

Aus dem Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Hygiene
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med M. Krönke

**Bakteriologische Trinkwasseranalysen
im ländlichen Raum des Oberen Ouémé Beckens, Benin, Westafrika**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

Vorgelegt von
Alexander Florian Kwaku Sauter
aus Agogo/Ghana

Promoviert am 23. August 2006

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten wurden von mir selbst und mit der freundlichen Unterstützung von Mr. Faruk Mazou und Dr. rer. nat. Dr. med. R.M. Baginski unter Anwendung der im Kapitel Material und Methoden beschriebenen Arbeitsgänge nach entsprechender Anleitung durch Herrn Baginski und Frau Iris Hungenberg erhoben.

Danksagung:

Ich danke

Prof. Dr. med. M. Krönke und Dr. rer. nat. Dr. med. R.M. Baginski für die Überlassung
des Themas und die freundliche Zusammenarbeit.

Den Medizinisch-Technischen-Assistentinnen und Assistenten des IMMIH und
insbesondere Frau Hungenberg für die Einarbeitung in die Grundlagen der
bakteriologischen Diagnostik.

Besonderer Dank gebührt Mona Denzel, sowie den Herrn F. Mazou, G. Fondahoun und
Dr. J. Rybniker für ihre Unterstützung in Parakou.

Frida und Karl Schmidt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Geschichtliche und hygienische Hintergründe	10
1.2	Zu den wasserassoziierten Krankheitserregern	12
1.2.1	Enterobacteriaceae	13
1.2.2	Vibrio cholerae	18
1.2.3	Campylobacter	20
1.2.4	Clostridien	21
1.3	Entwicklungen auf dem Trinkwassersektor in Benin	22
1.4	GLOWA - Globaler Wandel des Wasserhaushaltes	23
1.5	IMPETUS / Westafrika : Integratives Management-Projekt für einen effizienten und tragbaren Umgang mit Süßwasser	24
1.5.1	Teilprojekt A5-4 „Wasser und Infektion“	25
1.5.2	Arbeitsplan	26
2	Zielsetzung und Problemstellung	27
2.1.1	Zur Einbeziehung des Nachweises humanpathogener Erreger	27
3	Material und Methoden	29
3.1	Aufbau der notwendigen Infrastruktur vor Ort	29
3.2	Beschreibung der Einrichtungen	29
3.3	Mobile Laboreinheit	32
3.4	Grundlegende Arbeitsgänge und Ausrüstung	32
3.4.1	Reinhaltung der Räumlichkeiten	32
3.4.2	Reinigen und Sterilisieren der Labormaterialien	32
3.4.3	Herstellung der Nährmedien	33
3.4.4	Entsorgung	33
3.4.5	Validierung	33
3.5	Erfassung der Quellen	35
3.6	Auswahl der zu beprobenden Quellen	36
3.7	Probennahme	36
3.8	Probentransport	37
3.9	Quantitative Analysen	37
3.9.1	Die Koloniezahl – Heterotrophic Plate Count	37
3.10	Qualitative Analysen	40
3.10.1	Verfahren für den Nachweis der einzelnen Erreger	40
4	Ergebnisse	46
4.1	Das Brunnenkataster	46
4.1.1	Die vier Quellenarten	46
4.2	Nachträgliche Erweiterungen	50
4.3	Zu den beprobten Trinkwasserquellen	50
4.3.1	Konsumentenzahlen	52
4.3.2	Mittlere Tiefe	53
4.4	Bakteriologie	53
4.4.1	Die Koloniezahl	53
4.4.2	Nachgewiesene Erreger	57
4.4.3	Bestimmung der Minimale Hemmstoffkonzentration für die Salmonella-Isolate	63
5	Diskussion	65
5.1	Nachträgliche Anmerkungen zur Methodik	65

5.2 Probleme bei der Herausarbeitung möglicher Zusammenhänge zwischen Wasserqualität und Merkmalen der Brunnen	66
5.3 Zur Beziehung zwischen Indikatoren und potentiellen Pathogenen	67
5.4 Bewertung der Wasserqualität anhand der erhobenen Parameter	68
5.5 Unterschiede zwischen den Quellentypen	70
5.5.1 Gründe für den Mangel an funktionsfähigen Pumpen	72
5.6 Die Rolle des Marigotwassers	74
5.7 Unterschiede in den einzelnen Dörfern und Zusammenhänge zwischen Anzahl der Quellennutzer, Wasserqualität und gesundheitlichem Risiko	75
5.8 Maßnahmen	78
5.8.1 Kurzfristige Interventionsmöglichkeiten	78
5.8.2 Bedeutung des Hygienebewusstseins und Gefahr der Haushaltskontamination	80
5.9 Ausblick	82
6 Zusammenfassung	84
7 Literaturverzeichnis	86
8 Anhang	91
8.1 Abbildungsverzeichnis	91
8.2 Tabellenverzeichnis	91
8.3 SPSS-Analysen zu KBE-Zahlen und Quellenarten	92
8.4 Tabellarische Übersicht der beprobten Quellen	95
9 Lebenslauf - Alexander Florian Kwaku Sauter	106

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance between Groups
DANIDA	Danish International Development Agency
DH	Direction de l'Hydraulique
DALYs	Disability adjusted life years
GLOWA	Globaler Wandel des Wasserkreislaufs
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
HELVETAS	Schweizer Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit
HVO	Haute Vallé de l'Ouémé
IMMIH	Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Hygiene der Universität zu Köln
IMPETUS	Interdisziplinäres Management Projekt für einen Effizienten und Tragbaren Umgang mit der Ressource Süßwasser
KBE	Kolonien Bildende Einheiten
KFW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
NGO	Non Governmental
PADEAR	Projet d'Assistance au Développement au secteur de l'Eau potable et de l'Assainissement en milieu Rural
PACEA	Programme d'Appui aux Communes dans le secteur Eau et Assainissement
RKI	Robert Koch Institut
SH	Service de l'Hydraulique
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
VLOM	Village Level Operating and Maintenance
WHO	World Health Organisation

Syntax für die Kurzbezeichnungen der Quellen:

Die Bezeichnung der Quellen erfolgte unter Verwendung der jeweils ersten drei Buchstaben des Dorfnamens gefolgt von einer Nummer für die einzelnen Quellen. Handelt es sich bei der Quelle um eine Pumpe beziehungsweise ein Marigot, wurde zwischen Dorfkenntung und Nummer ein P (Pumpe) oder ein M (Marigot) eingefügt.

1 Einleitung

Die kritische Versorgungssituation eines Großteils der Bevölkerung vieler Entwicklungsländer mit sauberem Trinkwasser und die mit ihr einhergehenden gesundheitlichen, gesellschaftlichen und ökonomischen Probleme, führten dazu, dass die Vereinten Nationen die Achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts zum Jahrzehnt des Wassers deklarierten und sich das hohe Ziel setzten, weltweit für einen Zugang zu risikofreiem Trinkwasser zu sorgen. 1990 wurde jedoch deutlich, dass die Verwirklichung dieses Vorhabens um ein Vielfaches komplizierter und aufwendiger sein würde als man zehn Jahre zuvor noch gedacht hatte. Im darauffolgenden Jahr wurde Peru von einer Choleraepidemie heimgesucht, an welcher innerhalb von nur vier Wochen 70 550 Personen erkrankten. Im Durchschnitt traten über 2500 Neuerkrankungen pro Tag innerhalb einer Bevölkerung von etwa 22 Mio. Einwohnern auf (Barkway, J.A., Simeaut, S.J., 1991). Der vorherrschende Übertragungsweg des Erregers *Vibrio cholerae* ist verschmutztes Trinkwasser.

Auch die im folgenden Jahrzehnt erzielten Erfolge hielten sich in Grenzen, was besonders am Musterbeispiel des afrikanischen Kontinents deutlich wurde, wo der prozentuale Bevölkerungsanteil mit Zugang zu verbesserten Trinkwasserquellen während der Neunziger Jahre nur um fünf Prozent angehoben werden konnte (s. Abb. 1.1, 1.2; www.who.int/docstore/water_sanitation_health/Globalassessment/Global6-2.htm).

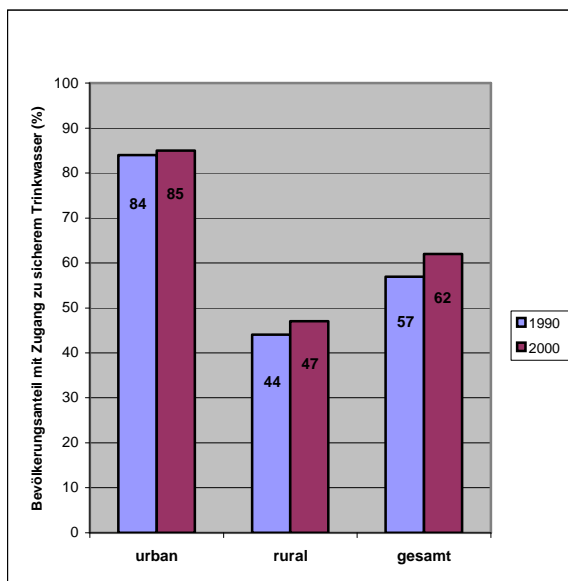


Abb. 1.1: Wasserversorgung in Afrika (%), 1990/2000

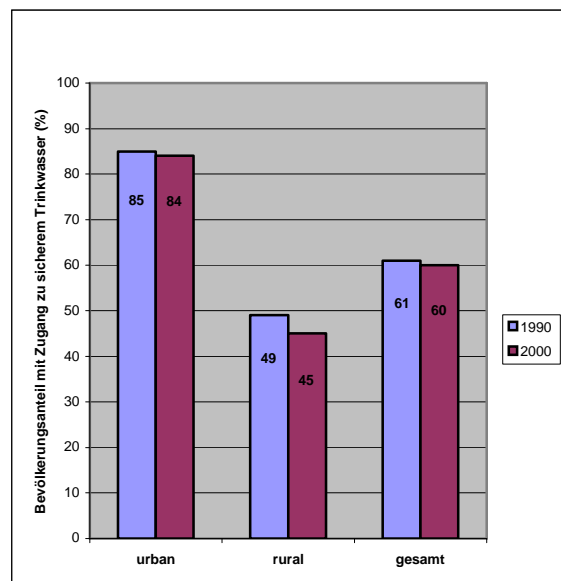


Abb. 1.2: Versorgung mit sanitären Anlagen in Afrika (%), 1990/2000

Noch im Jahr 2000 hatten zwei von fünf Afrikanern keinen Zugang zu gesundheitlich unbedenklichem Trinkwasser. In ländlichen Regionen ist die Versorgungssituation mit ca. 47% noch schlechter (WHO, Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report). Die Versorgung mit Latrinen oder entsprechenden sanitären Einrichtungen ging während desselben Zeitraums sogar zurück. Ein wichtiger Grund für dieses Ausbleiben der angestrebten Erfolge ist mit Sicherheit der unentwegt anhaltende Anstieg der Bevölkerungszahlen - für Afrika wird innerhalb der nächsten 25 Jahre eine Verdopplung der heutigen städtischen Bevölkerung erwartet - in den jetzt schon wasserarmen Ländern, der die Zahl der unterversorgten Menschen, trotz aller Bemühungen immer weiter ansteigen lässt (Abb. 1.3).

Diese Entwicklung führte dazu, dass das WSSCC (Water Supply and Sanitation Collaborative Council) auf dem zweiten Weltwassergipfel in Den Haag im März 2000 die Halbierung der Anzahl der Menschen weltweit, die keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, bis zum Jahr 2015 als festes Vorhaben deklarierte. Bis zum Jahr 2025 soll allen Menschen der Zugang zu sauberem Trinkwasser ermöglicht werden.

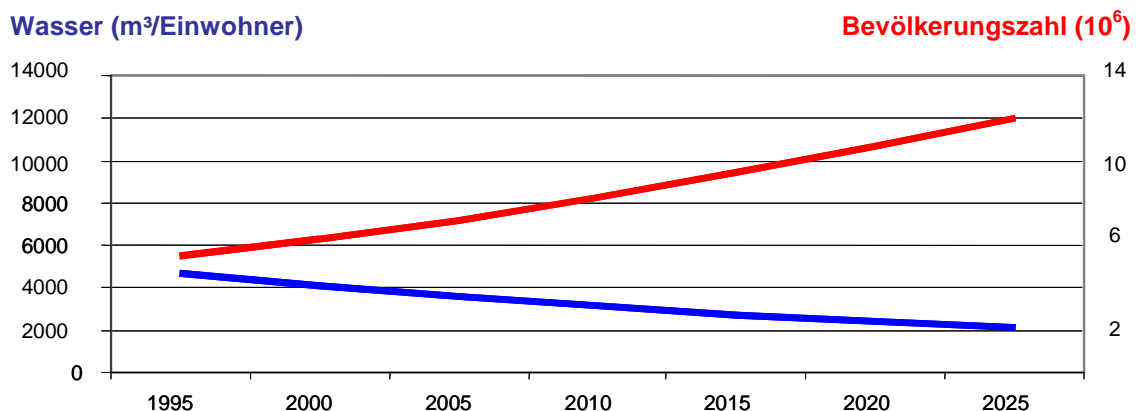


Abb. 1.3: Bevölkerungswachstum und Wasserversorgung pro Kopf in Benin 1995 bis 2025. Erneuerbare Süßwasserressourcen lagen 1995 noch über 4000 m³ pro Kopf und Jahr, eine Menge, die gemeinhin als ausreichend beurteilt wird. Das erwartete Bevölkerungswachstum wird diese Menge bis zum Jahr 2025 auf die Hälfte reduzieren (http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR_chart1_eng.pdf).

1.1 Geschichtliche und hygienische Hintergründe

Über kein anderes Medium können sich Krankheitserreger so rapide in großen Bevölkerungsteilen ausbreiten wie über das Trinkwasser. Bekanntlich erkrankten in Hamburg im Jahre 1892 im Zuge einer Choleraepidemie, die sich ihren Weg von Kabul über Baku, Tiflis, Moskau und St. Petersburg bis ans Ufer der Elbe bahnte, 16956 Menschen an Cholera, von denen 8605 starben. Noch bis zu Beginn des zwanzigsten

Jahrhunderts gab es keine wissenschaftlich begründeten Ansätze für das Verständnis der Mechanismen, die der Entstehung und Ausbreitung derartiger Seuchen zugrunde liegen, was dazu führte, dass man sich irrationale Erklärungsmuster zurechtlegte. Der Ausbruch von Epidemien wurde häufig als Heimsuchung oder göttlicher Fluch betrachtet, dem weder Vernunft noch Vorsicht Einhalt gebieten könnten. Man suchte Sündenböcke, die für Krankheit und Siechtum verantwortlich gemacht und verfolgt wurden, indem man ihnen die mutwillige Vergiftung der Brunnen vorwarf (Gockel, B. 1997).

Erst mit der Aufdeckung der Mikroorganismen als tatsächlichen Ursachen der Seuchen gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts wurde ein zielgerichtetes Vorgehen hinsichtlich ihrer Bekämpfung möglich. In den 50er Jahren stellte John Snow erstmals auf wissenschaftlicher Basis eine Verbindung zwischen der Krankheit Cholera und einem Brunnen in London dar (Rosenberg, C. E., 1962). Kurz zuvor beschrieb Pacini im Jahre 1854 während einer Choleraepidemie in Florenz den kommaförmigen, gram-negativen Erreger, den „Komma-Bazillus“ (Pacini, F., 1854). Zwanzig Jahre lang studierte er das Bakterium und veröffentlichte mehrere Artikel, unter anderem eine Beschreibung der Zerstörung der Dünndarm-Mukosa durch den Erreger. Aufgrund des damaligen Disputes über den kontagiösen Ursprung der Erkrankung und des allgemein vorherrschenden Glaubens an die Bodentheorie Max Pettenkofers wurden seine Erkenntnisse jedoch vorerst ignoriert.

Als der Begründer des hygienischen Fortschrittes gilt Robert Koch, dem auf seinen Expeditionen nach Indien und Ägypten die „Wiederentdeckung“ des Cholera-Erregers gelang und welchem 1905 für seine Arbeiten der Nobelpreis verliehen wurde. Bereits 1892 setzte er seine Erkenntnisse bei der Bekämpfung der Cholera in Hamburg durch den Einsatz von Sandfiltern im zentralen Wasserversorgungsnetz ein (Koch, R., 1893).

In den Industrienationen wird die Qualität des distribuierten Wassers heutzutage mit Hilfe gesetzlicher Regelungen, wie der Trinkwasserverordnung in Deutschland, streng kontrolliert. In vielen entwicklungsbedürftigen Ländern jedoch verfügt nur ein Bruchteil der Haushalte, besonders in ländlichen Gebieten, über Anschluss an zentrale Trinkwasserversorgungsnetze. Genutzt wird vorwiegend Wasser aus lokalen Brunnen, Pumpen und Quellen, dessen Qualität in den meisten Fällen vollkommen unbekannt ist und keinerlei Kontrolle unterliegt. Weltweit haben ca. 1,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, was nach Schätzungen der WHO Ursache für vier von fünf Krankheits- und einen von drei Todesfällen in den betroffenen Ländern ist (BMZ, Materialien, Nr. 099, Sept. 1999). Den Großteil der Fälle bilden Durchfallerkrankungen, von welchen meist Kinder unter fünf Jahren betroffen sind.

1.2 Zu den wasserassoziierten Krankheitserregern

Eine Vielzahl unterschiedlicher Krankheitserreger, zu welchen sowohl Parasiten als auch Bakterien und Viren gehören, können durch Wasser auf den Menschen übertragen werden. Im folgenden Schaubild (Abbildung 1.2.1 ist beispielhaft die Anzahl der Wasserepidemien in Abhängigkeit vom verursachenden Agens unter Einbeziehung chemischer Stoffe in den USA für den Zeitraum zwischen 1971 und 1995 dargestellt. Die Zahl der jeweils Erkrankten ist nicht hervorgehoben.

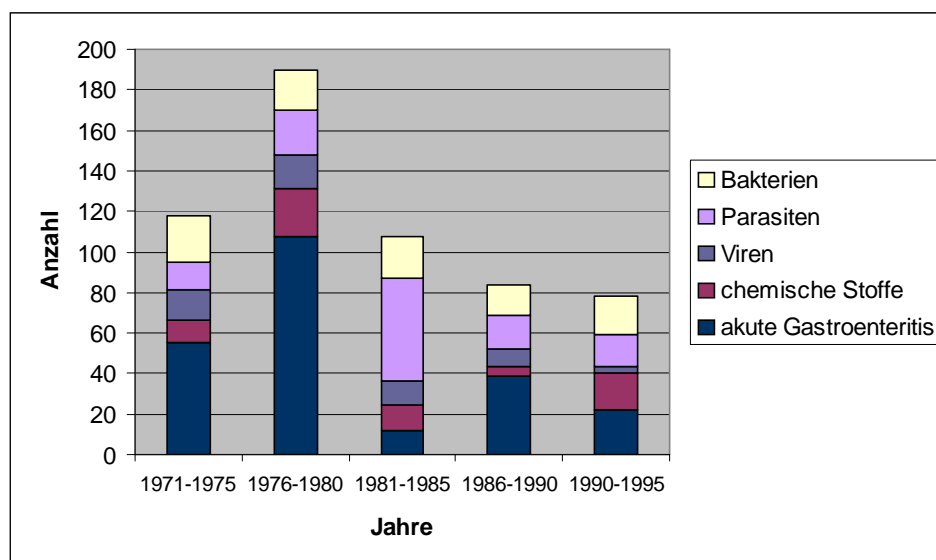


Abb. 1.2.1: Wasserepidemien abhängig vom ätiologischen Agens; 691 Fälle in den USA, 1971 bis 1995 (Quelle: Center for Disease Control, CDC: www.cdc.gov)

Neben den Parasiten und Viren zählen die Erreger der Cholera und des Typhus zu den häufigsten Ursachen von Trinkwasserepidemien. Während mit dem Zurückdrängen von Typhus und Cholera in den entwickelten Ländern Parasiten, vorwiegend Amöbenarten sowie *Giardia lamblia* oder *Cryptosporidium parvum* sowie Rota- und Noro-Viren immer mehr Aufsehen erregen, spielen die bakteriellen Durchfallerreger in Ländern mit niedrigen Hygienestandards weiterhin eine vordergründige Rolle (Grohmann, A., 2000, S. 294, 297).

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Identifizierung der häufigsten Auslöser bakterieller Enteritiden mit hoher gesundheitlicher Signifikanz, die typischerweise über die fäkal-orale Route übertragen und damit als wasserassoziierte, bakterielle Krankheitserreger bezeichnet werden, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Yersinia enterocolitica*, *E. coli*,

Campylobakter spp., *Vibrio cholerae* und *Clostridium spp.*, insbesondere *Clostridium perfringens*, ein Erreger der ebenfalls auf fäkalem Wege ausgeschieden wird und eine hohe Spezifität für fäkale Verunreinigungen besitzt (WHO, Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003; Carlson, S., 2000).

1.2.1 Enterobacteriaceae

Bakterien aus der Familie der Enterobacteriaceae kommen als normale Bewohner des tierischen und menschlichen Intestinaltraktes sowie in der Umwelt vor. Es handelt sich um gramnegative, sporenlose, aerob und fakultativ anaerob wachsende Stäbchenbakterien von 1 bis 6µm Länge und einem Durchmesser von 0,3 bis 1µm, die mikroskopisch nicht voneinander unterschieden werden können. Sie vermehren sich meist auf einfachen Nährböden und bauen Glukose unter Säure- beziehungsweise Säure- und Gasbildung fermentativ ab. Sie sind beweglich und verfügen über eine peritriche Begeißelung. Eine Vielzahl von Enterobacteriaceae-Gattungen können beim Menschen durch den Gebrauch von kontaminiertem Trinkwasser Krankheiten auslösen. Am häufigsten geschieht dies durch Salmonellen, Shigellen und pathogene *E. coli* Stämme (Carlson, S., 2000).

1.2.1.1 Salmonellen

Salmonellen sind oxidase-negative, fakultativ anaerobe, nichtsporenbildende, gramnegative Stäbchenbakterien aus der Familie der Enterobacteriaceae und in unterschiedlichem Maße für Mensch und Tier pathogen. Das Genus *Salmonella* besteht nur aus der Spezies *Salmonella enterica* mit den beiden Subspezies *enterica* und *bongori*. Innerhalb der Spezies *S. enterica* werden aufgrund unterschiedlicher biochemischer Reaktionsmuster sechs Subspecies unterschieden. Die Biovare der Subspezies *enterica* lassen sich momentan nach dem Kauffmann-White-Schema in mehr als 2300 Serotypen einteilen. Aus klinischer Sicht unterscheidet man zwei Gruppen:

A) Typhöse Salmonellen:

Dazu gehören die Serovare der *S. enterica* Subspezies *enterica* mit den Eigennamen S.Typhi und S.Paratyphi A, B und C. Diese Organismen sind streng wirtsadaptiert und kommen als Infektionserreger ausschließlich beim Menschen vor. Nach Invasion der Darmmukosa und deren Blutgefäße erzeugen sie eine generalisierte Infektion mit schwerem Krankheitsbild: Fieber, Benommenheit, Organmanifestationen und sekundäre Darmsymptomatik. In 5% der Fälle werden die Erkrankten zu Dauerausscheidern und

damit potentiell zur unerkannten Kontaminationsquelle von Trinkwasser und Nahrungsmitteln. Hierzu gehören die Serovare *Salmonella Typhi* und *Salmonella Paratyphi A, B und C*. Auch wenn Typhus und Paratyphus in den entwickelten Ländern an Bedeutung verloren haben, so erkrankten weltweit doch weiterhin an die 17 Mio. Menschen daran, von welchen näherungsweise 600 000 den Folgen der Erkrankung erliegen.

B) Enteritische Salmonellen

Die sogenannten Enteritis-Salmonellen hingegen kommen ubiquitär in der Umwelt sowie im Intestinaltrakt von Tier und Mensch vor und erzeugen in der Regel eine lokal begrenzte Infektion des Darms. Sie sind die häufigste Ursache von Gastroenteritiden. Statistisch gehören die Serovare *Salmonella Enteritidis* u. *Salmonella Typhimurium* (Mäusetyphus) in Europa zu den vorherrschenden Spezies. (Bockemühl, J., 1992, S. 138). Neben den beiden oben genannten typischen Enteritis-Salmonellen gelten auch andere *Salmonella* Serovare wie beispielsweise *S. Agona*, *S. Panama* oder *S. Anatum* als typische Erreger von Enteritiden und zeigen deutliche Beziehungen zum Wasser (Schindler, P., 1996).

Nach einer kurzen Inkubationszeit von 1-5 Tagen führen sie typischerweise zu einer lokalen Darminfektion mit Durchfall und teils mäßigem Fieber. Die krankheitsauslösende Dosis ist in der Regel sehr hoch und beträgt mehr als 10^5 KBE. Verminderte Magensaftacidität, voluminöse Speisen, Resistenzminderung und höheres bzw. jüngeres Alter ermöglichen allerdings auch eine Infektion durch geringere Erregerzahlen (10^2 - 10^3). Die Ausscheidung der Erreger mit dem Stuhl erfolgt einige Wochen bis Monate nach dem Abklingen der Symptome. Dauerausscheider sind selten. Ihre Überlebensfähigkeit beträgt im Wasser bis zu 4 Monate.

In der Bundesrepublik zählten die Salmonellosen im Jahr 2000 mit 78184 registrierten Fällen zu den wichtigsten meldepflichtigen Krankheiten. Der Anteil der durch Meldung erfassten Salmonellose-Erkrankungen wird auf 10-20% der tatsächlich vorkommenden Krankheitsfälle geschätzt (Carlson, S., 2000). Der Großteil der wasserassoziierten Krankheitsausbrüche wird mit *Salmonella Typhi* in Verbindung gebracht; weniger häufig wurden andere Serotypen als Agens identifiziert. Als Ursache werden der Konsum von verschmutztem Grund- und Oberflächenwasser, sowie nicht ausreichend desinfizierte Trinkwasserversorgungsanlagen aufgeführt (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003).

Der Nachweis von Salmonellen in Wasser kann auch positiv ausfallen, wenn *E. coli* oder coliforme Bakterien in der Probe zu fehlen scheinen (Carlson, S., 2000).

1.2.1.2 Eschericia coli

Eschericia coli ist die am häufigsten aus dem menschlichen Stuhl isolierte Enterobaktérienspezies und ein normaler Bestandteil der gesunden Darmflora. Bei der mikrobiologischen Beurteilung von Trinkwasser spielt er als spezifischer Indikator fäkaler Verunreinigung neben Enterokokken und Gesamt- bzw. Fäkalcoliformen eine wichtige Rolle. Er gilt als einziger Indikatorkeim, der sich sehr selten bis gar nicht im Wasser vermehrt. Sein Nachweis belegt eine frische fäkale Verunreinigung des Wassers, die laut WHO (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003) nicht akzeptabel ist. Es existieren vergleichsweise einfache und billige Nachweismethoden.

Unter bestimmten Bedingungen können Bakterien dieser Art allerdings ernsthafte Erkrankungen hervorrufen. Pathogene *E. coli* Stämme verursachen Harnwegsinfekte, Bakteriämien, Meningitiden und Durchfallerkrankungen beim Menschen. Kriterien für Pathogenität sind bestimmte Virulenzfaktoren, welche die Grundlage für die Einteilung in vier verschiedene Gruppen, enterohämorrhagische- (EHEC), enteroinvasive (EIEC), enteropathogene- (EPEC) und enterotoxische- (ETEC) *E. coli* Stämme bilden. Weitere durchfallerregende Stämme, wie beispielsweise enteroaggregative- (EAEC) oder diffusely adherent- (DAEC) *E. coli* und andere Zuordnungen existieren, deren tatsächliche klinische Signifikanz derzeit noch unklar und daher nicht generell akzeptiert ist.

E. coli O157:H7 und andere EHEC-Serotypen, die toxinbildende Gene kodieren, verursachen Krankheitsbilder wie milde, unblutige Durchfälle, hämorrhagische Colitis oder Hämolytisch-Urämisches Syndrom. ETEC-Serotypen produzieren ein hitzelabiles oder ein hitzestabiles Exotoxin oder auch beide gleichzeitig und spielen eine wichtige Rolle als Verursacher von Durchfallerkrankungen in Entwicklungsländern, insbesondere bei Kleinkindern. Symptome der Infektion sind milde, wässrige Durchfälle, abdominale Krämpfe, Übelkeit und Kopfschmerzen. Infektionen mit EPEC-Serotypen treten ebenfalls vorwiegend in Drittweltländern unter Kindern und Kleinkindern auf. Ernsthafte, chronische, unblutige Durchfälle, Erbrechen und Fieber resultieren in Unterernährung mit Gewichtsverlust und Wachstumsretardierung. EIEC verursacht wässrige, zum Teil blutige Durchfälle, ähnlich einer Shigellen-Infektion.

1.2.1.3 Shigellen

Shigellen sind die Erreger der bakteriellen Ruhr. Es handelt sich um gramnegative, nicht sporenbildende, unbewegliche Bakterien, die genetisch mit der Gattung *E. coli* verwandt sind (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003). Sie scheinen die am besten adaptierten Erreger bakterieller Enteritiden beim Menschen zu sein. Bei Tieren wurden sie bisher nur bei höheren Primaten nachgewiesen, wo sie sich in intestinalen Epithelzellen ansiedeln. Die Gattung wird anhand ihrer O-Antigene in vier Serogruppen unterteilt: *S. dysenteriae* (Serogruppe A mit 13 Serotypen), *S. flexneri* (Serogruppe B mit 16 Serotypen), *S. boydii* (Serogruppe C mit 18 Serotypen), *S. sonnei* (Serogruppe E, serologisch einheitlich). Zu Krankheitsausbrüchen kommt es häufig bei engem Zusammenleben von Menschen unter unzureichenden hygienischen Bedingungen oder bei unzureichend ausgeprägtem Hygienebewusstsein an Orten, an welchen es menschliche Keimträger gibt. Sie können über Fliegen, Finger, Fäkalien und Lebensmittel übertragen werden. Die Verbreitung über das Trinkwasser kommt vorwiegend in warmen tropischen und subtropischen Regionen vor. Hierzulande kam es 1998 auf einem Zeltplatz im Raum der oberen Donau zum Ausbruch einer fieberhaften Enteritis, ausgelöst durch *Shigella sonnei* (RKI, 1998 a), an welcher 18 von insgesamt 60 Personen erkrankten. Aufgrund von unzureichendem Hygienebewusstsein wurde Trinkwasser, welches ursprünglich aus dem öffentlichen Netz stammte, in einem Vorratsbehälter zwischengelagert, welcher der Sonne ausgesetzt und nicht desinfiziert worden war.

Die infektiöse Dosis ist im Fall der Shigellen sehr gering. Bereits 200 aufgenommene Keime können eine Infektion zur Folge haben. Nach einer Inkubationszeit von 2-5 Tagen kommt es zunächst zu wässrigen und später schleimig-blutigen Durchfällen mit starken, kolikartigen Leibschmerzen, Fieber, schwerem Krankheitsgefühl und häufigem, schmerzhaftem Stuhldrang. Leichtere und atypische Verläufe wurden ebenfalls beobachtet. In der weiteren Entwicklung kommt es zu Dehydratation und toxischen Erscheinungen am zentralen Nervensystem sowie an Herz und Kreislauf, die zum Tode führen können, wobei der Erreger selbst über den gesamten Zeitraum der Erkrankung hinweg im Gastrointestinaltrakt verweilt. Zu einer systemischen Ausbreitung kommt es nur in Ausnahmefällen. Nach ein bis zwei Wochen klingen die Symptome ab. Erreger werden bis zu vier Monate lang ausgeschieden. In manchen Fällen treten in der Folge chronische Krankheitsbilder mit wechselnden Durchfällen oder dem sogenannten „Ruhrreumatismus“ auf, welcher mit schmerzhaften Mono- oder Polyarthritiden einhergeht.

Auch wenn die Ausbreitung des Erregers über den Wasserweg nicht besonders häufig ist, wurden ernstzunehmende Ausbrüche in Verbindung mit Trinkwasser dokumentiert und beschrieben (Alamos, Y., 2000). Die Anwesenheit von *Shigella sp.* im Grundwasser und in anderen Trinkwasserquellen zeigt eine frische Verunreinigung mit menschlichen Fäkalien an. Aufgrund der Ernsthaftigkeit der durch Shigellen verursachten Erkrankungen ist die Verminderung des Risikos solcher wasserassoziierter Ausbrüche von großer Bedeutung für die öffentliche Gesundheit, insbesondere in tropischen Ländern mit niedrigen Hygienestandards.

1.2.1.4 Yersinien

Die Gattung *Yersinia* besteht aus sieben unterschiedlichen Arten innerhalb der Familie der Enterobakterien. Es handelt sich um gramnegative, bei 25°C bewegliche, bei 37°C hingegen unbewegliche Stäbchenbakterien. Die Spezies *Y. enterocolitica* ist in der Lage sich im Wasser bei einer Temperatur von 4°C zu vermehren, verfügt dort über lange Überlebenszeiten und konnte mehrfach aus Umweltproben isoliert werden. Bei diesen Isolaten handelte es sich vorwiegend um apathogene Serotypen, welche gut an Umweltbedingungen adaptiert sind. Als Hauptreservoir der humanpathogenen Serovaren gelten vorwiegend Warmblüter, im europäischen Raum beispielsweise Schweine für O:3 und O:9, mit deren Fäkalien sie in Oberflächenwässer gelangen.

Mit menschlichen Krankheiten in Verbindung gebracht werden die Serotypen O:3, O:5, O:8, O:9, O:13a/b, O:20 und O:21,27 (Robins-Browne R. M., 1997). Infektionen in Verbindung mit dem Konsum von Wasser, das mit Serotyp O:3 kontaminiert war, wurden beschrieben (Waag A. S., 1999). In bestimmten Ländern, wie Neuseeland, zählt *Yersinia enterocolitica*, nach *Salmonella* und *Campylobacter* zu den häufigsten Ursachen akuter und chronischer Gastroenteritiden (Fenwick S. G., 1995). Hierzulande ist er gelegentlich Ursache einer Pseudoappendizitis.

Das hervorgerufene Krankheitsbild entspricht dem einer akuten Gastroenteritis mit Diarrhoe und ist bei Kindern meist stärker ausgeprägt als bei Erwachsenen. Zu den Symptomen zählen Fieber, Kopfschmerz, Lichtempfindlichkeit und Erbrechen. Eine Beteiligung der Augen und Meningitiden können ebenfalls auftreten (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003).

1.2.2 *Vibrio cholerae*

In die Gattung *Vibrio* werden heute gramnegative, oft leicht gekrümmte Stäbchen von 0,5-0,8 x 1,4-2,6 µm Größe einbezogen, die fakultativ anaerob wachsen, katalasepositiv sind und polare bzw. auf festen Substraten auch laterale Geißeln ausbilden. Fermentativer Abbau von D-Glukose und Cytochromoxidasebildung sind von besonderer Bedeutung als Hinweis auf die Gattung beziehungsweise zur Abgrenzung von anderen Bakteriengruppen (Bockemühl, J, 1992, S. 102).

Die Cholera ist als eine der ältesten Infektionskrankheiten der Menschheit seit Jahrtausenden in den Mündungsgebieten der großen Ströme Indiens und Südostasiens endemisch. Sie ist eine klassische, auf dem Wasserweg übertragene Erkrankung. Ihre Erreger vermehren sich am besten bei Temperaturen über 15°C, einem ca. einprozentigen Anteil an gelösten organischen Stoffen und einem Salzgehalt von etwa 10-50 g/L NaCl in ihrer natürlichen Umgebung, dem Wasser. Auch in gemäßigteren Klimazonen sind Vibrionen während der warmen Sommermonate gehäuft in Oberflächenwässern und Flussmündungen anzutreffen.

Als der Erreger der asiatischen Cholera gilt die halophile Spezies *Vibrio cholerae*, eine auf der Basis von biochemischen Tests und DNA-Untersuchungen gut definierte Art, deren Sero- und Biotypen sich in ihrem Infektiositätsgrad allerdings stark unterscheiden: Man *V.cholerae* unterscheidet zunächst u.a. anhand der VOGES-PROSKAUER-Reaktion der Acetoinbildung und der Polymyxin-Resistenz in die Biotypen „klassisch“ und „El Tor“. Beide Biovare tragen das Gruppenantigen O1, das sich wiederum in die Serovare Ogawa (Antigene A,B), Inaba (Antigene A,C) und Hikojima (Antigene A,B,C) unterteilen läßt.

Die sechs großen Seuchenzüge, die zwischen 1817 und 1923 vom indischen Subkontinent ausgehend bis nach Europa vordrangen wurden durch den Biovar *cholerae* Serotyp O1, den Erreger der klassischen Cholera hervorgerufen, der heute allerdings nur noch in Bangladesch in nennenswertem Ausmaß endemisch ist. *Vibrio cholerae* Stämme, denen das Gruppenantigen O1 fehlte, wurden als Non-O1-Vibrionen bezeichnet. Von den bislang bekannten 139 O-Serovaren, wurden ca. 50 als cholerae und damit toxinbildend identifiziert. Das Serovar *Vibrio cholerae El Tor* O139, wurde erstmalig 1992 als Seuchenstamm in Indien isoliert und breitet sich seitdem überwiegend im asiatischen Raum aus. Er gilt neben O1 als zweiter Choleraerreger.

Als Vibrionen mit geringerem pathogenem Potential und Ursache von Gastroenteritiden gelten *Vibrio cholerae non-O1* und *-non-O139*, *V.mimicus*, *V.fluvialis*, *V.parahaemolyticus* und andere, als Wund- und Sepsiserreger *V.parahaemolyticus*, *V.damselae*, *V.alginolyticus* und der oxidase negative *V.metschnikovii*.

Die siebte Pandemie nahm auf Celebes ihren Anfang und wird dem Biovar *Eltor* zugeschrieben. Mehr als 100 Länder waren betroffen, in denen insgesamt mehr als eine Million Fälle, darunter 10 000 Tote, dokumentiert wurden. Dieser Biotyp wurde erstmals 1905 in El-Tor, einer Quarantänestation für Mekkapilger am Roten Meer entdeckt und zu diesem Zeitpunkt nicht als pathogen eingestuft (Raettig, H., 1965, Bockemühl, J., 1992 S. 105).

Die Symptome der Krankheit reichen von leichten bis hin zu schwersten, möglicherweise tödlichen, Durchfällen. Nach einer Inkubationszeit von zwei bis fünf Tagen treten „reiswasserartige Durchfälle“ auf. Die ausgeschiedenen Flüssigkeitsmengen können bis zu 25 Liter/Tag erreichen. Heiserkeit ist häufig das erste Anzeichen der Dehydratation mit Exsikkose und Elektrolytverlust, gefolgt von Muskelkrämpfen, Oligurie und Kollaps. Die Letalität liegt in unbehandelten Fällen der klassischen Cholera bei 60%, bei der von *V. eltor* verursachten Form bei 15-30%. Durch adäquate Substitution kann die Letalität auf unter ein Prozent gesenkt werden.

Von epidemiologischer Bedeutung sind die Widerstandsfähigkeit der Vibrionen und ihre hohen Vermehrungsraten unter günstigen Bedingungen. Im feuchten Milieu bleiben sie unter Umständen bis zu mehreren Wochen lang vermehrungs- oder lebensfähig. Auch in Lebensmitteln kann eine Replikation stattfinden. Ihre Anwesenheit im Trinkwasser korreliert deshalb nicht immer mit der Nachweisbarkeit von Fäkalindikatoren (Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, S. 9-92, 9260 A).

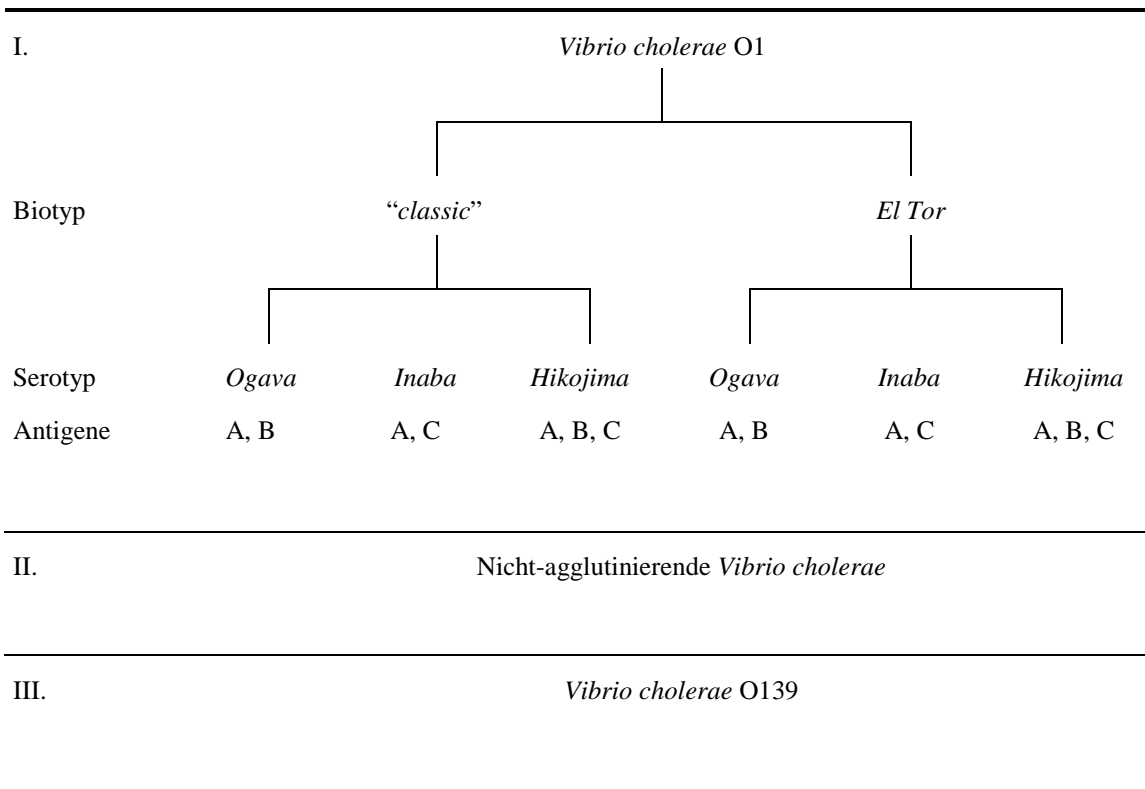


Abb. 1.2.2: Nomenklatur von *Vibrio cholerae*

1.2.3 Campylobacter

Campylobacter sind mikroaerophile, capnophile, polar begeißelte, gekrümmte Spiralbakterien. Sie zählen zu den wichtigsten Ursachen akuter Gastroenteritiden weltweit. Unter ihnen ist *Campylobacter jejuni* der wichtigste humanpathogene Vertreter und das am häufigsten aus Patienten mit akuten Durchfallerkrankungen isolierte Bakterium überhaupt. Es wird für 80% aller Bakteritiden in Entwicklungsländern verantwortlich gemacht. Die Infektionsdosis ist sehr niedrig: Bereits 1000 Bakterien können zum Ausbruch der Erkrankung führen. Kinder und insbesondere Kleinkinder sind häufiger und schwerer betroffen als Erwachsene. Die Inkubationszeit beträgt in etwa zwei bis vier Tage. Symptome sind krampfartige Abdominalschmerzen, Durchfall, Fieber und Schüttelfrost. In den meisten Fällen ist die Erkrankung selbstlimitierend. Zu den selteneren, sekundären Manifestationen einer Infektion mit *C. jejuni* zählen septische Arthritiden, Meningitiden, Proktokolitiden und das Guillain-Barré Syndrom (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality 2003; Kuroki, S., 1991).

Verschiedene Campylobakter-Arten können aus den unterschiedlichsten Umgebungen isoliert werden, aber allen gemein scheint eine Besiedelung des Darmes von Haus- und Nutztieren, wie Katzen, Hühnern und anderen Vögeln zu sein. In Entwicklungsländern wurden im Gegensatz zu Industrieländern bis zu 30% menschliche Keimträger beobachtet

(Carlson, S., 2000). Die Übertragung auf den Menschen erfolgt vorwiegend über infizierte tierische Nahrung oder mit Fäkalien kontaminiertes Wasser. Weltweit wurde mehrfach über wasserassoziierte Ausbrüche von Campylobakteriosen berichtet, vorwiegend allerdings in kälteren Regionen, wobei ein starker Zusammenhang zwischen Erkrankung und Konsum von kontaminiertem Wasser herausgearbeitet werden konnte (Tauxe R. V., 1992; Vogt R. L., 1982).

1.2.4 Clostridien

Sulfitreduzierende Clostridien, je nach systematischer Definition auch als sulfitreduzierende, sporenbildende Anaerobier bezeichnet, sind grampositive, anaerob wachsende Stäbchenbakterien, welche die Fähigkeit zur Sporenbildung besitzen und, aufgrund ihrer starken Widerstandsfähigkeit gegenüber pH-Wert, UV-Strahlung, Temperatur (manche Sporen überleben mehr als eine Stunde lang in kochendem Wasser) sowie Trinkwasseraufbereitungsmaßnahmen und Desinfektion, in der Umwelt weit verbreitet sind. Ihre Sporen finden sich nicht nur regelmäßig in Abwässern, sondern auch in Böden und Gewässersedimenten. Der humanmedizinisch bedeutendste Vertreter, *Clostridium perfringens*, ist normalerweise in menschlichen Fäkalien vorhanden, wenn auch in geringerer Zahl als *E. coli*. In größerer Zahl findet er sich im Gastro-Intestinal-Trakt bestimmter Tiere, beispielsweise von Hunden. Bei anderen Warmblütern wiederum kann er vollständig fehlen. Sein Nachweis kann auf eine Verunreinigung fäkaler Art hinweisen. Er gilt als zuverlässiger Indikatorkeim für das Überleben von Viren und Zysten oder Oozysten von Protozoen in Oberflächenwasser. *Clostridium perfringens*, vorwiegend Typ A, ist eine der bedeutendsten Ursachen menschlicher Lebensmittelvergiftungen. Nach der Aufnahme von Lebensmitteln, namentlich Leguminosenkonserven und verdorbenem rotem Fleisch und Geflügel, in welchen eine anaerobe Vermehrung der Bakterien stattgefunden hat, kommt es innerhalb von 7-15 h zu heftigen, wässrigen Durchfällen, begleitet von abdominalen Krämpfen und starken Schmerzen, im Normalfall ohne Fieber und Erbrechen. In den meisten Fällen klingen Symptome und Krankheit innerhalb etwa eines Tages selbstlimitierend ab. Medikamentengabe ist selten notwendig. Fatale Ausgänge sind auf immunsupprimierte, vorwiegend ältere und sehr junge Patienten beschränkt und selten. Typ C verursacht eine nekrotisierende Enterokolitis. Neben der beschriebenen Lebensmittelvergiftung ist *C. perfringens* außerdem verantwortlich für 60-80% aller Gasbranderkrankungen weltweit, einer lebensbedrohlichen Wundinfektion, bei welcher es unter Gas- und Bakterientoxinbildung zu einer fortschreitenden

Gewebsdestruktion kommt. (www.m-ww.de/kontrovers/abc_waffen/gasbrand.html, Schulze, E. 1996).

Zu weiteren Gas- und den veterinärmedizinische interessanten Rauschbranderregern werden *C.novyi*, *C.histolyticum*, *C.septicum* und *C.sordellii* gerechnet.

1.3 Entwicklungen auf dem Trinkwassersektor in Benin

In Benin, wie in vielen anderen Entwicklungsländern, war die Versorgung der Dörfer mit Wasser über Jahre hinweg vorwiegend zentral organisiert, was nicht nur aufwendig, kostspielig und letzten Endes ineffizient war, sondern auch zur Folge hatte, dass die Dorfbewohner sich an eine passive Nutzerrolle gewöhnten und die Entwicklung eines Verantwortungsgefühls für die, von ihnen so dringend benötigten Anlagen, ausblieb. Hinzukamen ein Mangel an finanziellen Ressourcen, das teilweise bereits sehr hohe Alter der Anlagen, und in einigen Fällen Diebstahl und Vandalismus, was dazu führte, dass viele Wasserquellen mit der Zeit unbrauchbar wurden. Nachdem die Regierungen hiermit an der Nachhaltigkeitshürde gescheitert waren, entwickelten zu Beginn der Neunziger Jahre viele Länder mit Unterstützung verschiedener NGOs neue Strategien, die eine Übertragung der Zuständigkeiten für die Wasserversorgung auf die Ebene der jeweiligen Kommunen anstrebten, mit dem Ziel, den Sinn für Selbstorganisation und -finanzierung zu fördern und innerhalb der Dörfer ein Verantwortlichkeitsgefühl entstehen zu lassen, das die Instandhaltung der errichteten Anlagen sichern sollte.

1.3.1.1 Die « Nouvelle Stratégie »

1992 wurde die „Nouvelle Stratégie de l'Alimentation en eau potable et de l'Assainissement en milieu rural“ (AEPA) auf den Plan gerufen, die mit Hilfe des PADEAR (project d'assistance au développement du secteur de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement en mileu rural) und finanziert von Weltbank, DANIDA, GTZ und KFW verwirklicht wird. Im wesentlichen sollen durch eine Stärkung der Rolle der Kommunen die Entscheidungsprozesse bei der Wahl der Quellenart dezentralisiert werden, um mit den neu installierten Anlagen den reellen Ansprüchen der Nutzer besser gerecht zu werden und womöglich auftretende Probleme noch vor der Realisierung identifizieren und bearbeiten zu können. Ein ernsthaftes Engagement und Interesse der Kommunen soll durch eine Beteiligung an den, so niedrig wie möglich gehaltenen, Kosten für Installation und Instandhaltung der Pumpen sichergestellt werden. Der Bau von Latrinen für die Haushalte

soll komplett von den Nutzern finanziert werden. Der Staat soll dem privaten Sektor in Gestalt von NGOs und untereinander konkurrierenden Unternehmen die zentrale Rolle bei der Ausführung der anfallenden Arbeiten überlassen. Mit Hilfe von Schulungen und großangelegten Marketingaktionen soll außerdem innerhalb der Bevölkerung ein Bewusstsein für Hygiene und entsprechendes Verhalten gefördert und die Installation sowohl öffentlicher als auch privater Latrinen vorangetrieben werden.

Im Zuge dieses Projektes wurden in Benin zwischen 1996 und 2000 insgesamt 1198 VL0M-Pumpen (Village Level Operating Maintenance), 303 moderne Brunnen, 86 dörfliche Wasserleitungssysteme errichtet und 1057 Pumpen renoviert.

1.4 GLOWA - Globaler Wandel des Wasserhaushaltes

Die vorliegende Arbeit ist eingebettet in GLOWA („Globaler Wandel des Wasserhaushaltes“), ein global angelegtes, anwendungsorientiertes Dachprojekt, dessen Ziel die Entwicklung integrierter Strategien für eine nachhaltige und vorausschauende Bewirtschaftung von Wasser und Gewässern im regionalen Maßstab, unter Berücksichtigung globaler ökosystemarer Zusammenhänge und sozio-ökonomischer Rahmenbedingungen ist.

Auf der Basis verschiedener Flusseinzugsgebiete, sollen über Fallstudien unterschiedlicher Komplexität hinsichtlich Wasserverfügbarkeit, Qualität und Verteilung der Ressourcen die Kernfragen und Detailparameter des globalen Wandels des Wasserkreislaufes ermittelt und interdisziplinär untersucht werden. Kernthemen sind:

- Die natürliche und anthropogene Niederschlagsvariabilität und ihr Einfluss auf den Wasserkreislauf.
- Die Wechselwirkungen zwischen Wasserkreislauf, Biosphäre und Landnutzung.
- Die Wasserverfügbarkeit, Wasserqualität und Nutzungskonflikte, für die die Bevölkerungsentwicklung, Urbanisierung, Migration, Industrialisierung, die damit einhergehenden Veränderungen der Ansprüche an Verfügbarkeit und Qualität der Ressource, sowie Wechselwirkungen zwischen Verfügbarkeit, Qualität, Verteilung und der Gesundheit der betroffenen Menschen eine zentrale wissenschaftliche Rolle spielen.

Entsprechend der Auswahl an Flusseinzugsgebieten, die sich am Klimagradienten orientiert, umfasst der Förderschwerpunkt folgende Verbundvorhaben: GLOWA-Danube

(Deutschland, Österreich), GLOWA-Elbe (Deutschland, Tschechien), GLOWA Jordan River (Israel), GLOWA-Volta (Ghana) und GLOWA-IMPETUS (Marokko: Drâa, Benin: Ouémé).

1.5 IMPETUS / Westafrika : Integratives Management-Projekt für einen effizienten und tragbaren Umgang mit Süßwasser

Im Projekt der Universitäten Köln und Bonn untersuchen Wissenschaftler verschiedener Disziplinen, von Meteorologen über Agrarwissenschaftler bis hin zu Soziologen und Medizinern alle wesentlichen Aspekte des hydrologischen Kreislaufs zweier Flusseinzugsgebiete: des Drâa, nördlich der Sahara im Atlasgebirge (Marokko) und des Ouémé (Benin), eines typischen Flusseinzugsgebietes wechselfeuchter Randtropen, südlich am Golf von Guinea gelegen. Ziel ist es, aus den erarbeiteten Daten Informationen für nachhaltige Lösungsansätze abzuleiten.

Die Auswahl der beiden Flusseinzugsgebiete erfolgte aufgrund meteorologischer Fragestellungen und Rechnungen, welche Zusammenhänge zwischen Klima und Niederschlägen in Europa und Nord- beziehungsweise Subsahara-Afrika, sowie zwischen den seit den 70er Jahren anhaltenden Dürreperioden nördlich und südlich der Sahara vermuten lassen (Ward, M. N., 1998, Grötzner, A., 1998, Gray, W. M., 1997, Marshall, J., 1997). Im Vergleich mit vielen Nachbarstaaten bieten beide Länder, aus politischer und gesellschaftlicher Sicht, ein relativ hohes Maß an Sicherheit und Stabilität für die Forschungsarbeiten vor Ort.

Innerhalb des Flusseinzugsgebietes des Ouémé wurde in Nordbenin ein circa 100 x 100 km² großes Fenster im Haute Vallée de l’Ouémé (HVO) ausgewählt, auf welches sich die Mehrzahl der geplanten Untersuchungen der Messphase konzentrieren.

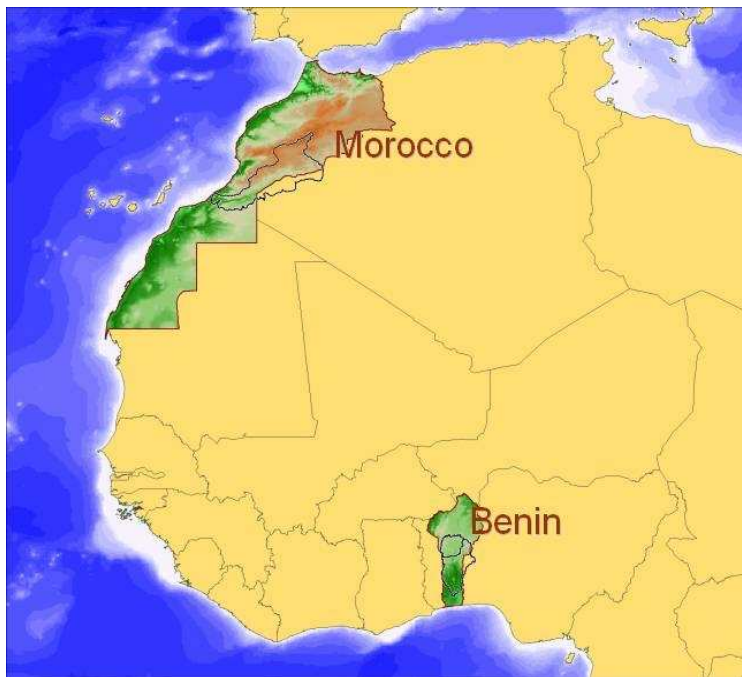


Abb. 1.5.1: Westafrika mit den Forschungsgebieten in Marokko nördlich und Benin südlich der Sahara



Abb. 1.5.2: Benin mit dem HVO um Parakou, Djougou und Bassila

1.5.1 Teilprojekt A5-4 „Wasser und Infektion“

Das Teilprojekt A5-4 „Wasser und Infektion“ konzentriert seine Arbeit auf dieses Forschungsgebiet, da hier ein Mangel an verlässlichen wasserepidemiologischen Daten bezüglich der fäkalen Verunreinigung des Wassers und der, durch diese verursachten bakteriellen Infektionskrankheiten, sowie an Daten bezüglich des Hygieneverhaltens der dörflichen Bevölkerung herrscht. Sanitärinspektionen und Überwachung der Trinkwasserqualität sind nicht zuletzt aufgrund des Fehlens zentraler Trinkwasserversorgungsnetze in den ländlichen Regionen schwer realisierbar und um ein Vielfaches lückenhafter als im Forschungsgebiet in Marokko. Wie aus Tabelle 1.4.1 abgelesen werden kann, entsprach der Prozentsatz der Bevölkerung mit Zugang zu verbesserten Trinkwasserquellen in der Republik Benin mit 63% (in ländlichen Regionen nur 55%) im Jahr 2000 weitgehend dem afrikanischen Durchschnitt von 62%. Die Verfügbarkeit sanitärer Einrichtungen lag mit 23% (nur 6% in den ländlichen Regionen) sogar weit unter dem afrikanischen Durchschnitt von 60%. Marokko hingegen liegt in beiden Bereichen weit über den afrikanischen Durchschnittswerten.

Tab. 1.5.1: Versorgung mit Trinkwasser in Benin und Marokko, 1990 und 2000, global water supply and sanitation assessment 2000 report, WHO

Land	Jahr	Gesamtbevölkerung (tausend)	Städtische Bevölkerung (tausend)	Ländliche Bevölkerung (tausend)	Städtische Wasserversorgung (%)	Ländliche Wasserversorgung (%)	Wasserversorgung gesamt (%)
Benin	1990	4 660	1 607	3 053			
	2000	6 097	2 577	3 520	74	55	63
Marokko	1990	23 932	11 543	12 389	94	58	75
	2000	28 350	15 902	12 448	100	58	82

1.5.2 Arbeitsplan

Das Vorhaben des Workpackage A5-4 war in drei aufeinander folgenden Abschnitten angelegt: Nach Aufbau des Labors in Parakou und der Etablierung der bakteriologischen Analytik wurde zunächst die Exploration und Kartierung der Gewässer- und Wasserentnahmestellen im Ouèmè-Gebiet begonnen. In der zweiten Phase wurde nach Festlegung der Inspektionsrouten die Probennahme und -analyse mit gleichzeitiger Erfassung der jeweiligen Quellencharakteristika (a), die Sanitärinspektion (b) und die Vor-Ort-Erhebung der epidemiologischen Situation (c) durchgeführt. Im dritten Schritt erfolgt, nach der Zusammenführung der Daten aus diesen drei Quellen, deren wissenschaftliche Bewertung. Die vorliegende Studie versteht sich als Pilotstudie der Phasen 1 und 2a).

Um die Region möglichst zeitnah von den Ergebnissen des Projektes profitieren zu lassen, wurde in der Forschungsinitiative Wert darauf gelegt, die staatlichen, traditionellen und privaten beninesischen Institutionen durch eine intensive Zusammenarbeit zu stärken und den Aufbau wissenschaftlichen „Know-Hows“ zu fördern. Nachwuchsforschern aus Benin und Marokko wurden Aufenthalte als Gastwissenschaftler an den Universitäten in Köln und Bonn ermöglicht. Die während der Projektlaufzeit errichtete wissenschaftliche Infrastruktur, wie die Laboreinheiten auf dem Grundstück der Direction de l’Hydraulique in Parakou, werden nach Ablauf des Projektes einheimischen Initiativen zur Verfügung gestellt.

2 Zielsetzung und Problemstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beurteilung der bakteriologischen Belastung des Trinkwassers im Catchment (Oberen Ouémé) und der Abschätzung des hieraus resultierenden Infektionsrisikos für den Erwerb wasserbürtiger Infektionskrankheiten, sowie die Bewertung verschiedener Kontaminationswege anhand unterschiedlicher Wassernahmetechniken und baulichen Charakteristika der beprobten Wasserquellen. Im Anschluss an die Auswertung der erhaltenen Ergebnisse und im Vergleich mit anderen Studien soll der Versuch unternommen werden, Interventions- und Präventionsmaßnahmen im Sinne einer Verbesserung der aktuellen Situation zu formulieren.

2.1.1 Zur Einbeziehung des Nachweises humanpathogener Erreger

Zum Thema bakterieller Verunreinigung von Trinkwasserquellen in Entwicklungsländern liegen zahlreiche Studien vor. Diese beschränken sich jedoch in den meisten Fällen auf den Nachweis von Fäkalstreptokokken, fäkalen und totalen Coliformen oder der Spezies *Escherichia coli*, als Indikatoren von Verunreinigungen fäkalen Ursprungs (Ogan, M. T. 1989, Blum, D., 1987, Kravitz, J. D., 2000). In einigen Studien wurden diese Indikatoren genauer identifiziert, wobei neben *E.coli* die Anwesenheit verschiedener opportunistischer Krankheitserreger wie beispielsweise *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia marcescens*, *Proteus vulgaris* und *mirabilis*, *Citrobacter spp.*, sowie Pseudomonaden und Aeromonaden nachgewiesen werden konnte (Ramteke, P. W., 1992, Hagler, A. N., 1986, Lavoie, M. C., 1983).

Versuche, Bakterien mit hohem pathogenem Potential, wie *Salmonella Typhi* und *S. Paratyphi*, *Shigella sonnei* oder *Vibrio cholerae*, in Brunnenwasser gezielt flächendeckend nachzuweisen, sind, insbesondere in Entwicklungsländern, spärlich dokumentiert und weitgehend auf Outbreak-Situationen beschränkt (Swaddiwudhiong, W., 1995, 1995, Vogt, R. L., 1982). Der Grund für diesen Mangel an Daten liegt in dem beträchtlichen Aufwand und den selten erzielten Erfolgen.

Dass die Anwesenheit pathogener Bakterien nicht durchweg mit der Nachweisbarkeit von Indikatoren korreliert, ist verschiedentlich belegt (Townsend, S. A., 1992, Maranzano, M., 1997, Wright, R. C., 1989, Robertson, W. J., 1983, Aryanitidou, M., 1997, de Souza, L. C., 1992). Die üblichen in Industrienationen verwendeten Indikatormethoden bieten möglicherweise ein zu grobes Raster für bakteriologisch-deskriptive Studien und Voraussagen zur Relevanz der Trinkwasserqualität bezüglich der Volksgesundheit in

subtropischen Entwicklungsländern wie Benin (Dagendorf, F., 2003, Mertens, T. E., 1990, Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, 9260 A., Ramteke, P. W., 1992, Evison, L. M., 1988, Collet, E., 1953, Seligman, R., 1965, Müller, H. E., 1979) und schließen diese Erreger in der Regel nicht explizit ein.

Wir gehen davon aus, dass unter den bestehenden hygienischen Bedingungen in den ländlichen Regionen von Entwicklungsländern, bei entsprechend hohen Umgebungstemperaturen und Nachweisraten für Fäkalindikatoren von je nach Studie bis zu 100% (Mascher, F., 1987), nicht nur Indikatorbakterien, sondern auch humanpathogene Erreger im Wasser anwesend und nachweisbar sind.

Von der Erweiterung der Analysen durch die Einbeziehung des Nachweises von Pathogenen versprechen wir uns eine verbesserte Darstellung der bakteriologischen Trinkwassersituation im HVO.

3 Material und Methoden

Im Hinblick auf den vom Projekt angestrebten, longitudinalen Aspekt der Analysen und die erwünschte Zusammenarbeit mit einheimischen Mitarbeitern, wurde Wert darauf gelegt, Methoden zu wählen, die möglichst mit den lokal verfügbaren Mitteln durchführbar sein würden.

3.1 Aufbau der notwendigen Infrastruktur vor Ort

Auf dem Grundstück des Service de l'Hydraulique (SH) wurden in Parakou verschiedene Räumlichkeiten renoviert beziehungsweise neu errichtet, die IMPETUS für die Dauer des Projektes vor Ort frei zur Verfügung gestellt wurden und nach Ablauf des Projektes in die Hände des SH übergehen sollen. Darunter befinden sich auch die Laborräume, in denen die virologischen, bakteriologischen und chemischen Analysearbeiten durchgeführt wurden.

Bis auf wenige Ausnahmen wurden sämtliche Einrichtungs- und Ausrüstungsgegenstände eines mikrobiologisch-diagnostischen Labors (inklusive Arbeitsplatten und Laborstühlen) per Container auf dem Seeweg aus Deutschland eingeführt.

3.2 Beschreibung der Einrichtungen

Das Labor besteht aus drei Räumen. Im ersten und größten befinden sich zwei Kühlschränke zur Lagerung von Nährböden und Medien, das Waschbecken mit der Umkehrosmoseanlage (RO103-TDS, Kleinhez) zur Bereitstellung von deionisiertem Wasser für die Herstellung der Medien und die Reinigung der Geräte. Für die Präparation der Kulturmedien wurde ein Dampftopf aufgestellt, in dem die Kulturmedien in Lösung gebracht wurden, ferner ein Kühlinkubator (MIR-153, Sanyo) untergebracht. Zur Dokumentation der Laborresultate wurde in diesem Raum ein Computer installiert, an welchem Felddaten eingegeben, die Daten mit den Kollegen anderer Teilprojekte korreliert werden und an das Heimatlabor am IMMIH transferiert werden können.

Im zweiten Raum befinden sich zwei Arbeitsplätze mit Bunsenbrennern, Heizrührern, einer Zentrifuge (Biofuge primo, Heraeus), einem Mikroskop (3455-Kolleg, AXB Eschenbach) und einer Präzisionswaage (Sartorius), von welchen einer für die virologischen Arbeiten am portablen Aufkonzentrierungskoffer genutzt wird. Er verfügt über eine Klimaanlage und eine Fensterisolierung gegen eindringende Staubpartikel. Um

eine möglichst konstant saubere Arbeitsatmosphäre zu bewahren halten sich in diesem Bereich ausschließlich Labormitarbeiter auf.

Der dritte Raum ist für Arbeitsgänge vorgesehen, die eine weitgehend sterile Atmosphäre erfordern und in hiesigen Laboratorien unter der Sicherheitswerkbank durchgeführt werden, wie das Gießen der Blutagarplatten und ähnliches. Er ist mit Bunsenbrenner, Heizrührer, einem Autoklaven (Varioklav, H+P Labortechnik GmbH) und einer eigenen Klimaanlage ausgestattet. Hier werden Materialien sterilisiert, gelagert und Nährmedien autoklaviert.

Die Ausstattung des Labors beschränkt sich auf das für die Durchführung der geplanten Studie notwendige Inventar. Gleichzeitig stellt sie eine Grundausrüstung dar, auf deren Basis mit geringem Aufwand auch erweiterte Analysen (z.B. Most Probable Number (MPN), Membranfiltertechnik und photometrische Wasseranalytik) durchführbar werden.



Abb. 3.2.1: Der erste Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de l'Hydraulique in Parakou



Abb. 3.2.2: Der zweite Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de l'Hydraulique in Parakou mit der mobilen Konzentrationseinheit für die virologischen Analysen (unter dem rechten Fenster)



Abb. 3.2.3: Der dritte Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de L'Hydraulique in Parakou

3.3 Mobile Laboreinheit

Um eine zeitgemäße Verarbeitung der genommenen Proben zu ermöglichen, ohne jede einzelne direkt nach der Entnahme in das stationäre Labor in Parakou überführen zu müssen, wurde noch in Deutschland ein mobiles Labor in einem Lastkraftwagen eingerichtet. Es handelt sich hierbei um einen mit Kühltruhe, Brutschrank und dem nötigen Arbeitsraum ausgestatteten Mercedes Unimog 404 S, welcher über eine auf dem Dach montierte Solaranlage mit Strom versorgt wird.

3.4 Grundlegende Arbeitsgänge und Ausrüstung

3.4.1 Reinhaltung der Räumlichkeiten

Um die Anzahl der Mikroorganismen auf Arbeitsflächen und im gesamten Laborbereich möglichst gering zu halten und Kontaminationen zu vermeiden, wurden verschiedene Hygienerichtlinien entworfen.

So darf das Labor beispielsweise nur mit Laborkittel und Sandalen betreten werden, die wiederum ausschließlich innerhalb der Laborräume getragen und am Ende eines Arbeitstages gründlich gereinigt werden. Sämtliche Arbeitsflächen werden täglich beziehungsweise nach Nutzung oder Verunreinigung mit Incidin (0,5 %) gereinigt, die Gerätschaften mindestens einmal wöchentlich.

3.4.2 Reinigen und Sterilisieren der Labormaterialien

Einwegmaterialien müssen nicht nur entsorgt, sondern auch ständig neu beschafft werden. Da dies am Standort in Parakou unter den Bedingungen in Westafrika mit erheblichem organisatorischem Aufwand und enormen Kosten verbunden ist, beschränkten wir uns nach Möglichkeit auf wiederverwendbare Artikel.

Gebrauchte wiederverwendbare Gegenstände wurden mit kontaminiertem Inhalt im Varioklaven - Programmablauf: Müll - bei 121°C autoklaviert. Die Reinigung erfolgte mit handelsüblichen Spülmitteln und heißem Wasser, gefolgt von einer abschließenden Klarspülung mit VE-Wasser aus der Umkehrosmose-Anlage.

Die sauberen Materialien wurden getrocknet und wiederum im Varioklaven - Programmablauf: Geräte - bei 121°C 20 Minuten lang autoklaviert.

Sterile Gegenstände wurden innerhalb von zwei Wochen verbraucht oder erneut autoklaviert.

3.4.3 Herstellung der Nährmedien

Verwendet wurden Trockennährmedien der Firmen OXOID und Merck. Die Medien wurden in dicht verschlossenen Behältern trocken und im Dunkeln bei Raumtemperatur gelagert. Die Verarbeitung richtete sich nach den Vorschriften des jeweiligen Herstellers.

Für die Zubereitung wurden Laborglasflaschen mit Schraubverschluss (250ml – 500ml) verwendet. Hitzebeständige Medien wurden im Varikoklaven autoklaviert. Hitzeempfindliche Zusätze wie Schafsblut und Antibiotika wurden im nachhinein unter sterilen Bedingungen hinzugefügt und gelöst. Hitzeempfindliche Medien (Bsp: Selenit-Cystin-Bouillon) wurden mit Mundschutz und Handschuhen unter sterilen Bedingungen angesetzt und bei zulässiger Höchsttemperatur im Dampftopf gelöst.

Jede Charge wurde mit Hilfe von 48h lang inkubierten Kontrollen auf Sterilität überprüft.

Die Agarplatten wurden in Plastikfolie eingeschweißt, mit Datum und Namen versehen und im Kühlschrank aufbewahrt. Gefüllte Reagenzröhrchen und Anreicherungsgefäße wurden geschlossen im Kühlschrank gelagert. Die Verwendung der Böden und Medien erfolgte innerhalb des vom Hersteller empfohlenen Zeitraumes.

3.4.4 Entsorgung

Kontaminierte Medien sowie Einwegartikel wurden in verschließbaren Containern gesammelt und auf dem Grundstück des DH unter Aufsicht vollständig verbrannt. Flüssigkeiten wurden vor der Entsorgung bei 121°C fünfzehn Minuten lang autoklaviert.

3.4.5 Validierung

3.4.5.1 Überprüfung Haltbarkeit der Keime im Transportmedium bei Zimmertemperatur

Um den Stichagar, der für den Transport der isolierten Bakterien ins IMMIH der Universität Köln dienen sollte, zu testen, wurden noch in Köln Stämme der zu isolierenden Bakterienarten von Blut- oder Endoagar auf Stichagar in 5ml Schraubröhrchen transferiert, bei 37°C 12h lang inkubiert und danach in Zimmertemperatur belassen. Die Röhrchen, die mit *Campylobacter*- oder *Clostridien*-Spezies beimpft wurden, wurden mit Paraffinöl verschlossen. Nach 14 Tagen erfolgte ein Ausstrich auf Blut-, Endo- und McConkey-Agar, welcher wiederum 24h lang bei 37°C inkubiert wurde. Alle Stämme, bis auf *Vibrio cholerae* und *Campylobacter jejuni*, hatten die zwei Wochen bei Zimmertemperatur auf Stichagar überstanden. Die Choleravibrionen ließen sich mit Hilfe

klassischer Differenzierungsmethoden und des Api20E-Systems bis auf Speziesebene vor Ort in Parakou zuverlässig identifizieren, was das Transportproblem akzeptabel machte.

Aufgrund der hohen Nährmedien- und Milieuansprüche der Campylobacter-Spezies, die eine Überführung der Keime nach Köln kompliziert machte, wurde die bei E. Schulze „Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen“ im Kapitel 3.10.1.6 beschriebene, weitgehend vor Ort durchführbare Diagnostik verwendet.

3.4.5.2 Gerätefunktion und sterile Herstellung der Nährmedien

In mehreren Probedurchläufen erfolgte eine Funktionsprüfung der Medienherstellung mittels positiver und negativer Kontrollen.

3.4.5.3 Wachstumsverhalten der Vergleichskeime auf den vor Ort hergestellten Medien, Gramfärbeverhalten, Oxidase-/Katalasereaktion, Objektträgeragglutination

Die mitgebrachten Vergleichskeime (jeweils eine Charge kommerzieller ATCC-Stämme und eine Charge auf Stichagar transportierter Vergleichsstämme des IMMIH der Universität zu Köln, s. Tab. 3.4.5.3) wurden aufgefrischt, um das jeweilige Wachstumsverhalten auf den Selektivmedien zu prüfen. Sämtliche mitgebrachten Keime, mit Ausnahme der auf Stichagar transportierten Aeromonaden und Vibrionen, ließen sich auf Blutagar anzüchten. Die beiden fehlenden Spezies wurden vom mikrobiologischen Labor des CHD in Parakou zur Verfügung gestellt. ATCC- und IMMIH-Stämme zeigten auf den vor Ort hergestellten Medien das für sie typische Verhalten (aerobes Wachstum auf Blut-Glukose-Agar, Endoagar, Hektoenagar, TCBS-Agar, XLD-Agar, Wismuth-Sulfit-Agar, DC-Agar, TSI-Slants, Urea-Slants; mikroaerophil: Campylobacter-Selektiv-Agar; anaerob: Blut-Glukose-Agar).

Gramfärbeverfahren, Oxidase- und Katalasereaktion, sowie die verschiedenen Objektträgeragglutinationsseren wurden anhand der Vergleichskeime ebenfalls überprüft.

Tab. 3.4.5.3: Auflistung der Vergleichskeime

ATCC-Stämme:	IMMH-Stämme:
7966 <i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Acinetobacter baumannii</i>
49247 <i>Haemophilus influenza</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>
7644 <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Bacillus cereus</i>
14028 <i>Salmonella</i> Typhimurium	<i>Citrobacter freundii</i>
13076 <i>Salmonella</i> Enteritidis	<i>Enterobacter cloacae</i>
25931 <i>Shigella sonnei</i>	<i>Eschericia coli</i>
12022 <i>Shigella flexneri</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
9610 <i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Morganella morganii</i>
C1400L <i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
C1600L <i>Clostridium perfringens</i>	<i>Salmonella</i> Typhi
C1610L <i>Clostridium difficile</i>	<i>Serratia marcescens</i>
	<i>Shigella spp</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i> , hämolysierend
	Koagulase negativer <i>Staphylococcus</i>
	<i>Streptococcus agalactiae</i>
	<i>Yersinia enterocolitica</i> O3
	<i>Vibrio cholerae</i> O1 El Tor, Ogava / Inaba

3.5 Erfassung der Quellen

Als eine der grundlegenden Voraussetzungen für den Aufbau eines Surveillance-Systems wurde zunächst eine komplette Erfassung der im ländlichen Raum des südlichen Catchments (Flusseinzugsgebiet) zur Trinkwasserversorgung herangezogenen Quellen durchgeführt. Da ein Grossteil der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet insbesondere in der Trockenzeit darauf angewiesen ist, Oberflächenwasser als Trink- und Nutzwasser zu gebrauchen (vergleiche Kapitel 4.1), wurde neben Brunnen und Pumpen auch der jeweilige Trockenflussabschnitt, das sogenannte Marigot, georeferenziert per GPS erfasst.

Ergänzend zu den exakten Lagedaten wurden folgende feststehenden Merkmale der einzelnen Quellen in das Kataster aufgenommen:

Name des Dorfes und der Kommune, Quellenart (Pumpe, moderner-, traditioneller Brunnen, Marigot), Erbauer (privat, NGO etc.) und Datum der Errichtung, die Lage, bei modernen und traditionellen Brunnen Durchmesser und Tiefe, welche wegen Versandung

zeitlich stark variiert und ein freier Kommentar (z.B. hoch frequentiert, sakrales Wasser, besonders sauber gehalten, sichtlich stark verschmutzt ...).

Die so erhobenen Daten verschaffen einen Überblick über die Gesamtzahl der vorhandenen Quellen in der südlichen Region des Einzugsgebietes, sowie deren Lokalisierung und Beschaffenheit. Sie ermöglichten uns eine sinngerechte Auswahl der, im Zuge der vorliegenden Studie zu beprobenden Brunnen.

Die Erhebung der Daten erfolgte durch Inspektion der Quellen und Interviews mit Besitzern und Nutzern vor Ort.

3.6 Auswahl der zu beprobenden Quellen

Von 947 erfassten Trinkwasserquellen wurden 58 für die bakteriologischen Analysen in den sieben Dörfern **Sebou, Dogue, Dendougou, Bougou, Kpawa, Serou und Pelebina** ausgewählt. Um eine möglichst repräsentative Stichprobe zu erhalten, wurde darauf geachtet, dass Dörfer aus allen unterschiedlichen Gegenden des Einzugsgebietes (stadtnah, stadtfern, direkt an der Strasse, entlegen im Busch), sowie verschiedener Ausdehnung und Einwohnerzahl, entsprechend den Gegebenheiten im ländlichen HVO, vertreten sein würden. Gleichzeitig wurde Wert darauf gelegt, dass die relativen Häufigkeiten der unterschiedlichen Quellenarten in der Stichprobe weitgehend mit denen des Gesamtkatasters übereinstimmten. Mögliche Abweichungen von diesem Schema erklären sich durch die oben bereits beschriebene saisonale Variation der nutzbaren beziehungsweise von den Dorfbewohnern genutzten Quellen. Im Sinne der interdisziplinären Vernetzung wurden Dörfer gewählt, in welchen Mitarbeiter anderer Teilprojekte ebenfalls Daten erhoben, um einen gegenseitigen Datenabgleich zu gewährleisten.

3.7 Probennahme

Die zu analysierenden Proben sollten die Qualität des von der Dorfbevölkerung genutzten Wassers repräsentieren. Aus diesem Grund wurde das Wasser an den Quellen auf dieselbe Art und Weise geschöpft, wie von den Konsumenten vor Ort.

An den Brunnen wurden die, in den meisten Fällen vor Ort vorhandenen, von den Konsumenten genutzten Gummibehälter (Puisette) verwendet, aus welchen das Wasser in sterile 1L Glasflaschen abgefüllt wurde. Die Annahme liegt nahe, dass mit dem

Schöpfgerät, welches mehrmals täglich in das Brunnenwasser eintaucht, die am Gummi haftenden Erreger ins Wasser ausgespült werden und somit das Keimspektrum des mit der Puisse geförderten Wassers den im Brunnen herrschenden Verhältnissen weitgehend entspricht.

Die an den Marigots verwendete Schöpfmethode entspricht der von der WHO für Reservoirs und Flüsse empfohlenen Technik (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality 2003 Chapter 7.7).

Im Fall der Pumpen wurde darauf verzichtet, vor der Abfüllung des Wassers in die Probenflaschen die Hähne abzuflammen und standardisiert mehrere Minuten lang Wasser zu fördern.

3.8 Probentransport

Das Wasser wurde nach der Entnahme in den Transportgefäßen in Styroporbehältern, vor Licht geschützt und gekühlt, ins Labor nach Parakou gebracht und innerhalb der nächsten vier Stunden prozessiert (WHO Guidelines for drinking-water quality 2003 Chapter 7.7). Es wurde streng darauf geachtet, dass die Proben, die als erste genommen worden waren, auch als erste in die Anreicherungsbouillons eingebracht wurden, um den Zeitraum zwischen Probennahme und Weiterverarbeitung möglichst konstant zu halten.

3.9 Quantitative Analysen

3.9.1 Die Koloniezahl – Heterotrophic Plate Count

Die Koloniezahlbestimmung hat als Grenz- oder Richtwert für die Trinkwasseruntersuchung Tradition.

Die, zumindest in den entwickelten Ländern, dominierenden Spezies im Spektrum der mit dieser Methode kultivierten Bakterien sind *Acinetobacter spp*, *Aeromonas spp*, *Alcaligenes spp*, *Comamonas spp*, *Enterobacter spp*, *Flavobacterium spp*, *Klebsiella spp*, *Moraxella spp*, *Pseudomonas spp*, *Sphingomonas spp*, *Stenotrophomonas spp*, atypische Mykobakterien, *Bacillus spp* und *Nocardia spp*. Eine eindeutige Assoziation dieser Erreger mit Krankheitsausbrüchen bei grundsätzlich gesunden Individuen ist nicht zwingend belegt. Einige Spezies spielen jedoch als fakultative, opportunistische Erreger von Gastroenteritiden, Erkrankungen des Pulmonalsystems, sowie von Haut- und Schleimhauterkrankungen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Betroffen sind

vorwiegend Kinder und Personen mit verminderter Immunabwehr (Exner, M., 2003, Lightfoot, N. F., 2003).

Im quantitativen Teil der Analysen wurde für 57 Brunnen eine Koloniezahlbestimmung nach dem Dilutionsverfahren durchgeführt. Die einfache Durchführbarkeit dieser Methode, welche eine Aussage über die generelle mikrobiologische Qualität von Trinkwasser zulässt, machte sie für unsere Zwecke zur Methode der Wahl.

3.9.1.1 Zum Verfahren

Drei unterschiedliche Verfahren stehen zur Verfügung, die weitgehend auf demselben Prinzip basieren. Die Membranfiltermethode, die Plattengussmethode und die Plattenausstrichmethode, von welchen die letztere sich für unsere Zwecke aus folgenden Gründen am besten eignet:

Aufgrund des geringen Aufwandes während der Probenverarbeitung ermöglicht sie eine zeitgerechte Prozessierung. Hitzeschock und damit verbundene falsch negative Ergebnisse sind von vornherein ausgeschlossen. Alle Kolonien befinden sich an der Agaroberfläche, wo sie leicht von Fremdpartikeln oder Luftblasen unterschieden werden können. Sie können problemlos nach morphologischen Kriterien differenziert, mit veröffentlichten Beschreibungen verglichen und zur Weiterdifferenzierung auf andere Nährmedien transferiert werden.

Unter sechs- bis achtfacher Lupenvergrößerung werden alle sichtbaren Kolonien ausgezählt, die sich aus den, in einem bestimmten Wasservolumen befindlichen Bakterien auf nährstoffreichen, peptonhaltigen Nährböden - im aktuellen Fall Blut-Agar - bei festgelegter Bebrütungstemperatur und innerhalb einer bestimmten Zeit entwickeln. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass Bakterien in den natürlichen Wässern sowohl einzeln, als auch in Verbänden oder adsorbiert an Partikel vorkommen können und somit die Anzahl der Kolonien nicht mit der Anzahl der lebenden und kultivierbaren Keime im Probenvolumen übereinstimmen muss: Aus diesem Grund wurde die ursprüngliche, missverständliche Bezeichnung „Keimzahlbestimmung“ durch den Begriff „Koloniezahlbestimmung“ ersetzt.

3.9.1.2 Methodische Grundlagen

Siehe: E. Schulze, Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen, Kapitel 3. Gustav Fischer Verlag Jena, 1996

3.9.1.3 Ermittlung der zu verwendenden Verdünnungsstufen

Um die jeweiligen Verdünnungsstufen zu ermitteln, bei welchen die Anzahl der gewachsenen Kolonien nach 24h Inkubation im Optimalbereich zwischen 20 und 300 liegt, wurden zunächst Proben aus den vier unterschiedlichen Quellenarten in verschiedenen Verdünnungsstufen auf Blutagar ausplattiert und bei 37°C inkubiert. Nach 24h und 48h wurden die gewachsenen Kolonien gezählt. Hierbei erwiesen sich die folgenden Verdünnungen als geeignet (siehe Tabelle 3.9.1.3):

Tab. 3.9.1.3: Ermittlung der geeigneten Verdünnungsstufen für die Koloniezahlbestimmung der unterschiedlichen Quellenarten

Verdünnungsstufe	Marigot		trad. Brunnen		mod. Brunnen		Pumpe	
	KBE nach 24h	KBE nach 48h	KBE nach 24h	KBE nach 48h	KBE nach 24h	KBE nach 48h	KBE nach 24h	KBE nach 48h
100µl	203	*	300	*	*	*	37	108
100µl x 10 ⁻¹	33	52	45	75	170	407	2	7
100µl x 10 ⁻²	2	6	2	7	10	43	2	5
100µl x 10 ⁻³	1	3	**	**	**	**	0	2
100µl x 10 ⁻⁴	0	4	2	5	0	3	0	3

* nicht auszählbar

** Bakterienrasen

Sowohl bei Marigotwasser als auch bei Wasser aus modernen und traditionellen Brunnen lagen die Koloniezahlen nach 24stündiger Inkubation, bei Verwendung von 100µl unverdünntem Probenwasser und 100µl zehnfach verdünntem Probenwasser (100µl x 10⁻¹), zwischen 20 und 300 Kolonien. Für Wasser aus Pumpen wurden entsprechende Zahlen bei Verwendung von 1000µl und 100µl unverdünntem Wasser erreicht.

3.9.1.4 Durchführung

Das Wasser wurde in jeweils geeigneter Menge und Verdünnung direkt auf die Blutagarplatten pipetiert und mit Drigalski-Spatel verteilt. Die Kolonien wurden nach 24 und 48h Inkubation bei 37°C unter 6facher Vergrößerung ausgezählt. Die Anzahl der gezählten Kolonien und deren Morphologie wurden dokumentiert. Unterschiedlich wachsende Kolonien wurden auf Stichagar isoliert, 12h lang bei 37°C inkubiert und eingefroren. Aufgrund der hohen Umgebungstemperaturen wurde auf eine zusätzliche Inkubation bei 22°C verzichtet (Wright, R. C., 1986).

3.10 Qualitative Analysen

Für alle Bakterien, ausgenommen *Shigella spp*, wurden die von E. Clesceri beziehungsweise L. S. Clesceri für den Nachweis im Wasser empfohlenen Methoden angewandt. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass für den Nachweis vieler humanpathogener Bakterien im „nativem“ Wasser keine standardisierten Methoden verfügbar sind, durch deren Negativergebnis das Vorhandensein der jeweiligen Erreger explizit ausgeschlossen werden könnte.

Wegen der Eigenschaft von *Shigella spp*, nach einer fünfstündigen Vermehrungsperiode in Flüssigmedien plötzlich abzusterben - vermutlich aufgrund im Wasser enthaltener Bakteriophagen, die sich schneller vermehren als die Bakterien und diese infizieren und zum Absterben bringen (Schulze, E., 1996) - ist der Nachweis von Shigellen aus Umweltwasser besonders schwierig und selten erfolgreich. Die für die Anzucht von Shigellen aus klinischen Materialien beschriebenen Medien sind für solche aus Umweltproben mit reichlich Begleitflora ungeeignet.

3.10.1 Verfahren für den Nachweis der einzelnen Erreger

Auf die Quantifizierung nach dem Membranfiltrationsverfahren wurde wegen der logistischen Probleme verzichtet.

Die Verwendung eines Probenvolumens größer als 0,1 ml führte während der Testdurchläufe häufig zur Überwucherung der Nährböden mit einem Bakterienrasen, anstelle der für die Beurteilung und Isolation notwendigen Einzelkolonien. In weiteren Testdurchläufen hatte sich gezeigt, dass bei Verwendung eines Volumens von nur 0,1 ml im Direktausstrichverfahren kein Nachweis gelang, während mit derselben Probe, nach vorausgehender Anreicherung der Nachweis gelungen war. Aus diesem Grund wurden sämtliche Ansätze, entsprechend der von E. Schulze empfohlenen Methoden, zunächst in selektiven Flüssigmedien angereichert und anschließend auf Selektivmedium angelegt.

3.10.1.1 Nachweis von *Eschericia coli*

100ml Probenvolumen wurden in 50ml dreifach konzentrierte **Laktose-Pepton-Bouillon** (Oxoid, Best.-Nr. CM0931B) mit Durhamröhrchen gegeben und 24 + 24h bei 37°C inkubiert. Verdächtige Ansätze wurden auf **Endo-Agarplatten** (Oxoid, Best.-Nr. CM0479B) fraktioniert ausgestrichen und weitere 24h bei 37°C inkubiert. Rote Kolonien mit metallisch-grünlichem Schimmer wurden auf Nähragar (Merck, Best.Nr. 1.114710500)

sowie **Dreizucker-Eisen-** und **Harnstoff-Agarröhrchen** (Oxoid, Best.-Nr. CM0277B/CM0053B) übertragen und auf Oxidaseaktivität, Harnstoff-, Laktose- und Glukosespaltung, sowie Gas- und H₂S-Bildung überprüft. Verdächtige Kolonien wurden auf Stichagar isoliert, 12h bei 37°Cv inkubiert und eingefroren. Der Indolnachweis und die Überprüfung der Citratverwertung, sowie das O157 H7 Screening per Objektträgeragglutination erfolgten im IMMIH in Köln (Schindler, P., 1996).



Abb. 3.10.1.1: Anreicherung von *E. coli* in dreifach konzentrierter Lactose-Pepton-Bouillon mit Farbumschlag, Trübung und Schaumbildung

3.10.1.2 Nachweis von *Salmonella spp*

10 ml der Probe wurden in 50 ml 2fach konzentrierte **Selenit-Cystin Bouillon** (Oxoid, Best.-Nr. CM0699B) bei 37°C inkubiert. Nach 16-20h wurden die Ansätze fraktioniert auf **XLD- und Hektoen-Agar** (Oxoid, Best.-Nr. CM0469B/CM0419B) ausgestrichen und für 24h + 24h bei 37°C inkubiert. Verdächtige Kolonien wurden auf **BPLS- und Nähragar** (Oxoid, Best.-Nr. CM0329B; Merck, Best.Nr. 1.114710500) überimpft und weitere 24h bei 37°C inkubiert um sicher zu stellen, dass es sich um Reinkulturen handelt und um die Oxidaseaktivität zu überprüfen. Bei negativem Oxidasetest wurden Einzelkolonien auf **Dreizucker-Eisen-** und **Harnstoff-Agarröhrchen** (Oxoid, Best.-Nr. CM0277B/CM0053B) überimpft und 24h + 24h bei 37°C inkubiert. Laktose- und harnstoffnegative und gleichzeitig glukose- und H₂S-positive Kolonien ohne Gasproduktion wurden per **API 20E** (bioMérieux, Best.-Nr. 20100) identifiziert und auf Stichagarröhrchen abgeimpft, 12h inkubiert und eingefroren. Die Ergebnisse wurden in

Köln mit dem Analyseautomaten VITEK2 bestätigt. Im gleichen Zug wurde die minimale Hemmstoffkonzentration (MHK) mit Hilfe der Mikrodilutionsmethode nach NCCLS für die geeigneten Antibiotika bestimmt. Die anschließende Serotypisierung wurde im Hygieneinstitut der Stadt Hamburg durchgeführt. Da die Selenit-Cystin-Bouillon für Direktansätze nicht höher als doppelt konzentriert verwendet werden sollte (Schindler, P., 1996), wurde nur ein Volumen von 10ml Brunnenwasser auf die Anwesenheit von Salmonellen untersucht (Schindler, P., 1996; Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, 9260 B.).

3.10.1.3 Nachweis von *Shigella* spp

100ml Probenvolumen wurden zu 20ml **Trypton-Soja-Bouillon** (Oxoid, Best.-Nr. CM0129B) gegeben und bei 37 °C inkubiert. Nach 5h wurden 100ml Bouillon auf **XLD-** und **Hektoen-Agarplatten** (Oxoid, Best.-Nr. CM0469B/CM0419B) pipettiert, mit einer Platinöse verteilt und bei 37 °C weitere 24h + 24h inkubiert. Morphologisch verdächtige Kolonien wurden auf Nähr-Agar (Merck, Best.Nr. 1.114710500) fraktioniert ausgestrichen und 24h bei 37 °C inkubiert, um Reinkulturen zu gewinnen und die Oxidaseaktivität zu überprüfen. Oxidase-, laktose-, harnstoff- und H₂S-negative Kolonien ohne Gasproduktion, jedoch mit Glukosespaltung, wurden per **API 20E** (bioMérieux, Best.-Nr. 20100) identifiziert und auf Stichagarröhrchen überimpft, für 12h bei 37°C inkubiert und eingefroren. Ergebnisse wurden nach dem Transfer in Köln bestätigt, wo eine weitergehende Diagnostik mit Hilfe des Analyseautomaten VITEK2 und der Objektträgeragglutination erfolgte (Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, 9260 E.)

3.10.1.4 Nachweis von *Yersinia enterocolitica*

100ml der Probe wurden mit 20ml PBS-Puffer versetzt und im Kühlschrank über 14 Tage bei 4-8°C inkubiert. Danach erfolgte ein fraktionierter Ausstrich auf **CIN-Agarplatten** (Oxoid, Best.-Nr. CM0653B) und dessen Bebrütung bei 25-30°C RT über 48h. Verdächtige, zart rosafarbene Kolonien ohne Oxidaseaktivität wurden unter dem Mikroskop auf Beweglichkeit untersucht und auf **Dreizucker-Eisen-** und **Harnstoff-Agarröhrchen** (Oxoid, Best.-Nr. CM0277B/CM0053B) weitere 24h bei 37°C inkubiert. Die Beweglichkeit wurde ein weiteres Mal überprüft. Harnstoff- und glukosepositive Isolate ohne Laktoseverwertung, Gasproduktion und H₂S- Entwicklung, die nach Inkubation bei 28°C beweglich waren, nicht jedoch nach Inkubation bei 37°C, wurden per **API 20E** (bioMérieux, Best.-Nr. 20100) identifiziert und auf Stichagarröhrchen gesetzt, 12h bei 37°C inkubiert und tiefgefroren. Die Ergebnisse wurden in Köln bestätigt, wo eine

weitergehende Diagnostik mit Hilfe des Analyseautomaten VITEK2 und Objekträgeragglutination erfolgte (Feuerpfeil, I., 1996).

3.10.1.5 Nachweis von *Vibrio cholerae*

100ml Probenwasser wurden zu 20ml **alkalischem Pepton-Wasser** (APW: 1,8g Casein-Pepton-Wasser (Oxoid, Best.-Nr. CM0087B)/ 20ml aqua dest., mit NaOH auf pH 8,6) gefügt und bei 37°C inkubiert. Nach 6-8h wurde der Ansatz fraktioniert auf **TCBS-Agar** (Oxoid, Best.-Nr. CM0333B) ausgestrichen und weitere 18-24h bei 37°C inkubiert. Typische gelbe oder grüne Kolonien wurden auf Schafblutagar übertragen, um Reinkulturen zu gewinnen und die Haemolyseeigenschaft beurteilen zu können. Oxidasepositive, glukose-fermentierende, hochbewegliche, gramnegative, kommaförmige Stäbchen, die in 6%iger NaCl-Bouillon Wachstum zeigten, wurden per **API 20E** (bioMérieux, Best.-Nr. 20100) identifiziert und gleichzeitig auf Stichagarröhrchen übertragen, 12h bei 37°C inkubiert und tiefgefroren. Das Ergebnis wurde in Köln bestätigt, wo eine weitergehende Diagnostik mit Hilfe des Analyseautomaten VITEK2 und Objekträgeragglutination erfolgte (Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, 9260 H., Speck, M. L. (Hrsg.), 1984).

3.10.1.6 Nachweis von *Campylobacter spp*

100ml Proben wurden 10min lang bei 7000g zentrifugiert. Mindestens 10ml Sediment wurden in 20ml **Preston-Bouillon** mit **Selektiv-Supplement** (Oxoid, Best.-Nr. CM0067B/SR0117E) gegeben und bei 37°C unter mikroaerophilen Bedingungen (CampyPAK plus H₂ und CO₂, BD, Best.-Nr. 271045,) im Anaerobiertopf inkubiert. Nach 24h wurde der Ansatz wiederum für 10 Minuten bei 7000g zentrifugiert. Ein Membranfilter mit einer Porengröße von 45µm wurde auf eine **Campylobakter-Selektiv-Agarplatte** mit **CCDA-Selektiv-Supplement** (Oxoid, Best.-Nr. CM0689B/SR0155E) gelegt und das Sediment unter sterilen Bedingungen darauf verteilt. Nach 2h Inkubation im mikroaerophilen Milieu wurde der Filter entfernt und die Agarplatte für weitere 48h bei 37°C inkubiert. Verdächtige Kolonien (feucht glänzend, flach; vgl. Abb. 3.10.1.6) wurden auf **Schafsblut-Agarplatten** (Oxoid Blutagar-Basis, Best.-Nr. CM0055B; Fiebig, Schafsblut 500ml defibriniert, steril, Best.-Nr. 10000500) überimpft und zur Negativkontrolle unter aerophilen Bedingungen bei 37°C über 24h inkubiert. War auf dieser kein Wachstum sichtbar, wurde ein Gram-Präparat angefertigt. Isolate mit charakteristischem mikroskopischem Erscheinungsbild im direkten Vergleich mit einem

Referenzstammpräparat (gramnegative, korkenzieherartig gewundene Stäbchen) wurden auf Katalase- und Oxidaseaktivität getestet. Da eine weitergehende Diagnostik (Hippurat-Hydrolyse, Antibiotikaresistenz etc.) vor Ort nicht durchführbar war und die Bakterien den langen Transport nach Köln nicht überstanden, wurde an diesem Punkt die Gattungsdiagnose *Campylobacter spp* gestellt. Eine Subtypisierung konnte nicht durchgeführt werden (Jacob, J., 1996, Clesceri, L. S. (Hrsg.), 1999, 9260 G.).

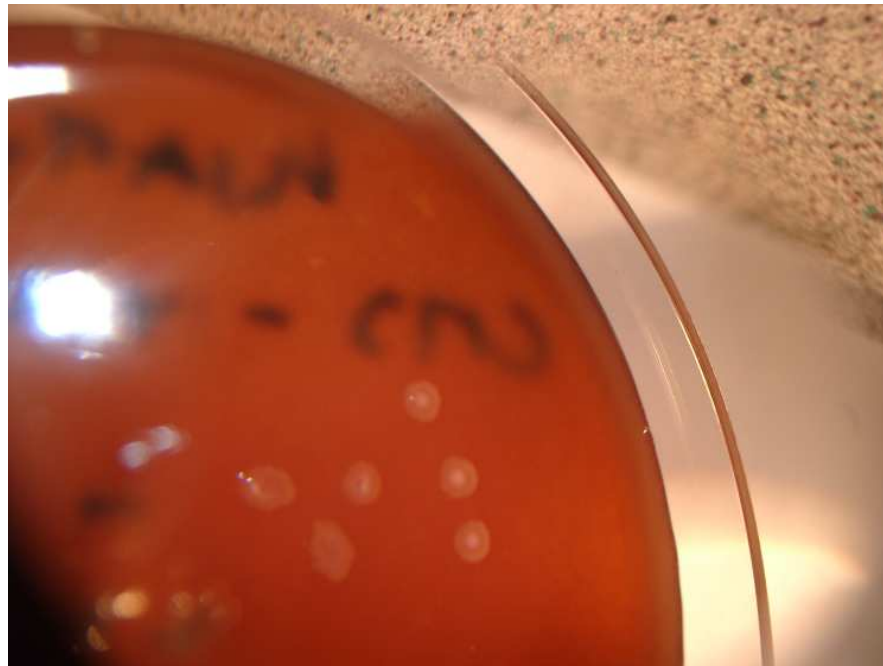


Abb. 3.10.1.6: Kolonien von *Campylobacter spp* auf Campylobakter-Selektiv-Agar

3.10.1.7 Nachweis von *Clostridium perfringens*

25ml Probe wurden im 50ml Falconröhrchen 10 min lang im Wasserbad auf 75°C erhitzt. Danach wurde ein ca. 3cm langes Stück ausgeglühter Eisendraht hinzugefügt und das Röhrchen mit 25ml zweifach konzentrierter, kurz aufgekochter **DCRM-Bouillon** (Oxoid, Best.-Nr. CM0927B) bis zum Rand aufgefüllt und möglichst luftblasenfrei verschlossen, um ein weitgehend anaerobes Milieu zu schaffen (E. Schulze, S.62). Diese Ansätze wurden über 24h + 24h bei 37°C inkubiert. Bei erfolgter Sulfatreduktion, welche zu einer Schwarzfärbung des Mediums führt, wurden die Ansätze auf Schafsblut-Agarplatten ausgestrichen und bei 37°C über 24h im Anaerobiertopf inkubiert. Kolonien mit unterschiedlichem Wachstum wurden zweifach auf **Schafsblut-Agarplatten** (Oxoid Blutagar-Basis, Best.-Nr. CM0055B; Fiebig, Schafsblut 500ml defibriniert, steril, Best.-Nr. 10000500) isoliert - zur Gewährleistung von Reinkulturen und dem Vergleich mit der

Negativkontrolle. Zeigte sich auf dieser nach 24h Inkubation kein erkennbares Wachstum, wurden die entsprechenden Kolonien von der Reinkultur auf Stichagarröhrchen abgeimpft, mit Paraffinöl beschichtet, 12h bei 37°C inkubiert und tiefgefroren. Die genaue Identifizierung der Keime erfolgte per **rapidID32A** (bioMérieux, Best.-Nr. 410109B) vor Ort und wurde in Köln bestätigt (Jacob, J., 1996, DIN EN 26 461 T.1, 1993).

4 Ergebnisse

4.1 Das Brunnenkataster

Insgesamt wurden 944 Wasserquellen in das Kataster aufgenommen, aus welchen die Bevölkerung von 107 Dörfern in 17 verschiedenen Kommunen versorgt wird. Diese wurden in vier verschiedene Kategorien eingeteilt: Marigots, traditionelle Brunnen, moderne Brunnen und Pumpen.

4.1.1 Die vier Quellenarten

Bei den traditionellen Brunnen handelt es sich um, von den Dorfbewohnern meist selbständig ausgehobene, Brunnen mit einer Schachtwand aus Lehm und einer vergleichsweise niedrigen, häufig zerfallenen Mauer aus Lehmziegeln. Eine Abdeckung des Brunnens erfolgt, wenn überhaupt, nur durch ein loses Stück Holz oder Wellblech. Die Schöpfgefäße (Puisette) werden an einem Seil von Hand eingeholt. Die mittlere Tiefe der in das Kataster aufgenommenen Brunnen dieses Typs beträgt 5,8m (1,15-14,3m). Mit einer Anzahl von 547 machen sie den größten Teil (58%) der erfassten Quellen aus.

Die modernen Brunnen werden vorwiegend von staatlichen und internationalen Brunnenbauprojekten, wie der Direction de l'Hydraulique, dem DED oder CATCH gebaut. Ihr Schacht ist mit Zementringen ausgekleidet, die Brunnenmauer vergleichsweise hoch. Einige sind durch eine installierte Abdeckung verschließbar, und in vielen Fällen ist eine Kurbel zum Einholen des Schöpfgefäßes vorhanden. Sie sind im Mittel 9,6m tief (3,1-21,3m) und haben mit 168 Stück einen Anteil von 18% an der Gesamtzahl der erfassten Quellen.

Insgesamt wurden 56 Hand- bzw. Fußpumpen (6% der erfassten Quellen) in die Datenbank aufgenommen. Bei diesen Pumpen handelt es sich, je nach Stand des Grundwasserleiters, um, von der WHO als „Direct-action Handpumps“ (Förderung aus einer Tiefe bis zu 12m) oder „Deep-well piston Handpumps“ (durch mechanische Hilfen wie Hebel und Schwungräder ist hier eine Förderung aus einer Tiefe von bis zu 45m möglich) bezeichnete Förderanlagen (Operation and Maintenance of Rural Water Supply and Sanitation Systems: A Training Package for Managers and Planners. © 2000 IRC and WHO).

Marigots sind einfache ungeschützte Wasserlöcher, die sich in den meisten Fällen in einem während der Trockenzeit ausgetrockneten Flusslauf oder einer feuchten Senke befinden. Sie werden fast immer sowohl von Nutztieren als auch von Menschen, nicht

selten direkt aufeinanderfolgend, als Trinkwasserquelle genutzt. Dieser Quellentyp nahm bei der Erfassung der Wasserstellen während der Regenzeit mit 28 häufig genutzten Löchern nur einen sehr geringen Anteil von ca. 3% ein. Wie in Kapitel 3.5 bereits erwähnt, gewinnen die Marigots mit dem Austrocknen der Brunnen in der regenfreien Periode jedoch erheblich an Bedeutung.



Abb. 4.1.1: Typisches Wasserloch (Marigot) in Kpawa (Foto: Martin Doevenspeck)



Abb. 4.1.2: Traditioneller Brunnen



Abb. 4.1.3: Moderner Brunnen



Abb. 4.1.4: Fußpumpe

Noch während der Erstellung dieses Katasters wurde offensichtlich, dass die erhobenen Daten durchaus einer zeitlichen, häufig saisonalen Variation unterliegen. Dies ist auf verschiedene Faktoren wie beispielsweise Veränderungen des Grundwasserniveaus und Migrationsbewegungen zurückzuführen, die eine Vernachlässigung der Wasserquellen bis hin zur Unbrauchbarkeit, und eine ständige Erschließung neuer Quellen in der Region zur Folge haben. So fiel bei der Probennahme auf, dass eine große Zahl der Brunnen, die noch während der vorausgegangenen Erfassung der Quellen in der Regenzeit von April bis Oktober 2001 Wasser führten, inzwischen ausgetrocknet oder versandet und viele Pumpen nicht mehr nutzbar waren. Das hatte zur Folge, dass deren Nutzer auf, spontan in die trockenen Flussläufe gegrabene, Marigots als Süßwasserquelle ausweichen mussten, ein Phänomen, das von D. Blum auch in Nigeria beobachtet wurde (Blum, D., 1987).

4.2 Nachträgliche Erweiterungen

Die Erfassung der Brunnen erfolgte bereits im Frühstadium des Projektes und erst im weiteren Verlauf wurde deutlich, dass zusätzliche, im Sinne des Forschungsprojektes durchaus informative Fragen nicht bedacht und somit nicht beantwortet worden waren. Beispielsweise wurde während der Erstellung des Katasters nicht in Erfahrung gebracht, ob die Quellen nach Gebrauch mit einer Abdeckung versehen wurden, von wie vielen Konsumenten sie in der jeweiligen Saison genutzt wurden und wie die Qualität des Wassers von den Konsumenten vor Ort subjektiv beurteilt wird. Derartige Informationen wurden deshalb, zusammen mit den variablen Merkmalen, wie Wasserstand, Temperatur des Wassers, pH-Wert und digitalen Fotos der einzelnen Quellen etc., gleichzeitig mit der Probennahme für die beprobten Brunnen erhoben, um womöglich bestehende Zusammenhänge zwischen Quellencharakteristika und Kontamination beurteilen zu können.

4.3 Zu den beprobten Trinkwasserquellen

Insgesamt wurden 58 Trinkwasserquellen in sieben Dörfern beprobt. Sechzehn davon in Bougou, fünfzehn in Sebou, zehn in Dendougou, sieben in Kpawa, sechs in Serou, und jeweils zwei in Pelebina und Dogue.

Tabelle 4.3.1 stellt Häufigkeiten und Verteilung der unterschiedlichen Quellenarten in den einzelnen Dörfern dar.

Tab. 4.3.1: Verteilung der unterschiedlichen Quellenarten auf die einzelnen Dörfer

	Σ	Dendougou		Kpawa		Serou		Sebou		Bougou*		Dogue		Pelebina	
Quellen gesamt (Σ)		10		7		6		15		16		2		2	
Marigot	13	6	60%	4	57%	2	33%	1	7%	0	0	0	0	0	0
Traditionell	21	1	10%	1	14%	1	17%	7	47%	11	69%	0	0	0	0
Modern	20	3	30%	2	29%	2	33%	6	40%	4	25%	2	100%	1	50%
Pumpe	4	0	0	0	0	1	17%	1	7%	1	6%	0	0	1	50%

* in Bougou konnte aufgrund der großen Zahl privater Hausbrunnen nur ein Teil der vorhandenen Brunnen getestet werden.

Von insgesamt dreizehn Marigots befanden sich sechs in Dendougou, vier in Kpawa, zwei in Serou und eines in Sebou; elf der 21 traditionellen Brunnen befanden sich in Bougou, sieben in Sebou und jeweils einer in Serou, Kpawa und Dendougou. Sechs von zwanzig untersuchten modernen Brunnen befanden sich in Sebou, vier in Bougou, drei in Dendougou, je zwei in Kpawa, Serou und Dogue und einer in Pelebina. An funktionsfähigen Pumpen gab es jeweils eine in Sebou, Serou, Bougou und Pelebina.

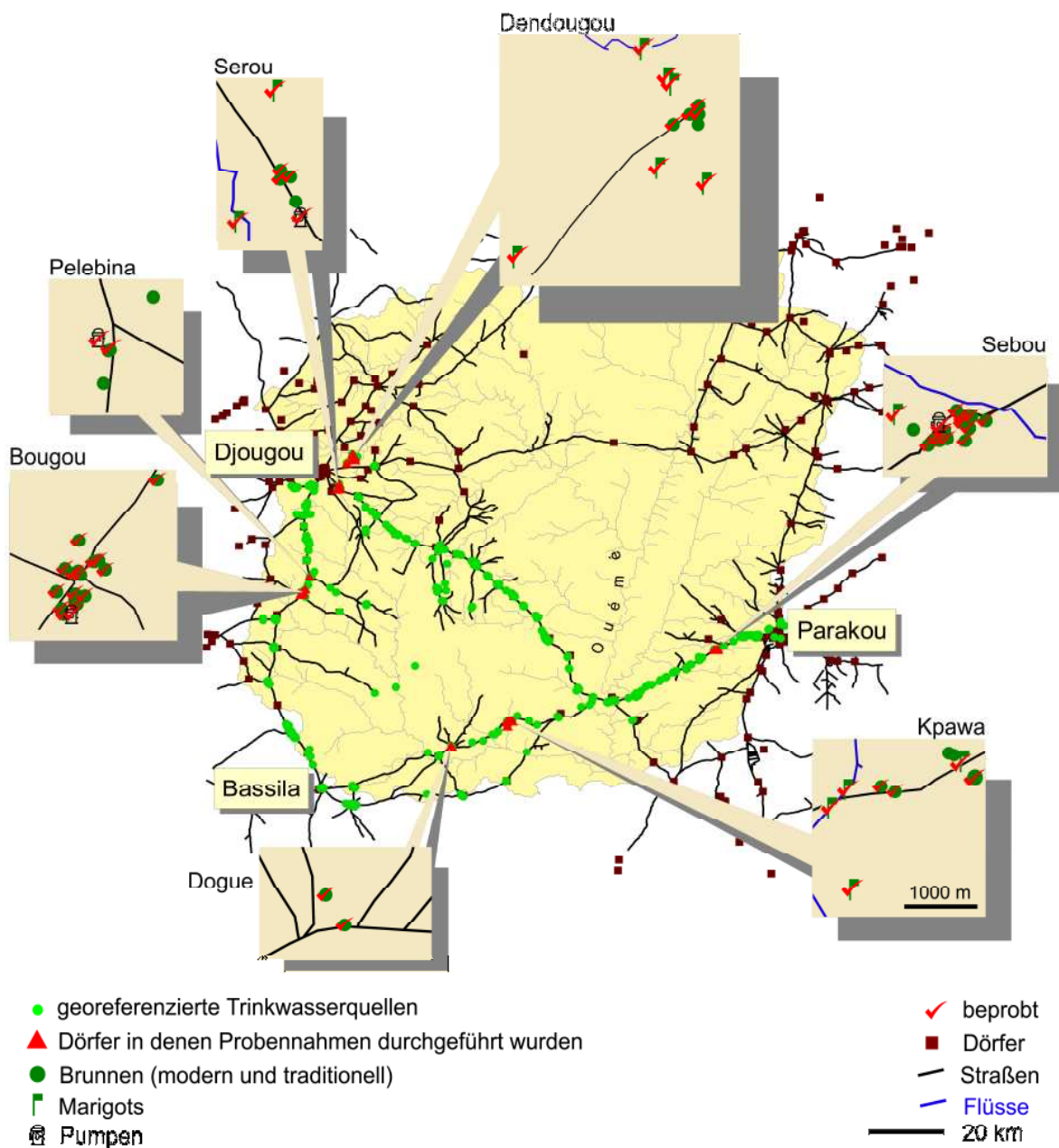


Abb. 4.1.1: Karte der erfassten und beprobten Wasserquellen

4.3.1 Konsumentenzahlen

Da die Angaben bezüglich der Konsumentenzahlen je Quelle ausschließlich auf Aussagen von, zum Zeitpunkt der Probennahme an der Quelle anwesenden erwachsenen Dorfbewohnern beruhen, können sie nicht als absolut gültige Zahlen betrachtet werden. Eine sichere Aussage darüber, welche Brunnen von wie vielen Haushalten genau genutzt werden, wird zusätzlich dadurch erschwert, dass es häufig zu Überschneidungen bei der Nutzung kommt. Die Haushalte wechseln die Quellen, und häufig werden mehrere nebeneinander genutzt, je nachdem welches Familienmitglied sich auf den Weg macht, das Wasser zu holen. Dennoch liefern sie einen gewissen Anhaltspunkt dafür, wie viele Personen auf das Wasser eines Brunnens angewiesen sind.

Nur vier der 55 Quellen, an welchen die etwaige Anzahl der Konsumenten in Erfahrung gebracht werden konnte, wurden während der Trockenzeit von nur einem einzigen Haushalt genutzt: zwei Marigots etwas abseits von Dendougou und je ein traditioneller Brunnen in Sebou und in Bougou. Die Mehrzahl der beprobten Quellen, nämlich 24 von 58, wurden von mehr als zwanzig Haushalten genutzt (vgl. Tabelle 4.3.2).

Tab. 4.3.2: Konsumentenzahlen je Quelle in den einzelnen Dörfern

	Σ	Dogue		Pelebina		Kpawa		Serou		Sebou		Dendougou		Bougou	
Quellen gesamt (Σ)	55	2		2		7		6		14		8		16*	
1 Haushalt	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7%	2	25%	1	6%
2-5 Haushalte	10	0	0	0	0	1	14%	0	0	7	50%	1	12%	1	6%
6-10 Haushalte	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7%	0	0	3	19%
11-20 Haushalte	13	0	0	0	0	0	0	2	33%	1	7%	4	50%	6	38%
> 20 Haushalte	24	2	100%	2	100%	6	86%	4	67%	4	29%	1	13%	5	31%

* nur ein Teil der vorhandenen Quellen konnte beprobt werden

In Dendougou waren Haushalte ansässig, die sich das ganze Jahr über ausschließlich mit Marigotwasser versorgten. Bei den von ihnen genutzten Marigots handelt es sich um die Quellen DEN-M4, DEN-M5 und DEN-M6 (Die Bezeichnung der Quellen erfolgte unter Verwendung der jeweils ersten drei Buchstaben des Dorfnamens gefolgt von einer Nummer für die einzelnen Quellen. Handelt es sich bei der Quelle um eine Pumpe

beziehungsweise ein Marigot, wurde zwischen Dorfkenung und Nummer ein P (Pumpe) oder ein M (Marigot) eingefügt).

4.3.2 Mittlere Tiefe

Die mittlere Tiefe der modernen und traditionellen Brunnen in den einzelnen Dörfern zeigt die folgende Tabelle:

Tab. 4.3.3: Mittlere Tiefe der modernen und traditionellen Brunnen

Dörfer nach Brunntiefe	Dogue	Pelebina	Serou	Bougou	Dendougou	Sebou	Kpawa*
Quellen je Dorf	2	2	6	16	10	15	7
Zahl der Brunnen	2	1	3	15	4	13	3
mittlere Tiefe in m	17,14	12,3	10,62	9,23	8,53	7,52	5,75
modern / traditionell	17,14 / 0	12,3 / 0	11,2 / 9,53	9,73 / 9,04	9,41 / 6,69	8,98 / 6,05	6,76 / 3,66

* erst 1997 gegründet

Die tiefsten Brunnen befanden sich in Dörfern mit einer vergleichsweise geringen Anzahl von Süßwasserquellen, nämlich in Dogue mit durchschnittlich 17,14 m und Pelebina mit 12,3 m, gefolgt von Serou mit 10,62 m und Bougou mit 9,23 m. Die Mittelwerte für Dendougou lagen bei 8,53 m und die für Sebou bei 7,52 m. In Kpawa, einer erst im Jahr 1997 gegründeten Siedlung, waren die Brunnen mit durchschnittlich 5,75 m am seichtesten.

4.4 Bakteriologie

4.4.1 Die Koloniezahl

Die Mittelwerte der koloniebildenden Einheiten (KBE) aller beprobten Quellen auf Blutagar betragen 11084 KBE/ml (SD=28 942,9) nach 24 h Inkubationsdauer und 12 627 KBE/ml (SD = 14 570,9) nach 48 h Bebrütung und lagen im Mittel also bei 13 939 KBE/ml (SD = 22 962,8).

Bei der Ermittlung der Keimzahl traten die folgenden Probleme auf: Nach 48h Inkubation waren die Agarplatten bei vier der Marigots so dicht bewachsen, dass ein zuverlässiges Auszählen der Kolonien unmöglich war. Dies führte zu einer

missverständlichen Senkung der Mittelwerte der Koloniedichte in der Gruppe der Marigots nach 48stündiger Bebrütung. Hinzu kommt, dass eine Kontamination der Platten nach 24h Inkubation nicht ausgeschlossen werden kann, was zu falsch-positiven Ergebnissen nach 48stündiger Inkubation führte. Hiermit läßt sich auch das nach 48h erkennbare Bakterienwachstum auf Platten, welche mit hohen Verdünnungsstufen beimpft wurden und nach 24stündiger Inkubation keinerlei Koloniewachstum zeigten, erklären. Daher wurde für die Ermittlung der Koloniedichte eine 24-stündige Bebrütung gewählt.

4.4.1.1 Koloniezahl und Art der Wasserquelle

Für die unterschiedlichen Brunnenarten ergaben sich die folgenden Mittelwerte je ml:

Marigots 36408 KBE/ml
 Moderne Brunnen 9108 KBE/ml
 Traditionellen Brunnen 6580 KBE/ml
 Pumpen 33 KBE/ml.

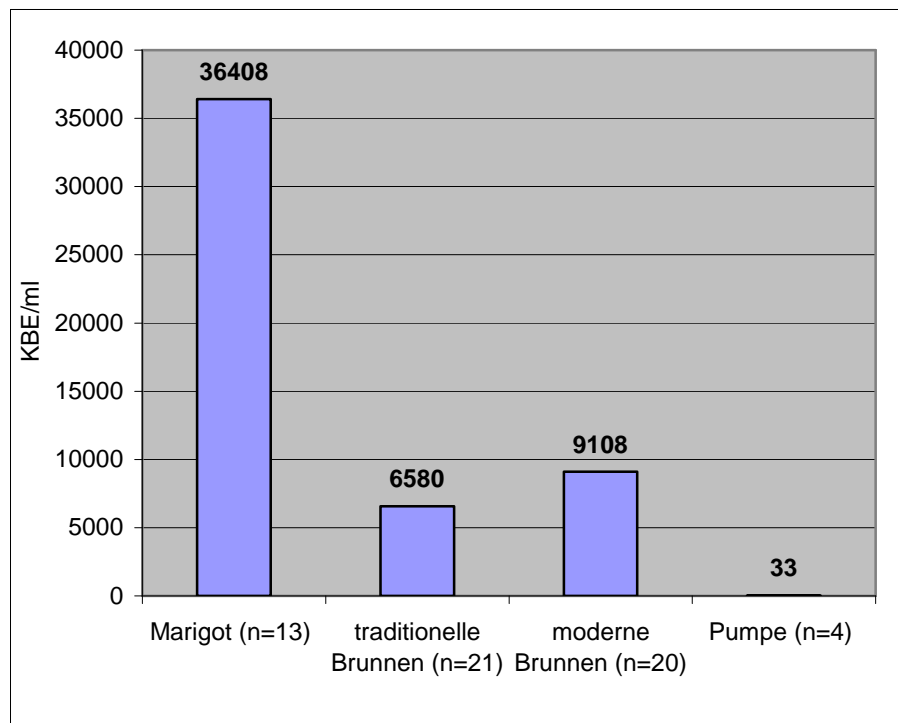


Abb. 4.4.1.1: Mittelwerte der in den unterschiedlichen Quellenarten nachgewiesenen KBE/ml

Beim Versuch signifikante Unterschiede zwischen den Koloniezahlen der jeweiligen Quellenarten festzustellen, lieferte die einfaktorielle ANOVA mit einem p von 0,01 ein

signifikantes Ergebnis. Im Duncan-Test ergaben sich auf dem voreingestellten Niveau von $p = 0,05$ zwei homogene Untergruppen, von denen die eine aus den Quellentypen Pumpen, moderne Brunnen und traditionelle Brunnen und die andere aus den Marigots besteht, womit bezüglich der Anzahl der koloniebildenden Einheiten ein signifikanter Unterschied zwischen den Marigots und den anderen Quellenarten festgestellt wurde.

Die durchgeführten T-Tests, mit Hilfe welcher die KBE-Zahlen der einzelnen Quellenarten sowohl jeweils gegeneinander als auch gegen die gesamte restliche Stichprobe verglichen wurden, lieferten kein signifikantes Ergebnis. Beim Vergleich der KBE-Zahlen der Marigots mit denen der Reststichprobe wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,07$ das Signifikanzniveau verfehlt (siehe Anhang: SPSS Ausgabe).

4.4.1.2 Die Gesamtkeimdichte in den Quellen einzelner Dörfer

Die höchsten mittleren Keimdichten fanden sich in den Dörfern Dogue, Kpawa und Dendougou. So wiesen die beiden modernen Brunnen in Dogue im Mittel ein Wachstum von 47 500 KBE/ml auf. Darauf folgen in absteigender Reihenfolge Kpawa mit 34 043 KBE/ml, Dendougou mit 18 526 KBE/ml, Serou mit 12 657 KBE/ml, Sebou mit 9570 KBE/ml und Pelebina mit 8555 KBE/ml. Bei den siebzehn in Bougou beprobten Quellen wurden im Mittel 2412 KBE/ml gezählt.

Der hohe Durchschnittswert in Kpawa ist zu einem gewissen Anteil durch einen Ausreißer nach oben mit 190 000 KBE/ml bedingt, der aufgrund der niedrigen Fallzahl jedoch nicht aus der Wertung genommen wird (Sachs, L., 2002). Ohne diesen Wert ergäbe sich ein Durchschnitt von 8043 KBE/ml. Bei der Interpretation der vergleichsweise niedrigen Werte in Pelebina muss beachtet werden, dass es sich bei einer der beiden Quellen, also in 50% der Fälle, um eine Pumpe handelte, welche aufgrund ihrer geringen Keimdichte von nur neun KBE/ml natürlich maßgeblich für den niedrigen Mittelwert verantwortlich ist. Im einzigen Brunnen des Dorfes hingegen ließen sich nach 24h Inkubation 17 900 KBE/ml nachweisen.

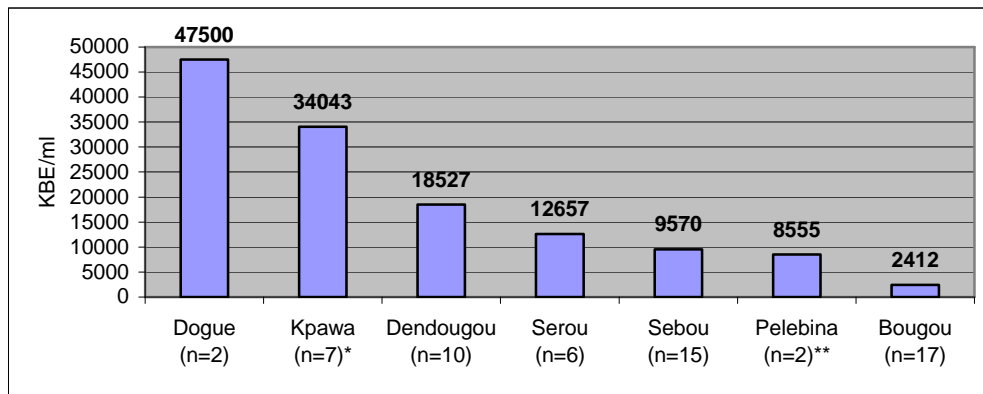


Abb. 4.4.1.2: Anzahl der gezählten KBE in den einzelnen Dörfern

*Ausreißer von 190 000 KBE/ml, bei vier von sieben Quellen handelt es sich um Marigots

** bei einer von zwei Quellen handelt es sich um eine Pumpe

4.4.1.3 Anzahl der Konsumenten je Quelle

Der Vergleich der durchschnittlichen KBE-Dichten der Quellen, die während der Trockenperiode von weniger als zehn Haushalten geteilt wurden (8662 KBE/ml), mit denjenigen aus Quellen, die von mehr als 10 genutzt wurden (16 593 KBE/ml), zeigt im Mittel eine nahezu doppelt so hohe Dichte im Wasser der zuletzt genannten. Insgesamt wurden nur vier der 55 Quellen (7,3%), an welchen die etwaige Konsumentenzahl in Erfahrung gebracht werden konnte, von einem einzelnen Haushalt genutzt. Die Zahl der gezählten Kolonien belief sich bei ihnen auf 10 133 KBE/ml, wobei zu beachten ist, dass es sich bei zwei der Quellen um Marigots und bei den anderen zwei um traditionelle Brunnen handelte, deren Wasser wie bereits erwähnt grundsätzlich von verhältnismäßig schlechterer Qualität ist. Zehn der Quellen teilten sich ca. zwei bis fünf Haushalte (18,2%). Für sie ergab sich im Mittel eine Keimdichte von 8636 KBE/ml. Es handelte sich um vier moderne und sechs traditionelle Brunnen. Etwa sechs bis zehn Haushalte teilten sich das Wasser aus insgesamt vier der untersuchten Quellen (7,3%), einem modernen Brunnen und drei traditionellen, für die sich eine mittlere Keimdichte von 7623 KBE/ml ergab. Dreizehn Quellen wurden von circa elf bis zwanzig Haushalten genutzt (23,6%). Unter ihnen vier Marigots, fünf moderne und vier traditionelle Brunnen. Ihr Wasser war mit durchschnittlich 16 822 KBE/ml belastet. Die restlichen 24 (43,6%), fünf Marigots, fünf traditionelle Brunnen, zehn moderne Brunnen und alle vier Pumpen, insgesamt also knapp die Hälfte der beprobten Quellen, teilten sich jeweils mehr als 20 Haushalte. In ihrem Wasser wurden im Mittel 16 364 KBE/ml gezählt.

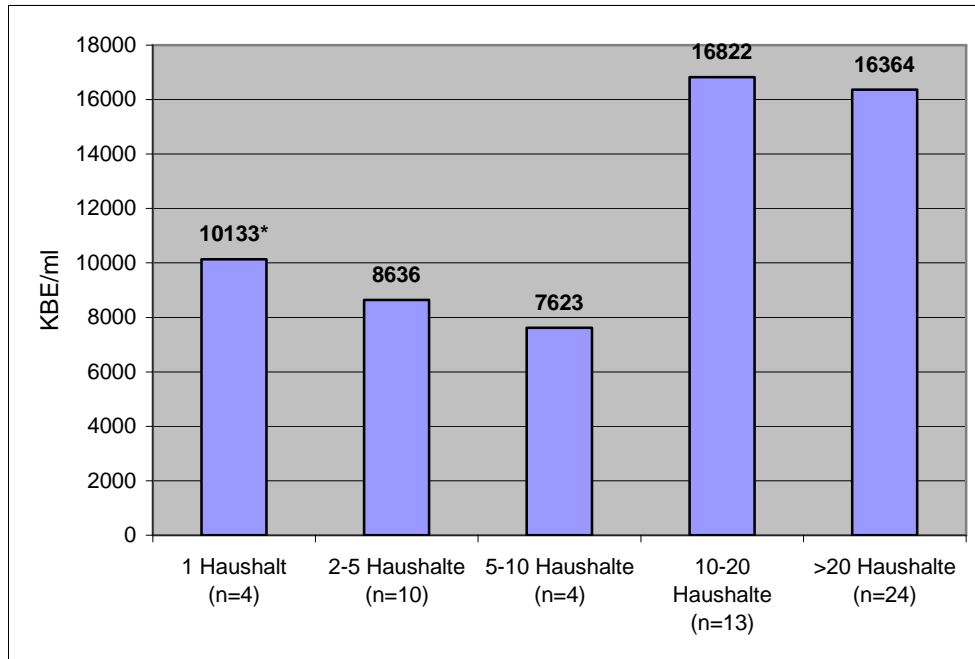


Abb. 4.4.1.3: Mittelwerte der gezählten KBE/ml nach Anzahl der Konsumenten (*zwei Marigots und zwei traditionelle Brunnen)

4.4.1.4 Einfluss von Abdeckung, Lage und Anwesenheit von Tieren in der näheren Umgebung der Quellen auf die Keimdichte

In unserer Stichprobe waren nur zwei Brunnen enthalten, die konsequent nach Gebrauch durch eine installierte Abdeckung verschlossen wurden: ein moderner Brunnen in Sebou (SEB-14*) und ein traditioneller, der des Dorfpfarrers von Kpawa (KAW-2*). Die Anzahl der KBE betrug 790 bzw. 2200 KBE/ml und lag somit unter den für die modernen Brunnen ermittelten Durchschnittswerten von von 9108 KBE/ml.

Ein möglicher Einfluss von Lage, An- beziehungsweise Abwesenheit bestimmter Tiere in der Quellenumgebung, sowie weiterer erhobener Parameter wie pH-Wert oder Temperatur des Wassers auf die Keimdichte zeigte sich nicht.

4.4.2 Nachgewiesene Erreger

Der Nachweis von *E. coli* gelang in 42 von insgesamt 58 Fällen (72,4 %). Das EHEC-Screening mit O157:H7 Seren fiel für alle isolierten Keime negativ aus (genauere Informationen sind der Übersichtstabelle im Anhang zu entnehmen).

Salmonella spp wurden aus zehn Quellen (17,2 %) isoliert und serotypisiert. Acht verschiedene Serotypen wurden identifiziert:

Tab. 4.4.2.1: Quellen mit *Salmonella spp*

Quelle*	Serotyp
DEN-M3	S. Hofit
DEN-2	S. Rostock
DEN-5	S. Rostock
DEN-M1	S. Rostock
DEN-M4	S. Dahome
SEB-1	S. Mango
KPA-M4	S. Rubislav
SEB-14	S. Apapa
BOU-11	S. Teshie
BOU-18	S. Virchow

* zu den Quellenbezeichnungen siehe Kapitel 10, Abkürzungsverzeichnis

Aus zwei der Proben, in welchen Salmonellen nachweisbar waren, konnten keine *E. coli* Bakterien nachgewiesen werden: in einem modernen Brunnen in Sebou und einem Marigot in Dendougou (SEB-1 und DEN-M4).

Clostridia spp wurden aus elf Quellen isoliert (19%); davon zweimal *Clostridium perfringens* und einmal *Clostridium botulinum*.

Tab. 4.4.2.2: Nachgewiesene *Clostridia spp*

Quelle*	Spezies
DEN-M3	<i>C. bifermentans</i> <i>C. glycolycum</i>
DEN-M1	<i>C. bifermentans</i> <i>C. septicum</i>
DEN-M4	<i>C. bifermentans</i>
DEN-M6	<i>C. bifermentans</i>
KPA-M2	<i>C. bifermentans</i> <i>C. botulinum</i>
DEN-2	<i>C. perfringens</i>
SER-2	<i>C. bifermentans</i>
BOU-13	<i>C. fallax</i>
BG-14	<i>C. clostridiforme</i>
DEN-1	<i>C. butyricum</i>
KPA-3	<i>C. bifermentans</i> <i>C. fallax</i> <i>C. perfringens</i>

* zu den Quellenbezeichnungen siehe Kapitel 10, Abkürzungsverzeichnis

Campylobacter spp und *Shigella spp* konnten nur im Wasser von zwei (KPA-M4, BOU-14) beziehungsweise einer (DEN-2) der Quellen nachgewiesen werden. Da diese Isolate den Transport nach Köln nicht überstanden, konnte keine weitere Diagnostik erfolgen.

Vibrio cholerae und *Yersinia spp* wurden mit den verwendeten Methoden nicht isoliert.

Eine Vielzahl weiterer fakultativ pathogener Mikroorganismen wurde als Begleitflora identifiziert (s. Tab. 4.4.2.3).

In neunzehn Fällen konnten verdächtige Isolate nicht vom Api20E identifiziert werden. Es ergab sich ein inakzeptables Reaktionsmuster.

Die Verteilung der nachgewiesenen Erreger auf die unterschiedlichen Quellenarten sind in Tabelle 4.4.2.4 und Abbildung 4.4.2.1 aufgeführt.

Tab. 4.4.2.3: Begleitflora

Namen	Vorkommen*
<i>Aeromonas hydrophila</i>	BOU-10, BOU-11, BOU-13, DEN-2, DEN-5, DEN-M2, DEN-M3, DEN-M6, DOG-2, SEB-1, SEB-6, SEB-8, SEB-10, SEB-M1, SER-1, SER-M1, SER-M2
<i>Enterobacter cloacae</i>	DEN-1, DEN-2, DEN-5, DEN-M1, DEN-M2, DEN-M4, DEN-M6, KPA-M1, PEL-1, SEB-13, SER-4
<i>Enterobacter spp</i>	BOU-2, BOU-5, BOU-8, BOU-10, BOU-12, DOG-1, SEB-8, SEB-9, PEL , SER-M2, -P1
<i>Streptococcus faecalis</i>	BOU-10, BOU-15, BOU-16, BOU-17, BOU-19, DEN-1, DOG-1, KPA-2, KPA-M4, PEL-1, PEL-P1, SEB-11, SER-M1, SER-M2, SER-P1
<i>Proteus mirabilis</i>	BOU-20, DEN-2, DEN-M1, DEN-M5, DEN-M6, DOG-2, KPA-1, KPA-M5, SEB-7, SEB-8, SEB-9, SEB-11, SEB-14
<i>Enterobacter sakazakii</i>	BOU-10
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	SEB-1
<i>Klebsiella spp</i>	DEN-M4
<i>Acinetobacter baumannii</i>	BOU-1, BOU-14, DEN-1, DEN-2, DEN-5, DEN-M6, DEN-M5, KPA-1
<i>Staphylokokus aureus</i>	BOU-14, DEN-2, DOG-2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DEN-M2, DEN-M3, DEN-M6
<i>Pseudomonas maltophilia</i>	DEN-1, DEN-2, DEN-5, DEN-6, DEN-M5, SEB-8
<i>Serratia marcescens</i>	DEN-2, DEN-M2
<i>Serratia odorifera</i>	DEN-5, DEN-M1, SEB-11
<i>Serratia spp</i>	BOU-2, KPA-1, SEB-8
<i>Citrobacter freundii</i>	DEN-M5
<i>Citrobacter youngae</i>	DEN-1, KPA-M2, SEB-1, SER-1
<i>Chryseomonas luteola</i>	BOU-18
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	DEN-2
<i>Vibrio fluvialis</i>	BOU-16, DEN-M6, KPA-1, KPA-M2
<i>Pleisiomonas shigelloides</i>	BG-10, SEB-6
<i>Edwardsiella tarda</i>	SER-M1
<i>Kluyvera spp</i>	SEB-10, SER-M1
<i>Pantoea dispersa</i>	SEB-11
koagulasenegative Staphylokokken	BOU-8, BOU-10, BOU-11, BOU-20, BOU-P2, KPA-1, KPA-2, PEL-P1
anaerobe Sporenbildner	in sämtlichen Quellen außer: BOU-1, BOU-10, PEL-1, PEL-P1, SEB-9, SEB-10, SEB-14

* zu den Quellenbezeichnungen siehe Kapitel 10, Abkürzungsverzeichnis

Tab. 4.4.2.4: Verteilung der Erregernachweise auf die unterschiedlichen Quellenarten

Nachgewiesene Erreger	Σ	Pumpen		Moderne Brunnen		Trad. Brunnen		Marigots	
<i>E. coli</i>	42	1	25%	13	65%	17	80,9%	11	84,6%
<i>Clostridium spp*</i>	12	-	-	2	10%	5	23,8%	5	38,5%
<i>Salmonella spp</i>	10	-	-	4	20%	2	9,5%	4	30,8%
<i>Campylobacter spp</i>	2	-	-	-	-	1	4,8%	1	7,7%
<i>Shigella spp</i>	1	-	-	1	5%	-	-	-	-

*davon 2 mal *Clostridium perfringens* und 1 mal *Clostridium botulinum*

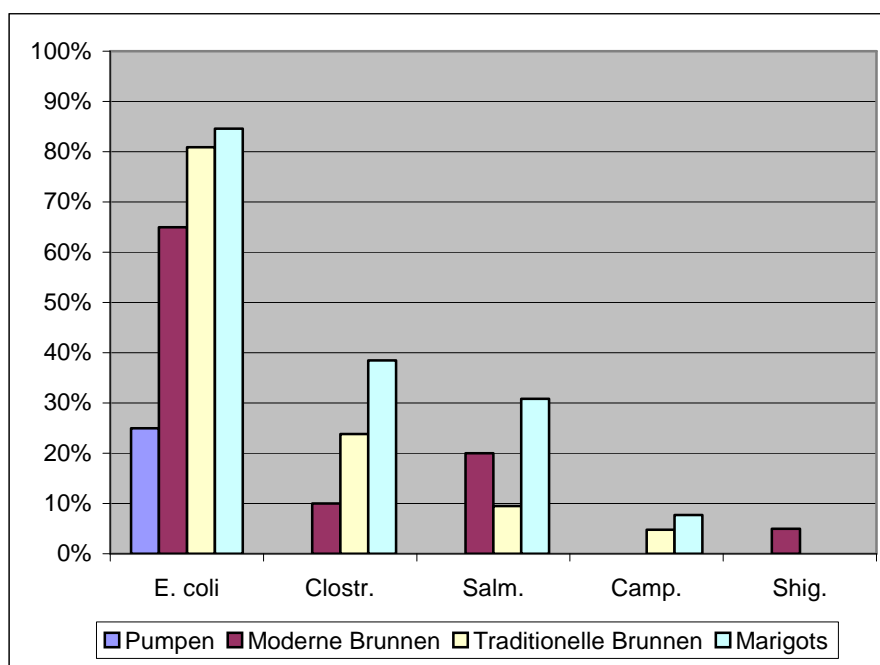


Abb. 4.4.2.1: Nachweisraten der Erreger (%) für die unterschiedlichen Quellenarten

E. coli war aus einer von vier Pumpen nachweisbar. Kein anderer Erreger konnte nachgewiesen werden.

Von 20 modernen Brunnen zeigten dreizehn (65%) einen positiven *E.coli* Nachweis. Aus vier (20%) ließ sich *Salmonella spp* nachweisen, aus zwei (10%) *Clostridium spp* und aus einer (5%) *Shigella spp*. Der *Campylobacter spp* Nachweis fiel für alle modernen Brunnen negativ aus.

Aus siebzehn der 21 (80,9%) beprobten traditionellen Brunnen gelang der Nachweis von *E. coli*. Aus fünf (23,9%) der von sulfitreduzierenden Clostridien, aus zwei (9,5%) der

von *Salmonella spp* und aus einem der von *Campylobacter spp*. Shigellen waren aus keinem der traditionellen Brunnen nachweisbar.

Die Marigots zeigten sowohl für *E. coli* mit elf Nachweisen (84,6%), als auch für Clostridien mit fünf (38,5%), Salmonellen mit vier (30,8%) und *Campylobacter* mit einem positiven Nachweis aus dreizehn Proben (7,7%) die höchsten Nachweisraten.

Prozentual betrachtet waren Dendougou und Kpawa die beiden Dörfer, in welchen die meisten Erreger nachgewiesen wurden (siehe Tabelle 4.4.2.5).

Tab. 4.4.2.5: Verteilung der Erregernachweise auf die einzelnen Dörfer

	Σ	Kpawa		Dogue		Bougou		Dendougou		Serou		Sebou		Pelebina	
Quellen gesamt (Σ)		7		2		16		10		6		15		2	
<i>E. coli</i>	42	7	100%	2	100%	15	94%	8	80%	4	67%	6	40%	-	-
<i>Salm. spp</i>	10	1	14%	-	-	2	13%	5	50%	-	-	2	13%	-	-
<i>Clostr. spp</i>	12	2	29%	-	-	2	13%	5	50%	1	16%	-	-	-	-
<i>Clostr. perfr.</i>	2	1	14%	-	-	-	-	1	10%	-	-	-	-	-	-
<i>Shig. spp</i>	1	-	-	-	-	-	-	1	10%	-	-	-	-	-	-
<i>Camp. spp</i>	2	1	14%	-	-	1	6%	-	-	-	-	-	-	-	-

4.4.2.1 Auffälligkeiten in der Verteilung der Erregernachweise auf die Quellen

Fundierte Aussagen zu möglichen Beziehungen zwischen weiteren Merkmalen der Quellen und Nachweisbarkeit von Erregern lassen sich auf der Basis rein qualitativer Daten zu diesem Zeitpunkt der Studie nicht machen.

4.4.3 Bestimmung der Minimalen Hemmstoffkonzentration für die Salmonella-Isolate

Bei den isolierten Salmonellaspezies wurde per Mikrodilution (NCCLS) im Analyseapparat VITEK2 die minimale Hemmstoffkonzentration (MHK) bestimmt.

Nahezu alle isolierten Serovaren waren sensibel gegen Ampicillin, Cefotaxim, Cefazidim, Ciprofloxacin, Gentamicin, Tetracyclin und Trimethoprim/Sulfomethoxazol. Nur drei der aus DEN-5 isolierten Serovaren Rostock zeigten eine intermediäre Sensibilität (MHK = 2) gegenüber den Tetracyclinen.

Tab. 4.4.3.1: MHK-Bestimmung für Salmonella-Isolate

Erreger *	AMP		COX		CAZ		CIP		GEN		MEZ		TTC		CTM	
	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl	MHK	Zahl
S. Rubislav (KPA-M4) sensibel	<=2	1	<=1	1	<=1	1	<=0,25	1	<=1	1	<=4	4	<=1	1	<=20	1
S. Apapa (SEB-14) sensibel	<=2	1	<=1	1	<=1	1	<=0,25	2	<=1	2	<=4	2	<=1	1	<=20	1
S. Teshie (BOU-11) sensibel	<=2	1	<=1	1	<=1	1	<=0,25	1	<=1	1	<=4	1	<=1	1	<=20	1
S. Virchow (BOU-18) sensibel	<=2	2	<=1	2	<=1	1	<=0,25	2	<=1	2	<=4	2	<=1	2	<=20	2
S. Rostock sensibel (DEN-2/DEN-5/DEN-M1) intermediär (DEN-5)	<=2	9	<=1	9	<=1	9	<=0,25	9	<=1	9	<=4	9	<=1	6	<=20	9
S. Dahomey (DEN-M4) sensibel	<=2	8	<=1	8	<=1	8	<=0,25	8	<=1	8	<=4	8	<=1	8	<=20	8
S. Hofit (DEN-M3) sensibel	<=2	5	<=1	5	<=1	5	<=0,25	5	<=1	5	<=4	5	<=1	5	<=20	5
S. Mango (SEB-1) sensibel	<=2	2	<=1	2	<=1	1	<=0,25	2	<=1	2	<=4	2	<=1	2	<=20	2

* zu den Quellenbezeichnungen in Klammern siehe Kapitel 10, Abkürzungsverzeichnis

AMP = Ampicillin	CAZ = Ceftazidim	GEN = Gentamicin	TTC = Tetracyclin
COX = Cefotaxim	CIP = Ciprofloxacin	MEZ = Mezlocillin	CTM = Trimethoprim/ Sulfomethoxazol

Die Ergebnisse wurden mit den entsprechenden im Robert-Koch-Institut (RKI) vorliegenden MHKs für die Serovaren Apapa, Mango, Rubislav, Teshie und Virchow (aus Lebensmitteln, Tier und Mensch) verglichen. Es ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung der Resistenzmuster. Geringgradige Abweichungen wurden für Cefotaxim und Tetracyclin festgestellt:

Alle verglichenen Serovare aus Benin zeigten sich sensibel für Cefotaxim und Tetracyclin (MHK ≤ 1), wohingegen der Großteil der Isolate aus Deutschland für Cefotaxim (MHK = 2 bzw. 16; S. Virchow: 98,9%, S. Rubislav: 90%) und Oxytetracyclin (MHK = 2 bzw. 4; S. Virchow: 68,2%, S. Rubislav: 61,54%) vom RKI als intermediär bewertet worden waren (Tab. 4.4.2.3).

Tab. 4.4.2.3: MHK Vergleich der Isolate aus Benin mit Isolaten des RKI aus Deutschland

Serovar	Cefotaxim				Oxytetracyclin Tetracyclin					
		RKI		Benin			RKI		Benin	
	MHK	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	MHK	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
S. Virchow										
sensibel	0,5	1	0,28%			0,5	17	4,55%	2	100%
sensibel	1	3	0,85%	2	100%	1	38	10,16%		
intermediär	2	222	63,10%			2	171	45,72%		
intermediär	16	126	35,80%			4	84	22,46%		
S. Teshie										
sensibel	1			1	100%				1	100%
intermediär	2	1	100%			2	1	100%		
intermediär	16					4				
S. Mango										
sensibel	1			2	100%	1			2	100%
intermediär	16	1	100%			4	1	100%		
S. Apapa										
sensibel	1			1	100%				1	100%
intermediär	2					2	4	100%		
intermediär	16	4	100%			4				
S. Rubislav										
sensibel	0,5					0,5	3	23,08%	1	100%
sensibel	1	1*	10,00%	1	100%	1	2	15,38%		
intermediär	2	5*	50,00%			2	7	53,85%		
intermediär	16	4*	40,00%			4	1	7,69%		

* teilweise nicht verwertbar

5 Diskussion

5.1 Nachträgliche Anmerkungen zur Methodik

Erweiterung der biochemischen Analysemöglichkeiten :

Durch Austestung phänotypischer Eigenschaften wie der Kohlenhydratverwertung im Kligler, Harnstoffspaltung durch Urease, Cytochromoxidase- und Katalaseproduktion und Zusatzreaktionen wie die Überprüfung von Indolproduktion aus Tryptophan, Lysindecaboxylierung, Beweglichkeit (alle drei im LIM-Test) und Citratverwertung konnten die klinisch wichtigsten Vertreter der Familie Enterobacteriaceae auch ohne die Anwendung der verhältnismäßig teureren Api-Strips (ApiE20 und rapidID32A, bioMérieux) weitgehend im Labor in Parakou identifiziert und in Köln bestätigt werden.

Optimierung des Transportmediums:

Bei neunzehn der nach Köln transportierten Isolate zeigte die Anfrischung im Institut für Immunologie, Mikrobiologie und Hygiene kein Wachstum, was möglicherweise auf das Fehlen von Glycerin beziehungsweise Dimethylsulfoxid (DMSO) im Transportmedium zurückzuführen ist. Glycerin oder DMSO verhindern die Bildung von Eiskristallen und damit die Zerstörung von Zellen während des Einfriervorgangs.

Einsatz von SMART (Sensitive Membrane Antigene Rapid Test) zum Nachweis von lebendigen jedoch nicht kultivierbaren *Vibrio cholerae*:

Beobachtungen von Xu, Roberts, Singleton, Attwell, Grimes und Colwell aus dem Jahr 1982 haben gezeigt, dass Vibrionen im Wasser in ein Stadium verfallen, in welchem sie zwar lebendig und infektiös, jedoch nicht kultivierbar und deshalb mit Standardmethoden nicht nachweisbar sind (Xu, H-S, 1982). Der Einsatz von SMART (Sensitive Membrane Antigene Rapid Test) oder DFA (Direct Fluorescent Antibody) macht einen Nachweis des Erregers auch in diesen Stadien möglich und könnte damit eine wenig aufwendige, im Feld leicht durchführbare und möglicherweise aussagekräftigere Alternative darstellen (Hasan, J. A. K., 1994 (1) & (2)).

5.2 Probleme bei der Herausarbeitung möglicher Zusammenhänge zwischen Wasserqualität und Merkmalen der Brunnen

Die möglichen Zusammenhänge zwischen Wasserqualität und Merkmalen der einzelnen Brunnen, beziehungsweise des Hygieneverhaltens der Konsumenten am Brunnen, sind wegen der Vielfalt potentieller Einflußgrößen schwierig darzustellen. Wesentliche Faktoren sind:

- Die **Filterkapazität des Bodens**, aus welchem das Wasser gefördert wird (Edmonds, R. L., 1976).
- Die **Entfernung potentieller Quellen fäkaler Verunreinigungen**, wie beispielsweise Latrinengruben von der Wasserstelle (Ogan, M. T., 1989), also letztendlich ihre Lage im Dorf.
- Die **Tiefe des Grundwasserspiegels** und die daraus resultierende Tiefe der Bohrlöcher und Brunnenschächte (Ogan, M. T., 1989).
- Der unmittelbare **Eintrag** in das Wasser beziehungsweise der mittelbare aus der Umgebung des Brunnens durch verschiedene Tierarten, welche sich häufig in den Brunnen finden, wie beispielsweise Amphibien (Kourany, M., 1981). In einem Fall (Seb-10) wurde bei der Probennahme ein Skorpion ins Probengefäß mitabgefüllt. Auch Vögel können das Wasser über den Verlust ihrer Federn bei der Mauserung oder direkt durch den Abgang von Fäkalien verschmutzen. Oder Insekten, die als Vektoren fäkaler Verunreinigung bekannt sind, und auf unterschiedlichsten Wegen ins Wasser gelangen. Hinzu kommt die Verschmutzung der Brunnumgebung durch die Exkreme einer Vielzahl weiterer Tiere, welche mit Hilfe unterschiedlichster Zwischenvektoren in das Wasser der Quellen gelangen können.
- Eine konsequente und sichere **Abdeckung der Quelle**, durch welche derartige Kontaminationen größtenteils verhindert werden könnten, stellt einen weiteren Einflussfaktor dar.
- Hinzu kommen Möglichkeiten der Wasserverunreinigung während des Schöpfvorganges durch die **Schöpfmethode**, das Seil, an dem der Behälter befestigt ist, die Hände, die das Seil und den Behälter bedienen,
- sowie die **Umgebungshygiene**, beispielsweise der Ort, an dem sich die Puisette, das Seil oder die Hände vor dem Wasserschöpfen befanden und die weiteren Kontaminationsmöglichkeiten mit welchen dieser Aufenthaltsort wiederum verbunden war.

Die Größe der Stichprobe und die Anzahl der positiven Nachweise reichen in der vorliegenden Studie, mit Ausnahme des Duncan-Tests und der einfaktoriellen ANOVA in Kapitel 5.4.1.1, nicht aus, um statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflussfaktoren und der Qualität des Wassers festzustellen, beziehungsweise auszuschließen. Ein wichtiger Grund hierfür ist die Inhomogenität der Gruppengrößen mit einer Gesamtzahl von nur vier funktionsfähigen Pumpen gegenüber 21 traditionellen Brunnen in den beprobten Dörfern. Hinzu kommt, dass aus Mangel an Kapazitäten, auf einen quantitativen Nachweis der Erreger verzichtet werden musste. Die hohe zeitliche Variation der Anwesenheit sowohl von Pathogenen als auch Indikatorbakterien (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, 2003, Chapter 7.1.1), aufgrund ihrer kurzen Überlebenszeit im Wasser und der bereits beschriebenen Vielzahl an Kontaminationsmöglichkeiten erschwerte die Herausarbeitung derartiger Korrelationen zusätzlich.

5.3 Zur Beziehung zwischen Indikatoren und potentiellen Pathogenen

Wie im Kapitel 2.1.1 bereits erwähnt, steht zur Diskussion, ob der alleinige Nachweis von Indikatorbakterien für bakteriologisch-deskriptive Studien mit dem Ziel, Voraussagen zur Relevanz der Trinkwasserqualität für die Volksgesundheit in subtropischen Entwicklungsländern wie Benin zu machen, beziehungsweise für eine einwandfreie Überwachung und Beurteilung der Akzeptabilität des verfügbaren Trinkwassers, ausreicht.

Positiver Salmonellennachweis ohne Nachweisbarkeit von *E. coli*:

Bei zwei von insgesamt zehn Quellen mit positivem Nachweis für Salmonellen (*Salmonella* Mango, *Salmonella* Dahomey), einem modernen Brunnen in Sebou und einem Marigot in Dendougou (SEB-1 und DENM-4), fiel bei unseren Analysen der Nachweis von *E. coli*, dem Indikator für frische, fäkale Verunreinigung (WHO Guidelines for Drinking-Water-Quality, 2003), negativ aus.

Dieser Mangel an Übereinstimmung stützt die mehrfach formulierte These, dass Indikatoren fäkaler Kontamination nicht immer zuverlässige Aussagen über die beziehungsweise Abwesenheit von enteropathogenen Bakterien, Viren und Protozoen (WHO Guidelines for Drinking-Water-Quality, 2003) und somit über die Sicherheit des untersuchten Trinkwassers zulassen (Mertens, T. E., 1990, Wright, R. C., 1982). Diese Abweichung lässt sich durch unterschiedliche Überlebenszeiten und Resistenzen gegen

Noxen im Wasser, sowie durch ein gewisses Vermehrungspotential der Bakterien in schlammigem, an organischen Substanzen reichem Wasser erklären (Davies, C. M., 1991, Rhodes, M. W., 1988). Auch wurden in einer Studie von Iveson und Fleay in Australien bei Abwesenheit von *E. coli*, Salmonellen aus Vogel- und Reptilienfäkalien isoliert (Iveson, J. B., 1991). Weiterhin können auch methodische Unsicherheiten bei den Nachweistechiken der jeweiligen Bakterien die Übereinstimmungen der Nachweise beeinträchtigen.

Fazit:

Um valide Aussagen zur Anwendbarkeit der gängigen Indikatoren für die Beurteilung der Sicherheit des Trinkwassers im Oberen Ouémébecken machen zu können, muss zum einen ein größerer Probenumfang berücksichtigt, zum anderen Untersuchungen bezüglich der Anwesenheit anderer Indikatoren, wie fäkaler und totaler coliformer Bakterien durchgeführt werden. Die räumlich und zeitlich sehr variablen und nicht vorhersagbaren Änderungen in der Beziehung zwischen Indikatoren und Pathogenen und die hieraus resultierende Unsicherheit legen allerdings ein zusätzliches Monitoring für Pathogene mit epidemiologischer Signifikanz nahe (Townsend, S. A., 1992, Mertens, T. E., 1990).

5.4 Bewertung der Wasserqualität anhand der erhobenen Parameter

Die bakteriologische Qualität des untersuchten Wassers ist für alle untersuchten Quellen, mit Ausnahme der vier Pumpen, als schlecht zu beschreiben. Beide untersuchten Parameter, die Anzahl der kolonienbildenden Einheiten/ml (KBE/ml) und die Nachweisbarkeit potentieller Pathogene und Fäkalindikatoren überschreiten die international gebräuchlichen Grenzwerte. Die Anwesenheit von Colibakterien im Trinkwasser beweist eine frische fäkale Verunreinigung und ist aus diesem Grunde laut WHO nicht akzeptierbar. 42 von 58, also 72,4% der beprobten Quellen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung mit *E. coli* kontaminiert. Beim HPC-Verfahren gelten gemeinhin KBE-Zahlen von bis zu 100 Einheiten/ml, in manchen Fällen bis zu 500/ml als grenzwertig (WHO Guidelines for Drinking-Water Quality 2003), wobei in unserem Fall für sämtliche Quellenarten mit Ausnahme der Pumpen weit über 5000 KBE/ml gezählt wurden (Mittelwert: 11084 KBE/ml).

Tab. 5.4.1: Einhaltung von Qualitätskriterien

Kriterien	eingehalten	Quelle	überschritten	Quelle
KBE-Grenzwert: 100 KBE/ml	4 (6,9%)	BOU-P2 PEL-P1 SEB-P1 SER-P1	54 (93,1%)	alle übrigen
Abwesenheit von Fäkalindikatoren (<i>E. coli</i>)	16 (27,6%)	DEN-M4 SEB-M1 DEN-6 PEL-1 PEL-P1 SEB-P1 SEB-1 SEB-10 SEB-6 SEB-7 SER-4 SER-P1 BOU-10 SEB-13 SEB-2 SEB-8	42 (72,4%)	alle übrigen

Hinzukommt, dass zum Zeitpunkt der Probennahme zehn von 58 Quellen (17,2%) mit *Salmonella spp* kontaminiert waren. Zwölf mit *Clostridium spp* (20,7%), zwei mit *Campylobakter spp* und eine mit *Shigella spp* (s. Kap. 4.4.2).

Für das Einsetzen der Regenzeit ist, durch das Einspülen fäkaler Substanzen in die Quellen, mit einer weiteren Verschlechterung der Wasserqualität zu rechnen (Blum, D., 1987, Wright, R. C., 1986).

Fazit:

Der entscheidenden Rolle, welche sicheres Trinkwasser als Basis für Gesundheit und damit Entwicklung in Ländern wie Benin spielt, wird das aus den in der Region vorhandenen Quellen stammende Wasser in keiner Weise gerecht.

Die nachgewiesenen Bakterien bergen nicht nur die direkte Gefahr, an den von ihnen verursachten Krankheiten (Salmonellenenteritiden, Ruhr, Campylobakteriosen etc.; s. Kap. 1.2) zu erkranken. Ihr positiver Nachweis liefert ausserdem Grund zur Annahme, dass eine Vielzahl weiterer Mikroorganismen wie Protozoenarten, Rota- und Hepatitisviren oder Amöben und Schistosomen im Wasser anwesend sind.

Dies stellt ein enormes Risiko für die Gesundheit der dörflichen Bevölkerung dar und ist als wichtige Ursache für das regelmäßige Auftreten von Choleraepidemien (2001 in Parakou mit 40 Toten, 2003 in Borgou mit 265 Erkrankten und 3 Toten, WHO) sowie die

hohe Kindersterblichkeit und die geringe Lebenserwartung in der Region zu betrachten (s. Tab. 5.4.2).

Angaben zur Letalität der wichtigsten wassergebundenen Bakterien sind in Tabelle 5.4.3 dargestellt.

Tab. 5.4.2: Gesundheitsindikatoren in Benin (WHO)

Parameter	männlich	Weiblich
Lebenserwartung bei Geburt (pro 1000) in Jahren	50,1	52,4
Gesunde Lebenserwartung bei Geburt (pro 1000) in Jahren	43,4	44,5
Kindersterblichkeit (pro 1000)	166	158
Erwachsenensterblichkeit (pro 1000)	424	360

Tab. 5.4.3: Beziehung zwischen der Letalität von Darmerkrankungen und der prozentualen Häufigkeit ihrer Übertragung durch Trinkwasser zum Ende des 20. Jahrhunderts (Ewald, P. W. 1991 und 1997; Müller, H. E. 1997)

Erreger von Intestinalinfektionen	Letalität	Häufigkeit der Übertragung durch Trinkwasser
<i>Vibrio cholerae</i> subsp. <i>cholerae</i>	15,20%	83,3%
<i>Shigella dysenteriae</i>	7,50%	80,0%
Salmonella Typhi	6,20%	74,0%
<i>Vibrio cholerae</i> subsp. <i>eltor</i>	1,42%	50,0%
<i>Shigella flexneri</i>	1,35%	48,3%
<i>Shigella sonnei</i>	0,45%	27,8%
Enterotoxische <i>E. coli</i> (ETEC)	>0,10%	20,0%
<i>Campylobacter jejuni</i>	>0,10%	10,7%
Salmonella enterica subsp.	>0,10%	1,6%

Das Ausmaß der indirekten Effekte auf Wirtschaft und Entwicklung ist hier schwer zu beurteilen.

5.5 Unterschiede zwischen den Quellentypen

Die in dieser Anlaufphase des Projektes von uns verwendete Einteilung der Quellen in die vier verschiedenen Grundtypen, Marigot, traditioneller, moderner Brunnen und Pumpe, mag zwar vereinfachend wirken, hat jedoch, wie die ermittelten qualitativen Unterschiede zeigen, durchaus ihre Berechtigung.

Sowohl bei der Koloniezahlbestimmung als auch bei den Nachweisraten der Erreger zeichnete sich der folgende Trend ab:

Die Marigots sind stärker kontaminiert als die Brunnen (traditionell und modern). Die Pumpen liefern als einzige Quellenart eingeschränkt nutzbares Trinkwasser (s. Kap. 4.4.1.1./4.4.2; Abb. 4.4.1.1./4.4.2.1).

Die Tatsache, dass allein in der einfaktoriellen ANOVA signifikante Unterschiede zwischen den KBE-Zahlen der einzelnen Gruppen von Quellenarten feststellbar waren, die durchgeführten T-Tests hingegen nicht signifikant ausfielen, ist auf die erhebliche Inhomogenität der Gruppengrößen bei einer ohnehin sehr kleinen Gesamtstichprobe zurückzuführen.

Diese Unterschiede stimmen mit den Ergebnissen ähnlicher Studien, wie sie beispielsweise von Mertens in Sri Lanka oder Lindscoog in Malawi durchgeführt wurden, überein (Mertens, T. E., 1990, Lindscoog, T. U. M, 1988) und lassen sich bereits bei der Betrachtung der exemplarischen Abbildungen in Kapitel 4.1 (Abb. 4.1.1 ff) und in Kenntnis der Quellencharakteristika leicht erklären:

- Marigots sind vollkommen ungeschützt vor Verunreinigungen von außen. Das aus ihnen geförderte Wasser entstammt einer geringen Tiefe, meist nicht mehr als ein paar Dezimeter, wodurch der reinigende Filtereffekt des umgebenden Bodens fehlt. Häufig werden sie von Tieren (auch Nutztieren, wie beispielsweise den Kühen der Peul) und Menschen im direkten Wechsel genutzt.
- Brunnen sind tiefer und durch ihren Randwall besser vor Verunreinigungen durch Regen- und Oberflächenwasser geschützt. Verunreinigungen von oben oder während des Schöpfvorganges bleiben jedoch möglich. Die Qualität des Wassers scheint dementsprechend besser als die des Marigotwassers, jedoch bei weitem nicht akzeptabel. Der Vorteil der modernen, von den Projekten gebauten, zementierten Brunnen gegenüber den handgegrabenen Lehmbrunnen, besteht theoretisch in den zementierten Schachtwänden und einem knapp einen Meter hohen, zementierten Damm mit einem Radius von meist etwa fünf Metern, welcher zum Rand hin abfällt. Das geförderte Grundwasser wird hiermit zusätzlich vor absickernden, kontaminierten Oberflächen- und Spritzwassern geschützt. Ein Einfluss auf die Dichte der heterotrophen Bakterien in den in

dieser Studie untersuchten Brunnen war allerdings praktisch nicht feststellbar. Auch wenn E. coli in modernen Brunnen (dreizehn von 20), verglichen mit traditionellen (siebzehn von 21), seltener nachweisbar war, scheint sich ihr Vorteil im wesentlichen darauf zu beschränken, dass sie stabiler sind, langsamer versanden und somit in Zeiten, in denen die anderen bereits trocken liegen, die von ihnen abhängigen Menschen weiterhin mit Wasser versorgen.

- Ein perfekt geführter Brunnen, bei dem die Möglichkeiten der Kontamination von oben, durch hineinfliegende, verunreinigte Gegenstände, Fäkalien oder Tiere, beziehungsweise -während der Wasserentnahme - durch den Nutzer ausgeschlossen oder zumindest weitgehend gebannt sind, entspricht in seiner optimierten Form praktisch einer Pumpe.

Obwohl diese Tatsachen leicht nachvollziehbar erscheinen, sind funktionsfähige Pumpen in der Region wie in den Kapiteln 4.1 und 5.5 beschrieben, noch immer eine Seltenheit.

5.5.1 Gründe für den Mangel an funktionsfähigen Pumpen

Der sehr geringe Anteil der Pumpen an der Gesamtzahl der Wasserquellen in unserem Catchment lässt sich zum einen durch die **verspätete Übernahme der „Nouvelle Stratégie“** (AEPA, s. Kap. 1.3) durch die NGOs in den nördlichen Départements, und zum andern durch die **lange Anlaufzeit des Projektes** erklären. So konnten bis September 2002, nur 27% der bestellten und bereits erstandenen Pumpen tatsächlich installiert werden. Bei einer Befragung, die in jeweils 17 Dörfern in Donga und Borgou durchgeführt wurde, ergab sich, dass die im Sinne der „Nouvelle Stratégie“ für die Wasserversorgung zuständigen Wasserkomitees nur in 32% der Fälle überhaupt existierten. Bei den Antworten auf die Frage nach wichtigen Organisationen und Institutionen in den Dörfern wurden die Wasserkomitees nicht ein einziges Mal erwähnt (unveröffentlichte Daten IMPETUS A4, Behle, C., 2003).

Ein weiterer Grund besteht in der untergeordneten Rolle, die der Qualität des geförderten Wassers bei der Entscheidung darüber, welche Quellenart in einem Dorf errichtet werden soll, eingeräumt wird.

5.5.1.1 Einflussfaktoren bei der Entscheidung für eine bestimmte Quellenart

Die wichtigsten Faktoren, die die Entscheidung für die Installation einer bestimmten Quellenart beeinflussen, sind laut André Toupé, dem Leiter der Direction de l'Hydraulique,

- vorausgegangene Erfahrungen,
- Kosten (Anteil den die Kommune an den Anschaffungs- und Unterhaltungskosten zu bezahlen hat),
- bekannte technische Probleme,
- weitere Vor- und Nachteile der jeweiligen Quellenart (Toupé, A., 1998).

Um eine Pumpe über Jahre hinweg funktionsfähig zu halten, müssen regelmäßig Präventivmaßnahmen durchgeführt werden, will man das Auftreten größerer Schäden verhindern. Dies gilt ebenso für die sogenannten VLOM-Pumpen, die speziell für das Management auf Ebene der Dörfer konzipiert sind. Der hiermit verbundene Aufwand übersteigt denjenigen für Bau und Instandhaltung eines Brunnens um ein Vielfaches. Die kommunalen Entscheidungsträger sind häufig nicht dazu bereit, das mühselig akquirierte Geld für derartige, nicht akut notwendig erscheinende Maßnahmen auszugeben. Es wird gewartet, bis der Schaden so groß ist, dass die Pumpe nicht mehr genutzt werden kann. Das Resultat ist ein verhältnismäßig großer technischer Aufwand verbunden mit hohen Instandsetzungskosten.

Derartige Erfahrungen überschatten die qualitativen Vorteile des Pumpenwassers und führen häufig zu einer Entscheidung für die einfacher zu handhabenden Quellentypen, da, solange wasserführende Brunnen oder traditionelle Quellen in Reichweite sind, das Bedürfnis nach einer vergleichsweise sicheren Wasserquelle nicht groß genug ist, um den Aufwand und die Kosten für Installation und Instandhaltung einer Pumpe auf sich zu nehmen (Yanore, G. A., 1995).

Missmanagement bei der Beschaffung von Ersatzteilen, fehlerhafte Kosten-Nutzen-Kalkulation bezüglich der Ausgaben für präventiv instandhaltende Maßnahmen, sowie ein unzureichendes Bewusstsein der Entscheidungsträger bezüglich der gesundheitlichen Vor- und Nachteile der verschiedenen Quellentypen, stellen somit nach wie vor ein großes Hindernis für eine flächendeckende Bereitstellung sicherer Trinkwasserförderanlagen dar.

Fazit:

Nur Wasser aus Pumpen wird bezüglich der in der vorliegenden Studie untersuchten Parameter den internationalen Standards annähernd gerecht. Durch seine Verwendung als Trinkwasser kann somit das Risiko wasserassoziierter Infektionen für die Konsumenten gesenkt werden. Bei der Auswahl einer geeigneten Wasserquelle für eine Kommune sollten diese Ergebnisse gebührende Berücksichtigung finden.

5.6 Die Rolle des Marigotwassers

Die im vorangegangenen Kapitel diskutierten Ergebnisse werfen die Frage auf, welche Rolle das Marigotwasser in der Region tatsächlich spielt. Sowohl zur Beurteilung des Hygieneverhaltens und des Risikobewusstseins der Konsumenten, als auch für eine Risikoanalyse ist diese Frage von zentraler Bedeutung. Von wie vielen Menschen wird es tatsächlich ohne Aufbereitung getrunken, besonders während der Trockenzeit, und worin genau liegen die Gründe hierfür?

Gemäß den Erhebungen, die Kollegen aus den Teilprojekten A4 („Soziodemographische Entwicklung und Migration im Hinblick auf Ressourcenknappheit“) und A5 („Zugang, Qualität und Management natürlicher Ressourcen: Sozialwissenschaften und Medizin“) im Sommer 2004 in der Kommune Djougou erhoben spielen folgende Gründe für die Auswahl einer Wasserstelle eine wichtige Rolle:

- Sauberkeit (subjektiv beurteilt)
- Geschmack
- Sicherheit (An-/Abwesenheit von Hexerei)
- Bedeutung der Quelle als sozialer Treffpunkt
- Keine Alternativen
- Entfernung
- Kosten

Nahezu ein Viertel der Befragten war aufgrund fehlender Alternativen auf die Nutzung der nach den erhobenen Ergebnissen unsichersten Wasserquelle, das Marigot, angewiesen. Hierbei sollte Erwähnung finden, dass es sich bei der Region Djougou um eine Kommune mit einem überdurchschnittlich hohen städtischen Bevölkerungsanteil handelt, weshalb

davon auszugehen ist, dass in ländlicheren Kommunen ein noch größerer Teil der Bevölkerung dem Zwang zur Marigotwassernutzung unterliegt.

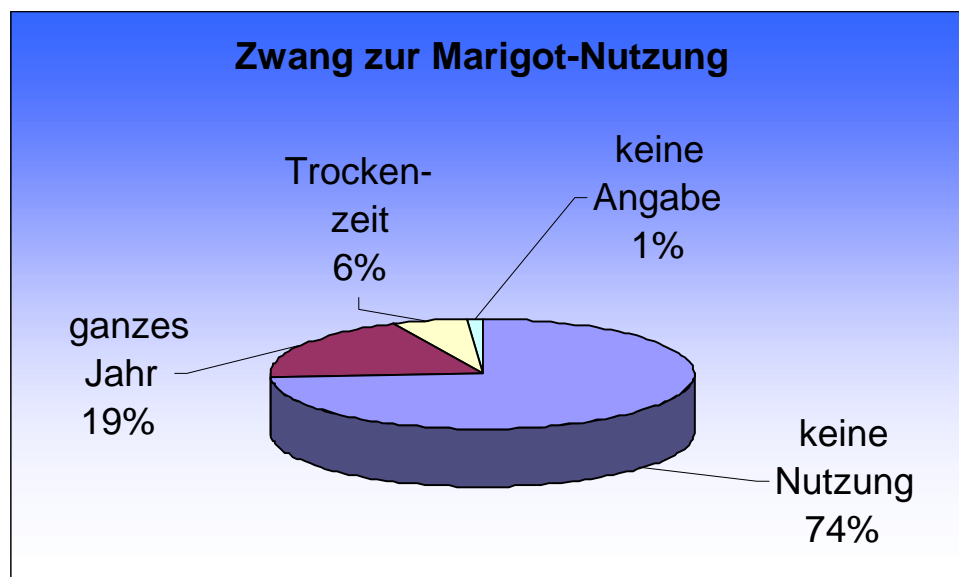


Abb. 5.6.1: Bevölkerungsanteil mit Zwang zur Marigot-Nutzung in der Kommune Djougou (unveröffentlichte Daten, Hadjer, K., Klein, T., Singer, U., 2004, IMPETUS Teilprojekt A4, A5)

5.7 Unterschiede in den einzelnen Dörfern und Zusammenhänge zwischen Anzahl der Quellennutzer, Wasserqualität und gesundheitlichem Risiko

Die verhältnismäßig geringen Unterschiede in den KBE-Konzentrationen und der Anzahl der nachgewiesenen Erreger zwischen den einzelnen Dörfern lassen, in Anbetracht der bekanntermaßen hohen zeitlichen Variation dieser Parameter (Carlson, S. 2000), bei der geringen Probenzahl keine bestimmten Rückschlüsse auf möglicherweise bestehende Zusammenhänge zu (s.o.). Jedoch lassen sich auf dieser Basis Vermutungen anstellen, welche die verhältnismäßig schlechtere Qualität des Brunnenwassers in Dörfern mit einer geringen Quellenzahl, wie Dogue (zwei Brunnen, durchschnittlich 47500 KBE/ml) und Pelebina (ein Brunnen, 30000 KBE/ml), im Vergleich zu Dörfern in welchen viele Quellen zur Verfügung stehen, wie beispielsweise Bougou (sechzehn beprobte Quellen, durchschnittlich 2411,5 KBE/ml) zu erklären versuchen (s. auch Abb. 4.4.1.3).

Risikofaktor Anzahl der Konsumenten:

Wo es nur wenige Wasserquellen gibt, müssen diese von einer größeren Konsumentenzahl genutzt werden. Mit der Anzahl der Menschen, die Wasser aus einem Brunnen schöpfen, steigen auch die Möglichkeiten zur Kontamination. Beispielsweise

werden Schöpfgefäß und Zugseil, die häufig auf dem Boden direkt neben dem Brunnen aufbewahrt werden, von vielen verschiedenen, womöglich schmutzigen Händen entsprechend oft ins Wasser des Brunnens eingetaucht. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass der Brunnenrand mit kontagiösem Material verunreinigt wird, welches über Tropfwasser in das Brunnenwasser gelangt, steigt mit der Anzahl der Menschen, die aus diesem Brunnen schöpfen. Jeder Haushalt, der den Brunnen nutzt, trägt seine Erreger von zuhause an die Quelle, wo sie zu einer potentiellen Gefahr für die gesamte Kommune werden. Der Dorfbrunnen fungiert hierbei als Keimverteiler.

Wird ein Brunnen hingegen nur von einer Familie genutzt, wird er als privates Eigentum dieser Familie(n) betrachtet und als solcher mit großer Wahrscheinlichkeit besser instandgehalten. Außerdem wird er durch Maßnahmen wie beispielsweise die Aufbewahrung der Puitsette an einem geschützten Ort oder eine ständige Abdeckung des Brunnens hygienisch gesehen besser geführt. Die Ausbreitungsmöglichkeiten der potentiell im Wasser enthaltenen Krankheitserreger bleiben in diesem Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Haushalt, in welchem sie aufgrund des engen Zusammenlebens ohnehin zirkulieren, beschränkt und stellen somit ein weit geringeres Gesundheitsrisiko für die Gesamtkommune dar (Mertens, T. E., 1990). In einer Studie von L. Haddad, in welcher eine Korrelation zwischen unzureichendem Zugang zu sauberem Trinkwasser, Unsicherheit der Nahrung und daraus resultierenden schlechten Ernährungszuständen von Vorschulkindern in den entsprechenden Haushalten beschrieben wird, war es ebenfalls das Wasser aus Pumpen oder privaten Brunnen, welches das größte Maß an Sicherheit garantierte (Haddad, L., 1996).

Die Gegenüberstellung der mittleren Keimdichten für Brunnen mit unterschiedlichen Konsumentenzahlen, wie in Kap. 4.4.1.3 geschehen, scheint diesem Trend zu entsprechen.

Hinzu kommt, dass im Fall einer ernstzunehmenden Verunreinigung einer Quelle, aus welcher fünfzig Prozent der Bevölkerung eines Dorfes versorgt werden mit gravierenderen Folgen für die Kommune zu rechnen ist, als bei der Kontamination eines Brunnens, dessen Wasser sich nur fünf Familien teilen.

Die hohe Zahl der Nutzer je Quelle trägt außerdem dazu bei, dass an den Quellen lange Wartezeiten entstehen, insbesondere während der Trockenzeit und bei den Pumpen (Abb. 5.7.1; Behle C., 2003). Der Einzugsradius einer Quelle nimmt mit der Anzahl der Konsumenten zu - bei 20 Familien kann nicht jede direkt neben der Quelle wohnen - was dazu führt, dass die Wegstrecken, die zur Quelle zurückgelegt werden müssen,

verhältnismäßig länger werden. Vom IMPETUS-Workpackage A4-1 im Frühjahr 2002 in drei Dörfern im Catchment (Sérou, Doguè und Kaki-Koka) durchgeführte Gruppenanalysen zeigten, dass pro Tag und Familie Wasserholzeiten von bis zu 6h anfallen (Behle, C., 2003).

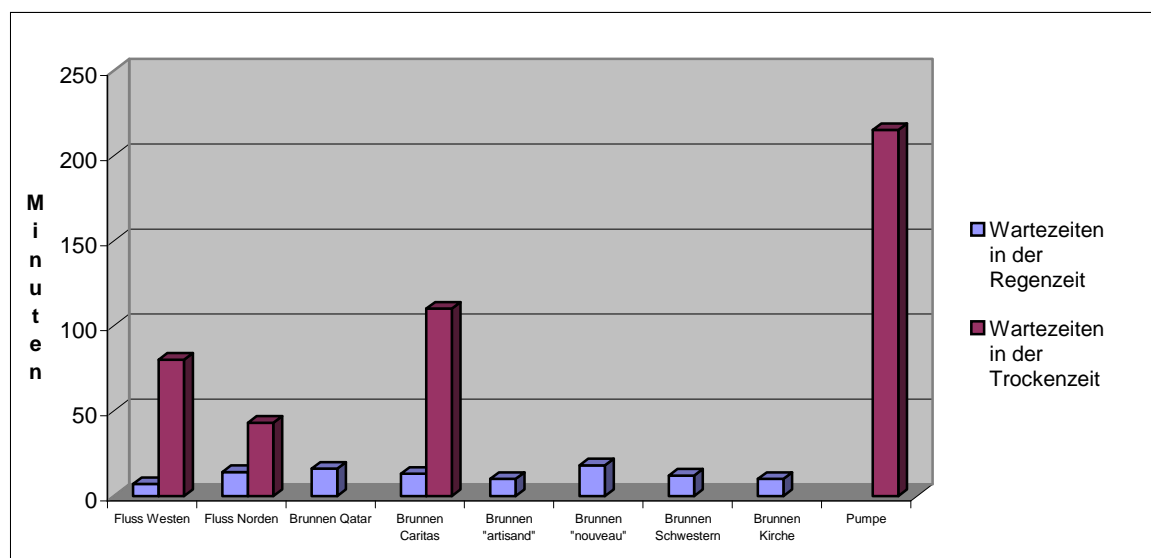


Abb. 5.7.1: Wartezeiten an Wasserstellen in Kaki-Koka pro Benutzung, IMPETUS dritter Zwischenbericht, C. Behle, 2003

Fazit:

24 der insgesamt 58 untersuchten Quellen müssen jeweils von mehr als zwanzig Haushalten genutzt werden (s. Abb. 4.4.1.3). Mit der Anzahl der Nutzer einer Wasserquelle steigt sowohl das Risiko einer möglichen Kontamination des geförderten Wassers, als auch das der Verbreitung von im Wasser anwesenden Krankheitserregern innerhalb der Kommune.

Hinzukommt, dass durch lange Wartezeiten und Wegstrecken die für die Wasserbeschaffung aufzubringende Zeit auf bis zu 6h pro Tag und Familie anschwillt, wodurch ein Ausweichen auf andere, im Zweifelsfalle noch unsicherere Quellen, gefördert wird.

5.8 Maßnahmen

Für eine Lösung der Probleme bei der Versorgung mit sicherem Trinkwasser im ländlichen Raum, insbesondere der sich entwickelnden Welt, ist Kreativität, Beständigkeit und Rücksicht auf die Erfordernisse und die Fähigkeiten der jeweiligen Gemeinden erforderlich.

Zentrale, an Leitungsnetze gebundene Systeme wären auch hier langfristig sicherlich ideal, jedoch kostspielig, schwer instand zu halten und mit enormem organisatorischem Aufwand (geschultes Personal etc.) verbunden und deshalb nur sehr langsam zu verwirklichen. Versorgungsnetze sind besonders anfällig für Leckagen, wenn ein konstanter Versorgungsdruck nicht aufrechterhalten werden kann, was bei den extremen saisonalen Schwankungen der Wasserverfügbarkeit in Benin mit hoher Wahrscheinlichkeit Probleme bereiten würde. Bereits aufbereitetes Wasser wird häufig im Netz verschmutzt: um diese Verluste auszugleichen, ist wiederum eine Bereitstellung von sehr viel Wasser erforderlich. Probleme mit dem entstehenden Abwasser sind eine Folge, die das System noch komplexer werden lässt.

In armen ländlichen Gemeinden sind **dezentrale Verteilungssysteme** deshalb eine sinnvolle Alternative. Auf Leitungen, maschinelle Pumpvorrichtungen und komplizierte Messgeräte kann verzichtet werden. Hinzu kommt, dass öffentliche Beteiligung und lokales Management unterstützt werden.

Da Pumpen, wie bereits mehrfach betont, als einzige der verfügbaren Quellenarten unter den vorherrschenden Bedingungen ein aus mikrobiologisch-hygienischer Sicht akzeptierbares Trinkwasser zu liefern im Stande sind, ist längerfristig eine ausreichende Bereitstellung dieses Quellentyps anzustreben. Auch die extrem langen Wartezeiten, die entstehen, wenn während der Trockenzeit das Reservoir in den Brunnen zu den Stoßzeiten schnell aufgebraucht ist und deshalb gewartet werden muss, bis neues Wasser nachsickert und geschöpft werden kann, ließen sich hierdurch vermeiden.

5.8.1 Kurzfristige Interventionsmöglichkeiten

Neben der Bereitstellung von sicheren Trinkwasserquellen besteht eine Reihe von Möglichkeiten, unsauber gefördertes Wasser, wie beispielsweise Marigot-, Brunnen- oder

Flusswasser, mit relativ geringem finanziellem und organisatorischem Aufwand nachträglich für den Gebrauch zu reinigen. Es folgen drei Beispiele:

1) Die Tatsache, dass Cholera-Vibrionen nicht gleichmäßig im Wasser verteilt sind, sondern mit Hilfe einer Chitinase an Crustaceen, Zooplankton und Phytoplankton anhaften, machten sich Colwell, Huq und Mitarbeiter bei einer Studie in Bangladesh zunutze, in welcher sie die Wirksamkeit des Einsatzes traditioneller Tücher als Nutzwasserfilter untersuchten. Wurden die Tücher vierfach gefaltet, gelang es Bestandteile mit einem Durchmesser von mehr als 20µm aus dem Wasser herauszufiltern, unter anderem auch Planktonarten und Krebse, wodurch 90% der Choleraerreger ebenfalls aus dem Wasser entfernt werden konnten. In 65 Dörfern, in welchen das Nutzwasser über circa achtzehn Monate auf diese Weise behandelt wurde, konnte das Auftreten von Cholerafällen gegenüber der Vergleichsgruppe um etwa 48% gesenkt werden (Colwell, R. R., 2003).

2.) Eine weitere, einfache, und effektive Möglichkeit, die Qualität von Trinkwasser zu verbessern, wurde von der Abteilung für Wasser- und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (SANDEC) der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Dübendorf in der Schweiz entwickelt. Die Gruppe um Martin Wegelin nutzt bei ihrer SODIS-Methode (Solare Trinkwasserdesinfektion) die zelltoxischen Effekte von Sonnenstrahlen und kombiniert die desinfizierende Wirkung von UV-A Strahlen mit der der solaren Pasteurisierung, kurz: Strahlung und Hitze. Das aus der Quelle geschöpfte Wasser wird in PET-Flaschen (Polyethylen Terephthalat) abgefüllt und sechs Stunden lang in die Sonne gelegt. Um die Hitzeentwicklung in der Flasche zu begünstigen sind die Flaschen einseitig schwarz bemalt. Erreicht das Wasser eine Temperatur von über 50°C, reicht bereits eine Expositionszeit von einer Stunde aus, um im Wasser befindliche Mikroorganismen um 99,9% zu reduzieren und dessen mikrobiologische Qualität erheblich zu verbessern (Sommer, B., 1997). Der zeitliche Aufwand hält sich in Grenzen und auf den Verbrauch kostbarer Brennstoffe kann verzichtet werden. In mehreren Feldstudien in Indonesien, Lateinamerika, Togo, Kenia etc. hat das Konzept seine Wirksamkeit bereits unter Beweis gestellt (Solsona, F., 1998, <http://www.sodis.ch>).

3.) Reiff und Mitarbeiter untersuchten 1996 in Lateinamerika Aufwand, Kosten und Nutzen der Trinkwasserdesinfektion auf Haushaltsebene mit 0,5 bzw. 1 prozentiger Hypochlorit-Lösung und dessen sichere Aufbewahrung in kontaminationsgesicherten

Plastikkontainern. In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten erfolgte die Herstellung des Hypochlorits entweder direkt auf lokaler Ebene oder an einer zentralen Produktionsstätte. Handhabung und Instandhaltung der Produktionsanlagen ließen sich auf kommunaler Ebene bewerkstelligen. In beiden Fällen wurden Arbeitsplätze und Einkommensmöglichkeiten geschaffen. Die jährlich anfallenden Kosten beliefen sich auf 2-4 US-Dollar je Haushalt (Reif, F. M., 1996).

Derartige Maßnahmen können, als Ergänzung zur direkten Förderung primär sauberen Wassers durch Pumpen, die Gefahr der Haushaltskontamination vor dem Gebrauch senken (siehe Kapitel 5.8.2). Zudem bieten sie eine kostengünstige Alternative, für Kommunen, in welchen keine sicheren Quellen vorhanden sind, eine akzeptable Qualität von Wasser aus alternativen Quellen zu gewährleisten.

Ihre Implementierung ist für alle Quellen mit positivem Nachweis für *E. coli*, *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, *Shigella spp*, sowie *Clostridium perfringens* und *botulinum* (s. tabellarische Übersicht der beprobten Quellen im Anhang), wegen der starken zeitlichen Variation ihrer Anwesenheit im Wasser und der Menge an Kontaminationsmöglichkeiten, letztendlich jedoch für alle untersuchten Quellen mit Ausnahme der Pumpen, dringend notwendig.

Eine Entscheidung darüber welche Maßnahme sich am besten für welches Dorf beziehungsweise welche Quelle eignet, ist von den unterschiedlichen Ressourcen und Bedürfnissen der jeweiligen Kommune abhängig und sollte deshalb in Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen auf kommunaler Ebene im Sinne von „Nouvelle Stratégie“ und PADEAR erarbeitet werden (s. Kap. 1.3.1.1).

5.8.2 Bedeutung des Hygienebewusstseins und Gefahr der Haushaltskontamination

Eine bessere Versorgung der Dörfer mit möglichst sicheren Trinkwasserquellen, also Pumpen, stellt sicherlich einen wichtigen Ansatz bei dem Versuch der Verbesserung der Hygienesituation und einer daraus resultierenden Senkung der Inzidenzraten von Infektionskrankheiten, sowie der Säuglingssterblichkeit dar.

Jedoch bliebe selbst im Idealfall, in dem sämtliche Haushalte mit „sauberem Pumpenwasser“ versorgt wären, die Gefahr der Verunreinigung dieses Wassers auf dem Weg von der Quelle bis zum Mund des Konsumenten, bestehen. Auch sehr geringe, für sich genommen unbedenkliche Zahlen von Pathogenen können sich, nachdem sie über das Wasser, beispielsweise bei der Vorbereitung von Mahlzeiten, mit Essen in Kontakt

gekommen sind, in diesem, insbesondere bei hohen Umgebungstemperaturen, bis zu infektiösen Dosen vermehren und somit für die Konsumenten eine gesundheitliche Gefahr darstellen. Hinzu kommt, dass Wasser nicht den einzigen Vektor für die Übertragung dieser Pathogene darstellt. Auch Essen, Hände, Gebrauchsgegenstände und Kleider können eine wichtige Rolle spielen, vor allem in Gegenden, in denen ein Mangel an sanitären Anlagen und angewandten Hygienepraktiken besteht. Laut UNICEF ließe sich durch die Einführung simpelster Hygienemaßnahmen, wie insbesondere einfachen Händewaschens mit Seife, die Anzahl der Durchfallerkrankungen in Ländern wie Benin um bis zu 22% senken (UNICEF 2004).

Verbesserung von sanitären Einrichtungen und Hygienepraktiken:

In einem Review verschiedener regionaler Studien, in dem der Effekt unterschiedlicher Interventionen im Bereich Trinkwasser und Hygiene auf Mortalität und Morbidität in der Bevölkerung in eine hierarchische Ordnung gebracht wurde, wurde festgestellt, dass die Verbesserung von sanitären Einrichtungen und Hygienepraktiken in den Haushalten größere Auswirkungen auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung hat, als die Steigerung von Qualität und Quantität des verfügbaren Trinkwassers, wobei die Steigerung der Wassermenge sogar eine wichtigere Rolle zu spielen scheint, als die der Wasserqualität (Hoddinott, J., 1997). Eine Analyse bezüglich Wassers und sanitärer Anlagen in fünfzehn Sub-Sahara-Ländern stellte außerdem fest, dass der Anteil an Vorschulkindern mit Wachstumsstörungen in Haushalten mit Zugang zu sanitären Anlagen neunzehn Prozent betrug, gegenüber 50 Prozent in Haushalten in welchen diese Einrichtungen fehlten. In Haushalten, die über einen Zugang zu sauberem Wasser verfügten, lag der Anteil der wachstumsgestörten Kinder bei sieben Prozent. Für Haushalte, die ihr Wasser aus ungeschützten, traditionellen Quellen oder nichtabgedeckten Brunnen bezogen, belief er sich auf 36 Prozent (Webb, P., 1998). All dem zum Trotz wird dieser Notwendigkeit der Implementierung von sanitären Einrichtungen und Hygienemaßnahmen innerhalb der betroffenen Bevölkerung häufig noch immer eine sekundäre Rolle beigemessen (Yanore, G. A., 1995; siehe auch Ende Kapitel 5.8.1.2).

Durch Integration von Interventionen in all diesen Bereichen (sanitäre Anlagen, Wasser und Hygienepraktiken) kann sicherlich der größtmögliche positive Effekt auf die Gesundheit erzielt werden. Um diese Interventionen allerdings sinnvoll implementieren zu können, muss in der Bevölkerung ein Bewusstsein für deren Notwendigkeit und ein Verständnis für die hintergründigen Zusammenhänge zwischen Hygienepraktiken,

Latrinengebrauch, sauberem Wasser und Krankheit beziehungsweise Gesundheit geschaffen werden. Die Haushalte müssen wissen,

- wie sie ihre Wasserquelle vor Kontaminationen schützen und ihr Wasser sicher aufbewahren können,
- wie sowohl persönliche Sauberkeit und Sauberkeit in der Familie aufrechterhalten werden können,
- auf welche Art und Weise Exkreme sicher entsorgt werden können.

Wissenstransfer, Verhaltensänderung und persönliches Engagement bilden hierbei die Schlüsselfaktoren. Die Bereitstellung von Latrinen und Pumpen allein garantiert noch lange keine Hygiene ohne die entsprechende Kenntnis der Nutzer über Sinn und Zweck dieser Einrichtungen und darüber, wie diese sinnvoll zu gebrauchen und instand zu halten sind.

5.9 Ausblick

Mit der Errichtung der notwendigen Infrastrukturen sowie der Schulung einheimischer Mitarbeiter in Parakou wurde eine Basis für die flächendeckende Ausweitung des in dieser Studie untersuchten Probenkollektivs auf die übrigen Wasserquellen der Region geschaffen. Den Wasserversorgern (DH & SH) und interventionsorientierten Projekten (PADEAR, PACEA; DANIDA, HELVETAS) in der Region wurde eine Möglichkeit an die Hand gegeben, die Qualität der von ihnen erschlossenen Ressourcen beziehungsweise den Erfolg der von ihnen eingeleiteten Maßnahmen routinemäßig zu überprüfen und somit Hygienedefizite rechtzeitig aufzudecken und zu bekämpfen. Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden diesen Kooperationspartnern übergeben. Sie führten zur Umstellung der Projekte vom Bau neuer Brunnen auf die Umrüstung versandeter oder reparaturbedürftiger Brunnen auf Pumpen. In die alten Brunnenschächte wird ein Steigrohr für Pumpenwasser installiert. Die Brunnenöffnung wird mit einer Betondecke verschlossen. Der Erfolg dieser Umstellung von Brunnenwasser auf Pumpenwasser wird derzeit in einer Vorher-Nachher-Studie vor Ort ermittelt. Den Ergebnissen der vorliegenden Studie zufolge ist eine nachhaltige Verbesserung der Trinkwasserqualität im Versorgungsgebiet zu erwarten.

Um einen objektivierbaren Vergleich verschiedener wasserassoziierter Erkrankungen und den von ihnen ausgehenden Risiken untereinander sowie zwischen verschiedenen

Populationen zu ermöglichen wurde von der WHO eine Maßeinheit eingeführt, die als „disability adjusted life-years“ (DALYs) bezeichnet wird. Durch einen Mikroorganismus verursachte Gesundheitseffekte werden nach ihrem Gewicht beurteilt, mit dem Tod (Gewicht =1) als schwerst möglichem Ausgang. Dieses Gewicht wird mit der Dauer des Effektes multipliziert (wobei die „Dauer“ des Todes der durch den Effekt verursachten Lebensverkürzung gegenüber der durchschnittlichen Lebenserwartung innerhalb einer Gruppe entspricht) sowie mit der Anzahl der von der Erkrankung betroffenen Personen (WHO Guidelines for Drinking-Water-Quality, 2003).

Für eine genauere Beurteilung der Auswirkungen von Trinkwasserkontamination durch verschiedene Erreger auf die öffentliche Gesundheit in der Region im Sinne dieser Methode wird neben der Erhebung der täglich ingestierten Infektionsdosis auch die Inzidenz der übertragenen Erkrankungen, sowie deren Morbidität und Mortalität unter Berücksichtigung der Immunitätslage der Konsumenten zu bestimmen sein. Untersuchungen in diese Richtung sind derzeit Gegenstand weiterer Studien im Rahmen des IMPETUS-Projektes.

6 Zusammenfassung

Nach einem Bericht der WHO aus dem Jahr 2001 hatten im Jahr 2000 in den ländlichen Regionen Afrikas nur 47 % der Bevölkerung Zugang zu „sicherem Trinkwasser“. Kontaminiertes Wasser ist hier eine der Hauptursachen für Säuglingsdiarrhoe sowie die hohe Kindersterblichkeit von ca. 16,2%. Wasserversorgung und -qualität hängen mittel- und unmittelbar von meteorologisch-geologischen und sozioökonomisch-medizinischen Faktoren ab. Diese Zusammenhänge werden zur Zeit in einem interdisziplinären und anwendungsbezogenen Verbundforschungsvorhaben GLOWA/IMPETUS-Westafrika der Universitäten Bonn und Köln erarbeitet, in dem ein nachhaltiges Management der knappen Ressource Wasser im Vordergrund steht.

Die vorliegende Arbeit aus dem medizinisch-mikrobiologischen Subprojekt leistet einen Beitrag zur Abklärung der Epidemiologie wasserabhängiger Infektionskrankheiten in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Wassergewinnungsmethoden, der Architektur der Wassergewinnungsanlagen und den sozioökonomischen Strukturen im Umfeld der Ressourcen.

Nach Einrichtung eines zentralen mikrobiologisch-chemischen Wasserlabors in der Provinzhauptstadt Parakou/Benin und der Etablierung valider analytischer Methoden, wurde ein repräsentatives Untersuchungsgebiet von ca. 100 km², dem Flußeinzugsgebiet des Oberen Ouémé in einem Dreieck zwischen den Städten Parakou, Bassila und Dschogou in Zentral-Benin, festgelegt. Sämtliche in diesem CATCH-Gebiet befindlichen Wasserstellen, die der ansässigen Bevölkerung als Frischwasserquelle dienen – namentlich Wasserläufe, Wasserlöcher (Marigots), traditionelle und „moderne“ Brunnen, sowie Pumpen – wurden durch Recherche vor Ort ausfindig gemacht. Ihre Positionsdaten (GPS) wurden zusammen mit relevanten Einflußgrößen wie Konstruktionsart, Datum der Fertigstellung und anderen Umgebungsfaktoren erhoben und in einer zentralen Datenbank abgelegt.

Aus dieser Datenbasis bestehend aus insgesamt 947 Wasserstellen, wurden 58 für das Gesamtvolumen repräsentative ausgewählt und auf ihren Gehalt an für wasserhygienische Beurteilung der Trinkwasserqualität relevanten Kontaminanten wie *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Yersinia spp.*, *E. coli*, *Clostridium spp.*, *Campylobacter spp.*, *Vibrio cholerae* untersucht. Die Isolate wurden mit Standardmethoden der Umweltanalyse bis auf Speziesniveau bestimmt. Die jeweiligen Keimdichten wurden ermittelt. An Salmonellenisolaten wurde zusätzlich die MHK relevanter β -Lactamaseinhibitoren, der Gyrasehemmer, der Tetracycline und Sulfonamidkombinationen durchgeführt und mit

Resistenzmustern hiesiger Serovare verglichen. Eine auffällige Hochresistenz war nicht zu registrieren.

42 der 58 (72%) untersuchten Wasserquellen waren fäkal kontaminiert; der Leitkeim war *E. coli*. Die maximalen Keimdichten betragen bis zu 11.000 KBE/ml.

Die Nachweise der übrigen pathogenen Organismen - Clostridien, *Campylobacter spp* und Shigellen, sowie 26 weitere fakultativ pathogene Bakterienarten (*Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus spp.*, *Klebsiella spp.*) traten überwiegend vergesellschaftet mit dem o.a. Leitkeim auf und legen, in Zusammensicht mit der Quellenart Brunnen, die Vermutung eines anthropogenen oder animalen Eintrags über die Brunnenschächte nahe. Die unwesentliche Kontamination der Pumpenwässer aus Grundwasser mit typischen und wenig pathogenen Umweltkeimen unterstreicht diese Interpretation. Aus zwei Quellen wurden Salmonellen - die Serovare S. Mango, S. Dahomey - isoliert, die vermutlich tierischer Provenienz sind.

Entsprechende, auf den vorliegenden Befunden aufbauende Untersuchungen zur epidemiologischen Kausalkette, der Inzidenz abhängiger Erkrankungen, der Morbidität, Mortalität und die Berechnung des Infektionsrisikos für die Wassernutzer anhand der DALY-Methode sind gegenwärtig Gegenstand weiterer Untersuchungen im Rahmen des IMPETUS-Projekts.

Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden den Kooperationspartnern, der staatlichen Wasserversorgungsbehörde, Direction de l'Hydraulique, sowie den vor Ort tätigen interventionsorientierten Projekten (PADEAR, PACEA, DANIDA, HELVETAS) übergeben und dienen diesen, insbesondere in Verbindung mit der vor Ort errichteten Infrastruktur, zur weiteren Überwachung infektiologischer Risiken und jenen zum hygienischen Monitoring bei Bau und Reparatur von Brunnen und Pumpen. Sie führten zur Umstellung der Projekte vom Bau neuer Brunnen auf die Umrüstung versandeter oder reparaturbedürftiger Brunnen auf Pumpen, indem nunmehr in die Brunnenschächte ein Steigrohr für Pumpenwasser installiert wird. Diese Umstellung von Brunnenwasser auf Pumpenwasser wird nachhaltig zur Verbesserung der Trinkwasserqualität im Versorgungsgebiet führen.

7 Literaturverzeichnis

1. A Med-World AG, Aktiengesellschaft zur Darstellung von Medizin und Gesundheit im Internet, Ackerstr.14, 10115 Berlin (www.m-ww.de/kontrovers/abc_waffen/gasbrand.html)
2. Alamos, Y., Maipa, V., Levidiotou, S. and Gessouli, E.: A community waterborne outbreak of gastro-enteritis attributed to *Shigella sonnei*. *Epidemiology and Infection*. 125, 499-503 (2000)
3. Arvanitidou, M., Papa, A., Constantinidis, T. C., Danielides, V., Katsouyannopoulos V.: The occurrence of *Listeria* spp. and *Salmonella* spp. in surface waters. *Microbiological Research*. Dec,152(4):395-7 (1997)
4. Barkway, J.A., Simeaut, S.J.: 1991 mehr Cholerafälle als in fünf Vorjahren. *WHO Press Release 64/91*, CH 1211 Geneva 27, Switzerland (1991)
5. Behle, C.: *Unveröffentlichte Daten einer Analyse der Wasserverfügbarkeit und Wassernachfrage im Einzugsgebiet des Haute Ouémé*. Workpackage A4-1 (2003)
6. BMZ: Materialien Nr. 099. *Wasser – Konflikte lösen, Zukunft gestalten*. Bernd Dunzlaff (Verantwortlicher) (1999)
7. Bockemühl, J.: Gattung *Salmonella*. *Mikrobiologische Diagnostik*. Burkhardt, (Hrsg.), 138/ 102/ 105 (1992)
8. Blum, D., Huttley, S. R. A., Okoro, J. I., Akujobi, C., Kirkwood, B. R., Feachem, R. G.: The bacteriological quality of traditional water sources in north-eastern Imo State, Nigeria. *Epidemiology and Infection*. 99, 429-437 (1987)
9. Bundesamt für Veterinärwesen, Ausbildung, zu kontrollierende Seuchen: *Clostridium perfringens*, Merkblatt. via (www.bvet.admin.ch/tiergesundheit/d/ausbild_beratung/tierseuchen/clostridium_perfring/clostri_perfringens.html)
10. Carlson, S.: Mikrobiologie des Wassers, *Wasser*. Höll, K. (Hrsg.), 285, 294, 297, 320-323, 332, 341-2, 345 (2000)
11. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Eaton, A. D.: *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Clesceri, L. S. (Hrsg.), ISBN 0-87553-235-7, 9.22, 9.97-99, 9.100-102, 9.102-104 (1999)
12. Cody, R. M., Tischer, R. G.: Isolation and frequency of occurrence of *Salmonella* and *Shigella* in stabilization ponds. *Journal of Water Pollution Control Fed.* 37, 399 (1965)
13. Collet, E., Johnston, R., Ey, L. F., Croft, C. C.: Isolation of *Salmonella typhosa* from well water by the membrane filter technique. *American Journal of Public Health and National Health*. 43, 1438-1440 (1953)
14. Colwell RR, Huq A, Islam MS, Aziz KM, Yunus M, Khan NH, Mahmud A, Sack RB, Nair GB, Chakraborty J, Sack DA, Russek-Cohen E.: Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration. *roc Natl Acad Sci USA*. 4,100(3),1051-5 (2003)
15. Dagendorf, F., Queste, A., Stalleicken, I., Kistemann, T., Exner, M.: Review about the „Occurrence of Pathogenes in Surface Water“. *WaMRI-Newsletter Nr. 3*. WHO Collaborating Center for Health Promoting Water Management and Risk Communication, Institute for Hygiene and Public Health, University of Bonn (2003)
16. Dabrowski, J.: Isolation of the *Shigella* genus bacteria from the beach sand and water of the bay of Gdansk. *Bulletin of the Institute of Marine Medicine in Gdansk*. 33,49 (1982)
17. Davies, C. M., Evison, L. M.: Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters. *Journal of Applied Bacteriology*. 70, 265-74 (1991)

18. de Souza, L. C., Iaria, S. T., Paim, G.V.: Salmonellas and fecal coliforms in drinking water for animals. *Revista de saude publica*. Oct, 26(5),321-7 (1992)
19. DIN EN 26 461 T.1 (1993): *Nachweis und Zählung der Sporen sulfitreduzierender Anaerobier (Clostridien)*.
20. Edmonds, R. L.: Survival of coliform bacteria in sewage sludge applied to a forest clearout and potential movement into groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*. 32, 537-541 (1976)
21. Esrey, S. A., Potash, J. B., Roberts, L., Schiff, C.: Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*. 69(5), 609–621 (1991)
22. Evison, L. M.: Comparative studies on the survival of indicator organisms and pathogens in fresh and sea water. *Water Science Technologies*. Vol. 20, No. 11/12, 309-315 (1988).
23. Ewald, P W.: Waterborne transmission and the evolution of virulence among gastrointestinal bacteria. *Epidemiology and Infection*. 106, 83-119 (1991)
24. Ewald, P.W.: The Evolution of Infectious Diseases. *Oxford University Press*. Oxford-New York (1994)
25. Exner, M., Vacata, V., Gebel, J.: Public health aspects of the role of HPC – an introduction. *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*. Bartram J., Exner, M., Fricker, C., Glasmacher, A.. (Hrsg.), IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1 84339 025 6 (2003)
26. Fenwick S. G., McCarty M. D.: *Yersinia enterocolitica* is a common cause of gastroenteritis in Auckland. *New Zealand Medical Journal*. 108 (1003):269-71(1995)
27. Feuerpfeil, I.: *Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen*. Gustav Fischer Verlag, Schulze, E. (Hrsg.), 93-98 (1996)
28. Gockel, B.: Brunnenvergiftung - fragmentarische Betrachtungen zu einem schwarzen Kapitel von Wasserversorgung und praktizierter Rechtspflege. *Schriftenreihe der Frontinus Gesellschaft*. Heft 21, 117 (1997)
29. Gray, W. M., Shaeffer, J. D., Landsea, C. W.: Climate trends associated with multidecadal variability of Atlantic hurricane activity. *Hurricanes*. Diaz, H. F., Pulwarty, R. S. (Hrsg.), 15-51 (1997)
30. Grötzner, A., Latif, M.: A decadal cycle in North Atlantic Ocean as simulated by ECHO coupled GCM. *Journal of Climate*. 11, 831-847 (1998)
31. Grohmann, A.: Trinkwasserhygiene, ein weltweites Problem. *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene*. 108 (2000)
32. Haddad, L., Bhattarai, S., Immink, M., Kumar, S.: Managing Interactions between Household Food Security and Preschooler Health. *Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 16*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (1996)
33. Hagler, A. N., Mendonca-Hagler, L. C., Santos, E. A., Farage, S., Silva Filho, J. B., Schrank, A., De Oliverira, R., B.: Microbial pollution indicators in Brazilian tropical and subtropical marine surface waters. *Science of The Total Environment*. Dec 15, 58(1-2), 151-60 (1986)
34. Hasan, J. A. K., Huq, A., Tamplin, M. L., Siebeling, R., J., Colwell, R. R.: novel kit for rapid detection for *Vibrio cholerae* O1. *Journal of Clinical Microbiology*. 32, 249-52 (1994)
35. Hasan, J. A. K., Bernstein, D., Huq, A., Loomis, L., Tamplin, M. L., Colwell, R. R.: Cholera DFA: an improved direct fluorescent monoclonal antibody staining kit for rapid detection and enumeration of *Vibrio cholerae* O1. *Fed Eur Microbiol Soc Microbiol Lett*. 120, 143-48 (1994)

36. Hoddinott, J.: Water, Health and Income: A Review. *Discussion Paper No. 25*. Washington D. C: International Food Policy Research Institute (1997)
37. IIMH Köln: *Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung*. AMMI-212/A SOP (2001)
38. Iveson, J. B., Fleay, B. J.: Serovars of salmonella isolated from humans, animals, waters and effluents in natural and disturbed environments in Western Australia. *Proceedings of the 14th Federal Convention of the Australian Water and Wastewater Association*. 435-445 (1991)
39. Jacob, J.: *Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen*. Schulze, E. (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, 87-92, 59-65 (1996)
40. Kravitz, J.D.: Examen bactériologique quantitatif des réserves d'eau à usage domestique sur les hautes terres du Lesotho: qualité de l'eau, assainissement et questions de santé au niveau des villages. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*. Recueil d'articles N 2 (2000)
41. Koch, R.: Wasserfiltration und Cholera. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*., 393-426 (1893)
42. Kourany, M., Telford, S. M.: Lizards in the ecology of salmonellosis in Panama. *Applied and Environmental Microbiology*. 41, 1248-1253 (1981)
43. Kuroki S., Haruta T., Yoshiako M., Kobayashi Y., Nukina M., Nakanisha H.: Guillain-Barré Syndrome associated with *Campylobacter* infection. *Pediatric Infectious Diseases Journal*. 10, 149-151 (1991)
44. Lavoie, M. C.: Identification of strains isolated as total and fecal coliforms and comparison of both groups as indicators of fecal pollution in tropical climates. *Canadian Journal of Microbiology*. Jun, 29(6), 689-93 (1983)
44. Lightfoot, N. F.: Bacteria of potential health concern. *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*. Bartram J., Exner, M., Fricker, C., Glasmacher, A.. (Hrsg.), IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1 84339 025 6 (2003)
45. Lindell, S. S., Quinn, P.: *Shigella sonnei* isolated from well water. *Applied Microbiology*. 26, 424 (1973)
46. Lindskog, R. U. M., Lindskog, P. A.: Bacterial contamination of water in rural areas: an intervention study from Malawi. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 91, 1-7 (1988)
47. Maranzano, M., Pitrolo, S., Perremuto, V., Catagna, A.: Microbiological pollution of the Ibleian rivers: correlation between Salmonella and fecal indicators. *Annali di igiene, medicina preventiva e di comunità*. 9, 401-406 (1997)
48. Marshall, J., Kushnir, Y. *White paper*. Via: <http://geoid.mit.edu/accp/avehtml.html>
49. Mascher F, Reinthaler, F.: Drinking water problems in tropical climates as in the example of Abeokuta, Nigeria. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene [B]*. Jun, 184(3-4), 297-303 (1987)
50. Mertens, T. E., Fernando, M. A., de C. Marshall, T. F., Kirkwood, B. R., Caincross, S., Radalowicz, A.: Determinants of water quality, availability and use in Kurunegala, Sri Lanka. *Tropical Medicine and Parasitology*. 41, 89-97 (1990)
51. Müller, H. E.: Über das Vorkommen von Salmonellen im Trinkwasser. *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene, Reihe B*. 169, 551-559 (1979)
52. Müller, H. E.: Alte und neue Theorien zur Evolution der Infektionserreger. *Der Mikrobiologe*. 7, 204-208 (1997)

53. Ogan, M.T.: Magnitude of Faecal Contamination of Rural Community Well Waters in Nigeria and its Relationship to Well and Water Properties. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*. 189, 277-283 (1989)
54. Pacini, F.: Osservazioni microscopiche e deduzioni patologiche sul cholera asiatico. *Gazzetta medica italiana*. 6, 405-412 (1854)
55. Raettig, H.: The new ("El Tor") cholera pandemic. Epidemiology, clinical aspects, possibilities of immunoprophylaxis. *Münchener medizinische Wochenschrift*. Oct 29, 107(44), 2153-8 (1965)
56. Ramteke, P. W., Bhattacharjee, J. W., Pathak, S. P., Kalra, N.: Evaluation of coliforms as indicators of water quality in India. *Journal of Applied Bacteriology*. Apr, 72(4), 352-6 (1992)
57. Reiff, F. M., Roses, M., Venczel, L., Quick, R., Witt, V. M.: Low-cost safe water for the world: a practical interim solution. *Journal of Public Health Policy*. 17(4), 389-408 (1996)
58. Rhodes, M. W., Kator, H.: Survival of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. In estuarine environment. *Applied and Environmental Microbiology*. 45, 2902-907 (1988)
59. Robins-Browne, R. M.: *Yersinia enterocolitica*. *Food Microbiology, Fundamentals and Frontiers*. Doyle M. P., Beuchat L. R., Montville T. J. (Hrsg.), Washington DC, American Society for Microbiology Press, 192-215 (1997)
60. Robertson, W. J.: The relationship between three potential pathogens and pollution indicator organisms in Nova Scotian coastal waters. *Canadian Journal of Microbiology*. Oct, 29(10), 1261-9 (1983)
61. Rosenberg, C. E.: The cholera years. *The University of Chicago Press*. Chicago (1962)
62. Rosenberg, M. L., Hazlet, K. K., Saefer, J., Wells, J. G., Pruneda, R. C.: Shigellosis from swimming. *Journal of the American Water Works Association*. 236, 1849 (1976)
63. RKI: Shigellose-Ausbrüche in einem Zeltlager. *Epidemiological Bulletin RKI*. 39, 277 (1998)
64. Sachs, L.: *Angewandte Statistik*. Springer, 365 (2002)
65. Schindler, P.: Bakteriologische Wasseruntersuchungen, Salmonellen. *Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen*. Schulze, E. (Hrsg.), Gustav Fischer, Jena/Stuttgart/Lübeck/Ulm; 36-53, 75-87 (1996)
66. Schulze, E. Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen. Schulze, E. (Hrsg.). Kapitel 2, Allgemeines, S.11 / Kapitel 7, Bewertung, S.158 (1996)
67. Seligman, R., Reitler, R.: Enteropathogenes in water with low *Escherichia coli* titer. *Journal of the American Water Works Association*. 57, 1572-1574 (1965)
68. Speck, M. L.: *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 2nd ed.. American Public Health Association, Washington D. C. (1984)
69. Solsona, F.: Rural Disinfection Technologies in Latin America. *Providing Safe Drinking Water in Small Systems: Technology, Operations and Economics*. Cotruvo, J. A., Craun, G. F., Hearne, N. (Hrsg.). New York, Lewis Publishers, 203-210 (1998)
70. Sommer, B., Marino, A., Solarte, Y., Salas, M. L., Dierolf, C., Valiente, C., Mora, D., Rechsteiner, R., Setter, P., Wirojanagud, W., Ajarmeh, H., Al-Hassan, H., Wegelin, M.: SODIS – an emerging water treatment process. *Journal of water SRT – Aqua* vol. 46, No.3, 127-137 (1997)
71. Swaddiwudhipong, W., Karintraratana, S., Kavinum, S.: A common-source outbreak of shigellosis involving a piped public water supply in northern Thai communities. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 98, 145-150 (1995)

72. Tauxe, R. V.: Epidemiology of *Campylobacter jejuni* Infections in the United States and other industrialized nations. *Campylobacter jejuni: Current Status and Future Trends*. Nachamkin I., Blazer M. J., Tompkins L. S. (Hrsg.), American Society of Microbiology, Washington D. C. (1992)
73. Toupé, A.: *Alimentation en eau potable et assainissement en milieu rural au Benin*. Workshop 2, International conference » Water and Sustainable Development « Paris (1998)
74. Townsend, S. A.: The relationships between salmonellas and faecal indicator concentrations in two pools in the Australian wet/dry tropics. *Journal of Applied Bacteriology*. 73, 182-188 (1992)
75. UNICEF: Positionspapier "Wasser ist Leben", I-0086-5.000-01/04 (2004)
76. Unesco, via http://www.unesco.org/bpi/wwdr/WWDR_chart1_eng.pdf
77. Waag, A. S., Vardund, T., Lund, V., Kapperud, D.: Detection of low numbers of pathogenic *Yersinia enterocolitica* in environmental water and sewage samples by nested polymerase chain reaction. *Journal of Applied Microbiology*. 87, 814-821 (1999)
78. Ward, M. N., Lamb, P.- J., Portis, D. H., El Hamly Rachid Sebbari, M.: Climate variability in Northern Africa: Understanding droughts in the Sahel and the Magreb. *Beyond el Nino – Decadal variability in the climate system*. Navara, A. (Hrsg.), Springer-Verlag (1998)
79. Webb, P., Iskandarani, M.: Water Insecurity and the Poor: Issues and Research Needs. *ZEF – Discussion Papers On Development Policy No.2*. Center for Development Research, Bonn, 66 (1998)
80. WHO Guidelines for Drinking-Water-Quality: Bacterial pathogens of fecal origin, *Clostridia, Salmonella, Eschericia coli, Shigella, Yersinia, Campylobacter* - DRAFT – February 7th (2003)
81. WHO, global water supply and sanitation assessment 2000 report
82. Wright, R. C.: The seasonability of water in a tropical developing country (Sierra Leone). *J Hyg Camb*. 96, 75-82 (1986)
83. Wright, R. C.: The survival patterns of selected faecal bacteria in tropical fresh waters. *Epidemiology and Infection*. 103, 603-611 (1989)
84. Vogt, R. L., Sours H. E., Barrett T., Feldman R. A., Dickinson R. J., Witherell L.: *Campylobacter enteritis* associated with contaminated water. *Annals of Internal Medicine*. 96:292 (1982)
85. Xu, H-S., Roberts, N., Singleton, F. L., Attwell, R. W., Grimes, D. J., Colwell, R. R.: Survival and viability of nonculturable *Eschericia coli* and *Vibrio cholerae* in the estuarine and marine environment. *Microbial Ecology in Health and Disease*. 8, 313-23 (1982)
86. Yanore, G. A.: Sustainable rural WATSAN management in Bolgatanga. *Sustainability of Water and Sanitation Systems*. Pickford, J., Barker, P., Elson, B., Ferguson, C., Parr, J., Saywell, D., Shaw, R., Skinner, B. (Hrsg.), 112-115 (1995)

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Wasserversorgung in Afrika (%), 1990/2000	9
Abb. 1.2: Versorgung mit sanitären Anlagen in Afrika (%), 1990/2000	9
Abb. 1.3: Bevölkerungswachstum und Wasserversorgung pro Kopf in Benin 1995 bis 2025	10
Abb. 1.2.1: Wasserepidemien abhängig vom ätiologischen Agens; 691 Fälle in den USA, 1971 bis 1995	12
Abb. 1.2.2: Nomenklatur von <i>Vibrio cholerae</i>	20
Abb. 1.5.1: Westafrika mit den Forschungsgebieten in Marokko nördlich und Benin südlich der Sahara	25
Abb. 1.5.2: Benin mit dem HVO um Parakou, Djougou und Bassila	25
Abb. 3.2.1: Der erste Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de l'Hydraulique in Parakou	30
Abb. 3.2.2: Der zweite Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de l'Hydraulique in Parakou mit der mobilen Konzentrationseinheit für die virologischen Analysen	31
Abb. 3.2.3: Der dritte Arbeitsraum des mikrobiologischen Labors auf dem Gelände des Service de l'Hydraulique in Parakou	31
Abb. 3.10.1.1: Anreicherung von <i>E. coli</i> in dreifach konzentrierter Lactose-Pepton-Bouillon mit Farbumschlag, Trübung und Schaumbildung	41
Abb. 3.10.1.6: Kolonien von <i>Campylobacter</i> spp auf Campylobakter-Selektiv-Agar	44
Abb. 4.1.1: Typisches Wasserloch (Marigot) in Kpawa	47
Abb. 4.1.2: Traditioneller Brunnen	48
Abb. 4.1.3: Moderner Brunnen	48
Abb. 4.1.4: Fußpumpe	49
Abb. 4.1.1: Karte der erfassten und beprobten Wasserquellen	51
Abb. 4.4.1.1: Mittelwerte der in den unterschiedlichen Quellenarten nachgewiesenen KBE/ml	54
Abb. 4.4.1.3: Mittelwerte der gezählten KBE/ml nach Anzahl der Konsumenten	57
Abb. 4.4.2.1: Nachweisraten der Erreger (%) für die unterschiedlichen Quellenarten	61
Abb. 5.6.1: Bevölkerungsanteil mit Zwang zur Marigot-Nutzung in der Kommune Djougou	75
Abb. 5.7.1: Wartezeiten an Wasserstellen in Kaki-Koka pro Benutzung	77

8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1.5.1: Versorgung mit Wasser und sanitären Anlagen auf dem afrikanischen Kontinent, nach Ländern, 1990 und 2000	26
Tab. 3.4.5.3: Auflistung der Vergleichskeime	35
Tab. 3.9.1.3: Ermittlung der geeigneten Verdünnungsstufen für die Koloniezählbestimmung der unterschiedlichen Quellenarten	39
Tab. 4.3.1: Verteilung der unterschiedlichen Quellenarten auf die einzelnen Dörfer	50
Tab. 4.3.2: Konsumentenzahlen je Quelle in den einzelnen Dörfern	52
Tab. 4.3.3: Mittlere Tiefe der modernen und traditionellen Brunnen	53
Abb. 4.4.1.2: Anzahl der gezählten KBE in den einzelnen Dörfern	56
Tab. 4.4.2.1: Quellen mit <i>Salmonella</i> spp	58
Tab. 4.4.2.2: Nachgewiesene <i>Clostridia</i> spp	59
Tab. 4.4.2.3: Begleitflora	60
Tab. 4.4.2.4: Verteilung der Erregernachweise auf die unterschiedlichen Quellenarten	61
Tab. 4.4.2.5: Verteilung der Erregernachweise auf die einzelnen Dörfer	62
Tab. 4.4.3.1: MHK-Bestimmung für <i>Salmonella</i> -Isolate	63
Tab. 4.4.2.3: MHK Vergleich der Isolate aus Benin mit Isolaten des RKI aus Deutschland	64
Tab. 5.4.1: Einhaltung von Qualitätskriterien	69
Tab. 5.4.2: Gesundheitsindikatoren in Benin (WHO)	70
Tab. 5.4.3: Beziehung zwischen der Letalität von Darmerkrankungen und der prozentualen Häufigkeit ihrer Übertragung durch Trinkwasser zum Ende des 20. Jahrhunderts	70

8.3 SPSS-Analysen zu KBE-Zahlen und Quellenarten

T-Test, Pumpen gegen Stichprobe

Group Statistics

	TYPE	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CFU* 24h	Pumpen	4	33,0000	35,2231	17,6115
	Stichprobe	54	14696,8889	29710,3663	4043,0688

*colony forming units

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
CFU/ml 24h	Equal variances assumed	1,392	,243	-,979	56	,332	-14663,8889	14977,4910	-44667,4087	15339,6309
	Equal variances not assumed			-3,627	53,002	,001	-14663,8889	4043,1071	-22773,3276	-6554,4502

T-Test, Marigots gegen Stichprobe

Group Statistics

	TYPE	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CFU/ml 24h	Marigots	13	36407,6923	52832,1944	14653,0143
	Stichprobe	45	7121,4222	11117,6876	1657,3270

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
CFU/ml 24h	Equal variances assumed	20,648	,000	3,527	56	,001	29286,2701	8302,3938	12654,5768	45917,9634
	Equal variances not assumed			1,986	12,308	,070	29286,2701	14746,4423	-2754,3963	61326,9365

Oneway: Quellenarten (signifikant)

Descriptives (CFU/ml 24h)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Marigots	13	36407,6923	52832,1944	14653,0143	4481,5167	68333,8679	4200,00	190000,0
Pumpen	4	33,0000	35,2231	17,6115	-23,0478	89,0478	9,00	84,00
Moderne Brunnen	20	9107,6000	14873,6022	3325,8386	2146,5399	16068,6601	112,00	60000,00
Traditionelle Brunnen	21	6580,0000	6889,2438	1503,3562	3444,0538	9715,9462	80,00	23100,00
Total	58	13685,5862	28893,0923	3793,8489	6088,5348	21282,6376	9,00	190000,0

Test of Homogeneity of Variances (CFU/ml 24h)

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7,399	3	54	,000

ANOVA (CFU/ml 24h)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8,9E + 09	3	2978943810,167	4,162	,010
Within Groups	3,9E + 10	54	715692284,103		
Total	4,8E + 10	57			

Post Hoc Tests - Homogeneous Subsets

Duncan^{a,b} (CFU/ml 24h)

TYPE	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Pumpen	4	33,0000	
Traditionelle Brunnen	21	6580,0000	
Moderne Brunnen	20	9107,6000	
Marigots	13		36407,6923
Sig.		,493	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,422.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

T-Test, Marigots (1) gegen Pumpen (2)

Group Statistics

TYPE	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Marigots	13	36407,6923	52832,1944	14653,0143
Pumpen	4	33,0000	35,2231	17,6115

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Mean						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
CFU/ml 24h	Equal variances assumed	3,156	,096	1,346	15	,198	36374,6923	27018,8249	-21214,5697	93963,9543
	Equal variances not			2,482	12,000	,029	36374,6923	14653,0249	4448,5039	68300,8807

8.4 Tabellarische Übersicht der beprobten Quellen

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Probennahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
BOU-1	348638	1043407	Trad. Brunnen	10 bis 20	> 20	-	17/02/2002	11.00	5,51	28	12,1	1,36	keine	ja	<i>E. coli</i> , <i>Acinetobacter baumannii</i>	2850	sehr steiniger Untergrund
BOU-2	348817	1043545	Mod. Brunnen	10 bis 20	> 20	-	17/02/2002	11.05	5,8	27,5	11,52	4	keine	ja	<i>E. coli</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Serratia spp.</i> , anaerobe Sporenbildner	2390	direkt am Marktplatz gelgen; von sehr vielen Menschen genutzt
BOU-5	348568	1043422	Trad. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	2001	17/02/2002	11.05	5,35	28,5	9,02	0,582	keine	ja	<i>E. coli</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , anaerobe Sporenbildner	3480	-
BOU-8	348682	1043196	Mod. Brunnen	1 bis 5	10 bis 20	1986	17/02/2002	11.10	5,4	27,5	11,04	4,732	keine	ja	<i>E. coli</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , anaerobe Sporenbildner	2300	menschliche Fäkalien direkt neben der Quelle
BOU-10	348604	1043121	Trad. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	21/05/2001	19/02/2002	11.30	5,25	27,5	7,62	0,065	keine	ja	<i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Pleisiomonas shigelloides</i> ; <i>Enterobacter sakazakii</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> , koagulasenegative Staphylokokken	2200	-

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
BOU-11	348476	1043013	Trad. Brunnen	1 bis 5	10 bis 20	1960	17/02/2002	11.10	5,2	28,5	8,35	0,636	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Teshi; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; koagulasenegative Staphylokokken; anaerobe Sporenbildner	2240	direkt an der Schule gelegen; der wichtigste Brunnen in der Umgebung; von sehr vielen Menschen genutzt
BOU-12			Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	1996	19/02/2002	11.20	5,22	28	8,42	0,291	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Enterobacter spp</i> ; anaerobe Sporenbildner	730	_
BOU-13			Trad. Brunnen	10 bis 20	> 20	1960	19/02/2002	11.20	5,42	26	10,47	2,187	großer Baum	nein	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium fallax</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i>	1490	_
BOU-14			Trad. Brunnen	5 bis 10	5 bis 10	1998	19/02/2002	11.20	5,1	27,5	9,14	0,091	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Campylobacter spp</i> ; <i>Clostridium clostridiforme</i> ; <i>Acinetobacter baumannii</i> ; <i>Staphylococcus aureus</i>		
BOU-15			Trad. Brunnen	10 bis 20	5 bis 10	1975	19/02/2002	11.30	5,55	26,5	7,56	0,138	kleiner Baum	nein	<i>E. coli</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	6100	Schacht-wand ist ein-gebrochen, deshalb sehr wenig Wasser
BOU-16			Mod. Brunnen	5 bis 10	10 bis 20	1990	19/02/2002	11.30	5,55	27	7,15	0,395	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Vibrio fluvialis</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	1320	_
BOU-17			Trad. Brunnen	1 bis 5	5 bis 10	_	02/03/2002	11.45	5,25	28	9,84	0,786	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	2390	_

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
BOU-18			Tradi. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	—	02/03/2002	11.40	5,27	26	7,8	0,113	kleiner Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Virchow; <i>Chryseomonas luteola</i> ; anaerobe Sporenbildner	6200	—
BOU-19			Trad. Brunnen	10 bis 20	> 20	1987	02/03/2002	11.45	5,35	28	9,14	0,81	k	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	80	die Brunnen-mauer ist stark beschädigt; viel Müll in der Umgebung
BOU-20			Mod. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	—	02/03/2002	11.45	5,82	28	9,21	4,829	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; koagulasenegative Staphylokokken ; anaerobe Sporenbildner	630	—
BOU-P2	348568	1043423	Pumpe	5 bis 10	> 20	1997	17/02/2002		6,4	31,5	—	—	—	ja	<i>E. coli</i> ; koagulasenegative Staphylokokken	84	—
DEN-1	360451	1076330	Trad. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	22/03/1986	08/02/2002	10.30	7,24	25	6,69	0,106	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium butyricum</i> ; <i>Enterobacter cloacae</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; <i>Acinetobacter baumani</i> ; <i>Pseudomonas maltophila</i> , <i>Citrobacter youngae</i>	3300	direkt an der Schule gelegen; der beliebteste Brunnen in der Umgebung; von sehr vielen Menschen genutzt
DEN-2	360614	1076431	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1971	08/02/2002	10.32	6,9	24	11,72	3,272	großer Baum	ja/nein	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Rostock; <i>Clostridium perfringens</i> ; <i>Shigella</i> spp	750	—

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
DEN-5	360706	1076432	Mod. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	2001	08/02/2002	10.35	7,13	26	7,17	0,104	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Rostock; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Enterobacter cloacae</i> ; <i>Acinetobacter baumannii</i> ; <i>Pseudomonas maltophila</i> ; <i>Serratia ordorifera</i> ; anaerobe Sporenbildner	112	ganz neuer Brunnen
DEN-6	360705	1076524	Mod. Brunnen	-	-	-	08/02/2002	10.40	6,97	24	-	-	keine	ja	<i>Pseudomonas maltophila</i> ; anaerobe Sporenbildner	2500	noch im Bau
DEN-M1	360466	1076734	Marigot	10 bis 20	10 bis 20	-	08/02/2002	10.01	7,07	20	-	-	andere	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Rostock; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Clostridium septicum</i>	100000	-
DEN-M2	360424	1076811	Marigot	10 bis 20	10 bis 20	-	09/02/2002	11.30	6,3	20,5	-	-	andere	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Enterobacter cloacae</i> ; <i>Pseudomonas aerobinosa</i> ; <i>Serratia marcescens</i> ; anaerobe Sporenbildner	46000	-

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
DEN-M3	360176	1077118	Marigot	-	-	-	11/02/2002	10.26	7,4	19	-	-	kleiner Baum	nein	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Hofit; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Clostridium glycolycum</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13300	-
DEN-M4	360842	1075854	Marigot	1 bis 5	1 bis 5	-	11/02/2002	11.03	7,4	21	-	-	keine	ja	<i>Salmonella</i> Dahomey; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Enterobacter cloacae</i> ; <i>Klebsiella pneumoniae</i>	5200	aus-schließlich von Peul genutzt
DEN-M5	360398	1075898	Marigot	1 bis 5	1 bis 5	-	11/02/2002	11.29	7	23	-	-	kleiner Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Acinetobacter baumannii</i> ; <i>Pseudomonas maltophila</i> ; anaerobe Sporenbildner	4200	aus-schließlich von Peul genutzt
DEN-M6	358880	1074965	Marigot	1 bis 5	1 bis 5	-	11/02/2002	12.04	7,23	22	-	-	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Acinetobacter baumannii</i> ; <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ; <i>Vibrio fluvialis</i> ;	9900	-

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
DOG-1	383221	1006213	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1993	04/03/2002	10.19	7,1	29	13,53	0,139	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Enterobacter spp</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	60000	_
DOG-2	383034	1006507	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1990	04/03/2002	10.25	6,82	27	20,75	11,114	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Staphylococcus aureus</i> ; anaerobe Sporenbildner	35000	die Dorf-bewohner mögen den salzigen Geschmack des Wassers nicht
KPA-1	396452	1012205	Mod. Brunnen	> 20	> 20	2001	12/02/2002	10.45	5,75	26	6,34	0,061	kleiner Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Vibrio fluvialis</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Serratia spp</i> ; anaerobe Sporenbildner	1030	_
KPA-2	397134	1012308	Mod. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	2001	18/02/2002	10.10	6,71	27	7,22	0,652	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; koagulasenegative Staphylokokken; anaerobe Sporenbildner	790	_
KPA-3			Trad. Brunnen	> 20	> 20	_	12/02/2002	10.44	6,34	22	3,66	0,137	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Clostridium fallax</i> ; <i>Clostridium perfringens</i>	2280	_
KPA-M1	395988	1011072	Marigot	> 20	> 20	_	13/02/2002	12.30	5,94	21	_	_	großer Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Enterobacter cloacae</i> ; anaerobe Sporenbildner	15600	ein zweites Marigot direkt daneben

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Probennahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
KPA-M2	397040	1012576	Marigot	0	> 20	-	13/02/2002	12.30	6,41	21	-	-	großer Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium bifermentans</i> ; <i>Clostridium botulinum</i> ; <i>Vibrio fluvialis</i> ; <i>Citrobacter youngae</i>	11100	Ölfilm auf dem Wasser; das Wasser wird nicht getrunken während der Regenzeit
KPA-M4	395911	1012237	Marigot	> 20	> 20	-	12/02/2002	10.16	5,58	23,5	-	-	großer Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Rubislaw; <i>Campylobacter spp</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	190000	gegrabenes Loch im ausgetrockneten Flußbett
KPA-M5			Marigot	0	> 20	-	13/02/2002	12.30	6,34	21	-	-	großer Baum	nein	<i>E. coli</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; anaerobe Sporenbildner	17500	gegrabenes Loch im ausgetrockneten Flußbett
PEL-1	350357	1047336	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1971	01/03/2002	11.20	6,7	26	12,3	4,587	keine	ja	<i>Enterobacter cloacae</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i>	17100	-
PEL-P1	350357	1047336	Pumpe	> 20	> 20	1997	01/03/2002	11.15	6,83	27,5	-	-	kleiner Baum	ja	<i>Enterobacter spp</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; koagulasenegative Staphylokokken	9	-

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
SEB-1	444035	1029774	Mod. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	2000	09/01/2002	11.55	6,96	28	8,87	1,433	keine	ja	<i>Salmonella</i> Mango; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Klebsiella pneumoniae</i> ; <i>Citrobacgter youngae</i> ; anaerobe Sporenbildner	10800	Äste im Brunnen
SEB-2	444009	1029772	Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	1993	10/01/2002	10.15	6,31	26	5,54	0,318	keine	ja	anaerobe Sporenbildner	1240	
SEB-3	443987	1029672	Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	2000	10/01/2002	10.15	6,6	25	8,43	0,11	keine	ja	<i>E. coli</i> ; anaerobe Sporenbildner	15900	stark verschmutzt; Eidechse im Schöpf-gefäß, das auf dem Boden neben dem Brunnen liegt
SEB-5	443862	1029623	Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	-	10/01/2002	10.18	7,5	20	3,95	0,056	keine	ja	<i>E. coli</i> ; anaerobe Sporenbildner	20800	einfaches Loch im Boden; Wasser wird nicht getrunken
SEB-6	444070	1029693	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1998	09/01/2002	11.52	6,57	27	10,97	0,344	keine	ja	<i>Pleisiomonas shigelloides</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; anaerobe Sporenbildner	4900	direkt am Marktplatz gelgen; von sehr vielen Menschen genutzt
SEB-7	444271	1029672	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1971	11/01/2002	10.03	7,02	26	16	6,676	keine	ja	<i>Proteus mirabilis</i> ; anaerobe Sporenbildner	2100	von sehr vielen Menschen genutzt; vier Schöpf-gefäße am Brunnen

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Probennahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
SEB-8	444314	1029812	Trad. Brunnen	-	-	1999	06/02/2002	10.50	7,1	22	-	-	keine	ja	<i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Enterobacter spp</i> ; <i>Pseudomonas maltophila</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Serratia spp</i> ; anaerobe Sporenbildner	13100	Äste im Brunnen
SEB-9	444496	1029892	Mod. Brunnen	10 bis 20	10 bis 20	1999	11/01/2002	9.55	6,72	26	5,65	0,057	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Enterobacter spp</i> ; <i>Proteus mirabilis</i>	3100	-
SEB-10	444338	1029937	Mod. Brunnen	1 bis 5	5 bis 10	1999	21/01/2002	13.00	8,05	24	5,8	0,031	großer Baum	ja/nein	<i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Kluyvera spp</i>	17900	lebendiger Skorpion in einer virologischen Probe; Wasser wird nicht getrunken
SEB-11	444235	1029873	Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	1965	11/01/2002	9.57	7,29	23	7,48	0,039	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; <i>Proteus mirabilis</i> ; <i>Serratia ordorifera</i> ; <i>Pantoea dispersa</i> ; anaerobe Sporenbildner	16300	-
SEB-12	444240	1029907	Trad. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	1980	14/01/2002	17.50	7,5	24	5,25	0,302	keine	ja	<i>E. coli</i> ; anaerobe Sporenbildner	23100	Ölfilm auf dem Wasser; beinahe ausgetrocknet
SEB-13	444232	1029945	Trad. Brunnen	10 bis 20	1 bis 5	1970	21/01/2002	13.00	8,29	24	5,67	0,102	großer Baum	ja/nein	<i>Enterobacter cloacae</i> ; anaerobe Sporenbildner	5600	sehr viele Menschen in der Umgebung; das Wasser schmeckt schlecht, wird aber dennoch viel getrunken

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Proben-nahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
SEB-14	444174	1030006	Mod. Brunnen	1 bis 5	1 bis 5	2000	14/01/2002	18.05	7,4	27,5	6,59	1,303	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Salmonella</i> Apapa; <i>Proteus mirabilis</i>	2200	untypisches Schöpfgefäß
SEB-M1	443596	1029938	Marigot	> 20	> 20	—	21/01/2002	12.35	6,72	24	—	—	großer Baum	ja	<i>Aeromonas hydrophila</i> ; anaerobe Sporenbildner	6500	geheiligt Marigot; zeitweise lebt hier ein Carmaran
SEB-P1	443954	1029708	Pumpe	> 20	>20	1988	09/01/2002	11.49	6,6	28	—	—	keine	ja	<i>Streptococcus faecalis</i> ; anaerobe Sporenbildner	29	—
SER-1	357183	1069013	Trad. Brunnen	>20	> 20	1996	04/03/2002	10.10	6,36	25	9,53	0,299	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Citrobacter youngae</i> ; anaerobe Sporenbildner	4700	—
SER-2	357296	1069038	Mod. Brunnen	> 20	> 20	—	04/03/2002	10.15	6,7	26	9,67	0,169	keine	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Clostridium bifermentans</i>	15500	—
SER-4	357189	1069112	Mod. Brunnen	> 20	> 20	1986	11/02/2002	12.38	7,73	27	12,67	0,524	keine	ja	<i>Enterobacter cloacae</i> ; anaerobe Sporenbildner	1730	—

Abkürzung	GPS-X-Koordinate	GPS-Y-Koordinate	Art der Quelle	Konsumenten - Regenzeit (Haushalte)	Konsumenten - Trockenzeit (Haushalte)	Datum der Installation	Datum der Proben-nahme	Zeitpunkt der Probennahme	pH-Wert bei Proben-nahme	Wasser-temperatur bei Proben-nahme	Schacht-tiefe (m) , für Brunnen	Wasservolumen (cbm) bei Proben-nahme	Möglichkeit der Verschmutzung von oben	Sonnen-exposition	Nachgewiesene Bakterien	KBE/ml (nach 24h)	Kommentar
SER-M1			Marigot	0	10 bis 20		04/03/2002	10.05	6,14	24,5			großer Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; <i>Edwardsiella tarda</i> ; <i>Kluyvera spp</i> ; anaerobe Sporenbildner	30000	
SER-M2			Marigot	0	10 bis 20		04/03/2002	10.15	5,79	24			kleiner Baum	ja	<i>E. coli</i> ; <i>Aeromonas hydrophila</i> ; <i>Streptococcus faecalis</i> ; <i>Enterobacter spp</i> ; anaerobe Sporenbildner	24000	
SER-P1	357481	1068630	Pumpe	> 20	> 20	1997	04/03/2002	10.17	7,06	26			kleiner Baum	ja	anaerobe Sporenbildner	10	viele Bienen

9 Lebenslauf - Alexander Florian Kwaku Sauter

Persönliche Daten: 23.11.1977 in Agogo, Ghana geboren
Sohn von Gertrud Sauter, geborene Schmidt und Bernd Harro Sauter

Schulbildung:

1988-1997 Gymnasium am Karls-Gymnasium in Stuttgart

1984-1988 Grundschule an der Goldwiesenschule in Leinfelden-Echterdingen

Hochschulbildung:

1999 - 2006 Studium der Humanmedizin an der Universität zu Köln

Mai 2006 Drittes Staatsexamen

März 2005 Zweites Staatsexamen

August 2002 Erstes Staatsexamen

Praktisches Jahr:

2005-2006 - Städtisches Kinderkrankenhaus Amsterdamerstraße, Köln

- University College Hospital, London

- CNHU Cotonou, Benin

Auslandsaufenthalte:

1994 William-Chrisman Highschool, Independence, Missouri

1995 Acalanes Highschool, Lafayette, Californien

Sprachen:

Englisch: fließend in Wort und Schrift

Französisch: gute Kenntnisse

Spanisch: Grundkenntnisse

Latein: Großes Latinum

Köln, den 26.06.2005

Alexander Florian Kwaku Sauter