

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
Band: 94 (2003)
Heft: 6

Artikel: Evaluation mikrobiologischer Methoden zur Prüfung von Trinkwasser im Feld für Katastropheneinsätze
Autor: Bachmann, Beat / Lüthi, Thomas M. / Gantenbein-Demarchi, Corinne
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-982010>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Evaluation mikrobiologischer Methoden zur Prüfung von Trinkwasser im Feld für Katastropheneinsätze

Beat Bachmann, Thomas M. Lüthi, Corinne Gantenbein-Demarchi
Hochschule Wädenswil, Zürcher Fachhochschule, Wädenswil, Schweiz

Eingegangen 11. Juni 2003, angenommen 3. November 2003

Einleitung

Wasser, das wichtigste Lebensmittel überhaupt, hat in Zeiten von Krisen und Katastrophen eine überragende Bedeutung. In Notfallsituationen gilt es, qualitativ einwandfreies Trinkwasser und quantitativ genügend Wasser für eine angemessene Körperhygiene zur Verfügung zu stellen. Das Flüchtlingshochkommissariat der Vereinten Nationen (UNHCR) in Genf geht von einem Trinkwasserbedarf von minimal sieben Liter pro Person und Tag aus, der aber schnellstmöglich auf 15–20 Liter zu steigern ist (1). Ziel eines humanitären Einsatzes ist es deshalb den Zugang primär zu genügend Trinkwasser und sekundär zu ausreichend Wasser für die Körperhygiene zu ermöglichen.

Das Schweizerische Korps für humanitäre Hilfe (SKH) verwendet seit mehreren Jahren für Einsätze in Katastrophengebieten ein mobiles Labor zur Überprüfung der Trinkwasserqualität. Dieses Feldlabor enthält Material für grundlegende chemische Analysen unbekannter Wasser, wie auch eine einfache mikrobiologische Untersuchungsmethode, die es erlaubt, aufgrund der An- respektive Abwesenheit von *Escherichia coli* (*E. coli*) und Total Coliforme (*TC*), Wasser als Trinkwasser einzustufen. Das vom SKH eingesetzte Feldlabor verzichtet in der Regel auf einen Probentransport. Sämtliche Untersuchungen werden direkt im Feld, am Ort der Probenahme, durchgeführt. Lediglich die Inkubation der filtrierten Proben erfolgt stationär in einem Mini-Brutschrank, der mit unterschiedlichen Stromspannungen betrieben werden kann. Die Rahmenbedingungen an ein solches mikrobiologisches Feldlabor sind: Erfassung der international anerkannten Parameter *E. coli* und *TC*, kompakte Grösse und Gewicht des Feldlabors für den einfachen Transport auch über grössere Distanzen, Flugtransportfähigkeit, einfache Handhabung, einfache Desinfektion der Gerätschaften, sowie für den Einsatz im Feld geeignete Nähr-

medien. Da das mobile Labor auch von Personen mit wenig Erfahrung mit Laborarbeiten betrieben werden muss, kommt der Forderung nach einfacher Handhabung eine grosse Bedeutung zu.

Seit rund zehn Jahren verwendet das SKH für die mikrobiologische Analyse ein modifiziertes 3M-Petrifilmsystem, womit *E. coli* und *TC* nachgewiesen werden können (2). Die Funktionstauglichkeit dieses Systems konnte in zahlreichen Einsätzen des SKH in gemässigten aber auch tropischen und subtropischen Klimazonen bestätigt werden. Als Nachteil hat sich allerdings herausgestellt, dass einerseits die Handhabung des Systems Übung erfordert, und andererseits die notwendige Lagerung der 3M-Petrifilme unter 8°C bei längeren Einsätzen gewisse Schwierigkeiten bietet. Es wäre aus den genannten Gründen deshalb von Vorteil, Methoden verfügbar zu haben, welche neben einer einfachen Handhabung auch keine Komponenten enthalten, die einer Kühlung bedürfen.

Im Rahmen eines vom SKH initiierten und gesponserten Projektes ging es darum, mikrobiologische Methoden zu evaluieren, die eine solche einfache Handhabung zulassen ohne sich aber gleichzeitig vom ursprünglichen Analysensystem weg zu bewegen. Zudem sollten die Nährmedien einfach verwendbar sein und eine Lagerung ohne Kühlung zulassen. Die so evaluierten Methoden wurden mit dem bisher von der SKH verwendeten 3M-Petrifilmsystem verglichen und gegen die neue, offizielle Methode des Schweizerischen Lebensmittelbuches Kap. 56 validiert (SLMB-Methode (3)).

Material und Methoden

Die in die Arbeit einbezogenen Wasserproben wurden aus verschiedenen Brunnen (Hahnen und Trog), Bach-, See- und Netzwasser im Raum Wädenswil erhoben. Die prozentuale Verteilung der Proben ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Proben wurden vor Ort mit dem mitgeführten mobilen Labor des SKH mit drei unterschiedlichen Medien auf *E. coli* und *TC* untersucht. Neben dem bisher verwendeten 3M-Petrifilmsystem (Foodtec AG, CH-8610 Uster) wurden auch die

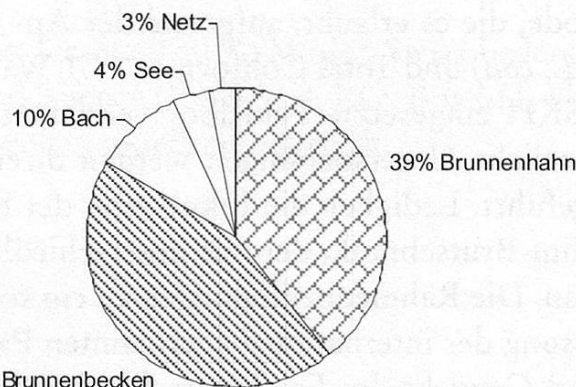


Abbildung 1 Herkunft der Wasserproben, n = 102

Medien Compact Dry EC von ScilDiagnostics (Dispolab AG, CH-8157 Dielsdorf) und Chromocult Nährkartonscheibe von Sartorius (Sartorius AG, D-37070 Göttingen) mit der SKH-Methode (4) kombiniert. Diese Feldmethoden werden in der Folge mit SKH-3M, SKH-Scil und SKH-Sartorius bezeichnet.

Die Vorbereitung des mobilen Labors des SKH und die Durchführung der Probenfiltration erfolgten gemäss Arbeitsanleitung des SKH (4). Bei allen Probenansätzen wurden 100 ml Probe filtriert (Membranfilter Schleicher & Schuell, Porendurchmesser 0,45 µm) und die Filter, nach vorgängiger Rehydrierung der Nährmedien mit 1 ml Probenwasser, auf die entsprechenden Nährmedien aufgebracht. Die Bebrütung der drei verschiedenen Medien erfolgte im zugehörigen Brutschrank des mobilen Labors (Abbildung 2).

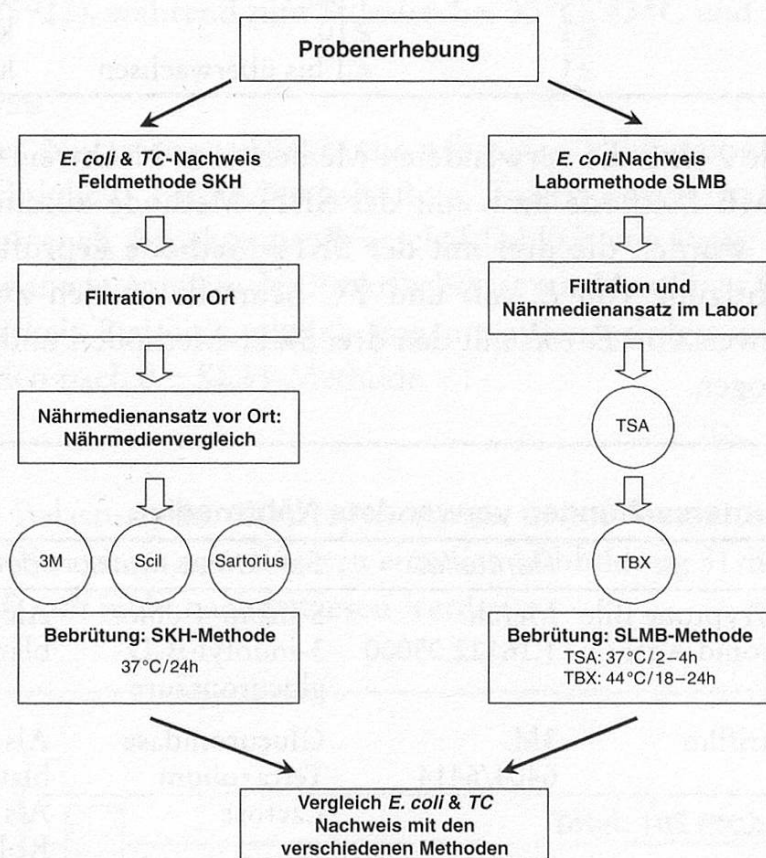


Abbildung 2 Überblick über den Versuchsablauf der Wasseruntersuchungen

Eine Wasserprobe wurde unter passiver Kühlung (Kühlbox mit Kühlelementen) in das stationäre Labor der Hochschule Wädenswil transportiert, gleichentags filtriert (0,45 µm, Schleicher & Schuell) und nach Vorgabe des schweizerischen Lebensmittelbuches Kapitel 56 auf *E. coli* untersucht (SLMB-Methode (3)).

Als Positivkontrolle wurde pro Probenstag eine Testlösung, versetzt mit *E. coli* (ATCC 25922) gemäss Vorschrift nach SKH-Methode auf allen drei Nährmedien mit untersucht.

Zur Erfassung der Nachweisgrenzen der verschiedenen Methoden wurden definierte Konzentrationen der Positivkontrolle (*E. coli* ATCC 25922) nach der SKH-Methode mit den drei Medien und nach der SLMB-Methode untersucht.

Die Beurteilung der Wasserproben auf ihre Einstufung als «Trinkwasser» bzw. «kein Trinkwasser» erfolgte gemäss Tabelle 1.

Tabelle 1

Beurteilungskriterien für die Einstufung von Wasserproben nach ihrer Trinkwassertauglichkeit, modifiziert nach HyV und nach SKH

Beurteilung nach	<i>E. coli</i> in 100 ml	TC in 100 ml	Beurteilung
HyV (5)	<1	keine Beurteilung	Trinkwasser
	≥1	keine Beurteilung	kein Trinkwasser
SKH (4)	<1	<1	Trinkwasser
	<1	1 bis 9	Trinkwasser
	<1	≥10	kein Trinkwasser
	≥1	<1 bis überwachsen	kein Trinkwasser

In der Tabelle 2 sind die verwendeten Medien zum Nachweis von *E. coli* bzw. TC mit der SLMB-Methode bzw. mit der SKH-Methode zusammengestellt. Im ersten Vergleich wurden die drei mit der SKH-Methode geprüften Nährmedien unter Berücksichtigung von *E. coli* und TC beurteilt. In den zweiten Vergleich wurde der Nachweis von *E. coli* mit den drei SKH-Methoden und mit der SLMB-Methode einbezogen.

Tabelle 2

Bei den Wasseruntersuchungen verwendete Nährmedien

Methode	Medium	Hersteller	Selektives Prinzip	Identifikation
SLMB	TBX (Tryptone Bile Glucuronid Agar)	Merck 1.16122.05000	5-brom-4-chlor-3-indolyl-β-D-glucuronsäure	Als <i>E. coli</i> gelten blaue Kolonien
SKH-3M	3M Petrifilm	3M 6404/6414	Glucuronidase Tetrazolium Lactose	Als <i>E. coli</i> gelten blaue Kolonien Als TC gelten rote Kolonien
SKH-Scil	Compact Dry EC	ScilDiagnostics 1000168	β-Galactosidase β-Glucuronidase	Als <i>E. coli</i> gelten blaue Kolonien Als TC gelten rote Kolonien
SKH-Sartorius	Chromocult Nährkartonscheibe	Sartorius 14087	Glucuronidase Lactose Indolbildung	Als <i>E. coli</i> gelten blaue Kolonien; (Bestätigung Indolbildung mit KOVAC's Indolreagenz möglich) Als TC gelten rote Kolonien

Anhand der Einstufung der Wasserproben nach ihrer Trinkwassertauglichkeit wurden die drei bei der SKH-Methode verwendeten Medien mit der SLMB-Methode nach (6) anhand der Spezifität, Sensitivität, Richtigkeit, Falsch-Negativ-Rate, Falsch-Positiv-Rate und des Konkordanzindex Kappa verglichen.

Stabilitätstest der Nährmedien

Zusätzlich zu den vergleichenden Wasseranalysen wurden die drei Nährmedien 3M-Petrifilm, Scil Compact Dry EC und Sartorius Chromocult Nährkartonscheibe auf ihre Stabilität gegenüber erhöhten Temperaturen geprüft: Unbeimpfte Medien wurden während fünf Tagen Lagertemperaturen zwischen -20°C und $+55^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt und anschliessend mit Positivkontrollen (*E. coli* ATCC 25922) beimpft.

Die Auswirkungen erhöhter Transporttemperaturen nach der Probenfiltration wurde durch Exposition der Medien, nach Beimpfung mit der Positivkontrolle (*E. coli* ATCC 25922), während fünf Stunden bei 30°C , 43°C und 55°C geprüft.

Nutzwertanalyse

Anhand einer Nutzwertanalyse, in die nebst den Validierungsdaten Spezifität, Sensitivität, Richtigkeit, Falsch-Negativ-Rate, Falsch-Positiv-Rate und Konkordanzindex Kappa auch Aspekte der Wirtschaftlichkeit wie Preis, Haltbarkeit und Lagertemperatur sowie Aspekte der Praktikabilität wie Handling, Bebrütung, Volumen, Auswertbarkeit, Stabilität miteinbezogen wurden, erfolgte die Rangierung der drei Feldmethoden nach der SKH-Methode.

Resultate

Anhand der Belastung der Wasserproben mit *E. coli* lassen sich die Proben in unterschiedliche Kontaminationsklassen einteilen (Abbildung 3). Bei rund 60% der Proben konnte *E. coli* nicht nachgewiesen werden.

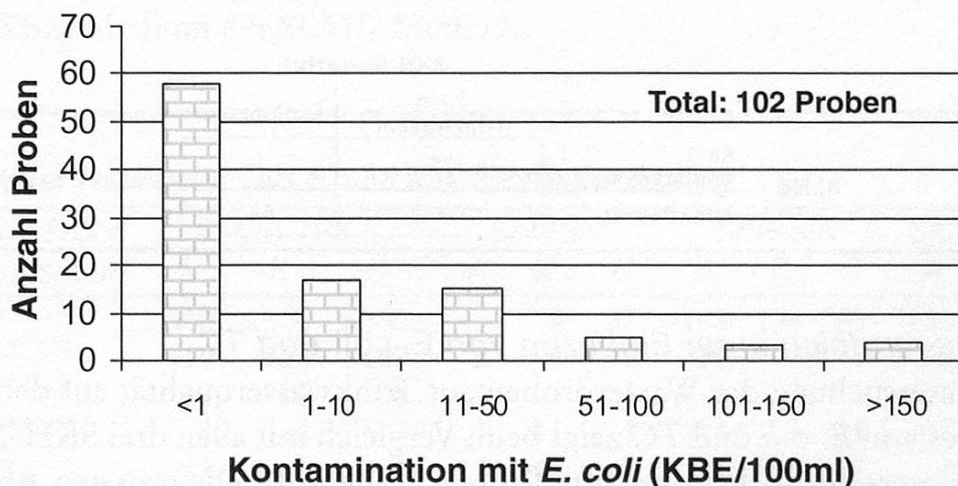


Abbildung 3 Gruppierung der Wasserproben nach Kontaminationsklassen

Einstufung von Wasserproben als «Trinkwasser» bzw. als «kein Trinkwasser»

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Wasseruntersuchungen auf *E. coli* und *TC* nach den drei SKH-Methoden im Vergleich zur SLMB-Methode gegenübergestellt. Anhand des Nachweises von *E. coli* bzw. *TC* erfolgte die Einstufung der Wasserproben als «Trinkwasser» oder «kein Trinkwasser» (Einstufungskriterien gemäss Tabelle 1).

Methodenvergleich unter Einbezug von *E. coli*

Die Beurteilung der Wasserproben ausschliesslich auf der Basis des Nachweises von *E. coli* zeigt mit maximal fünf abweichenden Einstufungen eine gute Übereinstimmung (Tabelle 3). Von den gesamthaft 102 Wasserproben wird nach der SLMB-Methode im Vergleich zu SKH-3M keine Wasserprobe falsch eingestuft, während die SKH-3M zwei falsch negative Proben, d.h. Einstufung als Trinkwasser infolge *E. coli*-Abwesenheit, ergibt. Der Vergleich der SLMB-Methode mit SKH-Scil und SKH-Sartorius zeigt mit je vier abweichenden Proben bei der SLMB-Methode die grössten Unterschiede.

Tabelle 3

Vergleich SLMB zu SKH (3M, Scil und Sartorius) auf Basis *E. coli*

		SKH-3M	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	34	2
	Trinkwasser	0	66

		SKH-Scil	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	35	1
	Trinkwasser	4	62

		SKH-Sartorius	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	35	1
	Trinkwasser	4	62

Methodenvergleich unter Einbezug von *E. coli* und *TC*

Die Untersuchung der Wasserproben auf Trinkwasserqualität auf der Basis des Nachweises von *E. coli* und *TC* zeigt beim Vergleich mit allen drei SKH-Methoden bis zu 13 unterschiedlich eingestufte Proben (Tabelle 4). Die grössten Abweichungen bei der Beurteilung nach SLMB sind darauf zurückzuführen, dass bei der vorliegenden Einstufung der Wasserproben gemäss (5) bei der SLMB-Methode nur

Tabelle 4

Vergleich SLMB zu SKH (3M, Scil und Sartorius) auf Basis *E. coli* und TC

		SKH-3M	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	35	1
	Trinkwasser	9	57

		SKH-Scil	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	36	0
	Trinkwasser	13	53

		SKH-Sartorius	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SLMB	Kein Trinkwasser	36	0
	Trinkwasser	9	57

E. coli berücksichtigt werden konnte, während bei SKH-3M, SKH-Scil und SKH-Sartorius neben *E. coli* auch TC in die Beurteilung mit einbezogen wurde.

Erfassung der Nachweisgrenze

Aus Tabelle 5 ist zu entnehmen, in welchen Konzentrationen *E. coli* aus Positivkontrollen mit definierten Konzentrationen mit der SLMB-Methode bzw. den SKH-Methoden nachgewiesen werden können. Ausgehend von drei Positivkontrollen A, B und C (Ansatz gemäss (4)) wurden jeweils fünf Verdünnungsstufen untersucht. Die drei mit der SKH-Methode geprüften Medien wiesen, abgesehen von Schwankungen in den Einzelwerten, relativ übereinstimmende Ergebnisse auf. Die Nachweisgrenze liegt aber bei allen drei Medien um eine Zehnerpotenz höher, als beim TBX-Medium der SLMB-Methode.

Tabelle 5

Quantitativer Nachweis von *E. coli* aus Positivkontrollen

KBE/100 ml Probe Verdünnungsstufe	SLMB-TBX			SKH-3M			SKH-Scil			SKH-Sartorius		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
10 ⁻¹	>300	>300	>300	43	8	37	143	134	65	130	130	130
10 ⁻²	119	121	107	2	4	6	10	7	9	32	32	32
10 ⁻³	17	11	8	1	2	3	1	1	1	1	4	2
10 ⁻⁴	2	2	2	1	<1	1	<1	1	<1	<1	1	<1
10 ⁻⁵	<1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	<1	<1

Beurteilung der Stabilitätstests

Bei den mit der SKH-Methode geprüften Medien konnte kein Einfluss der Lagertemperatur (-20°C , $+4^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$, $+37^{\circ}\text{C}$, $+43^{\circ}\text{C}$ und $+55^{\circ}\text{C}$) auf die Wiederfindung von *E. coli* nachgewiesen werden. Die Positivkontrollen wiesen, unabhängig von der Temperatur, denen die Medien während fünf Tagen exponiert waren, gutes Wachstum auf allen getesteten Medien auf.

Ein Einfluss der Transport-Temperatur nach Beimpfung der Medien mit Positivkontrollen war bei $+30^{\circ}\text{C}$ nicht, bei $+43^{\circ}\text{C}$ schwach und bei $+55^{\circ}\text{C}$ deutlich feststellbar (Tabelle 6).

Tabelle 6

Einfluss der Temperatur während des Transports beimpfter Nährmedien auf das Wachstum von *E. coli*

Transporttemperatur	Transportdauer	3M-Petrifilm	Scil Compact Dry EC	Sartorius Chromocult
30°C	5 h	+++	+++	+++
43°C	5 h	++	++	+++
55°C	5 h	-	-	-

Legende: +++ grosse Koloniedichte; ++ mittlere Koloniedichte; - kein Wachstum

Diskussion

Die Nutzwertanalyse wurde mittels einer Gewichtung und Vergabe von Punkten in den Bereichen Validierung, Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität durchgeführt. Die Gewichtung berücksichtigt insbesondere die Tatsache, dass das System felddauglich zu sein hat und auch von Personen angewendet werden muss, die nur wenig Laborausbildung haben. Personen, die für das SKH-Einsätze im Bereich Trinkwasseranalyse in Katastrophengebieten durchführen, rekrutieren sich nur ausnahmsweise aus Laborpersonal. Die sichere Anwendung ist damit eine Grundvoraussetzung für ein solches System. Deshalb wird auf die Aspekte einfaches Handling (Gewichtung 3) und einfache und eindeutige Auswertbarkeit (Gewichtung 3) grössten Wert gelegt.

Die Gesamtbeurteilung im Rahmen der Nutzwertanalyse ist in Tabelle 7 ersichtlich. Während bei Einbezug der Ergebnisse des Nachweises von *E. coli* und TC im Vergleich zur SLMB-Methode die Feldmethode SKH-Sartorius gemäss den Validierungsdaten den besten Zwischenrang einnimmt, SKH-Scil an zweiter Position folgt und SKH-3M Rang drei einnimmt, verschiebt sich die Rangierung bei Einbezug von *E. coli* alleine zu Gunsten von SKH-3M.

SKH-Scil wird jedoch bereits bei Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte am besten bewertet. Dies verstärkt sich noch, wenn die Aspekte der Praktikabilität miteinbezogen werden.

Im Bereich der Validierung erfolgt eine Gewichtung der Sensitivität (Gewichtung 2) und der Falsch-Negativ-Rate (Gewichtung 3). Der Grund dafür liegt darin,

Tabelle 7

Nutzwertanalyse der Feldmethoden SKH-3M, SKH-Scil und SKH-Sartorius

Kriterien	Gewichtung (g)	SKH mit 3M-Petrifilme						SKH mit Scil Compact Dry EC						SKH mit Chromocult Nährkartonscheiben						
		Erfüllungsgrad (CE) TC und <i>E. coli</i>	Erfüllungsgrad (E) <i>E. coli</i>	Note (CE)	Note (E)	g*CE	g*E	Erfüllungsgrad (CE) TC und <i>E. coli</i>	Erfüllungsgrad (E) <i>E. coli</i>	Note (CE)	Note (E)	g*CE	g*E	Erfüllungsgrad (CE) TC und <i>E. coli</i>	Erfüllungsgrad (E) <i>E. coli</i>	Note (CE)	Note (E)	g*CE	g*E	
Validierungsdaten																				
Skala 1–10																				
Spezifität	1	86,4%	100%	8,6	10,0	8,6	10	80,3%	93,9%	8	9,4	8	9,4	86,4%	93,9%	8,6	9,4	8,6	9,4	
Sensitivität	2	97,2%	94,4%	9,7	9,4	19,4	18,8	100%	97,2%	10	9,7	20	19,4	100%	97,2%	10	9,7	20	19,4	
Richtigkeit	1	90,2%	98%	9	9,8	9	9,8	87,3%	95,1%	8,7	9,5	8,7	9,5	91,2%	95,1%	9,1	9,5	9,1	9,5	
Falsch-Negativ-Rate	3	2,8%	5,6%	9,7	9,4	29,1	28,2	0%	2,8%	10	9,7	30	29,1	0%	2,8%	10	9,7	30	29,1	
Falsch-Positiv-Rate	1	13,7%	0%	8,6	10,0	8,6	10	19,7%	6,1%	8	9,4	8	9,4	13,6%	6,1%	8,6	9,4	8,6	9,4	
Konkordanzindex																				
Kappa	1	0,80	0,96	8	9,6	8	9,6	0,74	0,89	7,4	8,9	8,9	8,9	0,82	0,89	8,2	8,9	8,2	8,9	
Summe						82,7	(86,4)												84,5	(85,7)
Zwischenrang						3	(1)												1	(2)
Wirtschaftlichkeit																				
Skala 1–10																				
Preis pro Stück (CHF)	1	2,38		6		6		2,37		6		6		2,11		7		7		
Haltbarkeit	2	4 Monate		4		8		>1 Jahr	7	14		14		9–24 Monate		8		16		
Lagertemperatur	2	4–8°C		5		10		5–30°C	10		20		20	Raum- temperatur		8		16		
Summe						24					40		40					39		
Zwischenrang						3					1		1					2		

Methode		SKH mit 3M-Petriefilme						SKH mit Scil Compact Dry EC				SKH mit Chromocult Nährkartonscheiben					
Kriterien		Gewichtung (g)				Erfüllungsgrad (CE)				Erfüllungsgrad (E)							
		TC und <i>E. coli</i>		<i>E. coli</i>		Note (CE)		Note (E)		g*CE		g*E		Erfüllungsgrad (CE)		Erfüllungsgrad (E)	
		TC und <i>E. coli</i>		<i>E. coli</i>		Note (CE)		Note (E)		g*CE		g*E		TC und <i>E. coli</i>		<i>E. coli</i>	
Praktikabilität																	
Skala 1–10																	
Handling	3	umständlich		3	9	sehr gut		10	30	mittel		6	18				
Bebrütung Stk.	1	120		10	10	56		7	7	42		5	5				
Volumen	1	8 cm ³		10	10	36 cm ³		5	5	37 cm ³		4	4				
Auswertbarkeit	3	mittel		5	15	sehr gut		8	24	gering		2	6				
Stabilität der Platten	1	gut		8	8	sehr gut		10	10	mittel		4	4				
Summe				52				76				37					
Zwischenrang				2				1				3					
Total				158,7 (162,4)				199,6 (201,7)				160,5 (161,7)					
Schlussrang				2				1				3					

dass ein falsch negatives Resultat eine verheerende Auswirkung haben könnte. Wird nämlich durch Fäkalien kontaminiertes Wasser irrtümlicherweise als Trinkwasser an eine Bevölkerung abgegeben, die sich in einem Krisengebiet (Erdbeben, Überschwemmung, kriegerische Auseinandersetzungen etc.) lebt, muss mit ernsthaften Konsequenzen gerechnet werden. Neben einem Ausbruch einer Epidemie würde auch die Glaubwürdigkeit der humanitären Organisationen stark in Mitleidenschaft gezogen. Ein Umstand, der eine Weiterführung der humanitären Hilfe stark gefährden dürfte.

Ein falsch positiver Befund ist dagegen eher akzeptabel, da ein solches Ergebnis lediglich in eine unnötige, bakterizide Behandlung des vermeintlich kontaminierten Wasser münden würde.

Um das Analysenset feldtauglich zu gestalten, erfolgt auch eine Gewichtung der Haltbarkeit (Gewichtung 2) und der Lagertemperatur (Gewichtung 2). Ein System, das zwar gute Validationsdaten aufweist, aber Nährmedien verwendet, die gemäss Hersteller nur kurz in einem engen Temperaturbereich gelagert werden können, ist für den vorgesehen Einsatz in Katastrophengebieten nicht geeignet.

Die Punkte wurden bei positiven Korrelationen direkt übernommen, bei negativen Korrelationen als Differenz zum Zielwert eingesetzt. Damit ergibt sich eine Skala von 1 bis 10, wobei die 1 als die schlechteste, die 10 als die beste Ausprägung verstanden wird.

Obwohl SKH-Sartorius sehr gute Validierungsdaten im Vergleich mit der SLMB-Methode aufweist, ist es für den Feldeinsatz eher ungeeignet, da die Komponenten Petrischalen, Deckel und Nährkartonscheiben nicht fest miteinander verbunden sind. Ungeübte Personen könnten dadurch sich selber oder aber ihre Umgebung kontaminieren. Des Weiteren sind die Sartorius Chromocult Nährkartonscheiben bei höheren Keimzahlen nur sehr schwer auswertbar. Die Komponenten von 3M-Petrifilm und Scil Compact Dry EC scheinen geeigneter, da sie kompakter, einfacher und sicherer sind. Deckel und Nährmedium sind fest miteinander verbunden, so dass es kaum zu Kontaminationen kommen dürfte. Obwohl alle drei Systeme auf Untersuchungsvolumina von 1 ml ausgelegt sind, können diese auch für die Trinkwasseranalytik verwendet werden, da ein Filter ohne weitere Probleme – nach vorangegangener Rehydrierung der Medien – auf den Nährsubstraten platziert werden kann. Vorteilhaft bei Scil Compact Dry EC und 3M-Petrifilm ist zudem, dass diese als Belege verwendet werden können, ohne die Gefahr einer Personenkontamination.

Ein Mass für die Übereinstimmung zweier Prüfverfahren ist der so genannte Konkordanzindex Kappa. Dieser ist für die Validierung von mikrobiologischen Prüfverfahren dem X^2 Test nach McNemar vorzuziehen (6). Beim Vergleich von SKH-Scil und SKH-3M mit der SLMB-Methode ergeben sich Kappa-Indizes von 0,74 und 0,80. Dies wird nach Sachs (7) als starke Übereinstimmung, nicht aber als vollständige Übereinstimmung bezeichnet. Die Übereinstimmung zweier Prüfverfahren wird dann als genügend bezeichnet, wenn Kappa grösser oder gleich 0,81 ist. Damit erfüllt weder SKH-Scil noch SKH-3M die Anforderungen. Lediglich bei SKH-Sartorius wird Kappa grösser 0,81, nämlich 0,82.

Die ungenügende Übereinstimmung der Prüfverfahren könnte mit einem Vergleich unterschiedlicher Parameter begründet werden. Währenddem die drei SKH-Systeme sowohl *E. coli* als auch *TC* für den Entscheid Trinkwasser ja/nein heranziehen, basiert dies bei der SLMB-Methode allein auf dem Vorkommen von *E. coli*.

Vergleicht man daher die Methoden untereinander auf der Basis *E. coli*, so ergeben sich Kappa-Indizes von 0,96 für SKH-3M und 0,89 für SKH-Scil und SKH-Sartorius. Dies bedeutet, dass eine Übereinstimmung aller drei geprüften Systeme mit der SLMB-Methode gegeben ist.

Nicht geprüft wurde, inwieweit Übereinstimmungen auf der Befundsebene (Trinkwasser ja/nein) bestehen, wenn alle Entscheidungsparameter berücksichtigt würden. Während die SKH-Methode alleine die Parameter *E. coli* und *TC* für diesen Entscheid berücksichtigt, werden bei der Beurteilung eines Trinkwassers nach schweizerischer Gesetzgebung neben *E. coli* auch die aeroben, mesophilen Keime (maximal 300 KBE/ml am Zapfhahn) und die Enterokokken (Abwesenheit in 100 ml) berücksichtigt (5).

In der Nutzwertanalyse rangierte SKH-Scil klar vor SKH-3M respektive SKH-Sartorius. Da das SKH zurzeit das System SKH-3M verwendet, wurde dieses

Tabelle 8
Vergleich von SKH-3M und SKH-Scil auf Basis *E. coli*

		SKH-Scil	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SKH-3M	Kein Trinkwasser	34	0
	Trinkwasser	5	63

Tabelle 9
Vergleich von SKH-3M und SKH-Scil auf Basis *TC*

		SKH-Scil	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SKH-3M	Kein Trinkwasser	31	1
	Trinkwasser	17	53

Tabelle 10
Vergleich von SKH-3M und SKH-Scil auf Basis *E. coli* und *TC*

		SKH-Scil	
		Kein Trinkwasser	Trinkwasser
SKH-3M	Kein Trinkwasser	42	1
	Trinkwasser	7	52

zusätzlich mit SKH-Scil verglichen. In Tabelle 8 bis Tabelle 10 sind die Übereinstimmungen und Unterschiede aufgeführt.

Aus diesen Vergleichen wurden erneut Validierungsparameter errechnet und interpretiert (Tabelle 11). Dabei zeigte sich, dass die beiden Systeme sowohl auf Vergleichsbasis *E. coli* (Kappa 0,89) wie auch auf Basis *TC* alleine (Kappa 0,84) sowie *E. coli* und *TC* (Kappa 0,84), Kappa-Indizes ergeben, die als fast vollständige (7) Übereinstimmung interpretiert werden können.

Tabelle 11
Validierungsdaten zum Vergleich SKH-Scil und SKH-3M

Vergleich	Spezifität	Sensitivität	Richtigkeit	Falsch Positive	Falsch Negative	Konkordanzindex Kappa
SKH-3M zu SKH-Scil (<i>E. coli</i>)	92,6 %	100 %	95,1 %	24,3 %	0 %	0,89
SKH-3M zu SKH-Scil (<i>TC</i>)	75,7 %	96,9 %	82,4 %	24,3 %	3,1 %	0,84
SKH-3M zu SKH-Scil (<i>E. coli</i> und <i>TC</i>)	88,1 %	97,7 %	92,2 %	11,9 %	2,3 %	0,84

Vergleicht man die Daten mit Ergebnissen von 1994 (8), ergibt sich beim Vergleich von SKH-3M mit der SLMB-Methode Version 1985 (9) ein Kappa von 0,82, bei einem Stichprobenumfang von $n=177$. Dieser Vergleich basierte auf der Befundebene, also unter Berücksichtigung der Parameter *E. coli*, Enterokokken und aerobe mesophile Keime, respektive *E. coli* und *TC*. Dieser Kappaindex konnte mit der neuen SLMB-Methode nicht mehr erreicht werden.

Schlussfolgerung

Für Einsätze des SKH in Krisengebieten muss ein Feldlabor zur Verfügung stehen, das bei einfachster Handhabung und unproblematischen Nährmedien ein Höchstmass an Sicherheit bei der Beurteilung unbekannter Wasserproben zulässt. Dies ist nur dann gegeben, wenn die analysierenden Personen regelmässig geschult werden, wie Trinkwasseranalysen mit diesem System durchgeführt werden und wie diese zu beurteilen sind. Das bis dato vom SKH verwendete 3M-Petrifilmsystem wird diesen Anforderungen nur bedingt gerecht. Insbesondere als schwierig haben sich die Handhabung, die Lesbarkeit der Ergebnisse und die gekühlte Lagerung der Nährstofffilme erwiesen. Unter Berücksichtigung dieser Forderung kann die Verwendung des Scil Compact Dry EC Systems empfohlen werden, eine Überprüfung der Ergebnisse vor Ort unter Katastrophenbedingungen sollte jedoch zur Abstützung der Validierungsdaten durchgeführt werden.

Dank

Dem Schweizerischen Korps für Humanitäre Hilfe (SKH) der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit ist für die finanzielle Unterstützung dieser Studie gedankt. Dank gebührt auch dem Chef der Fachgruppe Trinkwasser und Siedlungshygiene (TWS) des SKH, Peter Kaufmann, sowie Erwin Fürst von der Materialzentrale des SKH. Für die kritische Manuskriptdurchsicht danken wir Armin Spühler von der Fachgruppe TWS des SKH.

Zusammenfassung

Seit rund zehn Jahren verwendet das Schweizerische Korps für humanitäre Hilfe ein Feldlabor zur mikrobiologischen Überprüfung von Wasser auf Trinkwasser-tauglichkeit. Die wichtigsten Anforderungen an ein solches mobiles Labor sind: Richtigkeit der Analyse, einfaches Handling, eindeutige Auswertbarkeit und ausreichende Haltbarkeit der verwendeten Nährmedien. Drei verschiedene Nährmedien (3M-Petrifilm, Scil Compact Dry EC und Sartorius Nährkartonscheiben) wurden zu diesem Zweck mit der offiziellen Methode des Schweizerischen Lebensmittelbuches (SLMB) Kapitel 56 auf der Basis von *E. coli* verglichen. Als Modellwasser dienten verschiedene Oberflächenwasser und Trinkwasser. Insgesamt wurden 102 natürlich kontaminierte Wasserproben mikrobiologisch untersucht. Basierend auf den Validierungsdaten und Daten zur Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität erfolgte eine Nutzwertanalyse. Unter Berücksichtigung der genannten Forderungen kann die Verwendung des Scil Compact Dry EC empfohlen werden. Verglichen mit der Methode des SLMB wurde ein Konkordanzindex Kappa von 0,89 und eine Falsch-Negativ-Rate von 2,8 % erreicht. Weitere Abklärungen unter realen Katastrophenbedingungen sollten vor der endgültigen Einführung noch durchgeführt werden.

Résumé

Il y a tout juste dix ans que le corps suisse d'aide humanitaire utilise un laboratoire microbiologique mobile pour contrôler la qualité de l'eau potable. Les caractéristiques requises pour un tel laboratoire sont: la précision des analyses, un simple maniement, une identification claire de l'organisme en question et une durabilité suffisante des milieux de cultures utilisés. Trois différents milieux (3M Petrifilm, Scil Compact Dry EC et Sartorius Nutrient pad) ont été comparés, utilisant la méthode officielle du chapitre 56 du manuel suisse des denrées alimentaires sur la base de *E. coli*. Différentes eaux de surfaces et eaux potables ont été analysées, soit au total 102 contrôles microbiologiques d'échantillons d'eaux naturellement contaminées. Se basant sur les données de validation, de rentabilité et de faisabilité, une analyse des valeurs d'usage a été effectuée. Prenant ces paramètres en considération, l'usage de Scil Compact Dry EC est recommandable. En comparaison avec la méthode décrite par le manuel suisse des denrées alimentaires, un index de concordance de 0,89 et un taux de faux négatifs de 2,8 % ont été obtenus. D'autres essais sous conditions réelles de catastrophe sont nécessaires avant une introduction définitive.

Summary "Evaluation of microbiological methods for the examination of drinking water in the field in cases of disasters"

For the last ten years the Swiss Humanitarian Aid Unit uses a field laboratory for the microbiological examination of water on drinking quality. The most important requirements of such a mobile laboratory are: Correct analysis data, simple handling, clear evaluation method and sufficient stability of the used growth media. Three different growth media (3M Petrifilm, Scil Compact Dry EC and Sartorius nutrient pads) were compared for this purpose with the official method of the "Schweizerischen Lebensmittelbuches (SLMB) Kapitel 56" on the basis of *E. coli*. As model water samples of different surface water and drinking water were examined. Altogether 102 naturally contaminated water samples were microbiologically tested. On the basis of validating data and economical and practical aspects an efficiency analysis was established. With consideration of the demanded characteristics the use of the Scil Compact Dry EC can be recommended. Compared with the method of the SLMB a concordance index Kappa of 0.89 and a false negative rate of 2.8% was reached. Further clarifications on real disaster conditions should be still accomplished before the final introduction.

Key words

Drinking water, field method, disaster relief, *E. coli*, total coliforms

Literatur

- 1 *United Nations High Commissioner for Refugees: Handbook for Emergencies*. 2nd Edition, Geneva, 213–227 (2000)
- 2 *Bühler H.P., Lüthi T. und Spühler, A.: Mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser: Modifizierte Anwendung des 3M-Petrifilm-Systems unter Feldbedingungen*. Schweiz. Z. Milit. Med. 70, 9–12 (1993)
- 3 *Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 56 Mikrobiologie: E.3 Quantitative Bestimmung von Escherichia coli* (2000)
- 4 *Schweizerisches Korps für humanitäre Hilfe: Handbuch Trinkwasser und Siedlungshygiene, Kapitel 4* (2001) (unveröffentlicht)
- 5 *Systematische Sammlung des Schweizer Bundesrechts: Verordnung über die hygienischen und mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände, Räume, Einrichtungen und Personal (Hygieneverordnung, HyV)*. SR 817.051 vom 26. Juni 1995, Stand 7. Mai 2002. http://www.admin.ch/ch/d/sr/c817_051.html
- 6 *Hübner P., Gautsch S. und Jemmi T.: Inhouse-Validierung mikrobiologischer Prüfverfahren*. Mitt. Lebensm. Hyg. 93, 118–139 (2002)
- 7 *Sachs L.: Angewandte Statistik*. 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin (1997)
- 8 *Lüthi T., Bühler H.P. und Spühler A.: Methodenvergleich zur mikrobiologischen Beurteilung von Trinkwasser. Gas-Wasser-Abwasser* 74 (3), 194–199 (1994)
- 9 *Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 56 Mikrobiologie: 7.07 Escherichia coli, Membranfilterverfahren* (1985)

Korrespondenzadresse: Thomas M. Lüthi, Hochschule Wädenswil, Grüental, Postfach 335, CH-8820 Wädenswil, t.luethi@hsw.ch