

14 Schultz, Okun, „Surface Water Treatment for Development Countries”, Wiley & Sons Ltd., Great Britain (1992)

15 J. Lewis: „Development in Disaster-Prone Places“, Intermediate Technology Publications, London (1999)

16 Christie, Hanlon, “Mozambique and the great Flood of 2000”, Indiana University Press, Bloomington, Indiana/USA (2001)

Andere Themengebiete

17 Jung, Knapp, Schattauer: „Wasserversorgung und Siedlungshygiene – Sektorpolitik der österreichischen Entwicklungszusammenarbeit“, Österreichisches Bundesministerium für äußere Angelegenheiten, Wien (2001)

18 “Coping Study on Risk and Society: Public Perception , Economic Aspects amd Education Needs – An African Perspective”, Online-Dokument [http://www.unisdr.org/unisdr/forum/coping1full.htm], Beitrag zum IDNDR (International Decade for Natural Disaster Reduction) Programme Forum (1999)

19 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): “Climate Change 2001”, Online-Dokument [http://ipcc.ch], UNEP & WMO (2001)