

Qualität von Trink- und Mineralwasser im Alltag

Gezeigt anhand von mikrobiologischen Untersuchungen



Annika Seiler, 6dG

Betreuung: Michael Widmer

Zweitbeurteilung: Matthias Beck

Abgabedatum: 6. Dezember 2016

Maturitätsarbeit HS 2016/17

Kantonsschule Rychenberg Winterthur





Qualität von Trink- und Mineralwasser im Alltag

Gezeigt anhand von mikrobiologischen Untersuchungen

Annika Seiler, 6d

Kantonsschule Rychenberg, Winterthur



Dank

Das Interesse am Thema meiner Maturitätsarbeit war gross, genauso auch die Unterstützung, die ich erfahren durfte. Zuerst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Michael Widmer, bedanken, der mir den nötigen Freiraum gewährt und mir immer wieder wertvolle Inputs gegeben hat.

Mein Dank gilt auch allen Personen, die es mir ermöglicht haben, meine Untersuchungen durchzuführen. Zu ihnen zählen insbesondere Hanspeter und Cornelia Bieri, Mitarbeiter des Interkantonalen Labors in Schaffhausen. Sie haben mich in die Welt der Mikrobiologie eingeführt und mir im Detail gezeigt, wie die Untersuchungen durchzuführen sind. Zudem haben sie mir das notwendige Material bereitgestellt und mich bei den laufend auftauchenden Fragen und Schwierigkeiten kompetent unterstützt. Ohne sie hätte ich diese Arbeit nicht realisieren können.

Des Weiteren möchte ich mich bei Margit Sievi, der Laborantin der Biologie-Fachschaft, bedanken. Sie hat mir den nötigen Raum und Platz für meine Untersuchungen geschaffen, und das sogar während den Sommerferien.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Dr. Irina Nüesch, Leiterin der Sektion Trink- und Badewasser am Amt für Verbraucherschutz Aargau, die mir Literatur zu spezifischen Fragen zugänglich gemacht hat.

Ein grosser Dank geht auch an meine Familie, die mich bei den notwendigen „Trinkeinsätzen“ tatkräftig unterstützte, auch wenn es sich um etwas älteres Wasser handelte.

Annika Seiler



In dieser Arbeit gilt sowohl die männliche als auch die weibliche Schreibweise jeweils für das andere Geschlecht.



Abstract

Die Verantwortung der Mineralwasserhersteller und der Wasserversorger hört dort auf, wo das Trink- oder Mineralwasser an den Konsumenten übergeht. Diese wissen allerdings nicht, welches Wasser sie wählen und wie sie es handhaben sollen, damit sie eine möglichst hohe Qualität des Produktes genießen können. In dieser Arbeit werden Vorschläge zur Wahl des Wassers und der Trinkwasserbehälter sowie zum Umgang mit dem kostbaren Gut gemacht. Die Aussagen beruhen auf rund 150 mikrobiologischen Untersuchungen.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	8
2. Anforderungen an Trink- und Mineralwasser.....	10
2.1 Einführung.....	10
2.2 Trinkwasser.....	12
2.3 Mineralwasser.....	13
2.4 Wasserspender.....	14
3. Bakteriologische Grundlagen.....	16
3.1 Gesamtkeimzahl.....	16
3.2 Bakterienwachstum.....	17
4. Verfahren zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl.....	19
4.1 Einleitung.....	19
4.2 Probenentnahme und Transport.....	19
4.3 Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl von Wasser.....	20
4.3.1 Materialien, Geräte.....	20
4.3.2 Die Untersuchung nach der Plattengussmethode.....	24
4.3.3 Die Wahl der Bedingungen für die Bebrütung.....	26
4.3.4 Auszählung der Kolonien und Auswertung.....	27
4.4 Validierung des Verfahrens und Qualitätssicherung.....	29
5. Meine Versuche.....	32
5.1 Trinkwasser ab Hahn.....	32
5.2 Trinkwasser in einer PET-Flasche, aus der täglich getrunken wird.....	34
5.3 Einfluss des Sonnenlichts.....	38
5.4 Der Einfluss von Kohlensäure im Mineralwasser.....	40
5.5 Wasserspender.....	42
5.6 Flaschen mit verschiedenen Flaschenöffnungen.....	44
6. Schlussfolgerung/Fazit.....	46
7. Ausblick.....	47
8. Verzeichnisse.....	48
8.1 Literaturverzeichnis.....	48
8.2 Abbildungsverzeichnis.....	50
8.3 Tabellenverzeichnis.....	52
Anhang: Glossar.....	1



1. Einleitung

Heute haben 89 % der weltweiten Bevölkerung Zugang zu sauberem Trinkwasser. Diese Entwicklung ist erfreulich, denn die Ziele der Vereinten Nationen (Vereinte Nationen, 2015) konnten bereits vor 2015 erreicht werden. In der Schweiz sind wir in einer besonders privilegierten Situation. Wir verfügen über genügend Wasser, das in der Regel dank gut unterhaltener Infrastruktur auch in hoher Qualität an die Konsumentinnen und Konsumenten abgegeben wird (BLV, 2016)¹.

Wir können also Vertrauen in die Qualität des Trinkwassers haben und dieses ohne Bedenken trinken. Jeder Mensch benötigt mehr als 2 L Wasser pro Tag (BAG, 2012)². Diesen Bedarf decken wir, indem wir beispielsweise regelmässig Trinkwasser ab Hahn konsumieren, Mineralwasser oder Süssgetränke aus dem Detailhandel kaufen, oder uns einen erfrischenden Schluck aus dem Dorfbrunnen gönnen. Solange das Wasser nicht verschmutzt aussieht, es keinen fremden Geruch oder Geschmack aufweist, trinken wir es bedenkenlos. Doch wenn wir das Trinkwasser, das von unserer Wasserversorgung tagtäglich zu einem Spotpreis von durchschnittlich 2 Fr. pro 1000 L in bester Qualität ins Haus geliefert bekommen (SVGW, 2015)³, weshalb ist dann der Konsum von Mineralwasser so hoch? Geradezu bizarr erscheint die Meldung, wonach 41 % des Mineralwassers in die Schweiz importiert wird (SMS, 2015)⁴. Woran liegt das? Könnte es sein, dass das Trinkwasser, das wir praktisch gratis ins Haus geliefert bekommen, eben doch nicht so gut ist? Oder könnte es sein, dass unser Umgang mit dem Trinkwasser nicht optimal ist und wir selbst seine Qualität beeinträchtigen?

Das Trinkwasser, das ein Wasserversorger abgibt, gehört zwar zu den am häufigsten untersuchtesten Lebensmitteln und erhält regelmässig Bestnoten (WHO-Bericht 2016: Gute Noten für das Wasserschloss Schweiz (BLV, 2016)). Doch diese Aussagen stützen sich auf Proben ab, die im Trinkwassernetz oder in den Produkten genommen werden, die in den Gestellen des Detailhandels stehen. Keine Informationen finde ich jedoch zur Qualität des Trinkwassers, das ich ab dem eigenen Wasserhahn genieße, weil die Wasserversorgung für die Verteilung des Trinkwassers im Privatbereich nicht zuständig ist.

¹ Siehe Glossar: Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV)

² Siehe Glossar: Bundesamt für Gesundheit (BAG)

³ Siehe Glossar: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW)

⁴ Siehe Glossar: Verband Schweizerischer Mineralquellen und Soft-Drink-Produzenten (SMS)



Es gibt zahlreiche Aspekte, die die Qualität eines Wassers ausmachen (Burkard, et al., 2003). Nebst zahlreichen Mineralstoffen gehören nicht nur Mikroverunreinigungen (z.B. durch Umweltkontaminanten) dazu, sondern auch die mikrobiologische Beschaffenheit. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass sich die Zusammensetzung des Wassers im Laufe der Zeit bezüglich Mineralstoffen und Mikroverunreinigungen nicht stark verändert. So dürfte die auf den Mineralwasserflaschen angegebene Zusammensetzung in der Regel wohl der Tatsache entsprechen. Ganz abgesehen davon, dass diese regelmässig überprüft werden muss (VTQM SR 817.022.102, 2005). Interessanter hingegen ist die mikrobiologische Beschaffenheit: Diesbezüglich können sich im Laufe der Zeit sehr wohl Veränderungen ergeben. Abhängig vom Ausgangsprodukt, der Lagerdauer, der Temperatur und der Konservierung dürfte sich die Mikroflora sehr unterschiedlich entwickeln (Schlegel, 1992). Und genau hier möchte ich mit meiner Arbeit ansetzen. Grundsätzlich sind zahlreiche mikrobiologische Untersuchungen denkbar, von Bakterien über Viren bis zu den Protozoen. Ich möchte mich aber auf den am häufigsten untersuchten Parameter konzentrieren: Die Gesamtkeimzahl. Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl ist grundsätzlich mit den Möglichkeiten, die das Labor an der Kantonsschule Rychenberg bietet, realisierbar. Allerdings ist anzumerken, dass dieses Labor für mikrobiologische Untersuchungen grundsätzlich nicht vorgesehen ist und entsprechend wurden in diesen Räumlichkeiten bislang keine derartigen Untersuchungen durchgeführt. Einen Brutschrank konnte mir die Schule zur Verfügung stellen, doch alle Ausgangsmaterialien (wie etwa Nährböden) und diverse Materialien (Petrischalen, geeignete Pipetten) mussten zuerst evaluiert und in dieser Umgebung getestet werden. In einem ersten Schritt musste demnach untersucht werden, ob ich in den zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten überhaupt verlässliche Resultate produzieren kann. In einem weiteren Schritt sollte mir die Bestimmung der Gesamtkeimzahl dann wichtige Hinweise auf Verschmutzungsquellen oder Lagereinflüsse geben, um damit die eingangs erwähnten Fragen zu beantworten.



2. Anforderungen an Trink- und Mineralwasser

2.1 Einführung

Im Schweizerischen Lebensmittelrecht sind die Anforderungen an alle Lebensmittel, die in der Schweiz in Verkehr gebracht werden, im Detail geregelt (LMG SR817.0, 1992). Es bezweckt, die Konsumenten vor Lebensmitteln zu schützen, die die Gesundheit gefährden könnten, den hygienischen Umgang mit Lebensmittel sicherzustellen und die Konsumenten vor Täuschungen zu schützen (Art. 1, (LMG SR 817.0, 1992)). Gemäss Art. 2 Abs. 2 (LMG SR 817.0, 1992) gilt dies für das Herstellen, Behandeln, Lagern, Transportieren und Abgeben. Kennzeichnung und Anpreisung sind dabei wichtige Aspekte. In Art. 2 Abs. 4 (LMG SR 817.0, 1992) ist festgehalten, dass das Lebensmittelgesetz den Bereich des Eigengebrauchs nicht abdeckt. Der Produzent eines Lebensmittels muss zwar auf der Verpackung deklarieren, wie lange die Qualität des Lebensmittels unter bestimmten Lagerbedingungen einwandfrei erhalten bleibt, doch für die korrekte Lagerung und Handhabung ist der Käufer des Produktes selber verantwortlich. Das gilt selbstredend auch für Quell- und Mineralwasser. In Bezug auf das Trinkwasser bedeutet die Vorgabe, dass sich die Verantwortung des Wasserversorgers nur bis zur Übergabe an den Konsumenten erstreckt. Das ist normalerweise die Wasseruhr. Da Trinkwasserleitungen in einem Gebäude dem Hauseigentümer gehören, ist er es auch, der für die Qualität in diesem Bereich verantwortlich ist (Kötsch, et al., 2013). Das Lebensmittelrecht regelt im Detail die Pflichten eines Wasserversorgers. So hat er beispielsweise gemäss Art. 23 (LMG SR 817.0, 1992) selbst dafür zu sorgen, dass die Waren den gesetzlichen Anforderungen entsprechen. Dazu gehört eine regelmässige Überprüfung der guten Herstellungspraxis und der Qualität des Trinkwassers. Die kantonalen Lebensmittelkontrollbehörden untersuchen zwar die Qualität ebenfalls, aber dies nur stichprobenweise und zudem entbindet dies den Hersteller nicht von der Selbstkontrollpflicht.

Das Lebensmittelrecht regelt im Detail die Vorgaben an die Kennzeichnung von Lebensmitteln (LKV SR 817.022.21, 2005) (LMG SR 817.0, 1992). Trinkwasser stellt diesbezüglich einen Sonderfall dar, weil es normalerweise nicht verpackt, sondern über Leitungen direkt ins «Haus» geliefert wird. Daher hat der Gesetzgeber in Art. 5 (VTQM SR 817.022.102, 2005) festgelegt, dass der Wasserversorger mindestens einmal jährlich über die Qualität des Trinkwassers zu informieren hat. Viele Wasserversorger kommen dieser Pflicht nach, indem sie diese Angaben beispielsweise auf der Homepage des SVGW (SVGW, 2015) publizieren.



Im Schweizerischen Lebensmittelrecht sind die verkehrsfähigen Produkte umschrieben. Dazu gehören gemäss Art. 1 (VTQM SR 817.022.102, 2005):

- a. Trinkwasser
- b. Quellwasser
- c. Natürliches Mineralwasser
- d. Künstliches Mineralwasser
- e. Kohlensaures Wasser

In meiner Arbeit konzentriere ich mich auf Trink-, Quell- und Mineralwasser (a, b, c), damit der Umfang der Arbeit das Machbare nicht übersteigt. Zudem fokussiere ich auf den Bereich der Eigenverantwortung, d.h. auf einen Bereich, in dem es weder eine vorgegebene Selbstkontrolle noch eine staatliche Aufsicht gibt. Ich möchte wissen, welchen Beitrag wir Konsumenten selbst zum Erhalt einer einwandfreien Qualität leisten können.

In der Hygieneverordnung (HyV SR 817.024.1, 2005) sind sämtliche Vorgaben an die Hygiene von Lebensmitteln festgelegt. Einerseits bestehen allgemeine Vorgaben an den Umgang, an das Personal, an die thermischen Verfahren und an die Verarbeitung. Andererseits enthält sie eine detaillierte Liste mit mikrobiologischen Kriterien (Art. 5 (HyV SR 817.024.1, 2005)). Diese Kriterien beziehen sich u.a. auf das Vorhandensein und die Anzahl der Mikroorganismen. Anhand dieser Kriterien wird die Akzeptabilität eines Produktes (Lebensmittelsicherheitskriterium⁵) oder eines Prozesses (Prozesshygienekriterium⁶) festgelegt. Die Kriterien werden in Form von Grenzwerten⁷ oder Toleranzwerten⁸ festgelegt (Art. 5 Abs. 4 (HyV SR 817.024.1, 2005)). Die Einhaltung von Toleranz- oder Grenzwerten kann nur anhand von vorgegebenen mikrobiologischen Referenzmethoden überprüft werden, die beispielsweise im Schweizerischen Lebensmittelbuch beschreiben sind (Subkommission 21, 2000) (Art. 6 Abs. 1 und 2 (HyV SR 817.024.1, 2005)). Der Bereich der Eigenverantwortung wird durch das Lebensmittelrecht nicht abgedeckt und auch die gesetzlichen Vorgaben sind daher nicht direkt anwendbar, sie können höchstens zu Vergleichszwecken beigezogen werden.

⁵ Siehe Glossar: Lebensmittelsicherheitskriterien

⁶ Siehe Glossar: Prozesshygienekriterien

⁷ Siehe Glossar: Grenzwert

⁸ Siehe Glossar: Toleranzwert



Die grosse Spannweite der rechtlichen Vorgaben zeigt, dass ganz generell mit Ergebnissen aus Untersuchungen auf Gesamtkeimzahlen vorsichtig umzugehen ist. Dies gilt insbesondere für einzelne, absolute Werte. Hingegen sind zeitliche Entwicklungen oder Vergleiche von Messwerten verschiedener Proben weniger problematisch (Gensberger, 2015).

2.2 Trinkwasser

Gemäss der Verordnung über Trink-, Quell- und Mineralwasser handelt es sich bei Trinkwasser um Wasser, das natürlich belassen oder nach Aufbereitung bestimmt ist zum Trinken, zum Kochen, zur Zubereitung von Speisen sowie zur Reinigung von Gegenständen, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen (Art. 2 (VTQM SR 817.022.102, 2005)). Es muss in mikrobiologischer, chemischer und physikalischer Hinsicht genusstauglich sein, das heisst, bei der Abgabe an den Verbraucher u.a. die in der Hygieneverordnung festgelegten Anforderungen erfüllen.

Die Lebensmittelsicherheitskriterien (Toleranzwerte) für Trinkwasser sind in Anhang 2, Liste B (HyV SR 817.024.1, 2005) festgelegt. Die Fäkalkeime⁹ E. coli und Enterkokken dürfen im Trinkwasser grundsätzlich nicht nachgewiesen werden können - weder im behandelten, noch im unbehandelten Trinkwasser, weder an der Fassung noch im Verteilnetz. Das gilt auch für Trinkwasser, das in Behältnisse abgefüllt wird (Kapitel 2.4). Bezüglich der Gesamtkeimzahl (Aerobe mesophile Keimzahl) bestehen verschiedene Vorgaben (Tab. 1).

Tab. 1: Lebensmittelsicherheitskriterien (Toleranzwerte) von Trinkwasser (HyV SR 817.024.1, 2005)

	Unbehandeltes Trinkwasser	Behandeltes Trinkwasser
An der Fassung	100 KBE ¹⁰ pro ml	-
Nach der Behandlung	-	20 KBE pro ml
Im Verteilnetz	300 KBE pro ml	300 KBE pro ml
Abgefüllt in Behältnisse	Keine Vorgabe	Keine Vorgabe

Da es sich um Toleranzwerte handelt, gibt eine Überschreitung keinen Hinweis auf eine direkte Gesundheitsgefährdung. Die Werte sind als Lebensmittelsicherheitskriterien festgelegt, obwohl sie eigentlich einen Prozess, nämlich die Verteilung des Trinkwassers, charakterisieren. In der Liste der Prozesshygienekriterien, die im Anhang 3 der Hygieneverordnung aufgeführt ist, fehlen aber entsprechende Vorgaben an das Trinkwasser (HyV SR

⁹ Siehe Glossar: Fäkalkeime

¹⁰ Siehe Glossar: KBE



817.024.1, 2005). Hohe Werte für Gesamtkeimzahlen können einen Hinweis auf eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung geben (Kapitel 3.1).

Wie aus den Toleranzwerten (Tab. 1) hervorgeht, akzeptiert der Gesetzgeber einen Anstieg der Gesamtkeimzahl von 100 pro ml an der Fassung auf 300 pro ml im Verteilnetz, also auch bei der Abgabe an den Konsumenten. Die Hygieneverordnung macht zwar keine Vorgaben an die Keimbelastung in den Hausinstallationen, doch das BAG (heute: BLV) hat in einem Informationsschreiben (BAG, 2012) auch für diesen Bereich die Anwendung eines Höchstwertes von 300 KBE pro ml empfohlen. Allerdings sind damit gewisse Bedingungen an die Probenentnahme ab Hahn gestellt. So darf die Vorlaufzeit bis zur Entnahme maximal einige Sekunden (max. 500 ml) betragen. Zudem muss die Stagnationszeit¹¹ des Trinkwassers in den Leitungen mindestens 4 Stunden betragen. Nur unter Einhaltung dieser Bedingungen kann der Einfluss der Leitungen und ihrer Biofilme¹² auf die mikrobiologische Qualität erfasst werden. Während in der Schweiz keine Vorgaben an „Wasser, abgefüllt in Behältnisse“ bestehen, hat die EU Werte festgelegt (Richtlinie 98/83 des Rates, 1998): Sie liegen bei einer Bebrütung bei 37 °C bei 20 KBE pro ml. Die Bedeutung dieses Wertes ist allerdings umstritten (Baumgartner, 2013).

2.3 Mineralwasser

Nebst Trinkwasser werde ich natürliches Mineralwasser untersuchen, da dieses sich zunehmender Beliebtheit erfreut (SMS, 2015). Es wird definiert als mikrobiologisch einwandfreies Wasser, das aus einer oder mehreren natürlichen Quellen¹³ oder aus künstlich erschlossenen unterirdischen Wasservorkommen besonders sorgfältig gewonnen wird (Art. 11 Abs. 1 (VTQM SR 817.022.102, 2005)). Es muss sich durch besondere geologische Herkunft, Art und Menge der mineralischen Bestandteile, ursprüngliche Reinheit sowie durch die im Rahmen natürlicher Schwankungen gleichbleibende Zusammensetzung und Temperatur auszeichnen. Um sicherzustellen, dass das Wasser den gegebenen Anforderungen entspricht, muss es mindestens einmal im Monat während mindestens eines Jahres nach wissenschaftlich anerkannten Verfahren überprüft werden. Um Verunreinigungen vorzubeugen, ist es nötig, dass der Inhaber der Quelle diese mindestens viermal jährlich u.a. mikrobiologisch kontrolliert (VTQM SR 817.022.102, 2005).

¹¹ Siehe Glossar: Stagnationszeiten

¹² Siehe Glossar: Biofilme

¹³ Eine Quelle entspricht einem spezifischen, hydrogeologisch charakterisierbaren Grundwasservorkommen (Art. 11 Abs. 2 VTQM SR817.022.102, 2005).



Grundsätzlich ist das Behandeln und das Zugeben von Zusätzen nicht erlaubt (Art. 13 Abs. (VTQM SR 817.022.102, 2005)). Eine Ausnahme ist die Zugabe von Kohlensäure. Gibt ein Mineralwasser unter normalen Druck- und Temperaturverhältnissen Kohlensäure frei, wird in der Sachbezeichnung darauf hingewiesen (Art. 13 Abs. 1 (VTQM SR 817.022.102, 2005)).

Die Hygieneverordnung schreibt in Anhang 2 (Lebensmittelsicherheitskriterien, (HyV SR 817.024.1, 2005)) vor, dass die Gesamtkeimzahl in Mineralwasser an der Quelle den Toleranzwert von 100 KBE pro ml nicht überschreiten darf und weder *Escherichia coli* noch *Enterokokken*¹⁴ vorkommen dürfen. In Analogie zum «Trinkwasser, abgefüllt in Behältnisse» hat der Gesetzgeber auch für abgefülltes Mineralwasser keine Limiten für die Gesamtkeimzahl festgelegt.

2.4 Wasserspender

Wasserspender sind an verschiedensten Orten, wie Arztpraxen, Krankenhäusern oder Einkaufsläden anzutreffen. Es wird zwischen freistehenden (Abb. 2) und leitungsgebundenen (Abb. 1) Gerätesystemen unterschieden. Bei freistehenden Geräten wird das Wasser aus grösseren Mehrwegbehältern kopfüber auf dem Gerät fixiert.



Abb. 1: Leitungsgebundener Wasserspender (Bild: <http://www.wasserspender-deutschland.de/leitungsgebundene-wasserspender.html>, 03.11.2016).



Abb. 2: Freistehender Wasserspender (Bild: Annika Seiler).

¹⁴ Siehe Glossar: *Escherichia coli* und *Enterokokken*



Auf der Suche nach solchen Wasserspendern habe ich im Raum Winterthur/Zürich bis auf eine Ausnahme durchwegs nur freistehende Geräte entdeckt. Das hängt wohl damit zusammen, dass Wasserspender primär dort aufgestellt werden, wo Trinkwasser ab Wasserhahn nicht zur Verfügung steht. Für Trinkwasser aus Wasserspendern (aus Gallonen oder in einem Verteilnetz) hat der Gesetzgeber Toleranzwerte für *E. coli*, *Enterokokken* und *Pseudomonas aeruginosa* festgelegt, aber in Analogie zu abgefülltem Trink- oder Mineralwasser nicht für aerobe mesophile Keime (Anhang 2 aus: (HyV SR 817.024.1, 2005)). Zu Vergleichszwecken können die Toleranzwerte für Trinkwasser im Verteilnetz (300 KBE pro ml) oder für genussfertige Getränke aus Automaten (100'000 KBE pro ml) beigezogen werden. Das BfR¹⁵ hat die mikrobiologischen Risiken durch Wasser aus Wasserspendern bewertet. Es empfiehlt, neben der Einhaltung der Leitlinien der Wasserspenderhersteller (German Bottled Watercooler Association: Leitlinie für Gute Hygiene-Praxis für Watercooler – Unternehmer) auch die Hygieneanforderungen der Mineral- und Trinkwasserverordnung anzuwenden (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 1984). Die Koloniezahl bei 36 °C soll 20 KBE pro ml nicht überschreiten (Anlage 1 aus: (DVGW, 2016)¹⁶). Auch in Deutschland bestehen offensichtlich nur Empfehlungen und keine rechtsverbindlichen Vorgaben. So ist es auch zu erklären, dass die CVUAs¹⁷ in Baden-Württemberg entsprechende Werte dringend fordern (CVUA, 2014). Die grosse Spannweite der Vorgaben ist zweifelsohne Ausdruck einer gewissen Hilflosigkeit der Gesetzgeber aufgrund unklarer wissenschaftlicher Grundlagen.

¹⁵ Siehe Glossar: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

¹⁶ Siehe Glossar: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW)

¹⁷ Siehe Glossar: Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA)



3. Bakteriologische Grundlagen

3.1 Gesamtkeimzahl

Aufgrund der kurzen Zeit, die mir im Rahmen der Maturaarbeit zur Verfügung steht, habe ich mich auf die Bestimmung der Gesamtkeimzahl beschränkt. Untersuchungen auf Fäkalkeime, wie *E. coli* oder *Enterokokken*, sind deutlich aufwändiger und an der Kantonsschule stand die für solche Untersuchungen notwendige Ausrüstung, wie beispielsweise Filteranlagen, nicht zur Verfügung. Für die Erreichung der in meiner Arbeit gesteckten Ziele schien die Untersuchung auf die Gesamtkeimzahl ausreichend zu sein.

Um zu verstehen, welche Bakterien mit der Gesamtkeimzahl erfasst werden, ist ein Blick in die Geschichte interessant (Baumgartner, 2013): Bereits in der ersten Auflage des SLMB (Schweizerisches Lebensmittelbuch) aus dem Jahre 1899 wird eine Methode für die Keimzählung beschrieben, die eine Grundlage für die heutige Bestimmung der aeroben mesophilen Keime war. In der dritten Auflage wurde eine weiter entwickelte Methode aufgezeichnet. Erstmals wurden Interventionswerte vorgeschlagen: Im Trinkwasser sollten nicht mehr als 100 entwicklungsfähige Keime pro ml enthalten sein. Dieser Wert entspricht dem heutigen Toleranzwert für Trinkwasser an der Fassung. Der Wert ist auf eine Choleraepidemie¹⁸ im Jahre 1892 in Hamburg zurückzuführen: Robert Koch forderte damals, dass das Trinkwasser filtriert wird und die Wirksamkeit der Filtration bei einer Gesamtzahl von 100 KBE pro ml als ausreichend bezeichnet werden konnte. In der Tat ergaben die darauffolgenden Beobachtungen, dass derartige Epidemien vermieden werden konnten, wenn der Wert eingehalten wurde. Die Methode wurde weiterentwickelt: So wurden noch vor dem zweiten Weltkrieg die mit Gelatine verfestigten Medien durch Agarplatten ersetzt. Im Jahre 1969 wurde im SLMB dem Wasser ein separates Kapitel gewidmet. Darin wurde sogar für stilles Mineralwasser ein Richtwert von 10'000 KBE vorgeschlagen. Im Jahr 1981 wurden in der Hygieneverordnung erstmals Mikrobiologiewerte für Wasser festgelegt. Der Wert für stilles Mineralwasser wurde jedoch nicht übernommen. Eine Interpretation der Werte schien zu wenig aussagekräftig.

¹⁸ Siehe Glossar: Cholera



Neben dem seit langem bewährten Verfahren der Bestimmung der Gesamtkeimzahl auf Nährstoffmedien scheint sich immer mehr die sogenannte Durchflusszytometrie (Flow Cytometrie, FCM)¹⁹ durchzusetzen (Baumgartner, 2013). Mit dieser Methode werden alle vorhandenen Zellen erfasst und somit liegen die mit diesem Verfahren bestimmten Keimzahlen deutlich höher als diejenigen, die mit Plattierungsverfahren erhalten werden. Dies, obwohl der Begriff «Gesamtkeimzahl» eigentlich etwas Anderes suggeriert. Durch die Wahl einer bestimmten Bebrütungstemperatur, der Wahl eines bestimmten Nährmediums und der Dauer der Bebrütung wird bei einer Bestimmung der Gesamtkeimzahl nur eine kleine Auswahl der vorhandenen Bakterien gezüchtet und erfasst.

3.2 Bakterienwachstum

Mikroorganismen benötigen für ihr Wachstum in Wasser gelöste Nährstoffe. Ihre Ansprüche an die Nährstoffe und an das Milieu sind allerdings sehr unterschiedlich. Durch die Wahl eines bestimmten Nährbodens können gezielt bestimmte Bakterien gezüchtet werden. Viele Organismen benötigen für ihr Wachstum molekularen Sauerstoff (O₂); sie werden als aerobe Keime bezeichnet. Die meisten Bakterien sind mesophil, das heißt sie weisen ihre maximale Wachstumsrate zwischen 20 und 42 °C auf. Für die Bestimmung der Gesamtkeimzahl wird eine dünne Nährstoffschicht hergestellt, damit die Bakterien mit ausreichend Sauerstoff versorgt werden (Kapitel 4.3).

Unter Wachstum versteht man im Falle der einzelligen Mikroorganismen in der Regel die Zunahme der Anzahl Keime. Die Vermehrung erfolgt durch Zellteilung in zwei Tochterzellen. Das bedeutet, dass die Zellzahl exponentiell zunimmt. Das Zeitintervall für die Verdoppelung der Zellzahl (N) bezeichnet man als Generationszeit und den reziproken Wert als Teilungsrate²⁰ (z.B. Anzahl Zellteilungen pro Stunde, v). Mathematisch lässt sich die Vermehrung der Zellzahl N als Funktion der Zeit t wie folgt darstellen:

$$\log N = v * \log 2 * t + \log N_0$$

In einer halblogarithmischen Darstellung ($\log N$ = Ordinate; t = Abszisse) kann die Teilungsrate aus der Steilheit der Geraden und die Zellzahl zu Beginn der Messung (N_0) aus dem Achsenabschnitt berechnet werden (Schlegel, 1992).

¹⁹ Siehe Glossar: Durchflusszytometrie

²⁰ Siehe Glossar: Teilungsrate

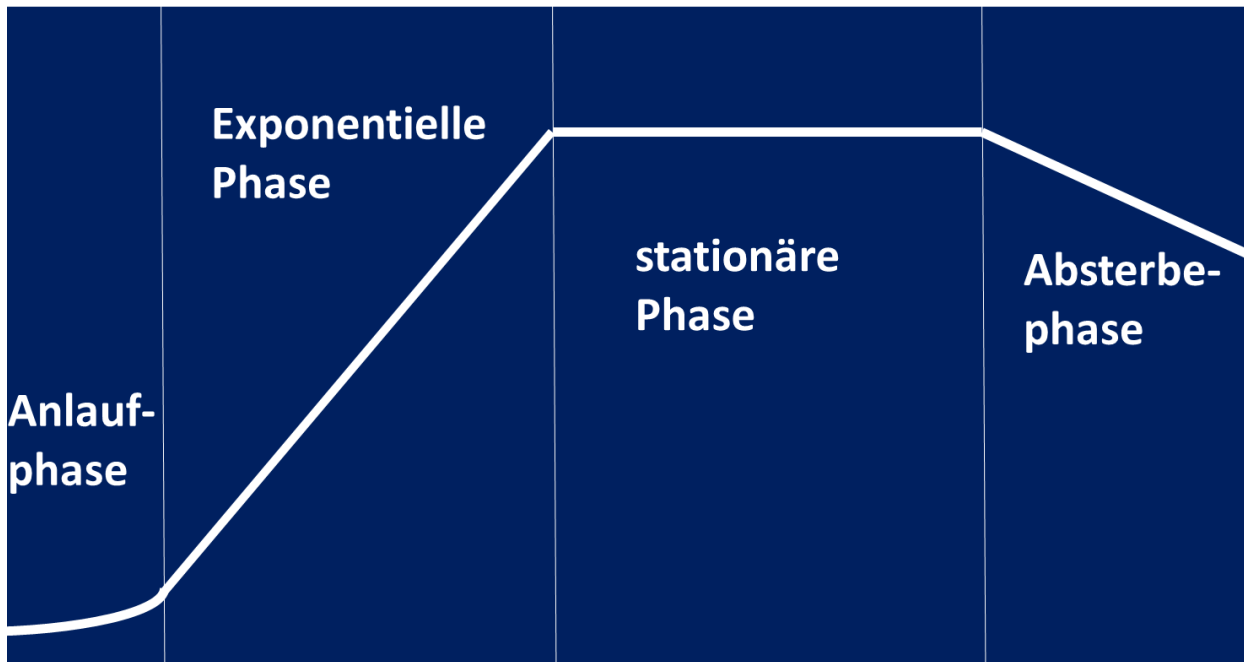


Abb. 3: Wachstumskurve einer Bakterienkultur (Bild: Annika Seiler).

Wachsen Bakterien in einem geschlossenen System, sind verschiedene Phasen zu unterscheiden (Abb. 3). Vor der maximalen Teilungsrate mit exponentiellem Wachstum ist oft eine Anlaufphase vorgelagert. Im Laufe der Zeit wird das Wachstum limitiert, beispielsweise durch die knapper werdenden Nährstoffe und so geht die exponentielle Wachstumsphase in eine stationäre Phase (kein Zellwachstum mehr) und dann in die Absterbephase über (Schlegel, 1992). Die Unterscheidung dieser verschiedenen Phasen ist wichtig für die Interpretation meiner Untersuchungsergebnisse.



4. Verfahren zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl

4.1 Einleitung

Die lebensmittelrechtlichen Vorgaben zu mikrobiologischen Eigenschaften des Trink- und Mineralwassers basieren auf konkret vorgegebenen Verfahren, von der Probenentnahme bis zur Untersuchung im Labor. In der Schweiz wird für die Bestimmung der Gesamtkeimzahl (aerobe mesophile Keime) in der Regel das Schweizerische Lebensmittelbuch verwendet (Subkommission 21, 2000). In den nachfolgenden Abschnitten werden die Untersuchungsverfahren beschrieben und mit Angaben zu den verwendeten Materialien und Geräten konkretisiert.

4.2 Probenentnahme und Transport

Damit die Untersuchungsergebnisse einer Probe aussagekräftig und korrekt sind, müssen nicht nur bei der eigentlichen Probenuntersuchung verschiedene Vorgaben eingehalten werden (Kapitel 4.3.2), sondern bereits bei der Probenentnahme und beim Transport. Auch die beste Methode bringt keine brauchbaren Resultate hervor, wenn bereits vor der Untersuchung Fehler passieren.

Die Probe muss das zu untersuchende Wasser repräsentieren. Das bedeutet, dass beispielsweise eine Getränkeflasche geschüttelt wird, bevor eine Probe entnommen wird, damit die Verteilung der Mikroorganismen homogen ist. Die Verteilung, Art und Anzahl der Mikroorganismen des untersuchten Aliquots²¹ müssen für das Wasser, auf das sich eine bestimmte Aussage bezieht, charakteristisch sein. Soll eine Aussage zu einem bestimmten Trinkwasser ab Wasserhahn gemacht werden, dann muss je nach Fragestellung eine entsprechende Vorlaufzeit eingeplant werden (bis zur Temperaturkonstanz), damit nicht unwillentlich eine durch Stagnation beeinflusste Probe erhoben wird.

Von der Probenentnahme bis zur Untersuchung ist darauf zu achten, dass das Absterben oder Vermehren der Mikroorganismen verhindert wird. Das setzt den Einsatz von sterilen Probenentnahmeflaschen, ein entsprechendes Handling der Flaschen und allenfalls eine

²¹ Siehe Glossar: Aliquot



Desinfektion der Probenentnahmestelle voraus. Für die Probenentnahmen wurden sterilisierte 500 ml PET-Flaschen (bereitgestellt vom IKL²² Schaffhausen) verwendet. Auch später, bei der Entnahme von Aliquoten im Labor, muss eine Fremdverkeimung unbedingt verhindert werden.

Die Transportbedingungen sind ebenfalls von grosser Bedeutung, weil sich die Zusammensetzung der Bakterien auch in der Probenentnahmeflasche verändern kann. Die erhobene Probe sollte daher vor ultraviolettem und sichtbarem Licht und hohen Temperaturen geschützt werden (Lightfood, et al., 2002). Bei allen Untersuchungen wurde darauf geachtet, dass zwischen Probenentnahme und der Untersuchung nicht mehr als 20 Stunden lagen. Gemäss der Erfahrung des IKL erfolgen innerhalb dieser Zeitspanne keine signifikanten Veränderungen (Bieri, 2016). Zudem wurden die Proben lichtgeschützt an einem dunklen Ort, in meinem Fall im Keller, gelagert.

4.3 Die Bestimmung der Gesamtkeimzahl von Wasser

4.3.1 Materialien, Geräte

Für die Untersuchungen im Labor wurden die folgenden beiden Geräte eingesetzt:

- **Brutschrank** (Salvis, TSK 100 D, über 10 Jahre in Gebrauch (Abb. 4):
Als Bebrütungstemperatur wurde stets 37 °C eingestellt. Die Überprüfung der Temperatur erfolgte mit einem Thermometer (Flüssigkeits-Glasthermometer, geeicht). Ein qualitativ guter Brutschrank sollte möglichst geringe Temperaturabweichungen (Temperaturunterschied an zwei verschiedenen Stellen im Brutschrank) und Temperaturschwankungen (kurzzeitige Temperaturveränderung) aufweisen. Ausserdem sollte die eingestellte Temperatur nicht mehr als um +/- 0.5 °C schwanken (Lightfood, et al., 2002). Da der Brutschrank, der mir zur Verfügung stand, schon etwas älter war, betrug die Abweichungen bis zu 2 °C. Anhand der Blindproben und Ansetzen des sterilen Wassers wurden Fremdeinflüsse kontrolliert (Kapitel 4.4).

²² Siehe Glossar: Interkantonaies Labor (IKL)



Abb. 4: Der für die vorliegende Arbeit verwendete Brutschrank an der Kantonsschule Rychenberg (Bild: Annika Seiler).

- **Mikrowellenofen** (MIO STAR, 800 Watt, über 10 Jahre in Gebrauch, Abb. 5):
Der Mikrowellenofen wurde zur Verflüssigung des Agars verwendet. Dazu wurde der feste Nährboden für rund zwei bis drei Minuten erhitzt - bei grösserer Menge etwas länger, bei kleinerer etwas kürzer.
Bei einer Erhitzung durch Mikrowellen kann es in der Probe zu lokalen Überhitzungen kommen. Um dies zu verhindern, muss der Gegenstand mehrmals aus dem Ofen genommen, geschüttelt bzw. gerührt werden (Lightfood, et al., 2002).

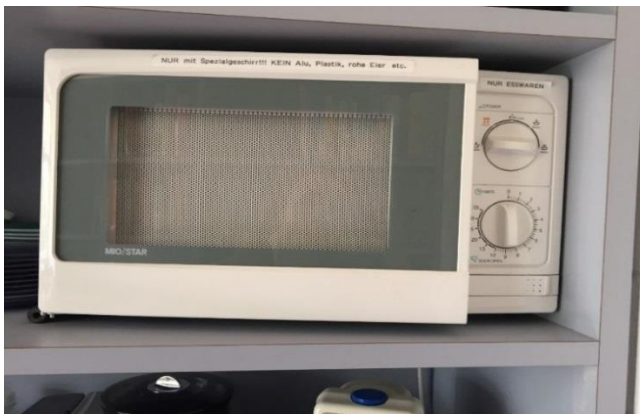


Abb. 5: Der für die vorliegende Arbeit verwendete Mikrowellenofen an der Kantonsschule Rychenberg (Bild: Annika Seiler).



Es wurde folgendes Material verwendet:

- **Petrishalen** (hergestellt von der Firma Greiner Bio-one in Kremsmünster / Österreich, Durchmesser: 90 mm, Abb. 6)

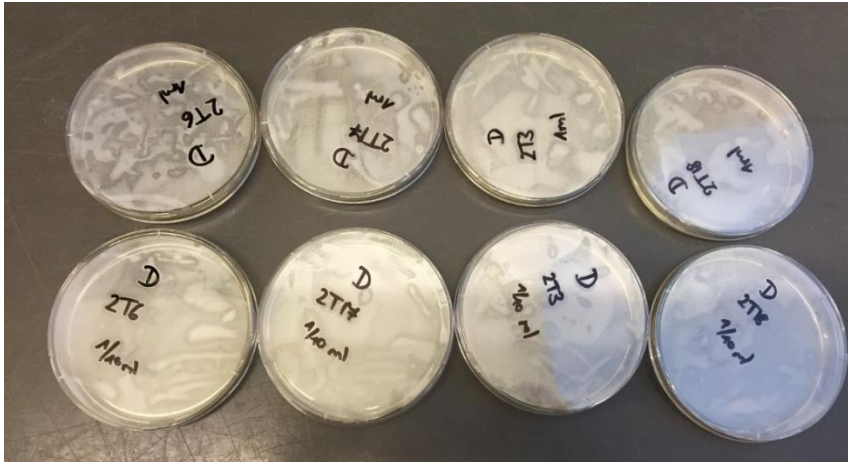


Abb. 6: Die in dieser Arbeit verwendeten Petrishalen - in der Abbildung mit flüssigem Nährboden gefüllt und beschriftet mit Angaben zu den Proben (Bild: Annika Seiler).

- **Probenentnahmeflaschen** (PET-Flaschen, bereitgestellt vom IKL Schaffhausen, mit Gamma Strahlen sterilisiert, Abb. 7)



Abb. 7: Probenentnahmeflaschen - in der Abbildung mit Wasserproben und beschriftet mit Angaben zu den Proben (Bild: Annika Seiler).



- **Pipetten** (SOCOREX_{SWISS}, Abb. 8): Es wurden zwei automatische Pipetten mit konischen Kunststoffspitzen (Abb. 9) und einer einstellbaren Dosierung verwendet (Lightfood, et al., 2002). Die Genauigkeit der abgemessenen Volumina hängt vom Pipettentyp und von der Kolbeneinstellung ab. Aber auch das Handling hat einen grossen Einfluss auf die Genauigkeit und so braucht eine korrekte Handhabung etwas praktische Übung. Nach Gebrauch der Pipetten haften gelegentlich kleine Tropfen in der Spitze. Diese müssen in die Petrischale herausgeschüttelt werden, ansonsten ist das Volumen zu klein. Diese Handhabung entspricht der guten Laborpraxis. Die Kunststoffspitzen wurden nach Gebrauch entsorgt, um Querkontaminationen zu vermeiden.

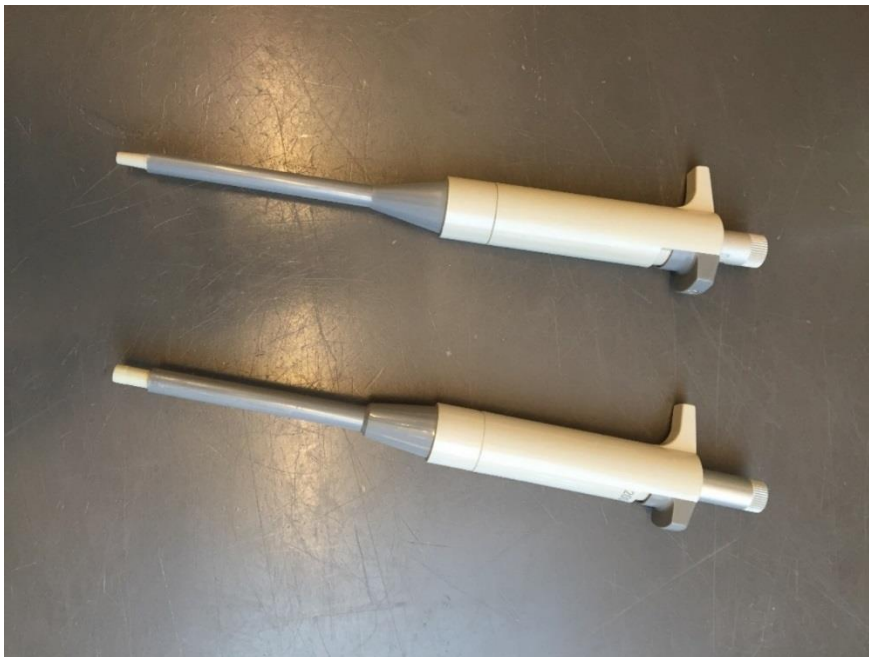


Abb. 8: Die in dieser Arbeit verwendeten, automatischen Pipetten (gross / klein) (Bild: Annika Seiler).

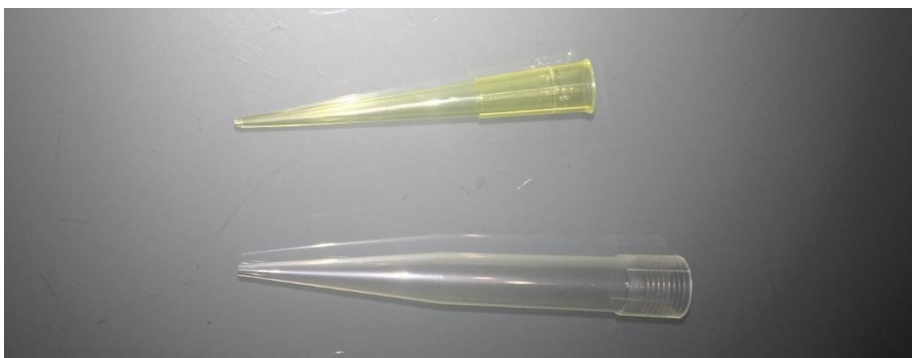


Abb. 9: Die in dieser Arbeit verwendeten Pipettenspitzen (gross / klein) (Bild: Annika Seiler).



Es wurden folgende Reagenzien verwendet:

- **Nährboden** (Abb. 10)

Der Nährboden nennt sich „Plate-count Agar“, „Keimzahlagar“, oder gemäss seinen Inhaltstoffen „Tryptose-Glucose-Hefextrakt Agar“ und ist ein gebrauchsfertiges Pulvergemisch. Von diesem werden 23.5 g in 1 l entmineralisiertem Wasser gelöst und 10 Minuten bei 121 °C im Autoklaven sterilisiert. So wurde der Agar am IKL in Schaffhausen hergestellt und in kleinen Portionen in sterile 100 ml und 250 ml Gläser abgefüllt (Haltbarkeit ca. 3 Monate).

Vor der Verwendung wurde der Agar in einem Mikrowellenofen erhitzt und verflüssigt und danach unter fließendem Wasser soweit abgekühlt, bis er eine Temperatur erreicht hat (45 - 47 °C), welche für die Bakterien erträglich ist. Zu hohe Temperaturen schaden den Bakterien und führen zu deren Absterben.

Der Agar schmilzt bei rund 100 °C, bleibt jedoch bei Abkühlung bis zu einer Temperatur von 45 °C flüssig (Schlegel, 1992).

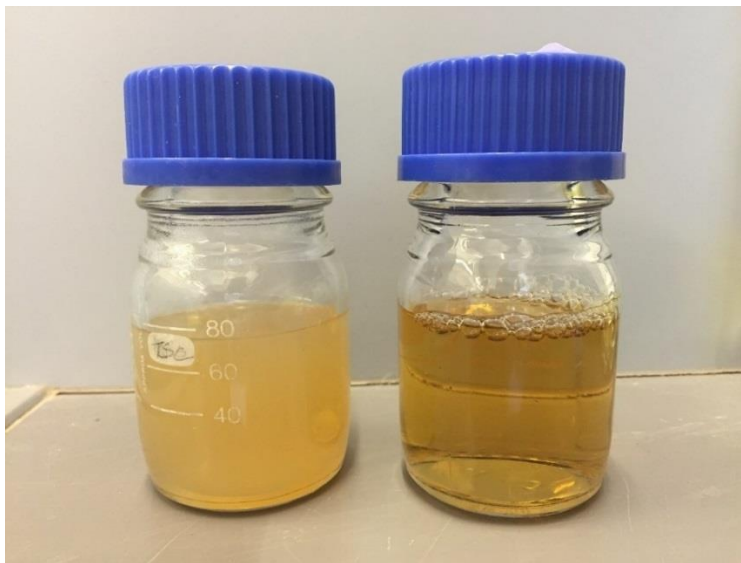


Abb. 10: Plate-count Agar. Links (steif) bei unter 45 °C, rechts (flüssig) bei über 45 °C (Bild: Annika Seiler).

4.3.2 Die Untersuchung nach der Plattengussmethode

Für jede Probe werden zwei Petrischalen bereitgelegt. In die beiden Petrischalen werden mithilfe der sterilen Pipette je 1 ml und 0.1 ml der gut geschüttelten Wasserprobe transferiert. Bevor anschliessend 12 bis 15 ml des PlateCount Agars, der eine Temperatur von 45 bis 47 °C aufweisen muss, in beide Petrischalen gegeben wird, sollte der Verschluss des



Behälters, der den Agar enthält, über einen Bunsenbrenner gehalten werden, um herabrinne-
nde Tropfen entlang der Öffnung zu beseitigen. Danach werden die Petrischalen ver-
schlossen und mit rotierenden Bewegungen vorsichtig bewegt, sodass sich der Nährboden
mit dem Wasser vermischt bis sich die Flüssigkeit vollständig verfestigt hat (Abb. 11).

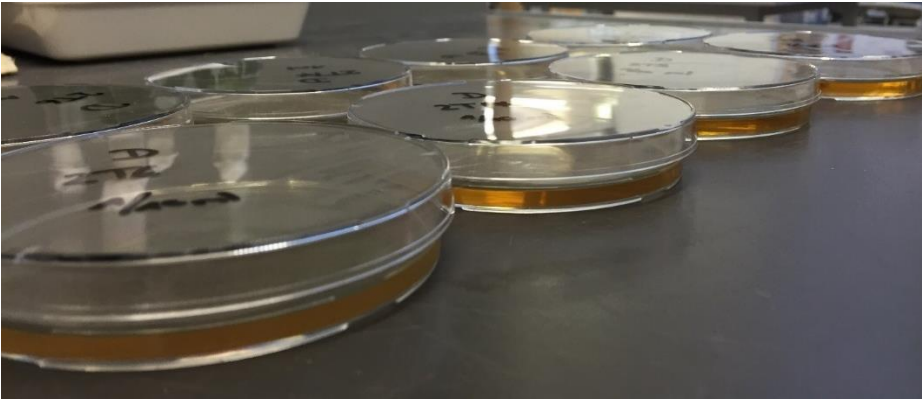


Abb. 11: Petrischalen enthalten Probe und noch flüssigen Nährboden (Bild: Annika Seiler).

Muss davon ausgegangen werden, dass das zu überprüfende Produkt Mikroorganismen
enthält, dessen Kolonien die Oberfläche des Nährbodens überwuchern könnten (schwär-
mende Kolonien, Abb. 12), werden nochmals 4 ml des flüssigen PlateCount Agars (45 °C
bis 47 °C) auf die Oberfläche des Nährbodens gegossen (ISO 4833, 2003). Hat sich der
zusätzlich dazugegebene Agar ebenfalls verfestigt, werden die Petrischalen umgekehrt in
den Brutschrank gelegt und dort bei einer Temperatur von 37 °C +/- 1 °C für 72 h +/- 3 h
bebrütet. In Abweichung zur ISO 4833 werden die Proben nicht bei 30°C +/- 1 °C bebrütet,
sondern bei 37 °C (Kapitel 4.3.3).

Die Schalen können gestapelt werden (max. 6) und um eine homogene Temperatur im Brut-
schrank zu gewährleisten, muss die Luft zwischen den Stapeln frei zirkulieren können. Aus
diesem Grund werden die Stapel voneinander getrennt und dürfen die Wände und die De-
cke des Wärmeschanks nicht berühren (Lightfood, et al., 2002).

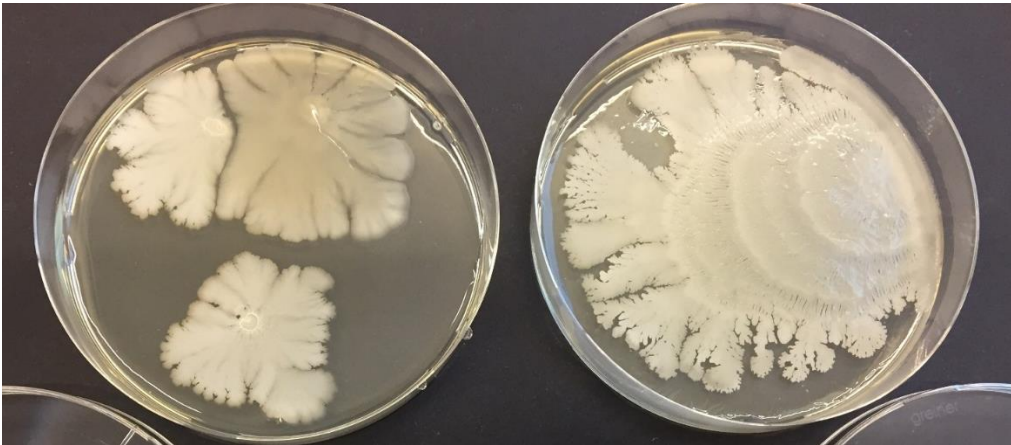


Abb. 12: Schwärmende Kolonien (Bild: Annika Seiler).

4.3.3 Die Wahl der Bedingungen für die Bebrütung

Die Wahl der Inkubationszeit, der Inkubationstemperatur und des Kulturmediums bestimmt, welche Bakterien bevorzugt wachsen und die Gesamtkeimzahl ausmachen. Die Wahl dieser Parameter ist umstritten und so ist die Variabilität in den verschiedenen Ländern gross (Noce, et al., 2000). Die vorgeschriebene Inkubationsdauer schwankt zwischen 48 Stunden und 7 Tagen und die Temperatur zwischen 20 °C und 40 °C. Je nach Temperatur werden unterschiedliche Arten von Keimen gezüchtet: Bei 22°C wachsen eher Kälteliebende, wie sie im Quell- und Oberflächenwasser vorkommen (*Pseudomonadaceae* und *Aeromonadaceae*); bei 30°C die sogenannten Mesophilen, die z.B. im Netzwasser und in Mineralwasser vermehrt vorkommen und bei 37 °C die Wärmeliebenden. Zu den letzteren gehören insbesondere auch Keime fäkalen Ursprungs (*Enterokokken*, *E. coli*).

Eine Korrelation zwischen den Ergebnissen bei verschiedenen Temperaturen ist aufgrund der unterschiedlichen, gezüchteten Bakterien oft nicht gegeben (Gensberger, 2015).

Um ein ganzheitlicheres Bild zu erhalten, schreibt die EU vor, dass Proben sowohl bei 22 °C als auch bei 37 °C zu untersuchen sind. Da ich in meiner Arbeit auf zeitliche Entwicklungen und Vergleiche fokussiere, beschränke ich mich auf eine einzige Bebrütungstemperatur. Aus folgenden Gründen entschied ich mich für eine Bebrütungstemperatur bei 37 °C:

- Wie bereits erwähnt, werden bei einer Bebrütung bei 37 °C die Fäkalkeime *E.coli* und *Enterokokken* miterfasst (Gensberger, 2015). Diese Keime spielen in der hygienischen Beurteilung von Wasser eine wichtige Rolle, im Rahmen dieser Arbeit konnte ich sie aber nicht separat bestimmen.



- Verschiedene Versuche (siehe Kapitel 5.2, 5.4, 5.6) untersuchen einen Eintrag von Bakterien vom Menschen in das Wasser (über das Trinken). Die gewählte Temperatur von 37 °C kommt der Körpertemperatur am nächsten und so können Einflüsse und mikrobiologische Veränderungen am besten erfasst werden.

Die verwendete Untersuchungsmethode basiert grundsätzlich auf der ISO 4833, anstelle der vorgeschlagenen Bebrütungstemperatur von 30 °C, verwendete ich aber eine solche von 37 °C.

4.3.4 Auszählung der Kolonien und Auswertung

Nach der vorgeschriebenen Bebrütungszeit werden die Kolonien auf der Platte gezählt. Dazu werden die Platten unter gedämpftem Licht geprüft. Jede Zelle des Zielorganismus hat sich vermehrt und bildet nun eine so grosse Kolonie, dass sie von blossem Auge erkennbar ist. Trotzdem gibt es auch noch Kolonien, die man nur knapp sehen kann, sogenannte Pinpoint-Kolonien (Abb. 13). Es ist wichtig, dass auch sie mitgezählt werden. Allerdings können diese leicht mit Partikeln, die nicht mitgezählt werden sollen, verwechselt werden. Zweifelhafte „Objekte“ müssen vorsichtig überprüft werden. Dazu können sie mit einer Lupe bei einer stärkeren Vergrösserung betrachtet werden. So lassen sich Kolonien von fremden Partikeln unterscheiden (ISO 4833, 2003)

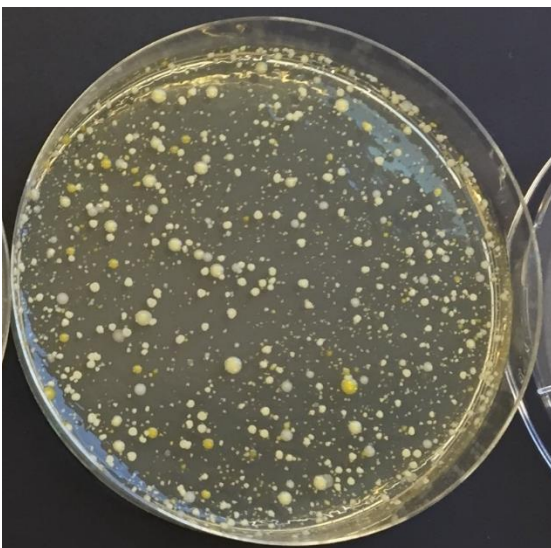


Abb. 13: Pinpoint – Kolonien (Bild: Annika Seiler).



Jede KBE entspricht einer oder sogar mehreren Zellen des Mikroorganismus in der ursprünglichen Probe. Des Öfteren treten auch verbundene Kolonien auf, die demnach nur als eine Kolonie gezählt werden.

Kolonien, die sich ausgebreitet haben, sollen als einzelne Kolonien gezählt werden. Falls weniger als ein Viertel der Schale mit einer solch ausgebreiteten Kolonie überwuchert ist, werden die Kolonien auf der davon nicht betroffenen Seite der Schale gezählt und die entsprechende Zahl für die ganze Schale hochgerechnet. Falls mehr als ein Viertel der Schale mit ausgebreiteten Kolonien überwuchert ist, wird die Zählung verworfen. Kolonien von erkennbarem Fremdwachstum²³ werden nicht gezählt. Ist das Fremdwachstum zu gross und eine Auswertung nicht möglich, wird das Resultat mit «nicht auswertbar» angegeben. (Borneff, et al., 1991) Eine Platte kann nur ausgewertet werden, wenn die Zahl aller Kolonien unter dem Wert der Gesamtbelegungsdichte von 300 KBE pro ml liegt.

Werden von einer Probe verschiedene Volumina für die Untersuchung angesetzt, so gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen für die Berechnung des Endresultates. Rein mathematische Berechnungen führen nicht immer zum Ziel, vielmehr sind ab und zu Entscheidungen nach dem gesunden Menschenverstand unvermeidlich (S. 169, (Lightfood, et al., 2002)). Liegt die Zahl der Kolonien für beide Proben, 1 ml (N_1) und 0.1 ml (N_2), unter der Belegungsdichte, so kann wie folgt ausgewertet werden (S. 206 (Lightfood, et al., 2002)):

$$\text{Anzahl Kolonien pro ml} = (N_1 + N_2) / 1.1$$

Liegt die Zahl der Kolonien nur für eine Probe unter der Belegungsdichte, so wird nur der Wert dieser einen Probe verwendet:

$$\text{Anzahl Kolonien pro ml} = N_1$$

oder

$$\text{Anzahl Kolonien pro ml} = N_2 * 10$$

²³ Siehe Glossar: Fremdwachstum



4.4 Validierung des Verfahrens und Qualitätssicherung

Resultate aus Untersuchungen müssen robust und verlässlich sein, damit die richtigen Schlussfolgerungen gezogen werden können. Im Falle der Bestimmung der Gesamtkeimzahl sind unerwünschte Einträge von Bakterien aus der Umgebung, durch ungeeignete Materialien oder ungeübtes Handling zweifelsohne die grösste Gefahr. Sie können zu überhöhten Keimzahlen führen. Des Weiteren sind die Vorgaben der Methode (Art des Agars, Temperatur, Dauer der Bebrütung etc.) genau einzuhalten, damit die Resultate untereinander verlässlich verglichen werden können.

Bei der eingesetzten Methode handelt es sich zwar um ein anerkanntes und seit vielen Jahren erprobtes Verfahren. Allerdings wurde dieses Verfahren in den Laboratorien der Kantonsschule bislang noch nie eingesetzt und so galt es, in einem ersten Schritt zu zeigen, dass die Methode auch unter den gegebenen Bedingungen glaubwürdige Resultate ergibt. Zudem musste auch die Untersuchende das Handwerk erlernen und beweisen, dass sie verlässliche Resultate erzielen kann.

Nach einer gründlichen Einführung am Interkantonalen Labor (IKL) in Schaffhausen untersuchte ich an der Kantonsschule Rychenberg eine erste Serie von unterschiedlichsten Wasserproben (ca. 25 Proben) und diskutierte anschliessend die Ergebnisse mit den Experten des IKL. Dabei zeigte sich Folgendes:

- Die Resultate des 1 ml – und des 0.1 ml – Ansatzes entsprachen nicht den Erwartungen. Das bedeutet: der 0.1 ml – Ansatz ergab im Vergleich zum 1 ml – Ansatz zu hohe Werte. Obwohl er eigentlich zehnfach tiefer liegen müsste, lag er oft nur halb so hoch.
- Die Keimzahlen lagen im Vergleich zu Erfahrungswerten tendenziell zu hoch.

Beide Beobachtungen deuteten darauf hin, dass ein Eintrag von Fremdkeimen erfolgt sein musste. Es galt, die Quelle der Kontamination zu finden.

Zu diese Zweck führte ich Untersuchungen an Blindproben (Nährboden, dem keine Probe hinzugefügt wurde) und an sterilisiertem Wasser (je ein 0.1 und 1 ml Ansatz) durch. Diese Proben sollten keine Keime enthalten. Um den Einfluss von Umgebungsbedingungen abzuschätzen, setzte ich die Proben an zwei Orten an: in der Kapelle eines Biologie-Praktikumzimmers und im Lehrerzimmer der Biologiefachschaft. Als zusätzliche



Absicherung führte ich alle Ansätze doppelt durch. In Tab. 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Tab. 2: Anzahl KBE des sterilen Wassers und der Blindproben.

	1 ml Probe	0.1 ml Probe	Blindprobe
Lehrerzimmer	4 und 5 Keime	2 und 2 Keime	2 und 5 Keime
Kapelle	18 und 5 Keime	7 und 10 Keime	4 und 7 Keime

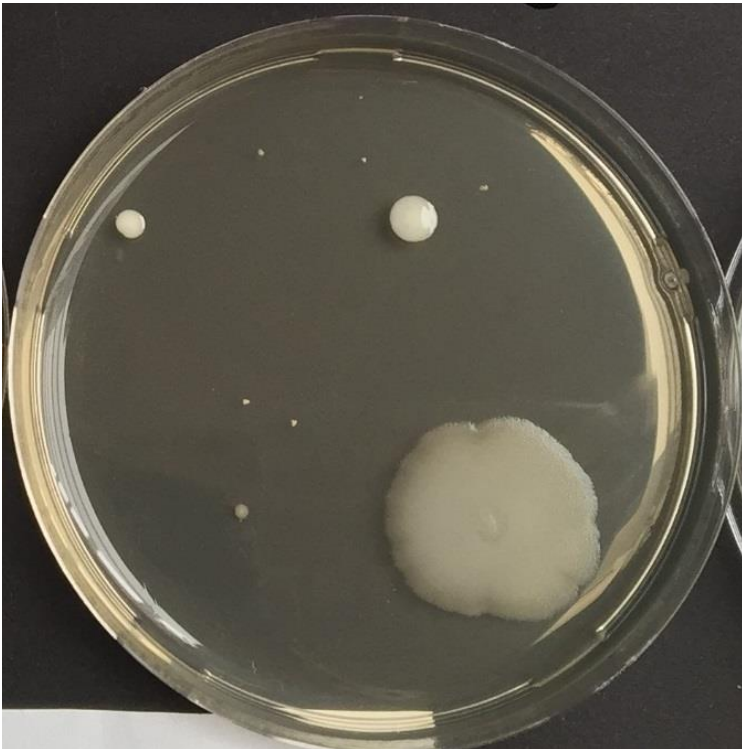


Abb. 14: Nachweis von oberflächlichen Keimen von 0.1 ml sterilen Wassers in einer Petrischale (Bild: Annika Seiler).

Die Ergebnisse lassen folgende Schlüsse zu:

1. Eine Kontamination durch die verwendeten Pipettenspitzen konnte ausgeschlossen werden, da die Zahl der Keime in der Blindprobe (bei der keine Pipetten benötigt wurden) etwa gleich gross ist, wie die Zahl der Keime der Proben mit dem sterilen Wasser (Tab. 2, Zeile „Lehrerzimmer“).
2. Ein Ansetzen in der Kapelle resultierte in einer höheren Anzahl Keime als ein Ansetzen im Lehrerzimmer. Dies weist darauf hin, dass die Umgebung eine wichtige Rolle



zu spielen scheint. In der Kapelle wurden vermutlich durch die Umluft Bakterien aufgewirbelt. Offenbar ist das Lehrerzimmer geeigneter als die Kapelle.

3. Rein optisch konnte festgestellt werden, dass ein hoher Anteil der Keime nur auf der Oberfläche des Agars wuchs (Abb. 14). Das bedeutet, dass kein Eintrag über den Agar oder über die Probe erfolgte, sondern aus der Umgebung. Dies wird auch dadurch belegt, dass die Keimzahlen pro Platte im Lehrerzimmer in derselben Größenordnung liegen.

Diese Resultate wiesen demnach eindeutig darauf hin, dass über die Luft unerwünschte Keime auf den Agar gelangen konnten. Die Luftkeimzahlen hängen von sehr vielen Bedingungen ab, wie beispielsweise von der Grösse des Raumes, der Anzahl der sich darin aufhaltenden Lebewesen, der darin gelagerten Materialien, der Feuchtigkeit etc. Zweifelsohne haben auch die Mäuse und Stabheuschrecken, die im Raum anwesend waren, zu einer hohen Belastung der Luft geführt. Als Folge dieser Erkenntnisse wurden die Abdeckungen der Petrischalen nur noch für eine möglichst kurze Zeit auf die Seite geschoben, um den Agar und die Probe einfüllen zu können. In einer weiteren Untersuchungsreihe habe ich versucht, meine Erkenntnisse zu bestätigen: Ich untersuchte weitere Blindproben. Tatsächlich enthielten zwei Proben, die ich im Lehrerzimmer angesetzt hatte, nur noch eine, respektive keine Keime und zwei Proben, die ich in der Kapelle angesetzt hatte, enthielten ebenfalls lediglich 0 und 1 Keim. Mit diesen Resultaten konnte ich sicher sein, dass Untersuchungen in dieser Umgebung möglich sind. Solange also die erwähnten Punkte beachtet werden, gibt es keinen wesentlichen Eintrag von Fremdkeimen. Bei sämtlichen nachfolgenden Untersuchungen setzte ich diese Erkenntnisse um.



5. Meine Versuche

5.1 Trinkwasser ab Hahn

Fragestellung:

Gemäss meiner Wohngemeinde Hettlingen weist das Trinkwasser stets eine einwandfreie mikrobiologische Qualität auf und wird nicht aufbereitet (SVGW, 2015). Da im Alltag das Trinkwasser normalerweise aber ohne Vorlauf genommen wird, wollte ich den Einfluss der Stagnation in der Trinkwasserleitung genauer unter die Lupe nehmen. Wie lange sollte ein Vorlauf optimaler Weise sein, damit das Trinkwasser mikrobiologisch einwandfrei geniessbar ist?

Methode:

Die nachfolgenden Versuche führte ich stets mit demselben Wasserhahn durch. Ich untersuchte das Trinkwasser nach Stagnationszeiten von einer Nacht bis zu 7 Tagen. Vor einer Stagnationsperiode öffnete ich den Wasserhahn für mindestens 2 Minuten, sodass sich in der Leitung zu Beginn einer Stagnationsphase «frisches», d.h. durch die Hausinstallationen nicht kontaminiertes Trinkwasser, befand (mit dieser Vorlaufzeit wird eine Leitung mit einem Rohrrinnendurchmesser von 12 mm auf einer Länge von rund 100 m durchspült). In der Tat konnte ich nach dieser Vorlaufzeit Gesamtkeimzahlen im tiefen Bereich von 20 KBE pro ml feststellen. Dieses erste Stagnationsexperiment zeigte, dass bereits nach einer Nacht der Toleranzwert von 300 KBE pro ml weit übertroffen wurde ($> 3'000$ KBE pro ml). Aus diesem Grunde setzte ich eine weitere Untersuchungsserie mit kürzeren Stagnationszeiten an.

Ergebnisse:

Wie aus Abb. 15 hervorgeht, steigt die Gesamtkeimzahl bereits nach einer kurzen Stagnationszeit stark an und anschliessend ist ein langsamerer, aber sukzessiver Anstieg der KBE festzustellen.

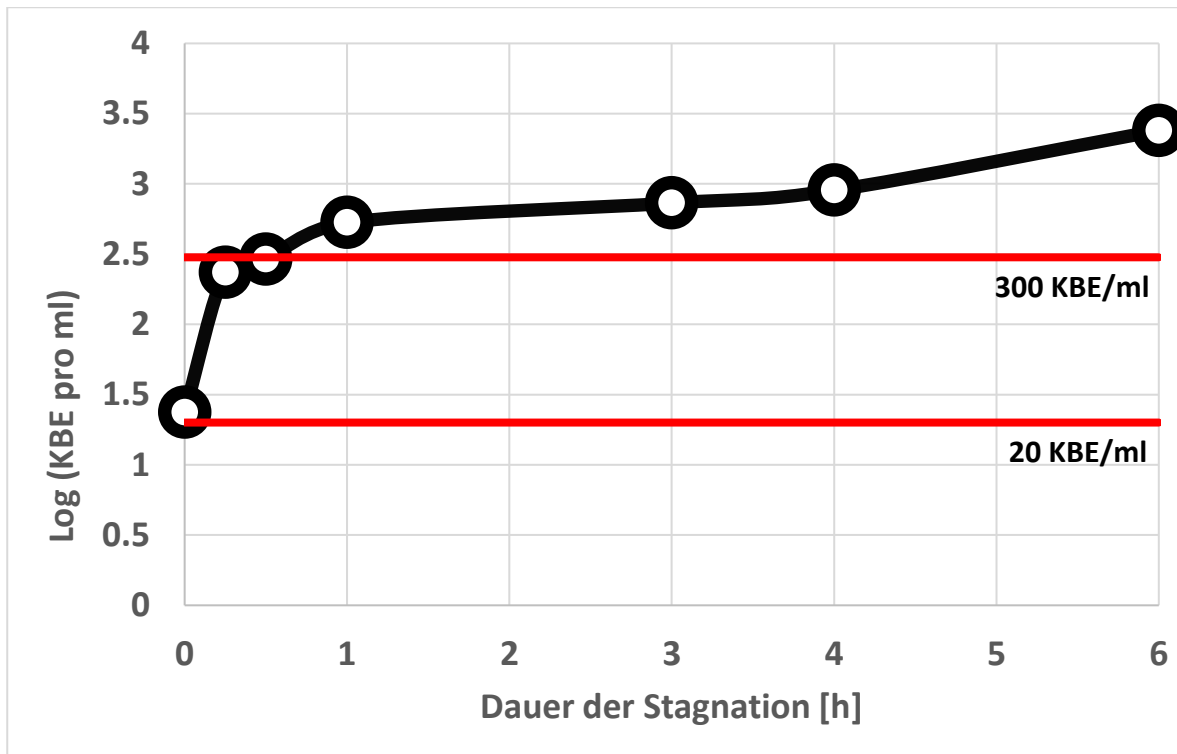


Abb. 15: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Trinkwasser als Funktion der Stagnationszeit des Trinkwassers in der Leitung. Nach einem Vorlauf von mindestens 2 Minuten und einer bestimmten Stagnationsdauer wurden Trinkwasserproben erhoben und auf die Gesamtkeimzahl hin untersucht. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und –zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar.

Diskussion der Resultate:

Das Leitungssystem (PE-Rohre mit einem Leitungsinwendurchmesser von rund 12 mm) ist 22 Jahre alt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass sich im Leitungssystem stabile Biofilme ausgebildet haben (Noce, et al., 2000). Gemäss Kötsch/Sigrist (Kötsch, et al., 2013) sind die Wachstumsbedingungen in Verteilsystemen in Gebäuden weit optimaler als im Bereich der Trinkwasserhauptversorgung. Gründe dafür sind moderate Temperaturen, längere Stagnationszeiten und hohe Oberflächen/Volumenverhältnisse. Die höheren Temperaturen in den Hausleitungen bewirken das Wachstum von Keimen, die sich unter diesen „warmen“ Verhältnissen wohlfühlen. Dabei handelt es sich zweifelsohne um Keime, die bei einer Bebrütung von 37 °C am besten gedeihen und die Gesamtkeimzahl ausmachen.

Zwischen der Wasser- und der Biofilmphase findet ein dynamischer Austausch der Bakterien statt. Je nach Material finden sich in den Biofilmen pro cm² Oberfläche 100'000 bis zu 10 Millionen Zellen (Kötsch, et al., 2013). Die Situation der Wasserverteilung in Gebäuden



stellt grundsätzlich einen weissen Fleck auf der Landkarte dar (Kötsch & Egli, 2013) und so ist es schwierig, vergleichbare Ergebnisse in der Literatur zu finden.

Der Verlauf der Gesamtkeimzahl gemäss Abb. 15 weist darauf hin, dass sich zu Beginn sehr schnell Bakterien aus dem Biofilm lösen und ins Trinkwasser übergehen. Ab einer Stagnationsdauer von einer Stunde ist ein linearer Anstieg festzustellen wie er für ein Mikrobiologiewachstum typisch ist. Über das «frische» Trinkwasser werden den Bakterien Nährstoffe zugeführt, die sie für dieses Wachstum benötigen.

Bedeutung für den Konsumenten:

Bereits nach kurzer Stagnationszeit von einer halben Stunde konnte ein starker Anstieg der Keimbelastung des Trinkwassers festgestellt werden. Mit einem entsprechenden Vorlauf kann die mikrobielle Belastung des Trinkwassers deutlich reduziert werden. Die Entwicklung der Keimbelastung im Trinkwasser und damit auch die Bedeutung des Vorlaufes hängen von den konkreten Rahmenbedingungen ab (Art und Länge des Leitungsnetzes, Biofilm, Nährstoffe im Trinkwasser etc.) und daher dürfen diese Ergebnisse nicht tel quel auf andere Leitungssysteme übertragen werden.

5.2 Trinkwasser in einer PET-Flasche, aus der täglich getrunken wird

Fragestellung:

Wie wichtig ist die Reinigung einer PET-Flasche, aus der täglich getrunken wird und welche Reinigungsmethode wende ich bevorzugt an meiner Trinkflasche an?

Methode:

In diesem Versuch wird die Veränderung der bakteriologischen Beschaffenheit von Trinkwasser in einer PET-Flasche, aus der täglich getrunken werden, untersucht. Die Flasche wird jeweils nach Gebrauch ausgeleert und ohne vorgängige Reinigung mit Leitungswasser neu aufgefüllt.

Ergebnisse:

Aus der Abb. 16 ist ersichtlich, dass die Gesamtkeimzahl sukzessive ansteigt. Die Werte an den ersten beiden Tagen bewegen sich um 30 KBE pro ml, wie sie für das verwendete



Trinkwasser typisch sind, steigen anschliessend über die gesamte Versuchsdauer an. Aufgrund meiner Erfahrung gehe ich davon aus, dass das stets frisch nachgefüllte Trinkwasser ungefähr eine konstante Keimbelastung aufweist (ca. 30 KBE pro ml).

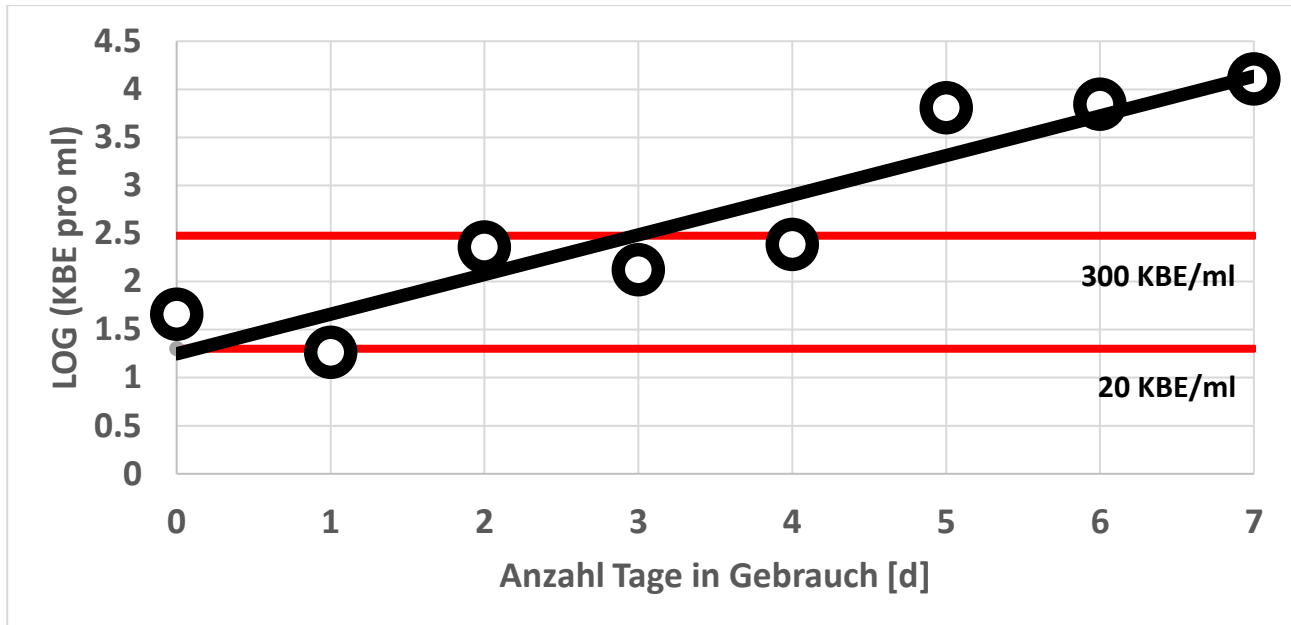


Abb. 16: Logarithmus aus Anzahl Keimen in Trinkwasser als Funktion der Zeit. Ablauf: tägliches Füllen, Trinken und Leeren einer PET-Flasche. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und -zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar. Regressionsgerade: $Y = (0.41 \pm 0.06) * x + (1.25 \pm 0.27)$, $R^2 = 0.87$.

Diskussion der Resultate:

Durch das Trinken konnten einerseits Bakterien, aber auch Nährstoffe in das Wasser gelangen. Es ist davon auszugehen, dass diese dann an der Flascheninnenseite oder am Deckel haftenblieben und Biofilme ausbildeten. Je länger die Flasche in Gebrauch war, desto dichter konnte sich ein Biofilm ausbilden. Das frisch nachgefüllte Wasser wurde also stets mit diesen Bakterien „geimpft“.

Bedeutung für den Konsumenten:

Das Experiment zeigt, dass die Verwendung einer PET-Flasche über mehrere Tage zu einer höheren Verkeimung führt, selbst wenn das Wasser täglich frisch nachgefüllt wird. Aus dieser Beobachtung kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass PET-Flaschen nach mehrfachem Wiederverwenden gereinigt werden sollten. Offensichtlich haften Keime an der



Flascheninnenseite und am Deckel (Bildung eines Biofilms) und so wird das frisch nachgefüllte Wasser damit geimpft.

Methode weiterer Experimente:

In zwei weiteren, analogen Versuchen wurde getestet, inwiefern ein Reinigen der Flaschen zu tieferen Keimbelastungen führen kann. Zu diesem Zweck wurden zwei Serien untersucht:

1. Die PET-Flasche wurde täglich mit kaltem Wasser mehrmals ausgespült.
2. Die PET-Flasche wurde täglich mit heissem Wasser (ca. 45 °C) und Seife ausgespült.

Ergebnisse:

In Abb. 17 sind die Untersuchungsergebnisse für beide Serien dargestellt. Aus dem vorhergehenden Versuch (ohne Reinigung) ging hervor, dass die Keimzahl am zweiten Tag deutlich ansteigt. Effekte aus der Reinigung dürften sich daher erst nach einer gewissen Zeit einstellen. Wie aus der Abb. 17 hervorgeht, sinken für beide Reinigungsarten die Keimzahlen am ersten und zweiten Tag ab. Im Falle der Reinigung mit Seife steigt die Gesamtkeimzahl am dritten Tag an und bleibt auf einem höheren Niveau konstant. Im Gegensatz dazu bleibt die Gesamtkeimzahl für den Versuch mit der Trinkwasserreinigung bis zum siebten Tag auf einem tiefen Niveau. Werden die beiden Serien ab dem dritten Tag miteinander verglichen, dann unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Serien gemäss t-Test²⁴ auf einem Signifikanzniveau von 5 % deutlich voneinander. Das bedeutet: Die beiden Reinigungsarten führen zu unterschiedlichen Keimbelastungen.

²⁴Siehe Glossar: t-Test

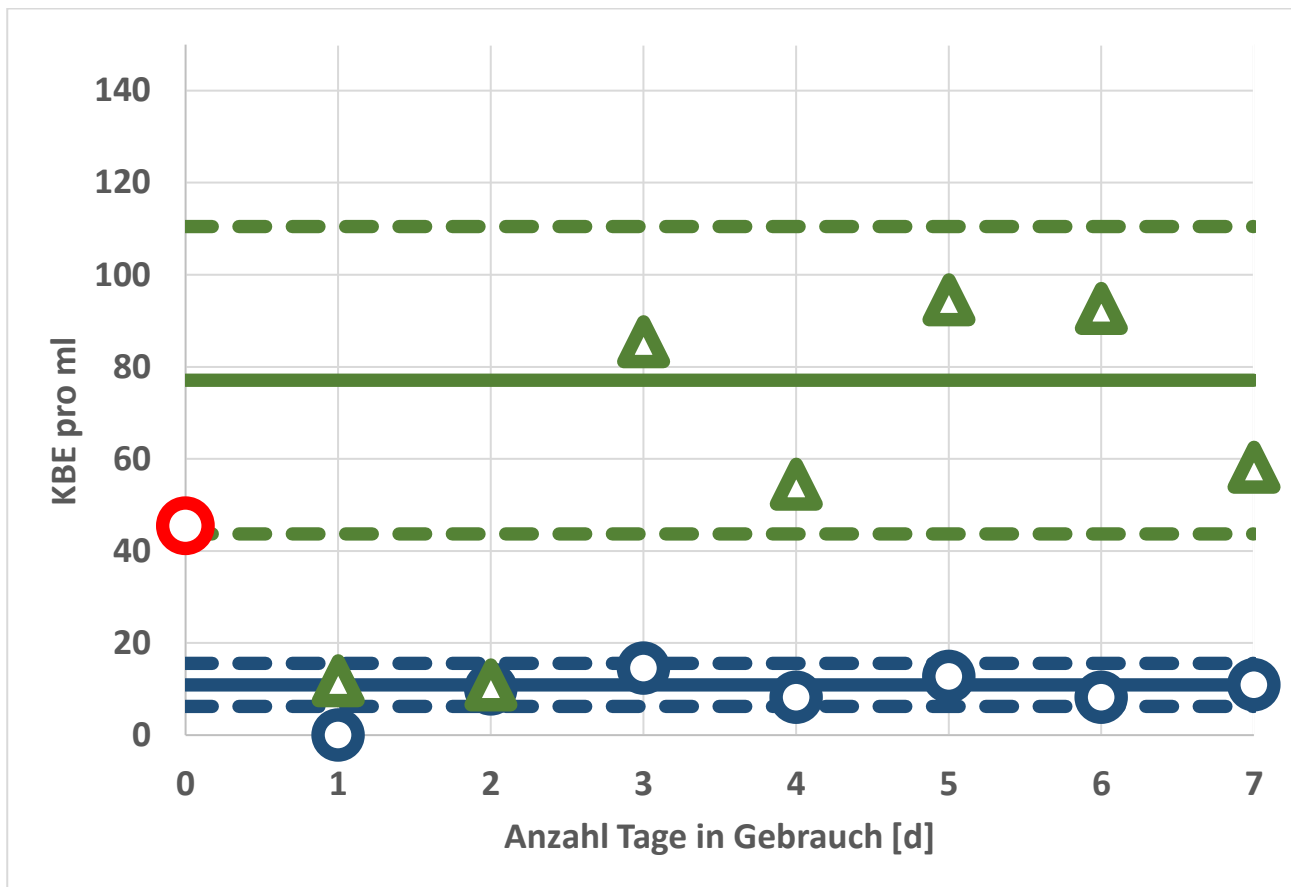


Abb. 17: Gesamtkeimzahl in [KBE pro ml] als Funktion der Zeit in Tagen. Es werden zwei Serien miteinander verglichen: Die eine beinhaltet ein Spülen der PET-Flasche mit kaltem Wasser (blau) und die andere mit warmem Wasser und Seife (grün). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Mittelwerten aus den Ergebnissen der Tage 3 bis 7, die gestrichelten Linien dem Schwankungsbereich der Mittelwerte (\pm eine Standardabweichung). Der rote Kreis stellt den Startwert dar.

Diskussion der Resultate:

Die Entwicklung der Keimbelastung im Falle der Reinigung mit Trinkwasser erstaunt: Der Ausgangspunkt der Belastung beträgt rund 30 bis 40 Keime pro ml. Zweifelsohne sind Schwankungen in der Belastung des nachgefüllten Trinkwassers denkbar. Doch in all meinen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit konnte ich stets eine ähnlich hohe Belastung des frischen Trinkwassers feststellen. Weshalb liegen die Keimbelastungen an den nachfolgenden Tagen so tief? Aus meiner Sicht kann dies nur auf eine Reduktion der Keimbelastung durch Licht zurückgeführt werden (Kapitel 5.3), denn die Flaschen wurden bei Tageslicht aufbewahrt. Die Reinigung mit Seife und warmem Wasser führte zu einer leicht höheren Keimbelastung, obwohl auch diese Flaschen dem Licht ausgesetzt waren. Offensichtlich sind durch die Seife oder durch das warme Wasser mehr Keime eingetragen worden



als durch das Licht zerstört worden sind. Das Warmwasser war zudem nicht ausreichend heiss, damit es die Keimbelastung reduzieren konnte.

Bedeutung für den Konsumenten: Das Experiment zeigt, dass ein regelmässiges Reinigen der PET-Flaschen verhindern kann, dass die Gesamtkeimzahl sukzessive ansteigt. Ein Ausspülen mit Trinkwasser ist ausreichend, eine Reinigung mit warmem Wasser und Seife muss nicht zwingend zu besseren Ergebnissen führen. Wird die Flasche am Licht aufbewahrt, kann sich die Keimbelastung gar reduzieren. Um diese Beobachtung zu untermauern, wurden separate Versuche durchgeführt (Kapitel 5.3).

5.3 Einfluss des Sonnenlichts

Fragestellung:

Mit dem nachfolgenden Experiment soll der Einfluss des Sonnenlichts auf das Bakterienwachstum untersucht werden.

Methode:

Der Versuch erstreckte sich über 20 Tage und wurde als Doppelansatz durchgeführt. Am ersten Tag wurden 2 Flaschen (stilles Wasser aus Evian, in 500 ml PET-Flaschen) der Sonne ausgesetzt, an den Tagen fünf, zehn, fünfzehn und zwanzig je zwei weitere. Die zehn PET-Flaschen wurden anschliessend auf die Gesamtkeimzahl untersucht. Es ist bekannt, dass frisch abgefülltes, stilles Mineralwasser eine hohe Keimzahl aufweisen kann (Casanova, et al., o.J.). Für den vorliegenden Versuch wurden Evianprodukte mit einem langen Haltbarkeitsdatum ausgewählt, um das Experiment möglichst mit einer hohen Keimbelastung starten zu können. Sämtliche Evianflaschen wiesen dieselbe Lotnummer auf und stammten somit aus derselben Produktionsserie.

Ergebnisse:

Wie aus Abb. 18 hervorgeht, wies das gewählte stille Mineralwasser mit rund 600 Keimen pro ml tatsächlich eine recht hohe Gesamtkeimzahlbelastung auf - ideal für das Experiment. Ebenfalls ist der Abb. 18 zu entnehmen, dass die Keimbelastung für beide Ansätze kontinuierlich abnimmt. Die Kurven stellen also die Absterbephase dar.

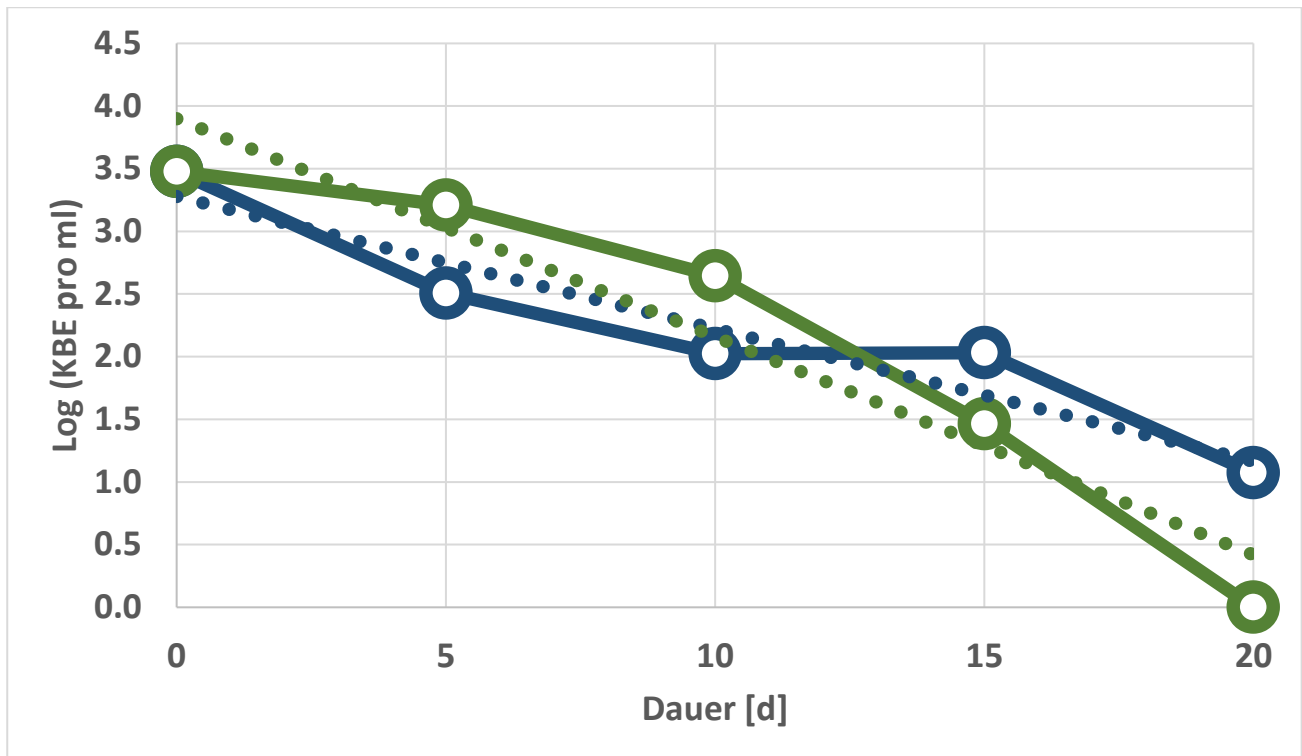


Abb. 18: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Mineralwasser als Funktion der Lagerungsdauer an der Sonne. Es wurden zwei Serien dieses Experiments (grün und blau) nebeneinander durchgeführt (Doppelansatz). Die gestrichelten Linien stellen die jeweiligen Regressionsgeraden dar.

Grün: $Y = (-0.17 \pm 0.03) * x + (3.9 \pm 0.36)$, $R^2=0.92$

Blau: $Y = (-0.1 \pm 0.01) * x + (3.28 \pm 0.23)$, $R^2=0.91$

Diskussion der Resultate:

Es ist anzunehmen, dass die Bakterien durch die UV-Strahlen der Sonne sukzessive abgetötet werden. Die Strahlen verändern das Erbgut der Mikroorganismen und können zu einem Verlust der Vermehrungsfähigkeit führen. Des Weiteren zerstört die Strahlung auch die Zellmembran, Proteine, Lipide und Enzyme, und so ist es den Mikroorganismen nicht mehr möglich, ihre Reparaturmechanismen zu aktivieren (Roeske, 2016). Durch die Exposition an der Sonne war die Temperatur des Mineralwassers zweifelsohne erhöht und hatte ebenfalls einen Einfluss auf das Bakterienwachstum. Um einen eindeutigen kausalen Zusammenhang zwischen der UV-Strahlung und dem Einfluss auf das Absterben der Bakterien aufzeigen zu können, wären weitere Versuche notwendig gewesen (Lagerung bei konstanten Temperaturen, zu Vergleichszwecken Untersuchungen an Proben, die im Dunkeln gelagert werden etc.). Das hätte allerdings den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.



Bedeutung für den Konsumenten:

Stilles Mineralwasser kann hohe Gesamtkeimzahlen aufweisen. Wer eine tiefe Gesamtkeimzahl wünscht, dürfte mit Trinkwasser ab Hahn (nach einer bestimmten Vorlaufzeit) oft besser fahren. Allerdings kann eine deutliche Reduktion der Gesamtkeimzahl erreicht werden, wenn stilles Mineralwasser in einer transparenten PET-Flasche an der Sonne exponiert wird.

5.4 Der Einfluss von Kohlensäure im Mineralwasser

Fragestellung:

Mit dem folgenden Versuch wurde getestet, wie sich die bakteriologische Qualität eines Mineralwassers mit und ohne Kohlensäure in einer PET-Flasche im Laufe der Zeit entwickelt, wenn täglich davon getrunken wird (ohne Reinigung).

Methode:

Der Versuch wurde auf sieben Tage ausgelegt. Es wurden sieben 500 ml PET-Flaschen eines stillen Mineralwassers und sieben eines Mineralwassers mit Kohlensäure untersucht (beide Produkte stammen aus Evian). Am ersten Tag wurde je eine erste Flasche geöffnet, davon getrunken und anschliessend an jedem darauffolgenden Tag der Prozess wiederholt. Am Ende der sieben Tage wurden alle Flaschen mikrobiologisch untersucht. Nur mit dieser Versuchsanordnung war es möglich, dass alle Proben gleichzeitig untersucht werden konnten.

Ergebnisse:

Die Untersuchungsergebnisse werden in Abb. 19 dargestellt. Erstaunlicherweise wies das stille Mineralwasser zu Beginn eine sehr tiefe Gesamtkeimzahl auf. Wie aus der Abb. 19 hervorgeht, zeigen die Bakterien ein exponentielles Wachstum. Im Gegensatz dazu bleibt die Gesamtkeimzahl im Mineralwasser mit Kohlensäure während den ersten fünf Tagen auf einem sehr tiefen Niveau (unter 10 KBE pro ml).

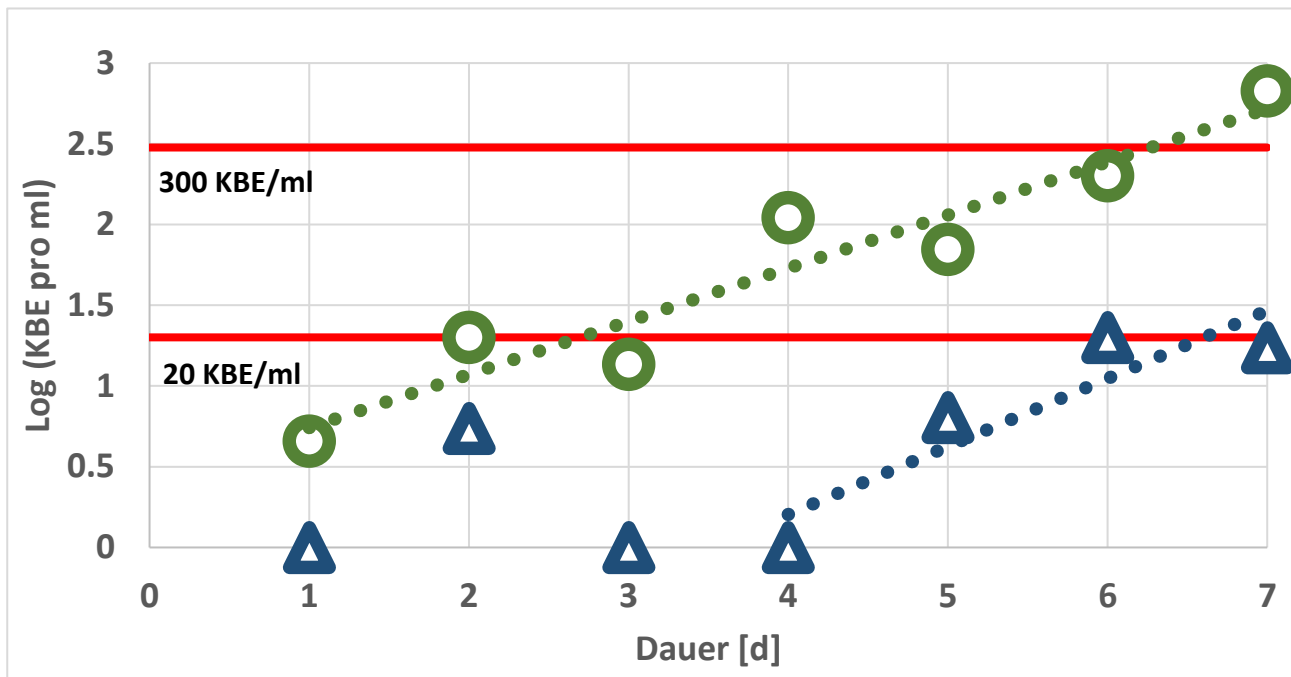


Abb. 19: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Mineralwasser als Funktion der Dauer der Benutzung der gefüllten PET-Flasche. Es wurden zwei Serien untersucht (blau und grün). Grün stellt den Versuch in Benutzung von stillem Mineralwasser dar und blau in Benutzung von kohlenensäurehaltigem Mineralwasser. Die gepunkteten Linien stellen die Regressionslinien dar. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und –zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar.

Grün: $Y = (0.32 \pm 0.05) * x + (0.41 \pm 0.20)$, $R^2 = 0.91$;

Blau: $Y = (0.42 \pm 0.14) * x + (-1.48 \pm 0.78)$, $R^2 = 0.82$

Diskussion der Resultate:

Kohlensäure weist bekanntlich bakteriostatische Wirkung auf (Casanova, et al., o.J.). So ist es nicht erstaunlich, dass die Gesamtkeimzahl tief bleibt, so lange noch nicht alle Kohlensäure entwichen ist. Erst in den letzten zwei Tagen stieg die Keimbelastung etwas an, vermutlich, weil Kohlensäure entwichen war und die bakterienhemmende Wirkung sukzessive wegfiel. Somit war es den Bakterien, welche durch das Trinken zusammen mit Nährstoffen in die Flasche gelangen, möglich, sich zu vermehren.

Bedeutung für den Konsumenten: Wer eine tiefe Gesamtkeimzahl wünscht, sollte kohlen-saures Mineralwasser dem stillen Mineralwasser vorziehen. Nach dem Öffnen einer Flasche entwickelt sich die Bakterienbelastung in einem stillen Mineralwassers schneller als in einem Mineralwasser mit Kohlensäure.



5.5 Wasserspender

Fragestellung:

Wasserspender sind überall aufzufinden, ob beim Arzt, in der Bank oder in einem Telecomshop. Wo man warten muss, ist man immer froh um einen Schluck «frischen» Wassers. Wie frisch dieses Wasser tatsächlich ist, wollte ich mit den nachfolgenden Untersuchungen herausfinden.

Methode:

Das Ziel dieses Versuches war es, möglichst viele Wasserspender aus Winterthur zu untersuchen. Aus diesem Grund habe ich unzählige Hotels und weitere öffentlich zugängliche Institutionen angeschrieben. Leider bekam ich praktisch keine Rückmeldungen. Nach Aufruf von Bekannten und Verwandten konnte ich schlussendlich dennoch sechs Wasserspender ausfindig machen, die ich beproben konnte. Entsprechend der üblichen Praxis, wurde zuerst ein Plastikbecher mit Wasser aus dem Wasserspender gefüllt und dieser wurde dann in die Probenentnahmeflasche geleert.

Ergebnisse:

Wie der Tab. 3 zu entnehmen ist, wurde das Wasser von fünf freistehenden und einem leitungsgebundenen Wasserspender untersucht. Im Falle der fünf freistehenden Wasserspender (Nr. 1 bis 5) handelt es sich um Quell- oder Mineralwasser. Alle Proben weisen im Vergleich zum Toleranzwert für Trinkwasser von 300 KBE pro ml hohe Gesamtkeimzahlen auf (> 1'500 KBE pro ml). Der Wasserspender 1 wurde doppelt beprobt (Rest eines Bidons und ein frisch installierter Bidon). Vier der sechs Resultate liegen deutlich über 3'000 KBE pro ml. Im leitungsgebundenen Wasserspender konnten keine Keime nachgewiesen werden.



Tab. 3: Resultate von sechs verschiedenen Wasserspendern. Der Wasserspender Nummer 1 wurde zweimal beprobt (1a: fast leerer Bidon; 1b: neuer Bidon).

Nummer	Ort	Produktname	System	Gesamtkeimzahl [KBE pro ml]
1a	Arztpraxis	Lifewater	Mineralwasser aus 19 Liter Bidon (praktisch leer)	>3000
1b	Arztpraxis	Lifewater	Mineralwasser aus 19 Liter Bidon (neuer Bidon)	1500
2	Bank	selecta	Mineralwasser aus 19 Liter Bidon	2000
3	Telecom-shop	Eden	Mineralwasser aus 19 Liter Bidon	>3000
4	Telecom-shop	Eden	Mineralwasser aus 19 Liter Bidon	>3000
5	Verwaltung	purAqua	Quellwasser aus 19 Liter Bidon	>3000
6	Arztpraxis	AQUAdrink (Typ: AQAdrink 2)	An Trinkwasserhahn angeschlossen, mit UV- und Aktivkohleaufbereitung	0

Diskussion der Ergebnisse:

Die hohe Keimbelastung des Wassers aus den freistehenden Wasserspendern ist nicht überraschend: Die Lebensmittelkontrolle stellt immer wieder hohe Keimbelastungen fest (Reinhold, 2014). Gesetzliche Vorgaben oder Leitlinien gibt es in der Schweiz keine. Die beiden Ergebnisse für den Trinkwasserspender Nr. 1 weisen darauf hin, dass die Wasserqualität in einem Wasserbidon, der im Einsatz steht, im Laufe der Zeit abnimmt. Die Ergebnisse lassen keinen Schluss zu, woher die Keime stammen. Wie bereits erwähnt, kann stilles Mineralwasser grundsätzlich hohe Gesamtkeimzahlen aufweisen, es ist aber auch denkbar, dass über den Wasserspender selbst kontinuierlich Keime ins Wasser eingetragen werden. Ebenfalls wenig überraschend ist das Ergebnis für den leitungsgebundenen Wasserspender: Mit einem Aktivkohlefilter und einer UV-Desinfektion wird das Trinkwasser keimfrei gemacht.



Bedeutung für den Konsumenten:

Wer eine tiefe Gesamtkeimzahl im Wasser wünscht, sollte freistehende Wasserspender meiden. Trinkwasser ab Hahn weist in der Regel tiefere Keimzahlen auf. Wer gar ein keimfreies Trinkwasser wünscht, ist mit dem leitungsgebundenen Wasserspender mit Wasseraufbereitung gut bedient. Aus meiner Sicht ist eine Aufbereitung des Trinkwassers jedoch unnötig, da Trinkwasser in der Regel die Vorgaben der Hygieneverordnung bereits einhält und auch aus ökologischer Sicht eine solche Aufbereitung unsinnig ist.

5.6 Flaschen mit verschiedenen Flaschenöffnungen

Fragestellung:

In diesem Versuch wollte ich herausfinden, ob Flaschenöffnungen einen Einfluss auf die Trinkwasserqualität haben können.

Methode:

Es wurden die folgenden drei Typen untersucht (Abb. 20):

- screw-top
- scraw-top
- squeeze-top

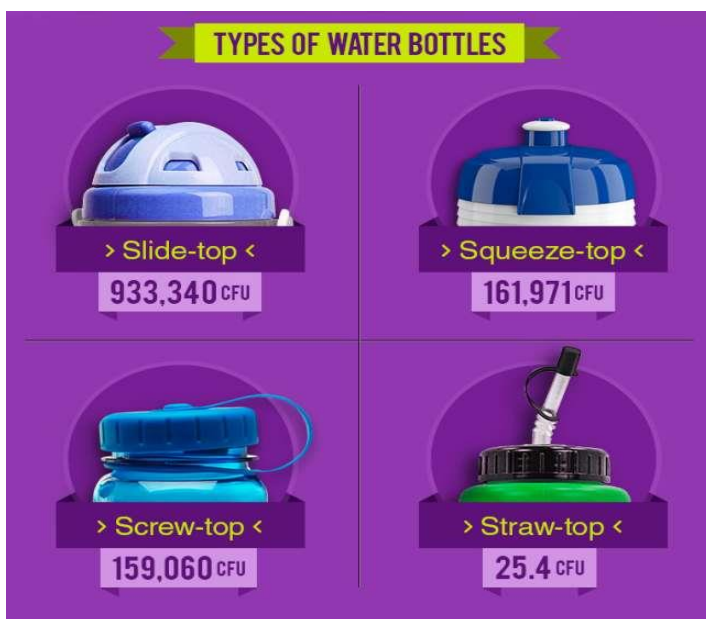


Abb. 20: Die verschiedenen Flaschenöffnungen (Bild: <http://www.blick.ch/gesundheit/fitness/schlimmer-als-das-wc-abzulecken-nachfuellbare-trinkflaschen-sind-krankmacher-id5367502.html>, 31.10.2016).



Jede Flasche wurde mit Trinkwasser gefüllt und sollte sieben Tage in Gebrauch sein. Es wurde täglich davon getrunken. Die Flaschen wurden weder gereinigt noch geleert.

Ergebnisse:

Es zeigte sich, dass die Gesamtkeimzahlen für alle drei Verschlüsse bereits nach einem Tag 3'000 KBE pro ml überstiegen. Nach vier Tagen war das Trinkwasser nicht mehr geniessbar, sodass ich den Versuch abbrechen musste.

Diskussion der Resultate:

In den Verschlüssen und in den Kunststoffflaschen scheinen sich die Bakterien wohl zu fühlen und sie bilden nach kürzester Zeit Biofilme. Da ich farbige und intransparente Kunststoffflaschen verwendete, konnte auch kein UV-Licht die Keimbelastung reduzieren.

Bedeutung für den Konsumenten:

Wer eine tiefe Keimbelastung seines Trinkwassers anstrebt, sollte Trinkwasserflaschen der erwähnten Art meiden. Je einfacher der Verschluss, desto weniger können sich Bakterien einnisten und desto einfacher und besser kann der Behälter gereinigt werden.



6. Schlussfolgerung/Fazit

Die heutige Trinkwasseraufbereitung und -verteilung ist streng kontrolliert und garantiert uns folglich Trinkwasser von bester Qualität. Darüber hinaus stehen zahlreiche Mineralwasserprodukte und Wasser von Wasserbidons zur Verfügung, um den Durst zu stillen. Doch wer die Wahl hat, hat die Qual: Welches Produkt soll ich wählen und wie muss ich es behandeln, damit ich Wasser von hoher Qualität genießen kann? Um dieser Frage nachzugehen, orientierte ich mich an der Gesamtkeimzahl als Qualitätsindikator – wohl wissend, dass dieser nicht das Mass aller Dinge ist. Die Ergebnisse sind denn auch stets mit Vorsicht zu genießen und dürfen nicht als umfassend betrachtet werden.

In dieser Arbeit untersuchte ich den Einfluss des Trinkwasser-Leitungsnetzes, der Lagerung von Wasser in PET-Flaschen, den Einfluss des Sonnenlichtes und der Reinigung eines Trinkwasserbehälters auf das Wachstum von aeroben, mesophilen Keimen bei 37 °C. Die Resultate zeigen, dass ich über einen grossen Handlungsspielraum verfüge und tatsächlich qualitativ gutes Wasser genießen kann, wenn ich ein paar Regeln beachte. Ich habe für mich persönlich die folgenden sechs «goldenen» Regeln abgeleitet:

1. In erster Linie genieße ich das qualitativ einwandfreie Trinkwasser ab Hahn, das mir meine Wasserversorgung liefert.
2. Vor dem Trinkwasserkonsum ab Hahn lasse ich das Wasser bis zur Temperaturkonstanz vorlaufen.
3. Wasser ab Wasserspendern meide ich. Da die Qualität des Trinkwassers ab Hahn einwandfrei ist, benötige ich auch kein aufbereitetes Wasser.
4. Mineralwasser mit Kohlensäure ziehe ich dem stillen Mineralwasser vor. Gibt es keine Alternative, exponiere ich das stille Mineralwasser vor dem Trinken an der Sonne. ☺
5. Für unterwegs verwende ich Trinkwasser aus einer PET-Flasche, die ich mindestens einmal täglich mit kaltem Trinkwasser gut spüle.
6. PET-Flaschen mit Drehverschlüssen ziehe ich Trinkwasserflaschen mit komplizierten Verschlüssen vor.



7. Ausblick

Die Ergebnisse meiner Maturaarbeit geben mir viele wichtige Informationen zum optimalen Handling von Wasser. Doch meine Zeit war begrenzt und so gibt es noch zahlreiche offene Fragen, denen man nachgehen könnte. Beispiele:

- Trinkwasser ab Hahn: Wie lange muss die Vorlaufzeit gewählt werden, in Abhängigkeit vom Trinkwassernetz? Welche Rolle spielen Rohrdurchmesser und Rohrmaterialien?
- Trinkwasser in einer PET-Flasche: Wo bildet sich der Biofilm, in der Flasche oder im Deckel?
- Woher stammen die hohen Keimbelastungen des Wassers aus Trinkwasserspendern?
- Wie verhält sich die Gesamtkeimzahl bei anderen Bebrütungstemperaturen?
- Wie ist die Situation bezüglich den Fäkalkeimen (z.B. E. coli, Enterkokken), Viren oder Parasiten?



8. Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

- BAG** Informationsschreiben Nr. 165 betreffend die Rohrippensanierung von Trinkwasserleitungen in Hausinstallationen mittels Epoxidharzen. - 3003 : [s.n.], 5. Juli 2012.
- BAG** Sechster Schweizerischer Ernährungsbericht [Bericht]. - Bern : [s.n.], 2012.
- Baumgartner Andreas (Bundesamt für Gesundheit)** Bakteriologische Trinkwasserkontrolle [Bericht]. - 2013. - S. 28-34.
- Bieri Hanspeter** Probentransport [Interview]. - 2016.
- BLV** Wasser und Gesundheit: Gute Noten für das Wasserschloss Schweiz [Bericht]. - Bern : [s.n.], 2016.
- Borneff Joachim und Borneff Marianne** Hygiene, Ein Leitfaden für Studenten und Ärzte (5. Auflage) [Buch]. - Stuttgart, New York : Georg Thieme Verlag, 1991.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz** Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) // Min/TafelWV. - 1. August 1984.
- Burkard Dr. R. [et al.]** Trinkwasser und Mineralwasser (SLMB; Kapitel 27) [Buchabschnitt] // Schweizerisches Lebensmittelbuch (SLMB). - Schweiz : [s.n.], 2003.
- Casanova Dr. Christian [et al.]** Gesundheitlicher Stellenwert von Mineralwässern und (Mineral-) Heilquellen, Eine Standortbestimmung [Bericht]. - Scuol : [s.n.], o.J..
- CVUA Dr. Peter Lenz** Wasserspender im Focus der Überwachung: Ein Bericht aus unserem Laboralltag. - 28. Oktober 2014.
- DVGW** Trinkwasserverordnung. - 2016.
- European Union Council Directive 98/83/EC** [Bericht]. - 1998.
- Gärtner A.** Die Hygiene des Wassers [Buch]. - [s.l.] : Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1915.
- Gensberger Eva Theres** Effect of different heterotrophic plate count methods on the estimation of the composition of the culturable microbial community [Artikel] // PeerJ. - Österreich : Frederick Cohan, 2015.



- HyV SR 817.024.1 Das Eidgenössische Departement des Innern (EDI)**
Hygieneverordnung des EDI (Stand am 1. November 2010). - 23. November 2005.
- ISO 4833** Microbiology of food and animal stuffs - Horizontal method for the enumeration of microorganism - Colony-count technique at 30°C. - [s.l.] : ISO, 1. Februar 2003.
- Kötsch Stefan und Egli Thomas** Kunststoffe in Kontakt mit Trinkwasser [Artikel] // Aqua & Gas N°2. - 2013. - S. 44-52.
- Lightfood N.F. und Maier E.A.** Mikrobiologische Analysen: Richtlinien zur Qualitätssicherung, Lebensmittel- und Wasseruntersuchungen [Buch]. - 2002.
- LKV SR 817.022.21 Das Eidgenössische Departement des Innern (EDI)** Verordnung des EDI über die Kennzeichnung und Anpreisung von Lebensmitteln (LKV) (Stand am 1. Januar 2013). - 23. November 2005.
- LMG SR 817.0 Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft**
Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände (Stand am 1. Oktober 2013). - 9. Oktober 1992.
- Noce Laura, Di Giovanni Davide und Putnins Edward E.** An Evaluation of Sampling and Laboratory Procedures for Determination of Heterotrophic Plate Counts in Dental Unit Waterlines [Artikel] // Journal of the Canadian Dental Association. - Vancouver : [s.n.], 2000. - 66 : Bd. 5.
- Prest E.I [et al.]** Long-Term Bacterial Dynamics in a Full-Scale Drinking Water Distribution System [Artikel] // PLOS ONE. - Brasilien : Rudolfo Paranhos, 2016.
- Reinhold CVUA Sigmaringen** Unser Wasser lebt ... manchmal!. - 27. 5 2014.
- Richtlinie 98/83 des Rates** EU - Trinkwasserverordnung // Über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. - 3. November 1998.
- Roeske Wolfgang** Trinkwasserdesinfektion (3. Auflage) [Buch]. - Deutschland : Deutscher Industrieverlag, Roeske Verlag, 2016.
- Schlegel** Allgemeine Mikrobiologie, 7. überarbeitete Auflage [Buch]. - New York : Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1992.
- Schweizerische Gesellschaft für Lebensmittelhygiene** Hygienisch-mikrobiologische Anforderungen an Trinkwasser und seine Verwendung in Lebensmittelbereichen // Hygienisch-mikrobiologische Anforderungen an Trinkwasser und seine Verwendung in Lebensmittelbereichen. - 5. Oktober 1979.
- SMS 2015** - durchgezogene Bilanz für die Mineralwasser- und Erfrischungsgetränkbranche. - 8027 : [s.n.], 30. März 2015. - S. 3.



Subkommission 21 Mikrobiologie (SLMB; Kapitel 56) [Buchabschnitt] // Schweizerisches Lebensmittelbuch (SLMB). - Schweiz : [s.n.], 2000.

SVGW Kennen Sie die Qualität Ihres Trinkwassers?. - 2015.

SVGW Trinkwasser ist unschlagbar günstig. - 8027 : [s.n.], 2015.

SVGW WV Hettlingen. - 2015.

Vereinte Nationen Millenniums-Entwicklungsziele [Bericht]. - New York : [s.n.], 2015.

VTQM SR 817.022.102 Das Eidgenössische Departement des Innern (EDI) Verordnung des EDI über Trink-, Quell- und Mineralwasser (Stand am 1. Januar 2014). - 23. November 2005.

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung auf Titelblatt: <http://www.hotelregentmunich.com/angebote.html>, 06.11.2016

Abbildung in Kopfzeilen: http://www.safetymarking.ch/details_1006151.html, 04.08.2016

Abb. 1: Leitungsgebundener Wasserspender (Bild: http://www.wasserspender-deutschland.de/leitungsgebundene-wasserspender.html , 03.11.2016).	14
Abb. 2: Freistehender Wasserspender (Bild: Annika Seiler).	14
Abb. 3: Wachstumskurve einer Bakterienkultur (Bild: Annika Seiler).	18
Abb. 4: Der für die vorliegende Arbeit verwendete Brutschrank an der Kantonsschule Rychenberg (Bild: Annika Seiler).	21
Abb. 5: Der für die vorliegende Arbeit verwendete Mikrowellenofen an der Kantonsschule Rychenberg (Bild: Annika Seiler).	21
Abb. 6: Die in dieser Arbeit verwendeten Petrischalen - in der Abbildung mit flüssigem Nährboden gefüllt und beschriftet mit Angaben zu den Proben (Bild: Annika Seiler).....	22
Abb. 7: Probenentnahmeflaschen - in der Abbildung mit Wasserproben und beschriftet mit Angaben zu den Proben (Bild: Annika Seiler).	22
Abb. 8: Die in dieser Arbeit verwendeten, automatischen Pipetten (gross / klein) (Bild: Annika Seiler).....	23
Abb. 9: Die in dieser Arbeit verwendeten Pipettenspitzen (gross / klein) (Bild: Annika Seiler).....	23
Abb. 10: Plate-count Agar. Links (steif) bei unter 45 °C, rechts (flüssig) bei über 45 °C (Bild: Annika Seiler).....	24



Abb. 11: Petrischalen enthalten Probe und noch flüssigen Nährboden (Bild: Annika Seiler).	25
Abb. 12: Schwärmende Kolonien (Bild: Annika Seiler).	26
Abb. 13: Pinpoint – Kolonien (Bild: Annika Seiler).	27
Abb. 14: Nachweis von oberflächlichen Keimen von 0.1 ml sterilen Wassers in einer Petrischale (Bild: Annika Seiler).	30
Abb. 15: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Trinkwasser als Funktion der Stagnationszeit des Trinkwassers in der Leitung. Nach einem Vorlauf von mindestens 2 Minuten und einer bestimmten Stagnationsdauer wurden Trinkwasserproben erhoben und auf die Gesamtkeimzahl hin untersucht. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und –zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar.	33
Abb. 16: Logarithmus aus Anzahl Keimen in Trinkwasser als Funktion der Zeit. Ablauf: tägliches Füllen, Trinken und Leeren einer PET-Flasche. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und –zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar.	35
Abb. 17: Gesamtkeimzahl in [KBE pro ml] als Funktion der Zeit in Tagen. Es werden zwei Serien miteinander verglichen: Die eine beinhaltet ein Spülen der PET-Flasche mit kaltem Wasser (blau) und die andere mit warmen Wasser und Seife (grün). Die ausgezogenen Linien entsprechen den Mittelwerten aus den Ergebnissen der Tage 3 bis 7, die gestrichelten Linien dem Schwankungsbereich der Mittelwerte (+/- eine Standardabweichung). Der rote Kreis stellt den Startwert dar.	37
Abb. 18: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Mineralwasser als Funktion der Lagerungsdauer an der Sonne. Es wurden zwei Serien dieses Experiments (grün und blau) nebeneinander durchgeführt (Doppelansatz). Die gestrichelten Linien stellen die jeweiligen Regressionsgeraden dar.	39
Abb. 19: Logarithmus aus Gesamtkeimzahl in Mineralwasser als Funktion der Dauer der Benutzung der gefüllten PET-Flasche. Es wurden zwei Serien untersucht (blau und grün). Grün stellt den Versuch in Benutzung von stillem Mineralwasser dar	



und blau in Benutzung von Kohlensäurehaltigem Mineralwasser. Die gepunkteten Linien stellen die Regressionslinien dar. Eingetragen ist auch der Toleranzwert gemäss Hygieneverordnung (300 KBE/ml) und der Parameterwert gemäss EU (20 KBE/ml). Diese beiden Werte sind nur zur Orientierung angegeben. Aufgrund unterschiedlicher Inkubationstemperaturen und –zeiten sind sie nicht direkt vergleichbar.41

Abb. 20: Die verschiedenen Flaschenöffnungen (Bild:

[http://www.blick.ch/gesundheit/fitness/schlimmer-als-das-wc-abzulecken-](http://www.blick.ch/gesundheit/fitness/schlimmer-als-das-wc-abzulecken-nachfuellbare-trinkflaschen-sind-krankmacher-id5367502.html)

[nachfuellbare-trinkflaschen-sind-krankmacher-id5367502.html](http://www.blick.ch/gesundheit/fitness/schlimmer-als-das-wc-abzulecken-nachfuellbare-trinkflaschen-sind-krankmacher-id5367502.html), 31.10.2016).44

8.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Lebensmittelsicherheitskriterien (Toleranzwerte) von Trinkwasser (HyV SR 817.024.1, 2005).....	12
Tab. 2: Anzahl KBE des sterilen Wassers und der Blindproben.....	30
Tab. 3: Resultate von sechs verschiedenen Wasserspendern. Der Wasserspender Nummer 1 wurde zweimal beprobt (1a: fast leerer Bidon; 1b: neuer Bidon).	43



Anhang: Glossar

Aliquot: Mit Aliquot oder auch aliquoter Teil bezeichnet man eine Teilportion einer Probe, wenn die ganze Probe - in der Regel eine Flüssigkeit - nicht komplett untersucht werden kann oder soll.

Biofilm: Ein Biofilm ist eine mikrobielle Lebensgemeinschaft. Diese oft schleimigen Strukturen schützen die mikrobielle Lebensgemeinschaft unter anderem vor Trockenperioden, Nährstoffengpässen sowie Desinfektionsmassnahmen, und verbessern die Verwertung komplexer Nährstoffsubstrate (Kötzsch, Sigrist, Rölli, & Hammes, 2016).

Bundesamt für Gesundheit (BAG): Das BAG ist Teil des Eidgenössischen Departements des Innern. Es ist zusammen mit den Kantonen verantwortlich für die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung und für die Entwicklung der nationalen Gesundheitspolitik. Zudem vertritt das BAG als nationale Behörde die Schweiz in Gesundheitsbelangen in internationalen Organisationen und gegenüber anderen Staaten.

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Das BfR ist dem Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zugeordnet und hat die Aufgabe, die Bundesregierung in Fragen der Lebensmittelsicherheit, der Produktsicherheit, der Kontaminantien in der Nahrungskette, des Tierschutzes und des gesundheitlichen Verbraucherschutzes wissenschaftlich zu beraten.

Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV): Das BLV ist das Kompetenzzentrum des Bundes für die Bereiche Lebensmittelsicherheit, Ernährung, Tiergesundheit, Tierschutz und Artenschutz im internationalen Handel. Hauptaufgabe des BLV ist es, die Gesundheit von Mensch und Tier aktiv zu fördern.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW): Der DVGW ist der Branchenverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft mit Sitz in Bonn. Der Verein befasst sich mit technisch-wissenschaftlichen Aufgaben der Brenngas- und Wasserversorgung. (Wikipedia: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, 27.11.2016 um 15:13)

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA): Eine CVUA (domiziliert in Deutschland) untersucht und bewertet Lebensmittel und Trinkwasser, Bedarfsgegenstände, Spielzeuge, Textilien, Tierseuchenerreger und die Tiergesundheit.

Cholera: Cholera ist eine schwere bakterielle Infektionskrankheit, die durch das Bakterium *Vibrio cholerae* verursacht wird. Die Infektion erfolgt grösstenteils über verunreinigtes



Trinkwasser oder infizierte Nahrung. Oftmals treten Symptome wie extremer Durchfall und starkes Erbrechen auf. (Wikipedia: Cholera, 12.10.2016 um 10:54)

Durchflusszytometrie: Die Durchflusszytometrie oder Flow Cytometrie (FCM) erfasst die Zellen in ihrer Gesamtheit und bietet zudem weitere Vorteile, wie zum Beispiel die Unterscheidung zwischen toten und lebendigen Zellen. Ausserdem sind die Resultate dieser Methode in kürzester Zeit erhältlich oder durch Online-Geräte besteht sogar die Möglichkeit, das Wasservorkommen fortlaufend mikrobiologisch mitzuverfolgen (Baumgartner, 2013).

Escherichia coli und Enterokokken: *E. coli* und *Enterokokken* werden, genau wie viele Krankheitserreger auch, über den Darm warmblütiger Lebewesen ausgeschieden. Daher kann die Anwesenheit dieser Indikatoren auf Krankheitserreger hindeuten.

Fäkalkeime: Fäkalkeime sind Indikatororganismen für die Qualität von Wasser und ein Hygieneindikator in der Lebensmittelherstellung (siehe Indikatorkeime). Zu ihnen gehören *E. coli* und *Enterokokken*.

Fremdwachstum: Als Fremdwachstum bezeichnet man das ungeplante Entwickeln von Organismen (beispielsweise auf einem Nährboden), wobei dieses Wachstum von Nicht-Ziel-Organismen zur Verdrängung der Ziel-Organismen führen kann.

Grenzwert: Ein Grenzwert bezeichnet die Anzahl Mikroorganismen, bei deren Überschreitung ein Produkt als gesundheitsgefährdend gilt. (Art. 5 Abs. 5 HyV 817.024.1, 2005)

Indikatorkeime: Indikatorkeime sind Bakterien, die in der Regel selbst keine Krankheitserreger sind, jedoch auf das Vorhandensein von Krankheitserregern hindeuten können (*E. coli* und *Enterokokken*).

Interkantonales Labor (IKL): Das Interkantonale Labor (IKL) in Schaffhausen ist verantwortlich für den Vollzug des Lebensmittel- und des Umweltrechts in ihren Kantonen.

KBE: Kolonienbildende Einheit (Anhang 1 HyV 817.024.1, 2005)

Lebensmittelsicherheitskriterien: Lebensmittelsicherheitskriterien beziehen sich auf Produkte, die sich im Handel befinden (Art. 5 Abs. 2 HyV 817.024.1, 2005).

Prozesshygienekriterien: Prozesshygienekriterien geben die akzeptable Funktionsweise des Herstellungsprozesses an. Es gilt nicht für Produkte, die sich im Handel befinden (Art. 5 Abs. 3 HyV 817.024.1, 2005).

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW): Der SVGW ist die Wissens-, Fach- und Netzwerkorganisation der Schweizer Gas- und Wasserversorgungen. Im Bereich Trinkwasser bezweckt er die Förderung und Koordination der nachhaltigen Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser in ausreichender Menge.



Der SVGW engagiert sich für den Schutz der Wasserressourcen. (Wikipedia: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, 27.11.2016 um 15:20)

Stagnationszeit: Zeitraum, während der das Trinkwasser in einer Leitung steht, also Zeitraum zwischen einem längeren Vorlauf und der Probenentnahme.

Teilungsrate: Die Teilungsrate (v) bezeichnet die Anzahl der Zellteilungen pro Stunde. (Schlegel, 1992).

Toleranzwert: Ein Toleranzwert bezeichnet die Anzahl Mikroorganismen, die erfahrungsgemäss nicht überschritten werden darf, wenn die Gute Herstellungspraxis eingehalten wird. Wird ein Toleranzwert überschritten, so gilt die Ware als im Wert vermindert (Art. 5 Abs. 6 HyV 817.024.1, 2005).

t-Test: Mittels t-Test werden zwei Mittelwerte miteinander verglichen und auf ihre Signifikanz getestet. Dabei wird berechnet, ob mit einem Unterschied der beiden Serien gerechnet werden muss oder nicht. In einem ersten Schritt wird ein Prüfwert PW berechnet nach:

$$PW = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} * \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 + n_2}}$$

n_1 = Stichprobengrösse 1

n_2 = Stichprobengrösse 2

x_1 = Mittelwert der ersten Stichprobe

x_2 = Mittelwert der zweiten Stichprobe

s_1 = Standardabweichung der ersten Stichprobe

s_2 = Standardabweichung der zweiten Stichprobe

Dieser wird anschliessend mit dem Schwellenwert t (in Tabelle gelistet) für f (Freiheitsgrad) = $n_1 + n_2 - 2$ verglichen. Übersteigt der PW den Tabellenwert, muss mit einem Unterschied gerechnet werden (Hinweis: Alternativ kann der berechnete P-Wert mit dem Signifikanzniveau, α , von 5 % verglichen werden. Das Resultat ist dasselbe wie beim oben beschriebenen Vergleich).

Verband Schweizerischer Mineralquellen und Soft-Drink-Produzenten (SMS): Der SMS bezweckt die Wahrung und Förderung der gemeinsamen ideellen, industriellen und kommerziellen Interessen der schweizerischen Produzenten von natürlichen Mineralwässern und von alkoholfreien Getränken.



Plagiatserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne unzulässige Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen oder Hilfsmittel verfasst habe. Die Schule behält sich vor, die Arbeit auf Plagiate zu überprüfen.

Datum:

Unterschrift: