

Jetzt
kaufen auf
shop.wvgw.de

Als Print oder
PDF-Download

Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V.



www.dvgw-forschung.de

Massenentwicklung coliformer Bakterien in Talsperren – Ursachenanalyse und Konsequenzen für die Trinkwasserversorgung

Abschlussbericht

M. Sc. Carolin Leister

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Dr. Heike Petzoldt

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Außenstelle Dresden

Dr. Marcus Rybicki

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Außenstelle Dresden

Dr. Martin Wagner

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Außenstelle Dresden

Dr. Andreas Korth (Projektleiter TZW DD)

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Außenstelle Dresden

Dr. Michael Hügler (Projektleiter TZW KA)

TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Herausgeber

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1–3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

info@dvwg.de

www.dvgw.de

**Massenentwicklung coliformer Bakterien in
Talsperren – Ursachenanalyse und
Konsequenzen für die
Trinkwasserversorgung**

Abschlussbericht

Oktober 2021

DVGW-Förderkennzeichen W 201720

Zusammenfassung

Weltweit werden ca. 50 % des Trinkwassers aus Oberflächenwasser gewonnen. Dabei spielen Seen und Talsperren eine herausragende Rolle. In Deutschland wird ca. 12 % der Trinkwasserversorgung über die Nutzung von Oberflächenwasser aus See- und Talsperrenwasserwerken gedeckt. Um die Talsperrenwasseraufbereitung naturnah, stabil und wirtschaftlich betreiben zu können, gilt es, ein chemisch und mikrobiologisch möglichst gering belastetes Rohwasser zur Verfügung zu stellen.

In den letzten Jahren wurde in Trinkwassertalsperren verschiedener Regionen in Deutschland im Sommer eine sprunghaften Zunahme coliformer Bakterien beobachtet. Im Rohwasser traten hierbei Werte von bis zu über 10.000 coliformen Bakterien pro 100 mL auf. Dieses Phänomen stellt die Aufbereitung in den Wasserwerken vor eine besondere Herausforderung.

Die Auslöser der Massentwicklung sind bisher unbekannt. Aus diesem Grund wurden in diesem DVGW-Forschungsvorhaben die Ursachen der sprunghaften Zunahme der coliformen Bakterien in Trinkwassertalsperren untersucht. Ziel des Forschungsprojektes war es, Modellvorstellungen zu relevanten Abläufen der Massenzunahme coliformer Bakterien in Trinkwassertalsperren zu entwickeln, um hieraus entsprechende Empfehlungen für die Praxis ableiten zu können.

Durch das Monitoringprogramm an mehreren Talsperren, ergänzt um eine umfangreiche Datenanalyse, konnte gezeigt werden, dass die Massenvermehrung coliformer Bakterien durch einzelne Arten (*Enterobacter asburiae* bzw. *Lelliottia amnigena* / *Lelliottia aquatilis*) hervorgerufen wird. Der Anstieg der Konzentration coliformer Bakterien findet während der Sommerstagnation bei stabiler thermischer Schichtung der Talsperre innerhalb von wenigen Tagen statt. Es handelt sich hierbei um einen autochthonen, Talsperren-internen Prozess. Die Untersuchungen ergaben keinerlei Hinweise auf fäkale oder andere externe Einträge während dieser Massenvermehrung.

Laboruntersuchungen zur Vermehrung der coliformen Bakterien aus Talsperren zeigten deren Anpassungen an niedrige Temperaturen und Nährstoffgehalte. Eine Vermehrung fand ab einer Mindesttemperatur von 10 °C statt. Im Oberflächen- und Rohwasser der Talsperren fand eine Vermehrung auch ohne Zugabe externer Nährstoffe statt, allerdings nur in Abwesenheit der natürlichen Mischbiozönose. Lediglich durch den Zusatz von Pepton konnte eine Vermehrung der coliformen Bakterien auch in Anwesenheit der natürlichen Mischbiozönose erreicht werden.

Diese Untersuchungen legen somit nahe, dass die Massentwicklung ab einer bestimmten Mindesttemperatur und bei einer geeigneten Nährstoffsituation erfolgt. Vermutlich findet sie im Epi- oder Metalimnion der Talsperre statt. Eine mögliche Nährstoffquelle könnten Aminosäuren sein, die z. B. von Algen abgegeben werden.

Gesamtgenomanalysen der relevanten Isolate coliformer Bakterien zeigten, dass in verschiedenen Talsperren nahverwandte Stämme für die Massenvermehrung verantwortlich sind. Die Arten (*Enterobacter asburiae* bzw. *Lelliottia amnigena* / *Lelliottia aquatilis*) können den Umweltcoliformen zugeordnet werden. Die Analyse der Pathogenitätsfaktoren legt nahe, dass die Isolate aus Talsperren nicht als pathogen einzustufen sind. Einzelne Antibiotikaresistenzgene konnten in den Genomen der Isolate nachgewiesen werden, eine

phänotypische Bestätigung der Resistenz wurde aber lediglich für ein Antibiotikum in einem Isolat gefunden.

Durch Untersuchungen in Talsperrenwasserwerken konnte die Eliminationsleistung der Talsperrenaufbereitung für den Parameter coliforme Bakterien bestimmt werden. In Wasserwerken mit einer konventionellen Aufbereitung lagen die Konzentrationen coliformer Bakterien in Zeiten mit Massenvermehrung im Reinwasser vor der Abschlussdesinfektion über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Durch die Abschlussdesinfektion wird eine weitere Reduktion erreicht.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass es sich bei der Massenvermehrung coliformer Bakterien um einen Talsperren-intern Prozess einzelner Arten coliformer Bakterien handelt, die den sogenannten Umweltcoliformen zugeordnet werden können. Sie sind vermutlich ein Bestandteil der natürlichen Talsperren-Biozönose und sind nicht pathogen und somit auch als nicht hygienisch relevant einzustufen. Der Nachweis dieser Arten hat somit auch keine Indikatorfunktion für eine fäkale Verunreinigung und einen damit einhergehenden möglichen Eintrag von Krankheitserregern. Dies sollte bei der Gesamtbetrachtung der hygienischen und limnologischen Situation berücksichtigt werden und etwaige Nachweise coliformer Bakterien entsprechend bewertet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand des Wissens.....	3
3	Material und Methoden.....	5
3.1	Material	5
3.1.1	Bakterienstämme	5
3.1.2	Verwendete Wässer.....	6
3.2	Mikrobiologische Methoden	6
3.2.1	Membranfiltrationsmethoden.....	6
3.2.2	MPN-Methoden.....	7
3.2.3	Koloniezahlen	7
3.2.4	Bestimmung der Gesamtzellzahl.....	7
3.3	Methoden zur Bakterienidentifizierung.....	8
3.3.1	Identifizierung mittels MALDI-TOF MS	8
3.3.2	Identifizierung mittels MLSA-PCR und Sequenzierung	8
3.4	Mikrobielle Gemeinschaft und Microbial Source Tracking (MST)	10
3.4.1	Probenahme	10
3.4.2	DNA-Extraktion	10
3.4.3	Quantifizierung von Microbial Source Tracking (MST) Markern.....	11
3.4.4	Analyse der mikrobiellen Gemeinschaft	11
3.5	Untersuchungen in Talsperren-Wasserwerken.....	11
3.6	Vermehrungsversuche mit coliformen Bakterien.....	12
3.7	Genom-Sequenzierung	13
3.7.1	DNA-Extraktion	13
3.7.2	Sequenzierung, Assemblierung und Annotation.....	13
3.7.3	Phylogenetische Untersuchung.....	14
3.7.4	Berechnung der durchschnittliche Nukleotididentität (ANI).....	14
3.7.5	Untersuchung der Stoffwechselwege.....	14
3.7.6	Untersuchung von Antibiotikaresistenzgenen.....	14
3.7.7	Antibiogramm.....	14
3.7.8	Vergleich mit anderen Stämmen	15
3.8	Online-Sensorik.....	15
3.9	Daten-Auswertung, statistische Methoden.....	16
3.9.1	Berechnung der Diversität.....	16
3.9.2	Datenauswertung des Monitoringzeitraum	17
3.9.3	Langzeitdaten	17
4	Ergebnisse	19
4.1	Monitoring von Trinkwassertalsperren	19
4.1.1	Übersicht Talsperren und Untersuchungsprogramme	19
4.1.2	Talsperre Klingenberg.....	20
4.1.3	Talsperre Kleine Kinzig	31
4.1.4	Untersuchung auf Fäkalmarker	35
4.1.5	Mikrobielle Gemeinschaft.....	37
4.1.6	Wahnbach-Talsperre	39
4.1.7	Zusammenfassung Monitoring Talsperren	43
4.2	Datenanalyse	44

4.2.1	Auswertung von Daten des Monitoringzeitraums (2018-2020)	44
4.2.2	Auswertung der Langzeitdaten	51
4.2.3	Zusammenfassung Datenanalyse	60
4.3	Monitoringprogramm für Wasserwerke	61
4.3.1	Übersicht	61
4.3.2	Ergebnisse Untersuchungen	62
4.3.3	Zusammenfassung Untersuchungen in Wasserwerken	68
4.4	Laboruntersuchungen mit Isolaten coliformer Bakterien aus Talsperren	69
4.4.1	Übersicht	69
4.4.2	Bestimmung des Temperaturbereichs der Vermehrung coliformer Bakterien	69
4.4.3	Einfluss der Temperatur auf die Vermehrung im Talsperrenwasser	70
4.4.4	Einfluss der Jahreszeit auf die Vermehrung coliformer Bakterien	74
4.4.5	Einfluss der Wasserqualität auf die Vermehrung coliformer Bakterien	74
4.4.6	Einfluss von Nährstoffen auf die Vermehrung coliformer Bakterien	76
4.4.7	Einfluss von Sauerstoff auf die Vermehrung	77
4.4.8	Zusammenfassung Laboruntersuchungen	79
4.5	Molekularbiologische Charakterisierung der zur Massenentwicklung befähigten Isolate coliformer Bakterien	80
4.5.1	Identifizierung von Isolaten aus verschiedenen Talsperren	80
4.5.2	Genomsequenzierung	81
4.5.3	Zusammenfassung phylogenetische Analyse und Genomanalyse	88
5	Diskussion der Ergebnisse	89
5.1	Entwicklung einer Modellvorstellung für Massenentwicklungen coliformer Bakterien	89
5.2	Diskussion der Relevanz für die Wasserversorgung	90
6	Schlussfolgerung und Empfehlungen	92
7	Publikationen und Präsentationen der Projektergebnisse	94
8	Danksagung	96
9	Literatur	97
10	Abbildungsverzeichnis	103
11	Tabellenverzeichnis	107
	Anhang	109