

PROJEKTKURZBERICHT

Erhebung der fäkalen Eintragungssituation für die niederösterreichische Donau anhand von *E. coli* (Zeitperiode 3/2019 – 11/2020)

verfasst von:

Assoc.-Prof. Priv.-Doz. Mag. Dr. Alexander Kirschner & Univ.-Prof. Priv.-Doz. Mag. Dr. Andreas Farnleitner, MScTox.
Karl-Landsteiner Privatuniversität für Gesundheitswissenschaften
Department Pharmakologie, Physiologie und Mikrobiologie
Fachbereich Wasserqualität und Gesundheit
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30, 3500 Krems



unter Mitarbeit von:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Alfred Paul Blaschke & Ahmad Ameen, MSc
Technische Universität Wien
Forschungszentrum Wasser & Gesundheit
Karlsplatz 13, 1040 Wien



Dipl.-Ing. Sophia Steinbacher
Karl-Landsteiner Privatuniversität für Gesundheitswissenschaften
Fachbereich Wasserqualität und Gesundheit
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30, 3500 Krems

mit maßgeblicher Unterstützung durch:

Mag. Andrea Perschl & Ing. Martina Heckel
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft - Gewässeraufsicht
Landhausplatz 1, Haus 2, 3109 St.Pölten,



finanziert durch:

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft
Landhausplatz 1, Haus 2, 3109 St.Pölten

Kontakt:

Tel:
0664-605882244 (Dr. A. Farnleitner)
0699-13325307 (Dr. A. Kirschner)

Email:
andreas.farnleitner@kl.ac.at
alexander.kirschner@kl.ac.at

Interuniversitäres Kooperationszentrum Wasser und Gesundheit
(ICC Water & Health, www.waterandhealth.at)

Krems, am 31.5. 2021



Zitiervorschlag: Farnleitner AH, Steinbacher S, Ameen A, Blaschke AP, Kirschner AKT (2021): Erhebung der fäkalen Eintragungssituation für die niederösterreichische Donau anhand von *E. coli* für die Periode 3/2019-11/2020. Projektkurzbericht an das Amt der NÖ Landesregierung – Abteilung Wasserwirtschaft

ZUSAMMENFASSUNG

In der jüngeren Vergangenheit wurden in diversen Medien und der Bevölkerung mehrmals Vermutungen geäußert, dass die Donauschifffahrt zu einer signifikanten fäkalen Belastung der Donau führen würde. Um eine gesicherte Daten- und Beurteilungsgrundlage zu schaffen, wurde ein spezielles Untersuchungskonzept entwickelt und umgesetzt. Ziel war, den Einfluss der Donauschiffe auf die fäkal-mikrobiologische Gesamtbelastung der Donau regional für den niederösterreichischen Teil abzuschätzen sowie die Faktoren zu bestimmen, die diese Belastung maßgeblich beeinflussen. Mögliche punktuelle, örtlich oder zeitlich begrenzte Beeinflussungen durch Schiffe zu erfassen war nicht Hauptgegenstand der Studie und kann nicht ausgeschlossen werden.

Theoretische Abschätzung - Die Abschätzung des fäkalen Verschmutzungspotenzials von Schiffen entlang der niederösterreichischen Donau ergab, dass diese – wenn keine Abwasseraufbereitung an Bord durchgeführt und die fäkalen Abwässer ungereinigt direkt in die Donau geleitet würden bzw. nicht über Land ordnungsgemäß entsorgt würden – ein hohes fäkales Verschmutzungspotenzial besitzen, das vor allem während der Hauptsaison die *E.coli* Emissionen aus der kommunalen Abwasserentsorgung nach dem Stand der Technik übersteigen kann. Die Einhaltung von Auflagen zur sachgemäßen Behandlung der fäkalen Schiffsabwässer führt gemäß der theoretischen Abschätzungen zu einer zumindest 32-40-fach geringeren Beeinflussung und ist daher eine unbedingte Notwendigkeit. Die strenge behördliche Kontrolle und Überwachung ist aus wissenschaftlicher Sicht daher unbedingt zu empfehlen.

Praktische Untersuchung der Donau für den Zeitraum März 2019 bis November 2020 - Ein räumlich und zeitlich hoch aufgelöstes Monitoring der Konzentrationen des Fäkalindikatorbakteriums *Escherichia coli* an 11 Querprofilen der Donau zeigte, dass 93,3% der Proben im Untersuchungszeitraum März 2019 bis November 2020 geringe (43,1%) oder moderate (50,2%) mikrobiologisch-fäkale Belastung aufwiesen. Die Untersuchungen der Herkunft der fäkalen Belastung mittels genetischer Fäkalmarker indizierten, dass dieses fäkale Beeinflussungen überwiegend menschlichen Ursprungs waren. Lediglich 6,7% der Proben lagen im kritischen Bereich und fielen fast ausschließlich in Perioden mit erhöhten Niederschlägen, Durchflüssen und Kläranlagen-abflussmengen. Keine der insgesamt 759 untersuchten Proben wies eine starke oder exzessive Belastung auf. Belastungen im geringen und moderaten Bereich sind typisch für Flüsse in Ländern mit Einleitungen von kommunalen Kläranlagen nach dem Stand der Technik. Weiters konnten unterhalb der vier untersuchten Schiffsstationen Tulln, Krems, Dürnstein und Melk keine signifikant erhöhten *E. coli* Konzentrationen im Vergleich zu den Proben oberhalb der Schiffsstationen gefunden werden.

Statistische Analyse - Die multiple lineare Regressionsanalyse verdeutlichte, dass bei allen Querprofilen die Abflüsse der kommunalen Kläranlagen diejenigen Parameter waren, welche für die Schwankungen der *E. coli* Werte hauptsächlich verantwortlich waren. Zusätzliche Parameter, welche bei je zwei Profilen einen signifikanten Einfluss auf die Schwankungen der *E. coli* Werte hatten, waren Niederschläge, Durchflüsse der Zubringer, sowie die Anzahl der Frachtschiffe (Transekte Tulln). Auch wenn die Frachtschiffe nur geringe Anzahlen von Personen transportieren und geringe Fäkaleinträge verursachen, könnten Aufwirbelungen zu erhöhten lokalen Konzentrationen von *E. coli* führen.

Fazit - Die kommunalen Kläranlagen stellten für die Untersuchungsperiode März 2019 bis November 2020 die Haupteinflussfaktoren der regionalen fäkal-mikrobiologischen Grundbelastung der niederösterreichischen Donau dar, die durch ansteigende Durchflüsse der Zubringer und Niederschläge verstärkt wurden. Während der Untersuchungsperiode konnte kein Hinweis auf eine Beeinflussung durch Donauschiffe gefunden werden. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen Maßnahmen zur Abwasserbehandlung haben Schiffsabwässer offenbar keinen nachweisbaren Einfluss auf die fäkal-mikrobiologische Grundbelastung der Donau.

RATIONALE

In der näheren Vergangenheit wurden von verschiedenen Seiten mehrmalige Vermutungen geäußert, dass die Donauschifffahrt zu einer signifikanten fäkalen Belastung der Donau führen würde. Um eine gesicherte Daten- und Beurteilungsgrundlage zur fäkalen Belastungssituation der Donau zu schaffen, wurde ein spezielles auf drei Säulen beruhendes Untersuchungskonzept entwickelt. Dieses wurde im Zeitraum März 2019 bis Februar 2021 durch eine Kooperation zwischen dem Land NÖ, Abteilung Wasserwirtschaft und der Karl Landsteiner Privatuniversität Krems, FB Wasserqualität und Gesundheit, mit Unterstützung des ICC Water & Health, umgesetzt.

Ziel war, den Einfluss der Donauschiffe auf die fäkal-mikrobiologische Gesamtbelastung der Donau für den niederösterreichischen Teil abzuschätzen sowie die Faktoren zu bestimmen, die diese Belastung der Donau maßgeblich beeinflussen. Die Studie soll somit eine Beurteilung der regionalen Gesamtsituation hinsichtlich fäkal-mikrobiologischer Belastung ermöglichen. Eine mögliche örtliche begrenzte Beeinflussung von Badestellen, die Ermittlung der Eignung der Badegewässerqualität der Donau, oder die Auswirkung auf die Trinkwassergewinnung entlang der Donau waren nicht unmittelbare Gegenstände der Untersuchung.

UNTERSUCHUNGSKONZEPT

Das Konzept beruht auf 3 Säulen:

- (i) Theoretische Abschätzung des **Emissionspotenziales der Schifffahrt** (wenn keine Abwasseraufbereitung an Bord durchgeführt und die fäkalen Abwässer ungereinigt direkt in die Donau geleitet werden bzw. nicht über Land ordnungsgemäß entsorgt würden) sowie theoretische Abschätzung der **Emission der Schifffahrt** (mit vorgeschriebenen Abwasserbehandlungsmaßnahmen) und Vergleich zu Emissionen ausgehend von der **kommunalen Abwasserreinigung (Potenzialanalyse)**.
- (ii) räumlich-zeitlich aufgelöste **praktische Felduntersuchung** zur **fäkal-mikrobiologischen Gesamtbelastung** der niederösterreichischen Donau auf Basis der Bestimmung von Fäkalindikatorbakterien (FIB), genetischer Fäkalmarker zur Bestimmung der Herkunft der fäkalen Belastung (menschlich vs. tierisch), sowie chemo-physikalischer Basisparameter.
- (iii) **statistische Zusammenhangsanalyse** um die relevanten Einflussfaktoren (Niederschläge, Durchfluss Donau/Zubringer, Abflüsse kommunaler Kläranlagen, Schiffsanzahl) auf die fäkal-mikrobiologische Belastung der Donau zu identifizieren.

POTENZIALANALYSE

Die Resultate der theoretischen Abschätzung des Emissionspotenziales der Schiffe („**Potenzial Schiffe**“) sowie der theoretischen Abschätzung der Emissionen der Schifffahrt („**Emission Schiffe**“) und der Vergleich mit Emissionen aus der kommunalen Abwasserentsorgung mit Kläranlagen nach dem Stand der Technik („**Emission ARA**“) wird in **Abbildung 1** gezeigt. Die Abschätzung und der Vergleich wurden für die niederösterreichische Donau für die Abschnitte oberhalb und unterhalb von Wien, sowie für den gesamten niederösterreichischen Donauabschnitt durchgeführt. Die Potenzial- und Emissionsabschätzungen wurden in emittierten *E. coli* pro Tag hochgerechnet (Methodendetails siehe Ende Kurzbericht). Die Abschätzungen des fäkalen Verschmutzungspotenzials von Schiffen entlang der niederösterreichischen Donau indizieren eindrucksvoll, dass diese – wenn keine Abwasseraufbereitung an Bord durchgeführt und die fäkalen Abwässer ungereinigt direkt in die Donau geleitet würden bzw. nicht über Land ordnungsgemäß entsorgt würden – ein hohes fäkales Verschmutzungspotenzial besitzen, das vor allem während der Hauptsaison die gesamte *E.coli*

Emission der kommunaler Abwasserentsorgung übersteigen kann. Die Einhaltung von Auflagen zur sachgemäßen Behandlung der fäkalen Schiffsabwässer führt in der Hauptsaison gemäß den theoretischen Abschätzungen zu einer zumindest 32-40 fachen (\log_{10} 1.5 bis \log_{10} 1.6) geringeren Beeinflussung - verglichen mit der direkten unsachgemäßen Abgabe durch die Schifffahrt. **Die Einhaltung einer fachgerechten Behandlung erscheint daher aus wissenschaftlicher Sicht als unbedingte Notwendigkeit und die strenge behördliche Kontrolle und Überwachung ist wärmstens zu empfehlen.**

Bei fachgerechter Behandlung betragen die abgeschätzten gesamten fäkal-mikrobiologischen Emissionen durch die Schifffahrt im Vergleich zur gesamten abgeschätzten Emission durch die kommunale Abwasserentsorgung nach dem Stand der Technik maximal wenige Prozentpunkte im einstelligen Bereich. **Diese sehr geringe theoretische Erhöhung für den Fall der fachgerechten Behandlung im Bezug zur kommunalen Grundbelastung der Donau sollte daher anhand von praktischen Felduntersuchungen nicht nachweisbar sein (Abbildung 1).** Es ist wichtig zu betonen, dass punktuelle (örtlich oder zeitlich) begrenzte Beeinflussungen (z.B. durch unmittelbar oberhalb einer untersuchten Flussstelle ankernde und emittierende Schiffe) nicht Gegenstand dieser Betrachtung sind. Eine Qualitätsbeeinflussung für diesen Fall kann klarerweise nicht ausgeschlossen werden.

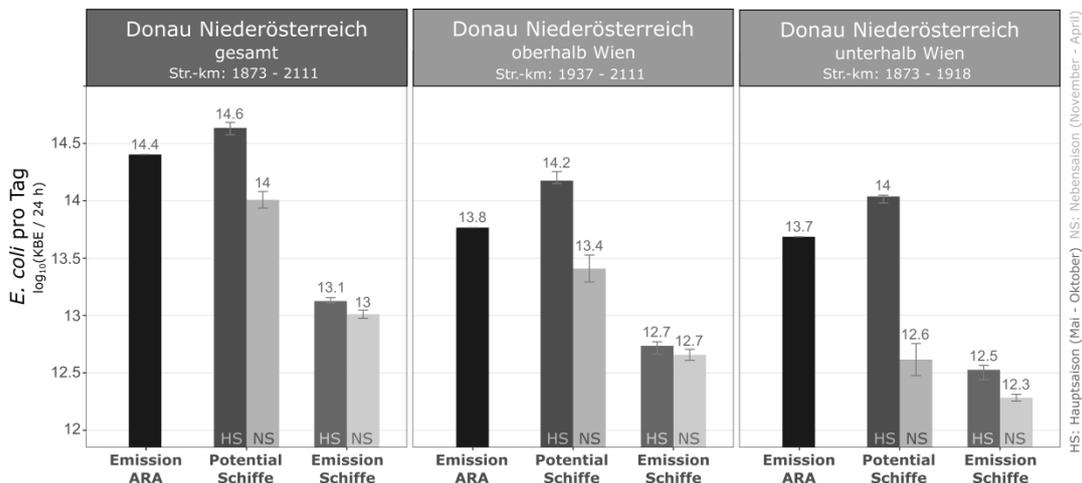


Abbildung 1: Abschätzung der *E. coli* Emissionsmengen durch Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Schiffe entlang der Donau in Niederösterreich (inklusive Wiener Abschnitt bei der Gesamtbetrachtung). *E. coli* Konzentrationen sind als logarithmierte Daten mit der Basis 10 angegeben (13 entspricht 10^{13} = 10 Billionen *E. coli* pro Tag). Potenzial/Emission Schiffe wurde auf Grund saisonaler Schwankungen im Schiffsaufkommen für die Hauptsaison (HS) und die Nebensaison (NS) getrennt betrachtet. Daten wurden für Basisabflussszenarien entwickelt. KBE: koloniebildende Einheiten. Str.-km: Stromkilometer.

FELDUNTERSUCHUNG MIKROBIOLOGISCH FÄKALE BELASTUNG & HERKUNFT (3/2019 – 11/2020)

Über alle Querprofile hinweg, wiesen 93,3% der Proben im Untersuchungszeitraum geringe (43,1%) oder moderate (50,2%) mikrobiologisch-fäkal Belastung auf (**Abbildung 2**). 6,7% der Proben lagen im kritischen Bereich und fielen fast ausschließlich in Perioden mit erhöhten Niederschlägen, Durchflüssen und Kläranalgenabflussmengen. Keine der insgesamt 759 untersuchten Proben wies eine starke oder exzessive Belastung auf. Belastungen im geringen und moderaten Bereich sind typisch für Flüsse in Ländern mit Einleitungen von kommunalen Kläranlagen nach dem Stand der Technik. Die Untersuchungen der Herkunft der fäkalen Belastung mittels genetischer Fäkalmarker zeigten, dass bei Basisabfluss ausschließlich menschliche Marker zu finden waren. Nur bei Starkniederschlägen konnten vereinzelt auch tierische Marker gefunden werden.

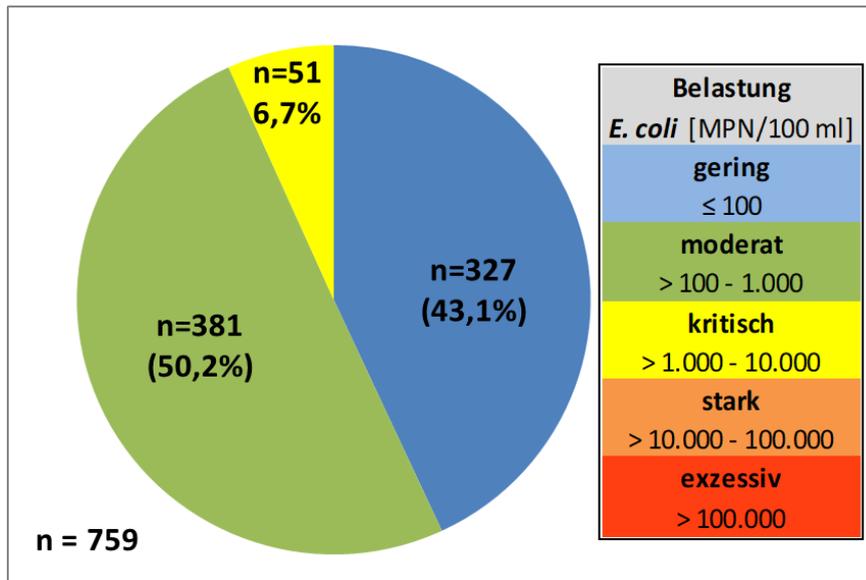


Abbildung 2: Überblick über die Anzahl der Proben mit geringer, moderater und kritischer mikrobiologisch-fäkaler Belastung. Es wurden keine Proben mit starker oder exzessiver Belastung festgestellt. Das 5-stufige Bewertungssystem zur Einstufung der mikrobiologisch-fäkalen Belastung nach Kirschner et al (2009) kam dafür zur Anwendung. MPN: most probable number.

In **Abbildung 3** ist ersichtlich, dass bei Einbeziehung aller Proben unterhalb der vier untersuchten Schiffsstationen Tulln, Krems, Dürnstein und Melk keine signifikant erhöhten *E. coli* Konzentrationen im Vergleich zu den Proben oberhalb der Schiffsstationen gefunden wurden. Bei Krems waren die Werte unterhalb der Anlegestation im Mittel sogar um 45 *E. coli* pro 100 ml (14%) geringer als oberhalb (gepaarter t-Test, $t = 3.05$, $p < 0.01$).

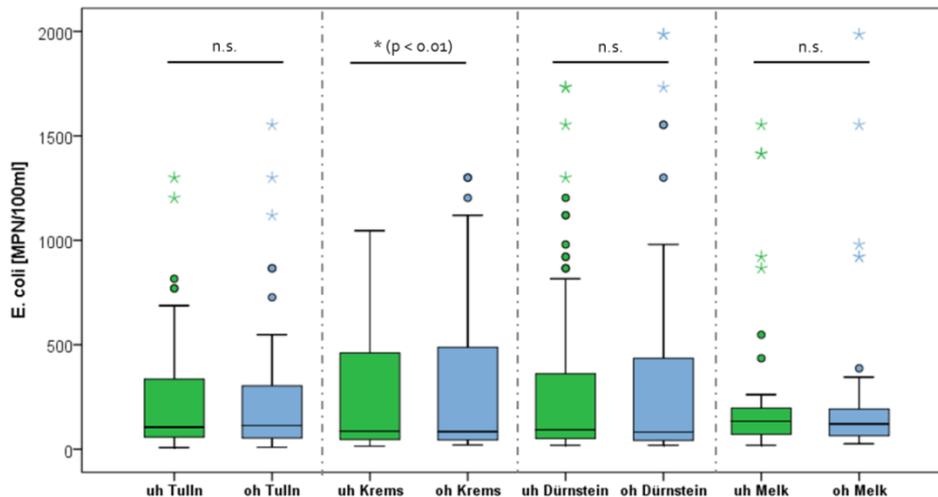


Abbildung 3: Box-Whisker Plots der *E. coli* Konzentrationen oberhalb und unterhalb der Schiffsstationen Tulln, Krems, Dürnstein und Melk. Die Boxen zeigen das obere und untere Quartil sowie den Median aller Werte ($n = 60$ für uh und oh Tulln, $n = 65$ für uh und oh Krems sowie uh und oh Dürnstein, $n = 50$ für uh und oh Melk). Die Whiskers zeigen das Minimum und Maximum aller Werte (mit Ausnahme der Ausreißer) an, die Kreise sind Ausreißer, die Sterne extreme Ausreißer. Unterhalb Krems wurden im Mittel um 14% geringere Werte als oberhalb Krems beobachtet.

STATISTISCHE DATENANALYSE

Im Folgenden wurde mit statistischer Korrelations- und Regressionsanalyse bestimmt, welche Umweltfaktoren für die beobachteten räumlichen und saisonalen Schwankungen der *E. coli* Konzentrationen maßgeblich verantwortlich sind. Dabei wurden insbesondere die potenziellen Einflüsse von Niederschlägen, von Abflüssen kommunaler Kläranlagen, von Durchflüssen der Donau und deren Zubringer sowie von der Anzahl passierender Schiffe am Probenahmetag berücksichtigt.

Korrelationsanalyse - Alle Parameter, welche als potentiell relevante Einflussfaktoren für die fäkale Belastung betrachtet wurden, wurden in einem ersten Schritt mit den *E. coli* Werten korreliert (**Spearman Rang Korrelation**). Hier zeigte sich, dass bei allen Querprofilen die Abflussmengen der kommunalen Kläranlagen entlang der Donau und der Zubringer signifikant mit den *E. coli* Werten korrelierten (Spearman's rho: 0,49 bis 0,88; $p < 0,001$). Bei 9 der 11 Querprofilen zeigte sich eine signifikante Korrelation mit dem Durchfluss der Donau bzw. der Zubringer (Spearman's rho: 0,57 bis 0,88; $p < 0,001$) und bei 3 Querprofilen waren Niederschläge ebenfalls signifikant korreliert (Spearman's rho: 0,46 bis 0,69; $p < 0,001$). Weniger stark ausgeprägte negative Korrelationen gab es mit der elektrischen Leitfähigkeit (2 Querprofile) und der Wassertemperatur (1 Querprofil) (Spearman's rho: -0,46 bis -0,48; $p < 0,001$). Auch mit dem pH-Wert wurde bei einem Transekt eine signifikante negative Korrelation gefunden (Spearman's rho: -0,48; $p < 0,001$). Hinsichtlich der Schiffsaufkommen wurde an 2 Transekten eine schwache signifikant positive Korrelation mit den Frachtschiffen (Spearman's rho: 0,35 bis 0,37; $p < 0,002$) beobachtet. Keine signifikante Korrelation wurde mit der Anzahl der Kreuzfahrtschiffe festgestellt. Die Anzahl der ermittelten Linienschiffe pro Zeitpunkt war zu gering um in die Korrelations- und Regressionsanalysen mit einbezogen zu werden.

Multiple lineare Regression - Mittels multipler linearer Regressionsanalyse (MLR) wurde versucht jene Kombination von Faktoren zu ermitteln, welche einen statistisch signifikanten Einfluss auf die beobachteten Schwankungen der *E. coli* Konzentrationen haben. Die berechneten Regressionsmodelle ermöglichten es darüber hinaus auch das Ausmaß dieses Einflusses zu quantifizieren. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Regressionsanalyse (Erklärungswert R^2 in %, Signifikanz p , sowie relevante Modellparameter). Bei allen Querprofilen waren die kommunalen **Kläranlagenabflüsse als dominanter Parameter** in den Modellen enthalten. Bei je zwei Profilen waren daneben die **Niederschläge** (Tulln) oder die **Durchflüsse der Zubringer** (Melk) ebenfalls signifikante Modellparameter. Aus diesen Analysen kann geschlossen werden, dass die kommunalen Kläranlagen die Haupteinflussfaktoren der fäkalen Belastung in der NÖ Donau darstellen. Durch ansteigende Durchflüsse der Zubringer und/oder Niederschläge wird dieser Einfluss verstärkt. Bezüglich des Einflusses der passierenden Schiffe pro Tag ergab die multiple Regressionsanalyse lediglich an den beiden Querprofilen in Tulln eine Signifikanz für die Frachtschiffe. Auch wenn die Frachtschiffe nur geringe Anzahlen von Personen transportieren und somit geringe Fäkaleinträge verursachen können, könnten Aufwirbelungen von Flusssedimenten indirekt zu lokal erhöhten Konzentrationen von *E. coli* geführt haben.

Tabelle 1: Mittels multipler linearer Regression ermittelte signifikante Faktoren, die die Schwankungen von *E. coli* Konzentrationen an den einzelnen Querprofilen maßgeblich beeinflussen. R^2 (%) gibt den Prozentsatz an, zu dem die Faktorenkombination die Schwankungen der *E. coli* erklärt (Erklärungswert). Der p-Wert gibt die Signifikanz der multiplen Regression an, die bei allen Modellen größer als 99.9% liegt ($p < 0.001$).

Querprofile	R^2 (%)	p	Modellparameter			
1 Hainburg	38,3	< 0.001	KA-Abfluss			
2 uh Wien	20,4	< 0.001	KA-Abfluss			
3 uh Tulln	71,8	< 0.001	KA-Abfluss	Niederschlag		Frachter
4 oh Tulln	71,8	< 0.001	KA-Abfluss	Niederschlag		Frachter
5 uh Krems	58,6	< 0.001	KA-Abfluss			
6 oh Krems	54,6	< 0.001	KA-Abfluss			
7 uh Dürnst.	56,3	< 0.001	KA-Abfluss			
8 oh Dürnst.	58,9	< 0.001	KA-Abfluss			
9 uh Melk	79,7	< 0.001	KA-Abfluss		Zubringer	
10 oh Melk	84,7	< 0.001	KA-Abfluss		Zubringer	
11 St. Pantal.	41,7	< 0.001	KA-Abfluss			

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Probennahmen - Monitoring. Entlang der niederösterreichischen Donau wurden an 11 Querprofilen, bestehend aus 5 Probenpunkten, in mehrwöchigen Abständen Wasserproben genommen und die Konzentration des Fäkalindikatorbakteriums *Escherichia coli* bestimmt. Die monatlichen Probennahmen wurden durch die NÖ Gewässeraufsicht mit Booten der NÖ Schifffahrtsaufsicht durchgeführt. Folgende Querprofile wurden untersucht: 1) bei Hainburg, flussaufwärts der Einmündung March, 2) flussabwärts von Wien, nach Einmündung Donaukanal, 3) flussabwärts Schiffsstation Tulln, 4) flussaufwärts Schiffsstation Tulln, 5) flussabwärts Schiffsstation Krems, 6) flussaufwärts Schiffsstation Krems, 7) flussabwärts Schiffsstation Dürnstein (Oberloiben), 8) flussaufwärts Schiffsstation Dürnstein, 9) flussabwärts Schiffsstation Melk, 10) flussaufwärts Schiffsstation Melk und 11) St. Pantaleon. In Summe wurden 759 Proben untersucht. Gleichzeitig mit der Probennahme wurden Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffkonzentration und elektrische Leitfähigkeit bestimmt.

Umweltparameter. Neben der Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs wurden die Niederschlagsmengen am Tag der Probennahme sowie im Zeitraum bis zu 3 Tagen davor, der Durchfluss der Donau und der Zubringer am Tag der Probennahme und im Zeitraum bis zu einer Woche davor sowie die Abflussmengen der kommunalen Kläranlagen entlang der Donau und der Zubringer am Tag der Probennahme und im Zeitraum bis zu einer Woche davor eruiert.

Mikrobiologisch-fäkale Belastung anhand von *Escherichia coli*. Zur Bestimmung der mikrobiologisch-fäkalen Belastung an den 11 Transekten wurde das Fäkalindikatorbakterium *Escherichia coli* herangezogen. Dieses wurde mittels eines internationalen Standardverfahrens gemäß ISO 9308-2 (2012) bestimmt (Kirschner et al 2009, 2017).

Genetische Fäkalmarker. Die mikrobielle Herkunftsanalyse auf Basis genetischer Fäkalmarker wurde wie in Kirschner et al (2017) beschrieben durchgeführt.

Schiffsanzahlen. Für die Erhebung der Schiffsanzahl für die unterschiedlichen Kategorien Linienschiffe, Kreuzfahrtschiffe, Frachter und Arbeitsschiffe wurden von der via donau - Österreichische Wasserstraßen-GmbH für den Zeitraum 13.3.2019 – 4.3.2020 die Schiffsbewegungen auf der österreichischen Donau zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe eines eigens programmierten Auswertungstools konnten aus den insgesamt 59.872.000 Datensätzen die Anzahlen der Schiffe für die 11 betrachteten Querprofile für die angeführten Kategorien ermittelt werden. Als „Zählbereich“ wurden unterschiedliche Ansätze angewendet. Für den zum jeweiligen Querprofil zählenden Zählbereich wurden gewählt: (i) 3 km stromauf des jeweiligen Querprofils, (ii) Fließstrecke für 30 Minuten bei mittlerer Strömungsgeschwindigkeit der Donau stromauf des Querprofils zum Zeitpunkt der Probennahme und (iii) Strecke vom jeweiligen Querprofil bis zur nächsten Kraftwerksanlage. Letztere wurden in weiterer Folge auch zur Potenzialabschätzung sowie der Analyse der abgeschätzten Emissionen durch die Schifffahrt verwendet.

Abschätzung des Emissionspotenzials (ohne Maßnahmen) sowie der Emission (mit Maßnahmen) mikrobiologisch-fäkaler Einträge durch Donauschiffe. Die Emissionspotenzialabschätzung (ohne Aufbereitungs- oder Entsorgungsmaßnahmen) erfolgte durch die Kombination der durchschnittlichen Ausscheidungsmenge an *E. coli* pro Person und Tag (1.5×10^8 KBE/g x 150 g/Tag; KBE = koloniebildende Einheiten) und einer abgeschätzten Anzahl an Personen aufgeschlüsselt nach Schiffstyp und Wochentag/Saison. Für die Ermittlung der tatsächlichen Emissionen (mit Aufbereitungs- oder Entsorgungsmaßnahmen) wurde für (i) die Kreuzfahrtschiffe eine Reduktion von $-\log_{10}(1.9)$ via Bordkläranlagen, für die Linienschifffahrt eine sachgemäße Entsorgung in eine kommunale Abwasserreinigungsanlage (keine Emissionen) und (iii) die Frachter (Schwarze Schifffahrt) und Arbeitsschiffe eine direkt Entsorgung des ungereinigten Abwassers angenommen.

Ermittlung der Emission mikrobiologisch-fäkaler Einträge durch die kommunale Abwasserentsorgung aus Kläranlagen. Für jeden ausgewählten Abschnitt der Donau (oberhalb Wien, unterhalb Wien, Wien, gesamter Donauabschnitt Niederösterreich) wurden die entsprechenden Einwohner im Einzugsgebiet aufsummiert, mit der täglichen Ausscheidungsmenge an *E. coli* multipliziert und in Kombination der angenommenen mediane Reinigungsleistung von $-\log_{10}(2.3)$ (Mayer et al. 2016) die abgeschätzte Emission ausgehend von der kommunalen Abwasserreinigung berechnet. Die Abschätzung wurde für die Situation des Basisabflusses bei Trockenwetter durchgeführt (Mensch als die dominierende fäkale Verschmutzungsquelle).

Statistische Analyse. Mittels umfassender Korrelations- und Regressionsanalysen wurde versucht, die entscheidenden Umweltfaktoren, die die Schwankungen der *E. coli* Konzentrationen steuern, zu identifizieren. Zur Bestimmung der Korrelation wurden die Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten berechnet. Aufgrund der großen Anzahl der korrelierten Parameter (25) wurde ein p-Wert von 0,002 als Signifikanzniveau festgelegt (Bonferroni Korrektur), um zufällige Korrelationen auszuschließen. Um das Ausmaß des Einflusses mehrerer Parameter auf die Schwankungen der *E. coli* Konzentrationen zu bestimmen, wurde das Verfahren der multiplen linearen Regression angewendet. Alle Berechnungen wurden mit dem Programm SPSS v24 durchgeführt. Die Anzahl der ermittelten Linienschiffe pro Zeitpunkt war zu gering um in die Korrelations- und Regressionsanalysen mit einbezogen zu werden. Um potenzielle Unterschiede oberhalb und unterhalb von Schiffsstationen feststellen zu können, wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) angewendet.

LITERATUR

Badegewässerverordnung (2009) Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung. BGBl. II Nr. 349/2009.

ISO 9308-2:2012 (2012) Water quality -- Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria -- Part 2: Most probable number method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Kirschner AKT, Kavka GG, Velimirov B, Mach RL, Sommer R & Farnleitner AH (2009) Microbiological water quality along the Danube River: Integrating data from two whole-river surveys and a transnational monitoring network. *Water Research* 43: 3673-3684.

Kirschner AKT, Reischer GH, Jakwerth S, Savio D, Ixenmaier S, Toth E, Sommer R, Mach RL, Linke R, Eiler A, Kolarevic S & Farnleitner AH (2017) Multiparametric monitoring of microbial faecal pollution reveals the dominance of human contamination along the whole Danube River. *Water Research* 124: 543-555.

Mayer RE, Egle L, Bofill-Mas S, Reischer GH, Schade, M., Fernandez-Cassi, Mach RL, Lindner G, Fuchs, W., Kirschner, A, Gaisbauer M, Püringer H, Blaschke A.P., Girones R, Zessner M, Sommer R & Farnleitner AH (2016) Occurrence of human-associated *Bacteroidetes* genetic source tracking marker in raw and treated wastewater of municipal and domestic origin and comparison to standard and alternative indicators of faecal pollution. *Wat. Res.* 90: 265-276.