

**Institut für Hygiene, Mikrobiologie und Umweltmedizin der
Medizinischen Universität Graz**

Endbericht zum Projekt A2711000028:

„Anthropogene Einflüsse auf die Mikrobiozönose der Mur“

Projektleiter: ao. Univ. Prof. Mag .Dr. Franz Mascher

September 2009 bis August 2010

Gefördert vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung:

Abteilung 3 – Wissenschaft und Forschung

FA19A – Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft

FA17A – Energiewirtschaft und allgemeine technische Angelegenheiten

FA8B – Gesundheitswesen

Graz, November 2011

INHALT

1. ZUSAMMENFASSUNG	Seite 3
2. EINLEITUNG	Seite 4
3. MATERIAL UND METHODEN	Seite 6
4. ERGEBNISSE	Seite 8
4.1. Physikalisch-chemische Parameter	Seite 8
4.1.1. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmestellen	Seite 8
4.1.2. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmetage	Seite 11
4.2. Bakteriologische Parameter	Seite 13
4.2.1. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmestellen	Seite 13
4.2.2. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmetage	Seite 15
4.2.3. Bakteriologische Ergebnisse im Vergleich mit den Anforderungen an Badegewässer	Seite 19
5. DISKUSSION	Seite 24
5.1. Anthropogener Einfluss und Wasserqualität	Seite 24
5.2. Immissionsquellen anthropogener Belastungen	Seite 26
5.3. Mögliche Verbesserungsmaßnahmen	Seite 29
6. LITERATUR	Seite 30
7. ANHANG	Seite 32

1. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Studie wurde versucht den anthropogenen Einfluss auf die Mikrobiözönose der Mur durch den Nachweis der bakteriellen Fäkalindikatoren Fäkalcoliforme, Escherichia coli, Enterokokken und Salmonellen zu quantifizieren.

Aufgrund der Analysenergebnisse **ist ein massiver anthropogener Einfluss auf den Gehalt bakterieller Fäkalindikatoren der Mur gegeben**, wobei eine Zunahme der Belastungen mit der Fließrichtung und jahreszeitliche Schwankungen zu beobachten sind.

Eine Bewertung auf Basis der Anforderungen für Badegewässer weist die Mur als **ungeeignet für Bade- und vergleichbare Freizeitnutzungen** aus.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie basierend auf dem Nachweis von bakteriellen Fäkalindikatoren gehen somit mit der guten biologischen Gewässergüte gemäß Gewässergüteatlas bzw. mit dem biologischen Zustand hinsichtlich stofflicher Belastung gemäß Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan nicht konform. Letztere beruht auf ganz anderen Grundlagen, wobei ein Teil der Zustandsbewertung der biologische Befund, bestehend aus verschiedenen Modulen der Qualitätselemente Makrozoobenthos und Phytobenthos, ausmacht. Bakterielle Fäkalindikatoren stellen dabei aber keine Beurteilungsgrundlage für die darin definierten Qualitätsziele dar.

Die Untersuchungsergebnisse dokumentieren sehr gut den anthropogenen Einfluss auf die Wasserqualität der Mur und korrelieren mit den wichtigsten Immissionsquellen entlang der Fließstrecke. Für Aussagen in welchem Ausmaß die Belastungen einzelnen Faktoren, sowohl in Fließrichtung gesehen als auch in Bezug auf jahreszeitliche Schwankungen, im Detail zugerechnet werden können, ist das Untersuchungsnetz nicht engmaschig genug.

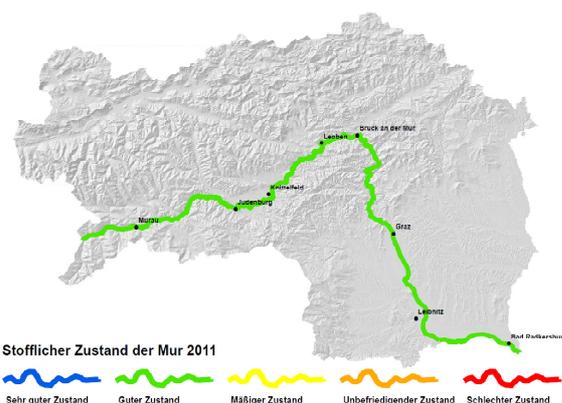
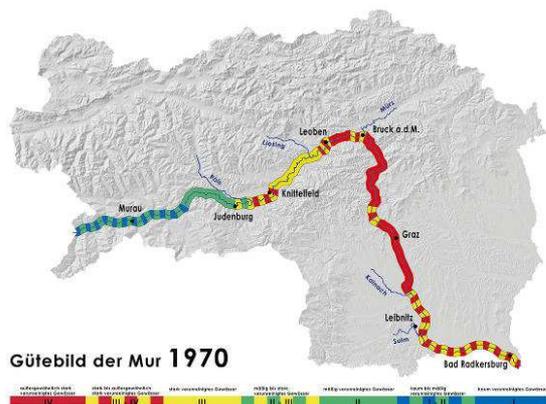
Es werden Möglichkeiten aufgezeigt die anthropogenen Belastungen auch bezüglich seuchenhygienischer Aspekte zu vermindern und **die Wasserqualität zu verbessern**, wenn diese auch mit erheblichen Investitionen verbunden sein kann. Es ist also eine Abwägung der Kosten und des Nutzens durchzuführen bzw. zu definieren, welche Priorität einer Freizeitnutzung von Fließgewässern eingeräumt wird.

Aus volksgesundheitlicher Sicht ist es zumindest erforderlich die Bevölkerung auf mögliche Gesundheitsgefahren bei einer Nutzung der Mur für Badezwecke und Wassersport zu informieren.

Generell sollte in Fließgewässern oder Abschnitten von Fließgewässern, in denen eine Nutzung für Badezwecke und Wassersport stattfindet oder beabsichtigt ist, ein geeignetes Messprogramm mit entsprechenden hygienischen Parametern (bakterielle Fäkalindikatoren) durchgeführt werden.

2. EINLEITUNG

Betrachtet man den **Gewässergüteatlas** der steirischen Fließgewässer, so lassen sich deutlich die Erfolge der jahrzehntelangen Bemühungen und Verbesserungen der Gewässergüte erkennen. Im Jahre 1970 wiesen die Hauptgewässer Mur, Pöls, Raab, Kainach und Enns eine sehr schlechte biologische Wasserqualität auf, wobei die Mur über weite Strecken durch die Gewässergüteklasse IV charakterisiert war. Zurückzuführen war dieser Zustand auf Abwässer aus Zellstofffabriken, vor allem an der Mur und an der Pöls. Aber auch andere gewerbliche, industrielle und kommunale Abwässer waren für die schlechte Wasserqualität verantwortlich. Abwässer aus eisenerzeugenden und eisenverarbeitenden Betrieben führten im Vorderbergerbach und im Thörlbach sogar zur Verödung der Gewässerbiozönose. Im Gewässergüteatlas 2005 [1] ist die Gewässergüteklasse II als Ziel für die allermeisten Gewässer nicht nur erreicht, sondern auch als gesichert zu betrachten. Sowohl im Gewässergüteatlas als auch gemäß Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan [2] weist die Mur, die bis weit in die 80er-Jahre als schmutzigster Fluss Europas bezeichnet worden ist, hinsichtlich der stofflichen Belastung einen guten Zustand auf.



Stofflicher Zustand der Mur anhand biologischer Qualitätselemente (Makrozoobenthos und Phytobenthos) [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2011].

Die Steiermark ist seit Jahrzehnten bemüht durch geeignete Maßnahmen die Wassergüte der Mur permanent zu verbessern. Die nachweislichen Erfolge dieser Maßnahmen sind umfassend dokumentiert. Diese Bemühungen zur permanenten Verbesserung der Wasserqualität der Mur sind auch ganz im Sinne der in der Wasserrahmenrichtlinie dokumentierten Maßnahmen und Ziele. Mit der Feststellung, Wasser ist keine übliche

Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt werden muss, gibt die **Wasserrahmenrichtlinie**, Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 [7], weit reichende Zielvorstellungen bei der Sanierung und beim Schutz von Gewässern vor.

Der Qualität von Fließgewässern kommt eine immer wichtigere Bedeutung zu, da Fließgewässer, nicht zuletzt auf Grund der zunehmend besseren Wasserqualität, auch immer mehr für Freizeitaktivitäten genutzt werden. Diesbezüglich sind Bootssport, Kajak, Rafting, Surfen und in zunehmendem Maße auch Baden und Schwimmen beispielhaft zu nennen. Es sind somit nicht allein ökologische Aspekte und Gedanken eines umfassenden Umwelt- und Naturschutzes im Vordergrund, sondern **zunehmend seuchenhygienische Aspekte und Anforderungen des Infektionsschutzes**. Auch für die Verwendung von Wasser für die Bewässerung von Gemüsekulturen und für Angelsport sind aus lebensmittelhygienischer Sicht entsprechende Vorkehrungsmaßnahmen zu treffen.

Unter Berücksichtigung obiger Ausführungen ist es allerdings verwunderlich und widersprüchlich, dass Fließgewässer sehr häufig die Anforderungen an die Qualität von Wasser, welches für oben genannte Freizeitaktivitäten genutzt werden will, nicht erfüllen. Diesbezüglich ist in erster Linie die weit verbreitete Nutzung von Oberflächengewässer für Badezwecke zu nennen. Insbesondere die Anforderungen an die bakteriologische Qualität des Badewassers, der Gehalt an Fäkalindikatoren wie *Escherichia coli*, Fäkalcoliforme, Enterokokken und Salmonellen, führen immer wieder zu Beanstandungen bzw. zu einer Nichtkonformität mit den gesetzlichen Bestimmungen für Badegewässer [3,4,5]. Es sind dies Parameter, die in den Abwasseremissionsverordnungen nicht enthalten sind und auch für die aktuelle Zustandsbewertung im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie nicht herangezogen werden.

Bei näherer Betrachtung muss man feststellen, dass sowohl bei der Erhebung der Wassergüte als auch für die Bewertung der Fließgewässer gemäß Wasserrahmenrichtlinie die Kriterien hauptsächlich auf physikalisch-chemischen, biologischen und ökologischen Kriterien beruhen, mikrobiologische Aspekte im Hinblick auf anthropogene Einflüsse dabei aber nicht berücksichtigt werden. Es ergibt sich daraus die Frage, inwieweit die Mur für die genannten Freizeitaktivitäten geeignet ist.

Als Basis für eine qualitative Bewertung im Hinblick auf die Nutzung der Mur für Freizeitaktivitäten dient die **Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer** [8] und deren Bewirtschaftung, welche durch eine Änderung des **Bäderhygienegesetzes und der Bäderhygieneverordnung** in nationales Recht umgesetzt wurde [3,4,5].

Für die Mur liegen nur wenige Untersuchungen mit Schwerpunkt Seuchenhygiene und Mikrobiologie vor [13,16,17]. Die aus diesem Projekt gewonnenen Daten sollen auf Basis validierter und mathematisch gesicherter Methoden eine **Quantifizierung bakterieller Indikatoren** erlauben, was die **Basis für eine hygienische Bewertung** des Wassers im Hinblick auf derzeitige und zukünftige Nutzungsmöglichkeiten darstellt. Weiteres sollen aus den Ergebnissen Aussagen über die **Kontaminationsquellen** und daraus resultierend über

mögliche **Verbesserungsmaßnahmen** abgeleitet werden können. Obwohl für österreichische Fließgewässer diesbezüglich kaum Studien und Erfahrungen vorliegen wird darauf hingewiesen, dass durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen sowohl eine ökologische als auch eine hygienische Verbesserung des Fließgewässerzustandes erreicht werden kann.

3. MATERIAL UND METHODEN

Das Projekt wurde im September 2009 umgehend nach Unterzeichnung des Förderungsvertrages gestartet. Es wurden in monatlichen Abständen an 21 festgelegten Probenahmestellen (Tab. 1) Proben gezogen und physikalisch-chemischen und mikrobiologischen Analysen im Umfang, wie im Projektantrag beschrieben, durchgeführt.

Tab.1: Probenahmestellen mit geographischer Länge, Breite und Seehöhe

Probenahmestellen		Geogr. Breite	Geogr. Länge	Seehöhe
P1	Predlitz	47°04'19" N	013°54'33" O	918 m
P2	St.Lorenzen/M	47°06'15" N	014°07'28" O	813 m
P3	Murau/Gestüthof	47°06'40" N	014°12'40" O	778 m
P4	Scheifling	47°09'24" N	014°24'10" O	732 m
P5	Thalheim	47°11'25" N	014°36'00" O	692 m
P6	Zeltweg	47°11'10" N	014°45'11" O	647 m
P7	St.Lorenzen/K	47°15'13" N	014°53'40" O	600 m
P8	Proleb/Niklasdorf	47°23'50" N	015°08'52" O	507 m
P9	Zlatten	47°22'05" N	015°19'38" O	468 m
P10	Frohnleiten	47°16'08" N	015°19'28" O	418 m
P11	Graz-Weinzödl	47°06'23" N	015°24'04" O	349 m
P12	Graz-Murinsel	47°04'22" N	015°26'05" O	340 m
P13	Graz-Augartensteg	47°03'39" N	015°26'04" O	339 m
P14	Graz-Puntigam	47°02'07" N	015°26'49" O	332 m
P15	Kalsdorf	46°58'05" N	015°29'20" O	315 m
P16	Wildon	46°53'11" N	015°31'10" O	294 m
P17	Gralla	46°49'42" N	015°33'56" O	279 m
P18	Landscha	46°45'59" N	015°34'19" O	264 m
P19	Spielfeld	46°42'36" N	015°38'03" O	247 m
P20	Mureck	46°42'26" N	015°47'07" O	231 m
P21	Radkersburg	46°41'03" N	015°59'14" O	209 m

Die Analytik vor Ort umfasste die Parameter Temperatur, pH-Wert und den Sauerstoffgehalt, sowie die Protokollierung besonderer Ereignisse (z.B. Witterungsbedingungen, Hochwasser u.a.).

Für die chemischen und bakteriologischen Analysen wurden an den definierten Probenahmstellen (Tab. 1) von Brücken ca. in Flussmitte Schöpfproben zu jeweils 1000 ml mittels geeigneter Gerätschaften und Gefäßen entnommen. Der Probentransport erfolgte gekühlt und die Proben wurden noch am Tag der Probenahme den entsprechenden Analysen zugeführt (bakteriologische Parameter) bzw. für spätere Analytik konserviert.

Die chemischen Analysen erfolgten im Umfang einer Ionenbilanz sowie Bestimmung der oxidierbaren organischen Substanzen und des Phosphorgehaltes. In mikrobiologischer Hinsicht wurden die Parameter Fäkalcoliforme (FC), Escherichia coli (EC), Enterokokken (EK) und Salmonellen (S) bestimmt. Die Typisierung der isolierten Salmonellen-Stämme wurde an der AGES–Graz durchgeführt. Sämtliche angewandten Untersuchungsmethoden sind im Parameterumfang der akkreditierten Prüf- und Inspektionsstelle am Institut für Hygiene enthalten (Tab. 2).

Tab. 2: Untersuchungsparameter und verwendete Analysemethoden

Parameter	Verfahren	Bezugsnorm
Temperatur	Elektronische Messung	DIN 38404-4
Sauerstoff	Lumineszenzmessung	EPA 360.3
pH	Potentiometrie	DIN 38404-5
Färbung	Photometrie	EN ISO 7887
Trübung	Turbidimetrie	EN ISO 7027
Elektr. Leitfähigkeit	Konduktometrie	EN 27888
Gesamthärte	Titrimetrie	DIN 38406-3.3
Karbonathärte	Titrimetrie	EN ISO 9963-1
Eisen	Photometrie	DIN 38406-1
Mangan	Photometrie	DIN 38406-33
Ammonium	Photometrie	DIN 38406-4
Nitrit	Photometrie	EN 26777
Nitrat	Ionenchromatographie	EN ISO 10304-1
Chlorid	Ionenchromatographie	EN ISO 10304-1
Sulfat	Ionenchromatographie	EN ISO 10304-1
Kaliumpermanganatverbrauch	Titrimetrie	EN ISO 8467
Phosphor	Photometrie	DIN EN 1189
Calcium	Titrimetrie	DIN 38406-3.2-4
Magnesium	Titrimetrie	DIN 38406-3.2-4
Kalium	Ionenchromatographie	Labormethode
Natrium	Ionenchromatographie	Labormethode
Fäkalcoliforme	MPN	Idexx Colilert-System
Escherichia coli	MPN	Idexx Colilert-System
Enterokokken	MPN	Idexx Enterolert-System
Salmonellen	Anreicherungsverfahren	ISO 6340

4. ERGEBNISSE

In den Abbildungen 1 bis 4 sind die wichtigsten physikalisch-chemischen und bakteriologischen Parameter im Verlauf der Fließrichtung bzw. im jahreszeitlichen Verlauf als Boxplots und Fehlerbalken dargestellt. Während in der Darstellung mittels Boxplots durch die Berücksichtigung des Medians und der oberen und unteren Perzentile sowie des Bereiches der gerade noch nicht extremen Werte die Verteilung und Schwankung der Analysendaten gut zum Ausdruck kommen, werden in der Auswertung über Fehlerbalken durch die Darstellung des Mittelwertes mit Konfidenzintervall die Änderungen der Konzentration deutlich ersichtlich.

4.1. Physikalisch-chemische Parameter

4.1.1. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmestellen

Die *Wassertemperaturen* an den jeweiligen Probenahmetagen zeigen eine kontinuierliche Zunahme mit der Fließstrecke (Abb. 1a).

Der *Sauerstoffgehalt* bzw. die *Sauerstoffsättigung* liegen mit nur geringen Abweichungen um den Sättigungswert von 100 Prozent. Weder auffällige Sauerstoffdefizite noch gravierende Übersättigungen sind feststellbar. Auf eine grafische Darstellung kann daher verzichtet werden.

Die *Trübung und Färbung* des Wassers sind mit der Fließstrecke zunehmend und auch die Schwankungsbreite nimmt tendenziell mit der Fließstrecke zu (Abb. 1b und 1c).

Die *elektrische Leitfähigkeit* als Summenparameter für die Mineralisation des Wassers zeigt von der Probenstelle P1 bis P4 einen fallenden Verlauf, nimmt aber ab P5 wieder kontinuierlich zu (Abb. 1d). Da sich die Gesamtmineralisation des Wassers in der elektrischen Leitfähigkeit widerspiegelt, wird auf eine grafische Darstellung der **Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium und der Anionen Chlorid, Sulfat und Nitrat sowie der Wasserhärten** verzichtet. Die Einzelergebnisse dieser Analysen sind im Anhang ersichtlich.

Der *Kaliumpermanganatverbrauch (oxidierbare organische Substanzen) und Gesamtposphor* zeigen einen korrelierten Verlauf. Von P1 bis P6 ist für beide Parameter ein nur mäßiger Anstieg mit Konzentrationen von meist weniger als 10 mg/l Kaliumpermanganatverbrauch und weniger als 20 µg/l Gesamtposphor zu beobachten. Bei P7 ist der erste und bei P11 der zweite deutliche Konzentrationsanstieg für diese Parameter festzustellen. Ab P11 betragen die Medianwerte rund 20 mg/l (Kaliumpermanganatverbrauch) bzw. 30 bis 40 µg/l (Gesamtposphor). Im weiteren Verlauf der Mur sind keine weiteren gravierenden Veränderungen der Median- bzw. Mittelwerte zu beobachten, allerdings nimmt die Schwankungsbreite der Konzentrationen zu (Abb. 1e und 1f).

Abb. 1a: Wassertemperatur (°C) im Vergleich der Probennahmestellen

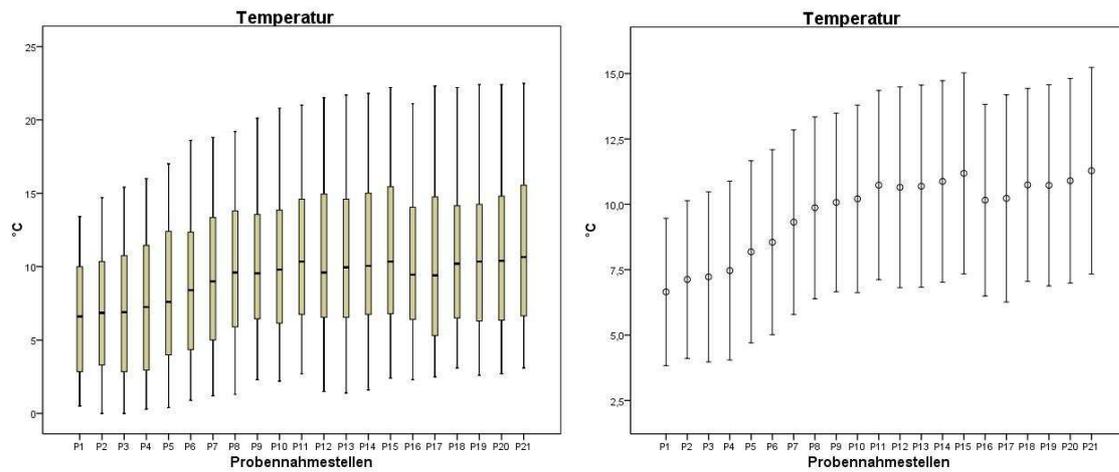


Abb. 1b: Färbung im Vergleich der Probennahmestellen

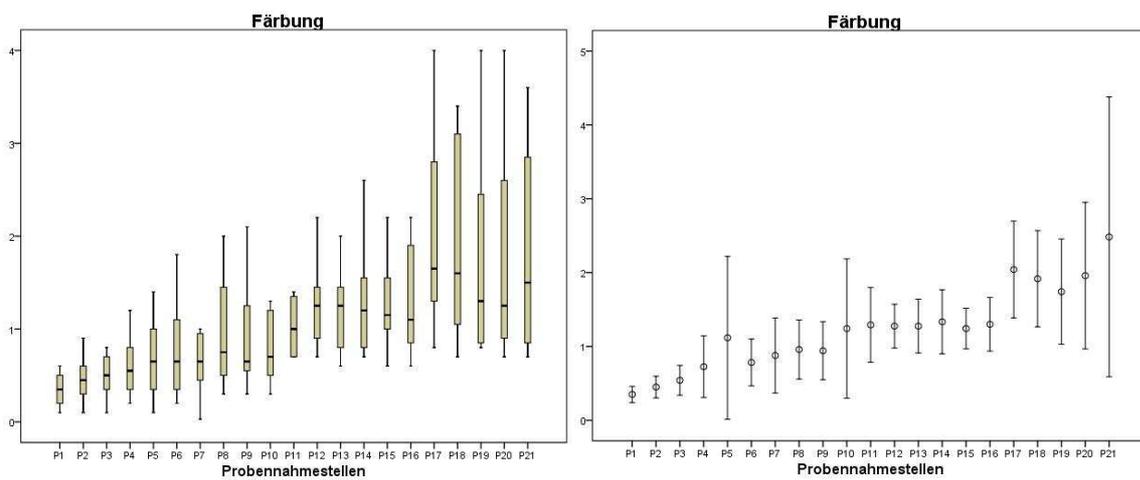


Abb. 1c: Trübung (FTU) im Vergleich der Probennahmestellen

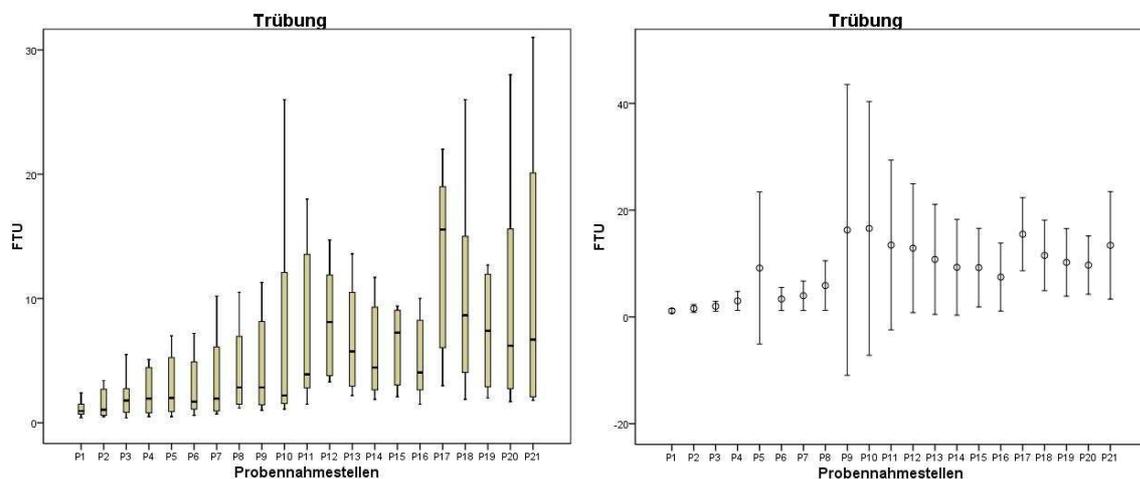


Abb. 1d: elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) im Vergleich der Probennahmestellen

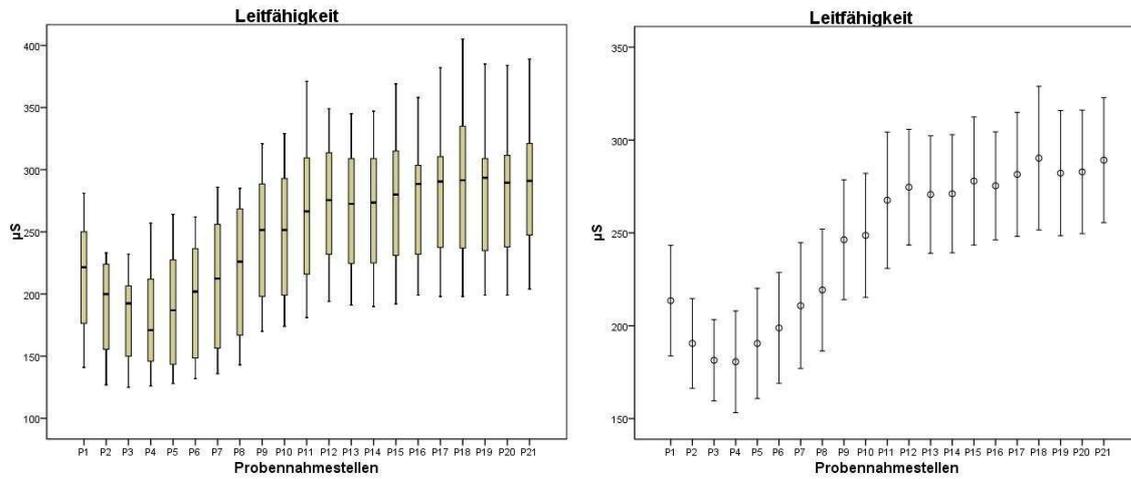


Abb. 1e: Kaliumpermanganatverbrauch (mg/l) im Vergleich der Probennahmestellen

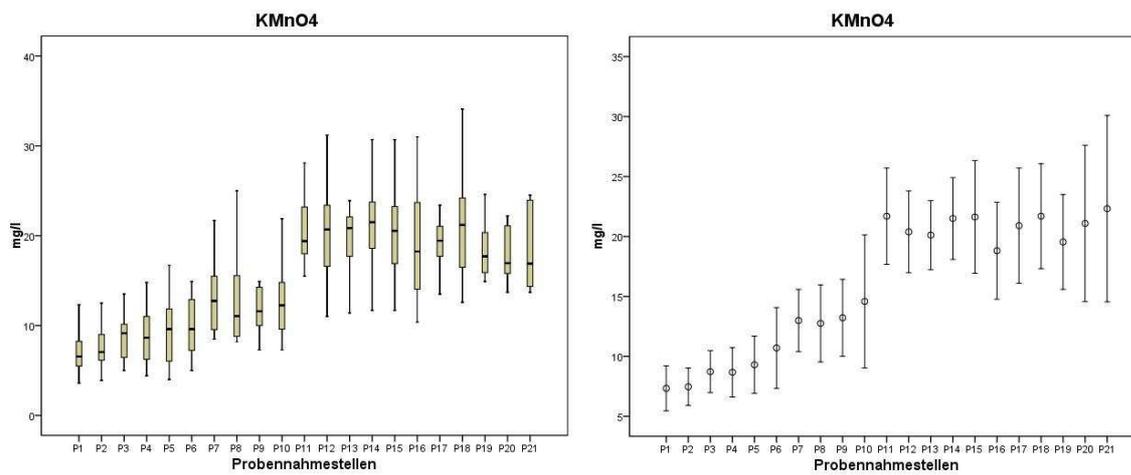
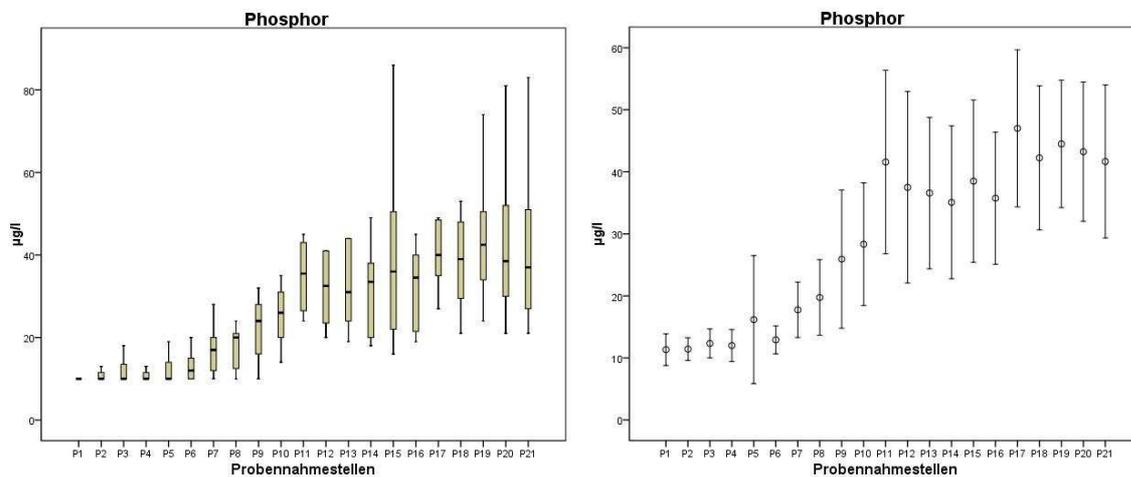


Abb. 1f: Gesamtphosphor ($\mu\text{g}/\text{l}$) im Vergleich der Probennahmestellen



4.1.2. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmetage

Um Unterschiede in den Analyseergebnissen im **jahreszeitlichen Verlauf** erkennbar zu machen, sind in den Abbildungen 2a bis 2f die jeweiligen Ergebnisse aller Probenahmestellen vom gleichen Untersuchungstag zusammengefasst.

Die **Wassertemperaturen** an den jeweiligen Probenahmetagen zeigen einen der Jahreszeit entsprechenden Verlauf (Abb. 2a).

Hinsichtlich der **Trübung und Färbung** des Wassers sind einzelne Monate mit vergleichsweise deutlich erhöhten Werten zu beobachten (Abb. 2b und 2c). Ein Zusammenhang mit der Niederschlagstätigkeit und den Durchflussmengen ist naheliegend und wird an anderer Stelle diskutiert.

Die **elektrische Leitfähigkeit** und damit zusammenhängend die Mineralisation des Wassers steigt ab Projektbeginn im September deutlich an mit einem Höhepunkt im Februar und nimmt danach wieder ebenso deutlich ab mit den niedrigsten Werten im Mai. Es besteht eine deutliche Korrelation mit der Niederschlagstätigkeit und den Durchflussmengen bzw. mit der Schneeschmelze (Abb. 2d).

Auch der Nährstoffgehalt (**Kaliumpermanganatverbrauch und Phosphor**) des Wassers zeigt deutliche Schwankungen im Jahresverlauf mit den höchsten Konzentrationen im September 2009 und August 2010 (2e und 2f). Auch diesbezüglich ist ein Zusammenhang mit der Niederschlagstätigkeit und den Durchflussmengen naheliegend.

Abb. 2a: Wassertemperatur (°C) im jahreszeitlichen Verlauf

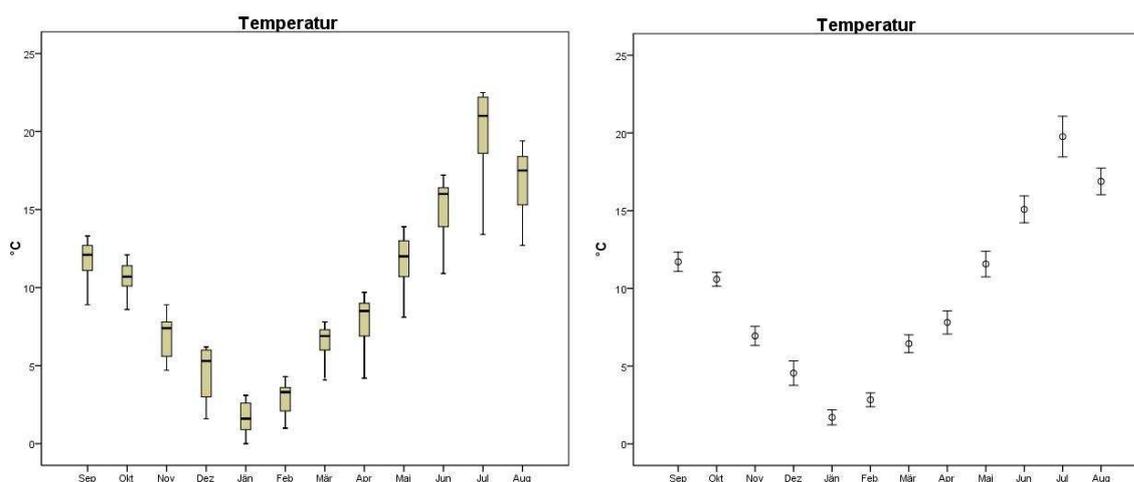


Abb. 2b: Färbung im jahreszeitlichen Verlauf

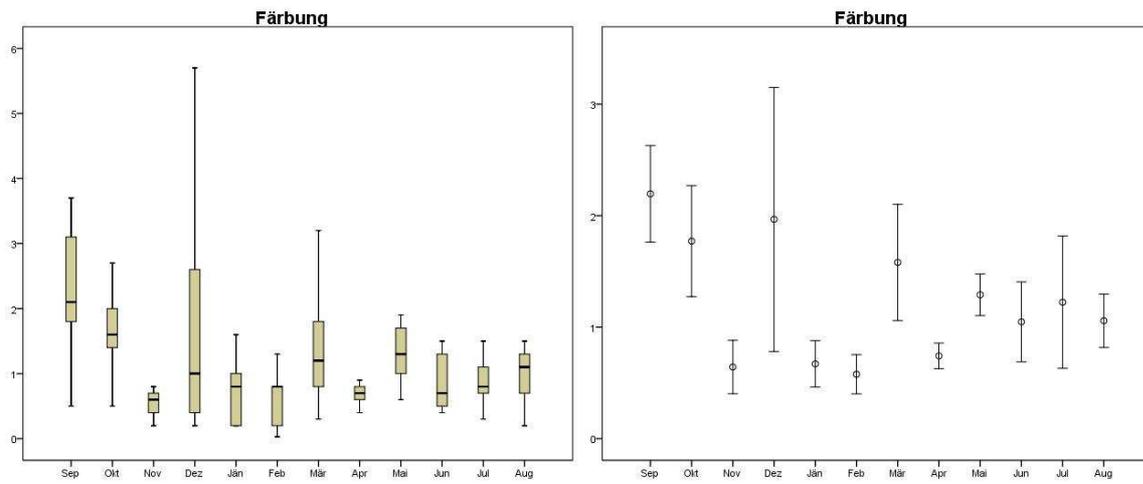


Abb. 2c: Trübung (FTU) im jahreszeitlichen Verlauf

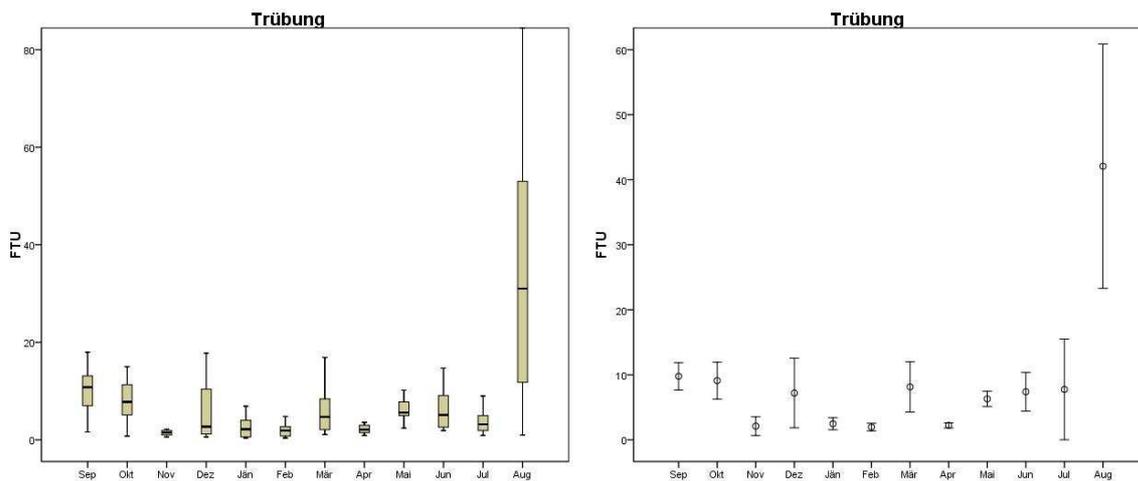


Abb. 2d: elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) im jahreszeitlichen Verlauf

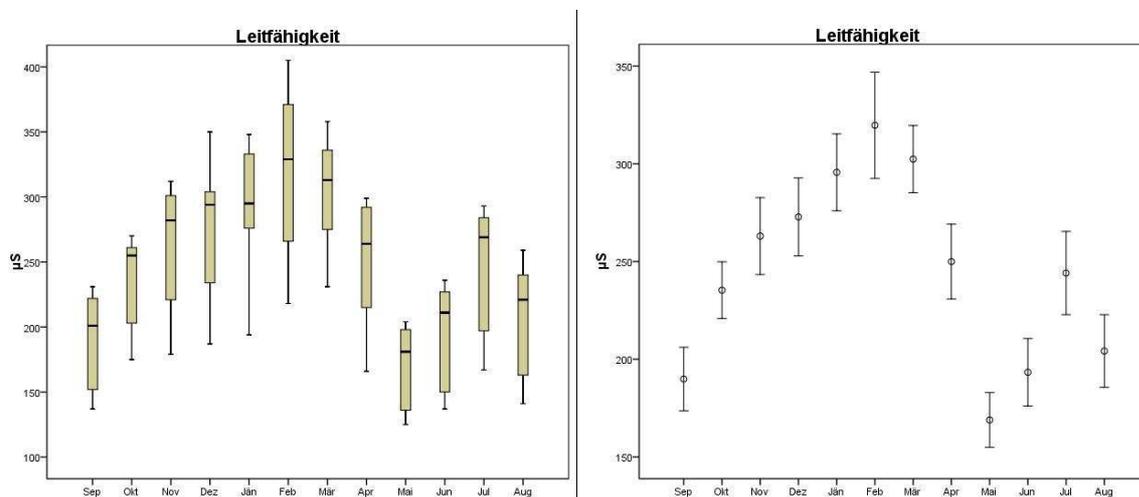


Abb. 2e: Kaliumpermanganatverbrauch (mg/l) im jahreszeitlichen Verlauf

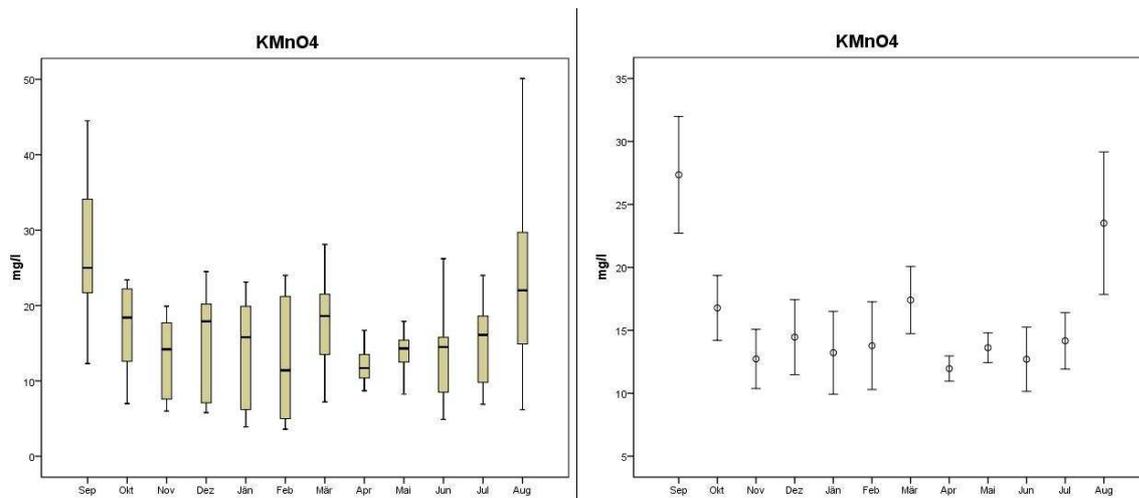
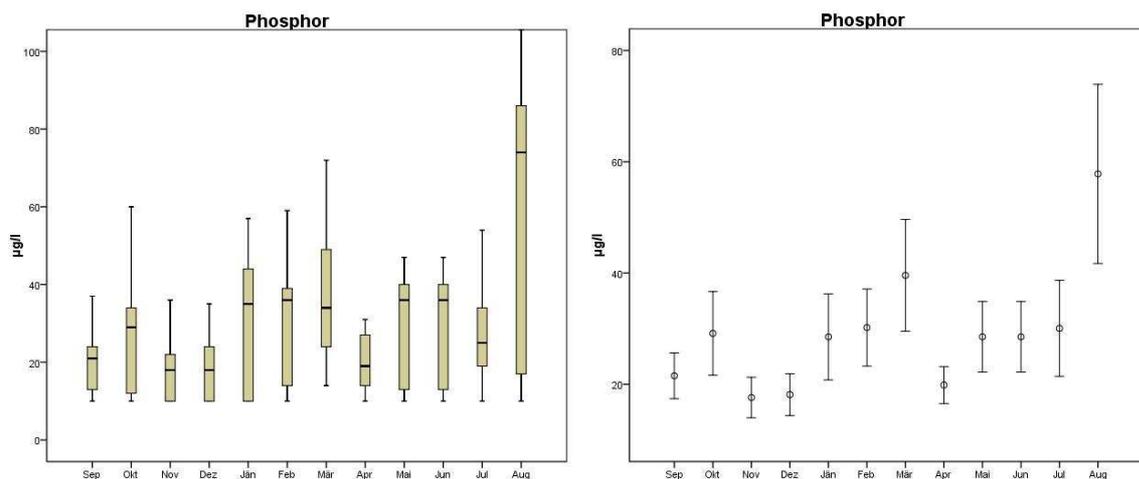


Abb. 2f: Gesamtphosphor ($\mu\text{g/l}$) im jahreszeitlichen Verlauf



4.2. Bakteriologische Parameter

4.2.1. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmestellen

Im Verlauf der Fließstrecke sind deutliche Schwankungen der bakteriologischen Belastung zu beobachten. **Im Oberlauf** von P1 bis P6 liegen die Medianwerte für *Fäkalcoliforme* knapp, für *E.coli* und *Enterokokken* deutlich unter 1000/100ml, *Salmonellen* waren nur selten nachweisbar. **Bei P7** ist bei allen bakteriologischen Parametern ein sprunghafter Anstieg der Konzentrationen begleitet von einer zunehmenden Schwankungsbreite festzustellen. Die höchsten bakteriologischen Belastungen weisen die Probenahmestellen im Abströmbereich von Graz **ab P15** auf. *Salmonellen* waren insgesamt in 111 (44%) der 252 Proben nachweisbar mit einer signifikant höheren Nachweisrate ab P7 (56%) im Vergleich zu den von P1 bis P6 (14%) gezogenen Proben. In den Abbildungen 3a bis 3c sind die

bakteriologischen Parameter (FC, EC, EK) in Fließrichtung von P1 bis P21 als Boxplots und Fehlerbalken dargestellt. Die Ergebnisse des qualitativen Nachweises von Salmonellen sind der Abbildung 7d zu entnehmen.

Abb. 3a: Fäkalcoliforme (MPN/100 ml) im Vergleich der Probenahmestellen

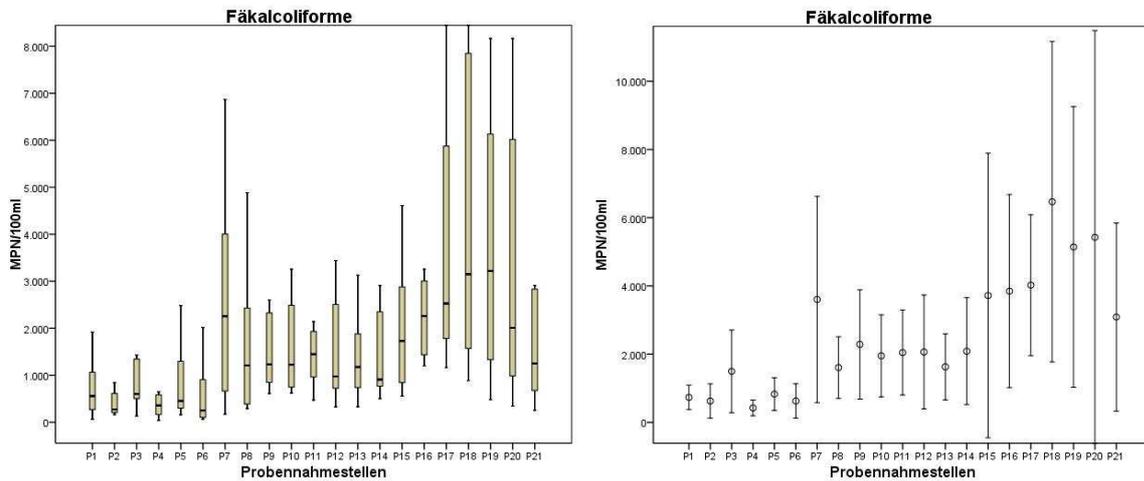


Abb. 3b: Escherichia coli (MPN/100 ml) im Vergleich der Probenahmestellen

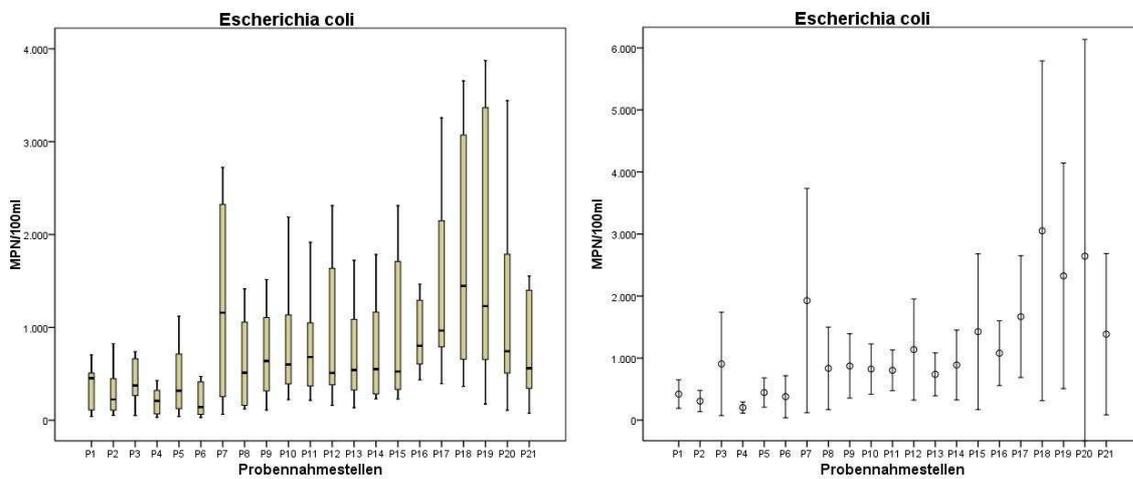
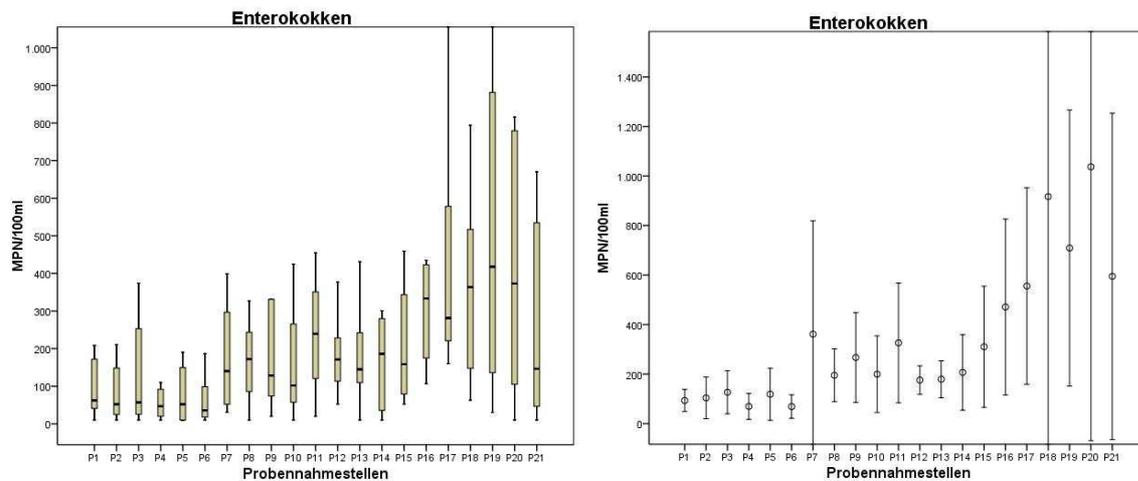


Abb. 3c: Enterokokken (MPN/100 ml) im Vergleich der Probenahmestellen



4.2.2. Ergebnisse im Vergleich der Probenahmetage

Auch im **jahreszeitlichen Verlauf** sind hinsichtlich der **bakteriologischen Parameter** Unterschiede zu erkennen. Für Fäkalcoliforme als auch Escherichia coli und Enterokokken weisen die Proben von den Monaten September, Oktober und Dezember 2009 sowie Juni und August 2010 die höchsten Konzentrationen und auch die größten Schwankungsbreiten der Ergebnisse auf (Abb. 4a bis 4 c).

Abb. 4a: Fäkalcoliforme (MPN/100 ml) im jahreszeitlichen Verlauf

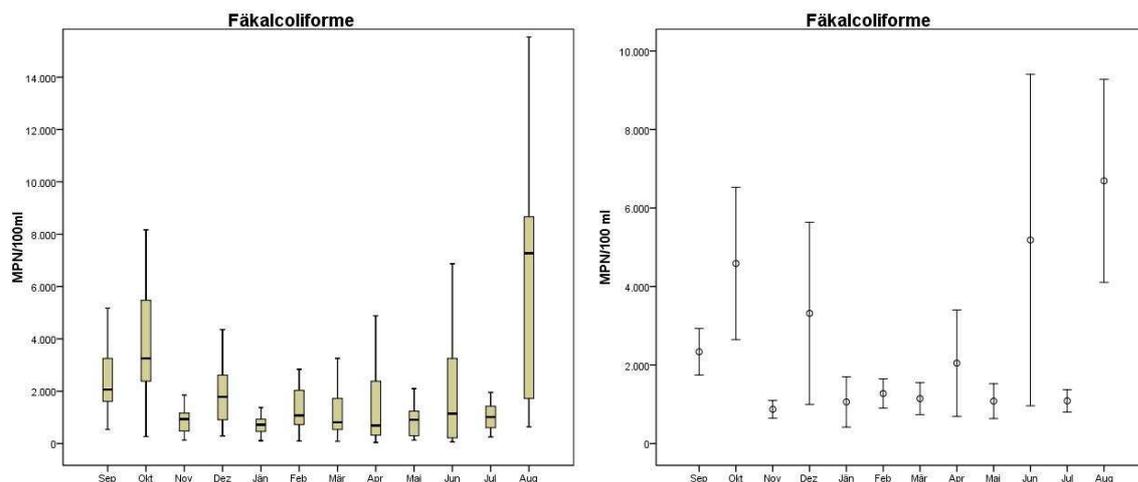


Abb. 4b: Escherichia coli (MPN/100 ml) im jahreszeitlichen Verlauf

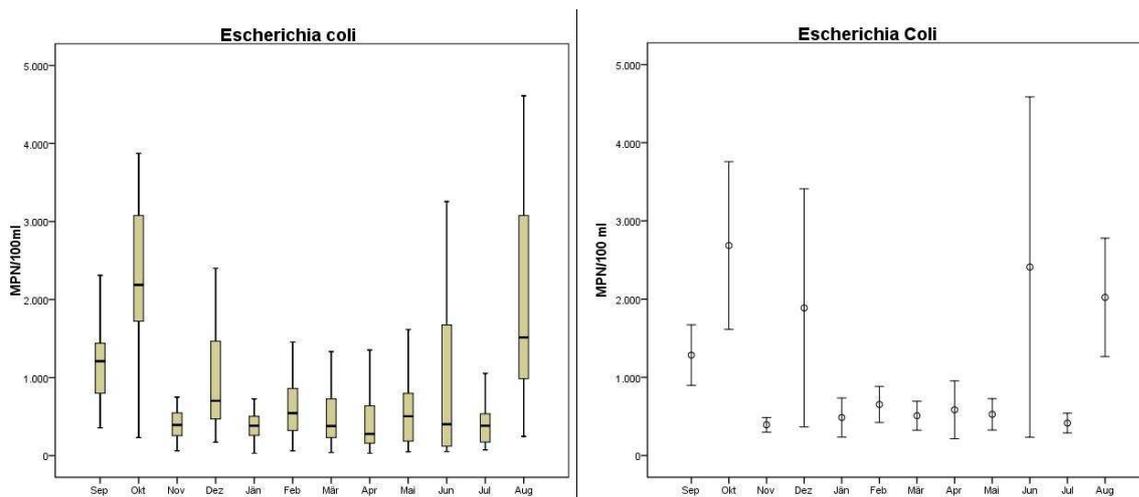
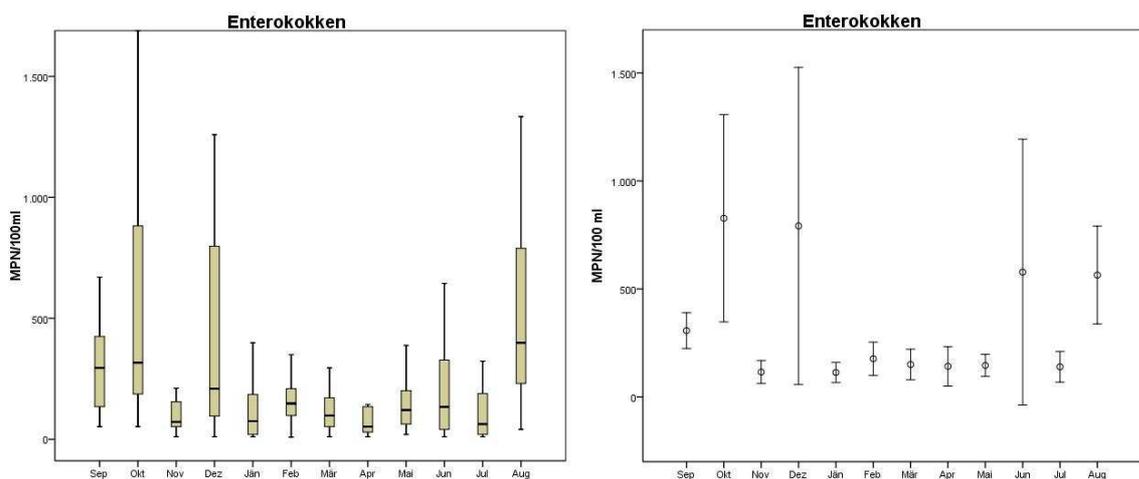


Abb. 4c: Enterokokken (MPN/100 ml) im jahreszeitlichen Verlauf



Da das Abflussregime von Flüssen im Wesentlichen durch Niederschlagstätigkeit und Schneeschmelze beeinflusst wird und somit jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, sind Korrelationen zwischen den Durchflussmengen und den jahreszeitlichen Schwankungen der bakteriologischen Fäkalindikatoren bedingt durch Verdünnungseffekte einerseits, aber auch Konzentrationserhöhungen durch die Freisetzung von Mikroorganismen aus dem Sediment andererseits möglich. In den Abbildungen 5 und 6 wurden die Tagesmittelwerte der Durchflussmengen (m^3/s) in Graz bzw. die Tagesniederschlagsmengen (mm) in Graz-Thalerhof den Konzentrationen an Fäkalcoliformen bei P14 gegenübergestellt. Eine signifikante Korrelation ist aus diesen Darstellungen zwar nicht abzuleiten, die bakteriologische Belastung ist aber in den Sommermonaten nach der Schneeschmelze bis in den Spätherbst signifikant höher als in den Wintermonaten.

Abb. 5: Durchflussmengen (Tagesmittelwerte) der Mur (m³/s) in Graz [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA 19A, Hydrographischer Dienst] und Fäkalcoliforme an der Probenahmestelle P14 (Graz/Puntigam)

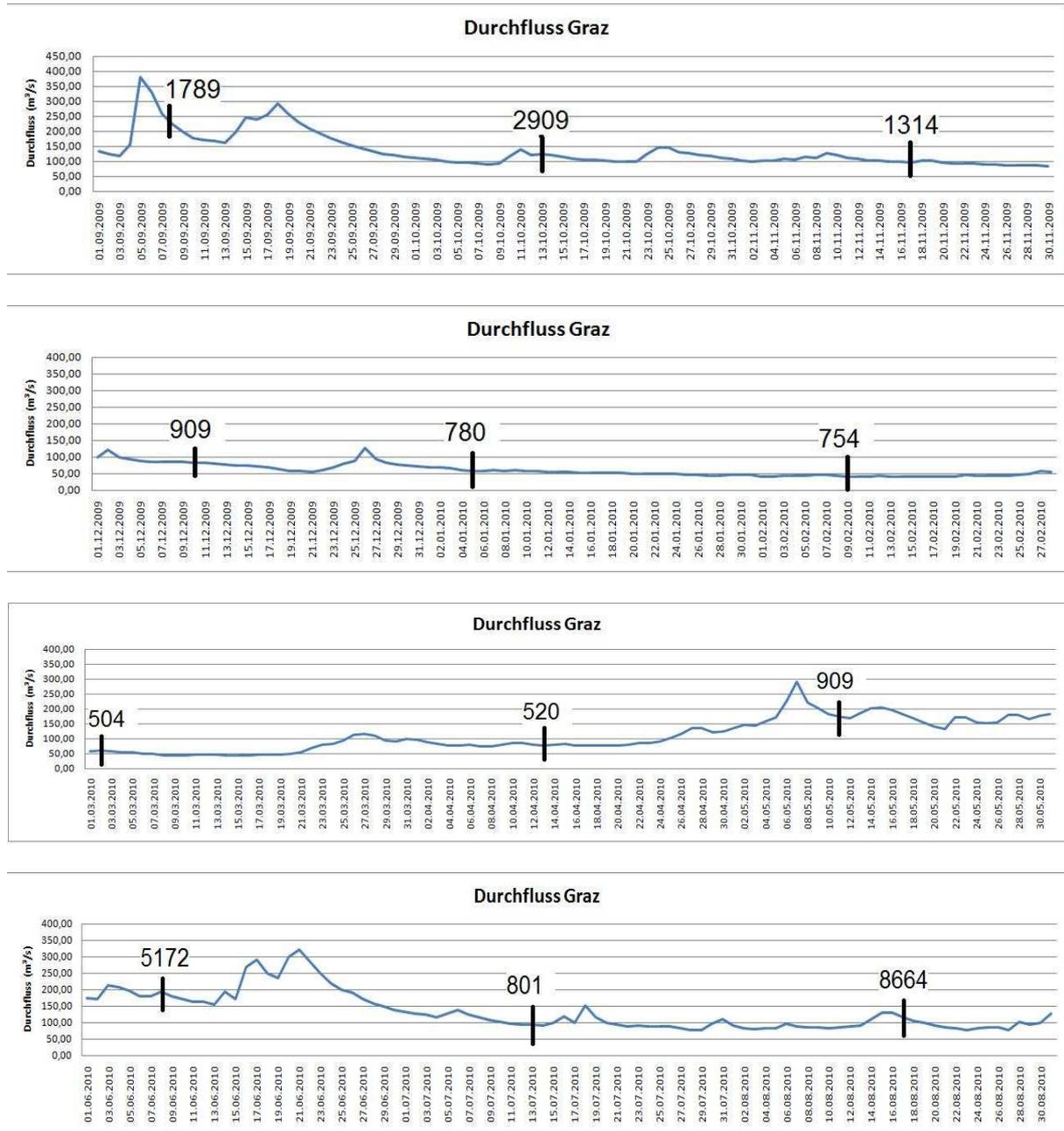
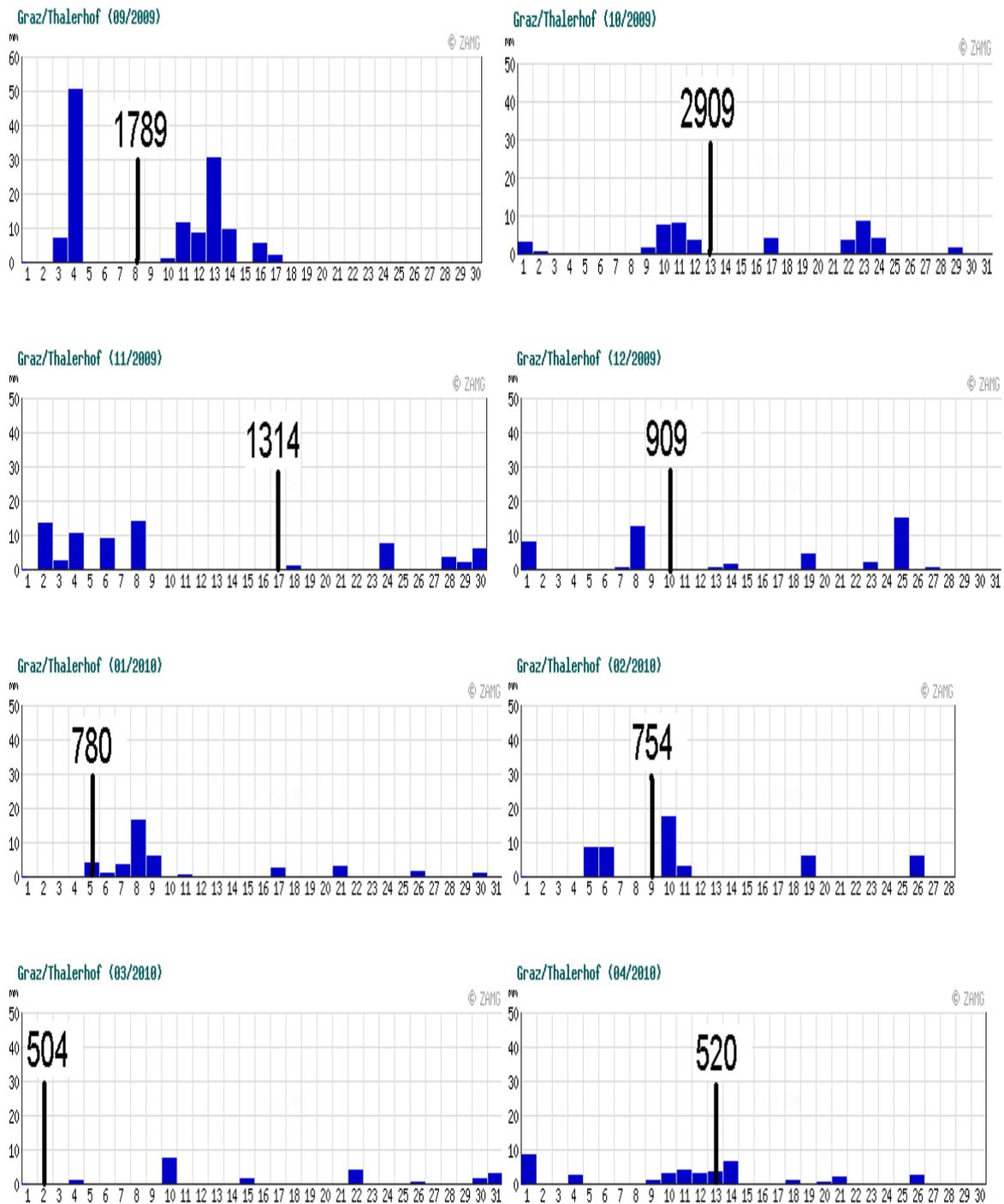
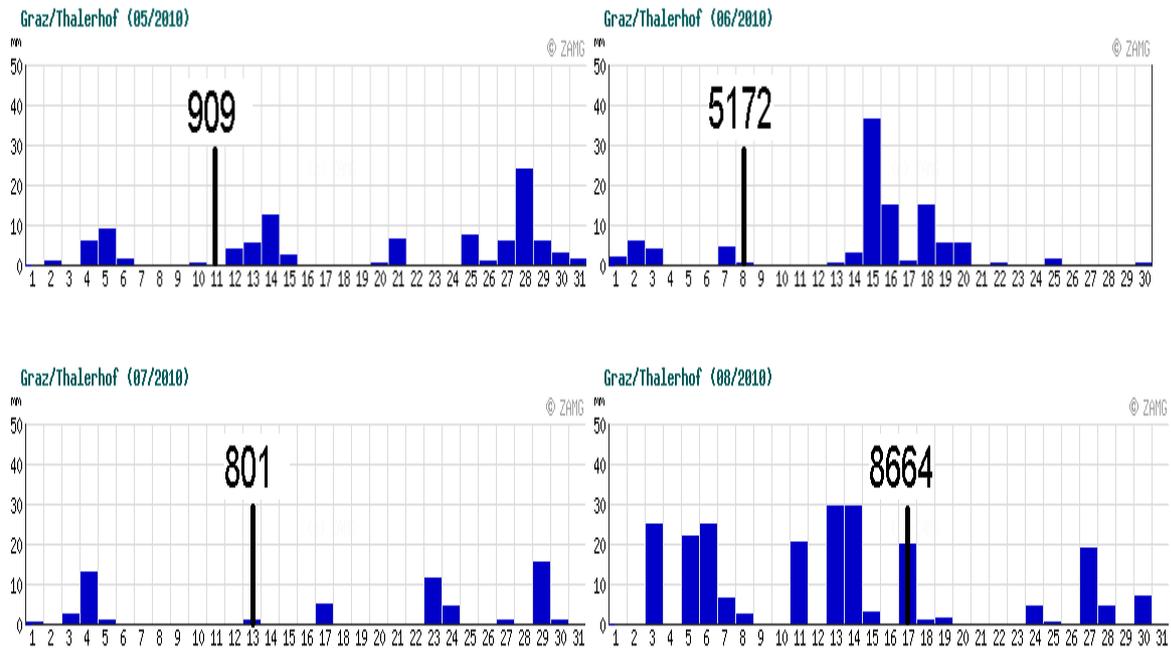


Abb. 6: Niederschlagsmengen (mm) in Graz/Thalerhof (ZAMG) und Fäkalcoliforme an der Probenahmestelle P14 (Graz/Puntigam)





4.2.3. Ergebnisse der bakteriologischen Analysen im Vergleich mit den Anforderungen an Badegewässer

In den Abbildungen 7a bis 7d sind für alle bakteriologischen Parameter sämtlicher Probenahmestellen und Probenahmetage die Analyseergebnisse in Gruppen zusammengefasst und farblich dargestellt. Die Gruppeneinteilung erfolgte nach den Kriterien der Badegewässerverordnung [5], in Anlehnung an die Anlage 1 für die Parameter *Escherichia coli* und Enterokokken und in Anlehnung an die Anlage 2 für die Einstufung der Wasserqualität anhand des Parameters Fäkalcoliforme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zugrunde liegenden Grenzwerte als 95er Perzentile für die Einstufung von Badestellen gedacht sind und in gegenständlicher Darstellung auch für eine Bewertung von Einzelergebnissen verwendet wurden.

Da der Nachweis von Salmonellen nur qualitativ erfolgte, steht grün für ein negatives Ergebnis und rot für den Nachweis von Salmonellen. In 44% der Proben wurden Salmonellen nachgewiesen mit einem deutlichen Anstieg der Nachweisrate ab Probenahmestelle P7. Die Nachweisrate für Salmonellen beträgt für die Probenahmestellen P1 bis P6 14%, für die Probenahmestellen P7 bis P21 56%.

Obwohl derartige Simplifizierungen von Analysendaten mit gewissen Nachteilen verbunden sind, erlaubt diese Vorgangsweise doch eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse, sowohl hinsichtlich des Verlaufs in Fließrichtung, als auch der jahreszeitlichen Schwankungen. In Abbildung 7e sind die Probenahmestellen in solche ohne jegliche Grenzwertüberschreitungen für bakteriologische Parameter und solche mit zumindest einer Grenzwertüberschreitung aufgetrennt. Diese Darstellung weist insgesamt nur 110 aus 252 Messungen, das sind 43%, ohne Grenzwertüberschreitungen aus. Die Probenahmestellen P1 bis P6 waren noch zu 79% ohne Grenzwertüberschreitungen, von P7 bis P21 zeigten nur mehr 29% der Proben keine Grenzwertüberschreitungen. Über den gesamten

Beobachtungszeitraum erfüllte keine einzige Probenahmestelle den definierten bakteriologischen Anforderungen an ein Badegewässer.

Trotz der oben beschriebenen Einschränkungen hinsichtlich der Gruppierung der Analyseergebnisse für die einzelnen bakteriologischen Parameter auf Basis z.T. unterschiedlicher Beurteilungsgrundlagen, ergibt sich aus den Abbildungen 7a bis 7e doch in Summe eine übersichtliche Darstellung der bakteriologischen Belastung der Mur entlang der Fließstrecke und des jahreszeitlichen Einflusses.

Abb. 7a: Fäkalcoliforme (MPN/100ml)

FC	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
P1	540	576	488	1421	315	933	1918	226	189	63	1198	933
P2	840	272	275	383	201	295	179	266	161	216	2700	1723
P3	5170	5794	1095	565	637	537	537	323	131	473	1430	1259
P4	570	420	132	292	464	201	594	41	185	146	1401	644
P5	860	933	479	2481	426	379	218	158	399	160	1789	1658
P6	933	2382	201	880	107	97	86	63	299	160	299	2014
P7	1670	17329	171	4352	6867	2841	3255	3654	441	197	884	1565
P8	3255	4884	399	2613	2247	1333	1086	749	293	318	374	1723
P9	1935	5172	934	2603	1145	2046	733	759	1317	960	609	9208
P10	2064	3255	1010	1785	771	1439	860	691	2909	620	723	7270
P11	2142	4611	1658	1296	717	1597	813	471	1112	1145	1720	7270
P12	1935	3441	933	988	712	733	644	327	1211	3076	960	9805
P13	1616	2143	1169	839	638	1076	384	331	1178	3130	1234	5794
P14	1789	2909	1314	909	780	754	504	520	909	5172	801	8664
P15	4611	2909	959	1076	723	2613	556	2382	727	2851	1014	24196
P16	2481	2489	1850	2755	1376	2035	1198	10462	1236	3255	1500	15531
P17	3448	2909	1333	11199	1162	2142	1607	4884	2098	6867	1956	8664
P18	3448	5475	1421	22820	884	2282	1723	9208	2851	19836	1178	6488
P19	2987	6131	754	6131	933	1725	2143	4611	3448	24196	479	8164
P20	3873	8164	1043	2046	798	1012	2247	1968	960	34480	341	8164
P21	2909	14136	712	2247	355	728	2755	934	644	1565	256	9804

MPN <100 100-2000 >2000

Abb. 7b: Escherichia coli (MPN/100ml)

EC	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
P1	450	504	256	703	41	457	1333	121	98	52	512	504
P2	630	231	158	256	52	98	118	266	75	216	823	754
P3	4350	2851	588	379	369	285	213	246	51	301	504	738
P4	380	426	62	173	243	97	262	31	74	63	384	246
P5	663	663	313	763	218	323	41	41	199	52	939	1119
P6	355	1725	109	471	30	63	52	63	218	85	175	1187
P7	801	10462	84	2400	2723	2247	1515	1497	187	63	323	820
P8	1414	3873	175	1126	677	529	495	350	146	121	122	987
P9	959	3076	408	1201	457	1012	288	303	820	327	110	1515
P10	1439	2187	571	677	379	631	480	404	826	269	223	1789
P11	1483	1918	749	598	259	959	336	216	613	402	1054	1043
P12	1421	2310	457	471	384	373	379	160	689	1850	548	4611
P13	1106	1722	393	332	318	545	231	135	798	1674	537	1067
P14	1119	1785	738	556	383	293	231	265	546	1211	272	3255
P15	2310	1935	313	602	448	1455	228	279	350	1483	435	7270
P16	1211	1374	512	1467	644	958	435	638	573	1046	644	3441
P17	1071	2282	548	5794	727	862	855	1354	860	3255	393	2014
P18	1396	2489	631	15290	631	780	683	3654	1497	7270	364	1935
P19	1439	3873	323	3654	465	842	1019	959	1616	10462	175	3076
P20	1725	3441	512	1187	504	545	727	759	504	19863	108	1850
P21	1246	7270	364	1553	265	377	780	556	323	565	74	3255

MPN <500 500-1000 >1000

Abb. 7c: Enterokokken (MPN/100ml)

EK	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
P1	86	173	52	50	31	209	171	41	73	10	185	41
P2	96	52	72	30	<10	20	<10	30	201	52	464	211
P3	374	323	62	80	20	10	52	41	20	31	323	183
P4	110	110	63	10	20	20	74	<10	31	20	305	63
P5	52	109	52	190	20	9	<10	<10	74	10	529	359
P6	135	187	20	63	10	16	41	<10	63	31	20	231
P7	121	2613	31	211	399	98	160	383	31	52	52	185
P8	231	631	20	256	231	187	158	120	62	110	<10	327
P9	135	882	74	332	74	272	52	122	331	121	20	789
P10	425	350	63	148	63	131	73	52	181	41	10	860
P11	410	1467	455	262	97	292	108	20	238	134	189	241
P12	211	246	175	131	161	171	96	52	171	256	63	377
P13	275	193	156	209	134	134	98	10	121	327	62	431
P14	295	265	10	199	185	187	41	31	74	301	10	884
P15	459	171	75	96	228	785	52	75	146	218	84	1334
P16	411	317	397	798	209	350	107	144	206	435	135	2142
P17	512	291	211	2359	241	231	199	471	160	644	272	1076
P18	354	563	148	7270	63	148	295	794	373	376	145	471
P19	488	1723	41	1259	85	187	448	368	388	2987	30	504
P20	591	3255	155	816	75	145	650	135	75	5794	10	743
P21	670	3448	86	1860	20	106	256	52	41	187	<10	399

MPN <200 200-400 >400

Abb. 7d: Qualitativer Nachweis von Salmonellen in 1000 ml

S	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
P1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
P8	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
P9	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0
P10	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
P11	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
P12	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
P13	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
P14	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
P15	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
P16	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
P17	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1
P18	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
P19	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
P20	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
P21	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1

0=negativ 1=positiv

Abb. 7e: Proben mit und ohne Grenzwertüberschreitungen

	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
P1												
P2												
P3												
P4												
P5												
P6												
P7												
P8												
P9												
P10												
P11												
P12												
P13												
P14												
P15												
P16												
P17												
P18												
P19												
P20												
P21												

keine Grenzwertüberschreitungen Grenzwertüberschreitungen
n = 110 n = 142

In den Abbildungen 8a und 8b sind die 90er Perzentilen für *Escherichia coli* und Enterokokken dargestellt. Die Grenzwerte für eine ausreichende Wasserqualität gemäß Badegewässerverordnung Anlage 1 [5] betragen für *Escherichia coli* 900 KBE/100ml und für Enterokokken 330 KBE/100ml und sind als schwarze Linien in die Abbildungen eingetragen. Die Eignung der Mur als Badegewässer ist nur vereinzelt im oberen Abschnitt der Fließstrecke von P1 bis P6 gegeben. Für beide bakteriologischen Parameter sind nur an einer einzigen Probenahmestelle bei P4 die Grenzwerte eingehalten. Die erste massive Grenzwertüberschreitung ist bei P7 festzustellen und ein weiterer dramatischer Anstieg der jeweiligen Konzentration unterhalb von Graz mit zum Teil massiven Grenzwertüberschreitungen.

Abb 8a: 90er Perzentile für *Escherichia coli* (Grenzwert 900/100ml)

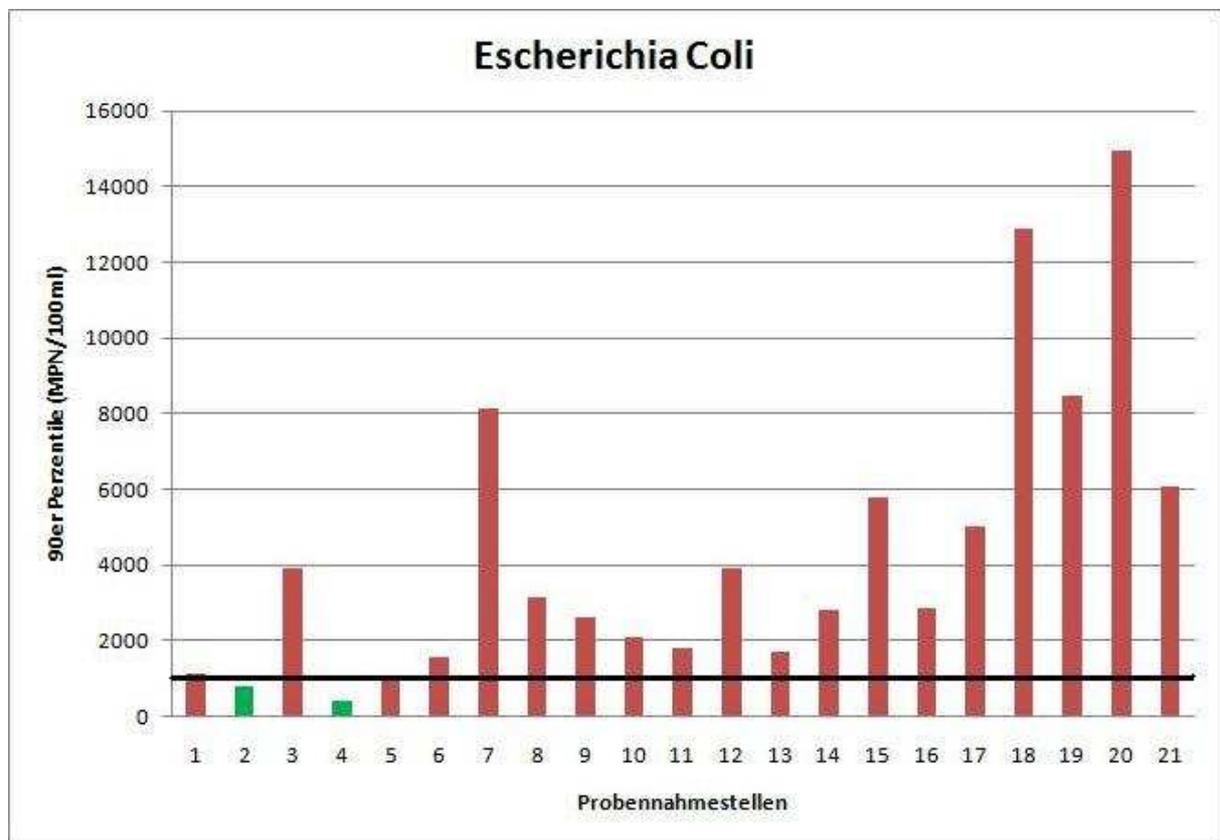
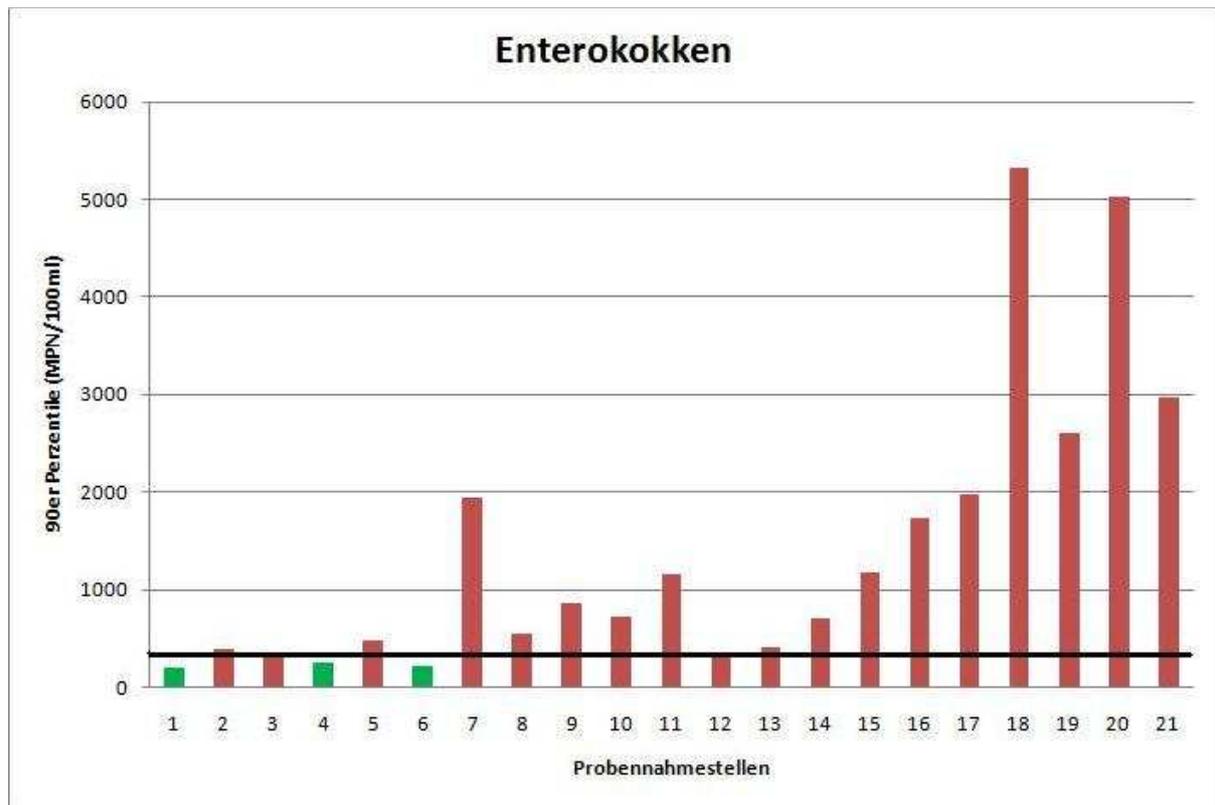


Abb 8b: 90er Perzentile für Enterokokken (Grenzwert 330/100ml)



5. DISKUSSION

5.1. Anthropogener Einfluss und Wasserqualität

In der gegenständlichen Studie wurde versucht den anthropogenen Einfluss auf die Mikrobiözönose der Mur durch den Nachweis der bakteriellen Fäkalindikatoren Fäkalcoliforme, Escherichia coli, Enterokokken und Salmonellen zu quantifizieren. Ein Vergleich der Analysendaten mit den Anforderungen für Badegewässer zeigt, dass die Mur keine einzige Probenahmestelle aufweist, welche als Badestelle im Sinne der BGewV [5] geeignet wäre. Während im oberen Abschnitt der Mur bis P6 die Grenzwertüberschreitungen noch als moderat bezeichnet werden können, sind insbesondere im unteren Flussabschnitt ab P15 ganz massive Grenzwertüberschreitungen festzustellen.

Aufgrund der Analysenergebnisse **ist ein massiver anthropogener Einfluss auf den Gehalt bakterieller Fäkalindikatoren der Mur gegeben**, wobei eine Zunahme der Belastungen mit der Fließrichtung und jahreszeitliche Schwankungen zu beobachten sind.

In den Abbildungen 7 und 8 sind die bakteriologischen Parameter in Bezug zu gegenwärtigen und zukünftigen Grenzwerten für Badegewässer dargestellt. Am augenscheinlichsten und aussagekräftigsten ist die Bewertung der Badestellen mittels 90er Perzentile gemäß BGewV

[5] für *Escherichia coli* und Enterokokken, welche 2013 in Kraft tritt. Auf Basis dieser Bewertungsgrundlage (Abb. 8a, 8b) kann die Mur grob in 3 Abschnitte unterteilt werden, den Oberlauf von P1 bis P6 (Predlitz bis Zeltweg) als relativ gering belastet mit nur moderaten Grenzwertüberschreitungen, den mittleren Abschnitt mit einem sprunghaften Anstieg der Belastung mit bakteriellen Fäkalindikatoren bei P7 (Knittelfeld) und nachfolgend leichtem Rückgang der Konzentrationen bis P14 (Graz), und dem unteren Teil mit massiven Grenzwertüberschreitungen von P15 bis P21 (Kalsdorf bis Radkersburg). Diesbezüglich ist zu berücksichtigen, dass die in der BGewV festgesetzten und auf der EU-Richtlinie basierenden Grenzwerte aus hygienischer Sicht deutlich zu hoch angesetzt sind und aufgrund der Ergebnisse umfangreicher Studien [10,26,27] eine deutliche Absenkung der Grenzwerte für bakterielle Fäkalindikatoren zu fordern ist. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der physikalisch-chemischen Analysen, insbesondere die Parameter Phosphor und Kaliumpermanganatverbrauch, weist in Fließrichtung weitgehende Korrelationen mit den Ergebnissen der bakteriologischen Analysen auf. Von P1 bis P6 ist eine moderate aber kontinuierliche Zunahme der Konzentrationen zu beobachten, bei P7 ein erster signifikanter Anstieg und, zum Unterschied zu den bakteriologischen Ergebnissen, bei P11 (nach Gratkorn) ein zweiter signifikanter Anstieg zu beobachten. Durch diesen gravierenden Anstieg des Phosphorgehaltes und der oxidierbaren organischen Fracht bei P11 ist der nach Graz festgestellte weitere Anstieg der Konzentrationen bakteriologischer Parameter für Phosphor und Kaliumpermanganatverbrauch nicht mehr so deutlich ausgeprägt.

Zusammenfassend ergibt sich daraus, dass die Mur als Badegewässer und für andere Wassersportaktivitäten nicht geeignet und zumindest ab P7 auf Grund der teilweise ganz massiven Grenzwertüberschreitungen als gesundheitsgefährdend einzustufen ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie basierend auf dem Nachweis von bakteriellen Fäkalindikatoren gehen somit mit der guten biologischen Gewässergüte gemäß Gewässergüteatlas [1] bzw. mit dem biologischen Zustand hinsichtlich stofflicher Belastung gemäß Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan [2] nicht konform. Letztere beruht auf ganz anderen Grundlagen, wobei ein Teil der Zustandsbewertung der biologische Befund, bestehend aus verschiedenen Modulen der Qualitätselemente Makrozoobenthos und Phytobenthos, ausmacht. Bakterielle Fäkalindikatoren stellen dabei aber keine Beurteilungsgrundlage für die darin definierten Qualitätsziele dar.

In der Steiermark gibt es nur wenige und nicht umfassende Studien, welche sich mit der Belastung von Fließgewässer auf Basis bakterieller Fäkalindikatoren beschäftigt haben. Es sind dies schon länger zurückliegende Studien aus dem Institut für Hygiene in Graz in den 60er bis 90er Jahren des 20. Jahrhunderts [13,17], welche sich mit dem Nachweis von Salmonellen in der Mur beschäftigt haben und eine Studie aus 2009, welche die Ergebnisse von vergleichbaren Analysen von größeren steirischen Fließgewässern mit Ausnahme der Mur im letzten Jahrzehnt beinhaltet [16]. Wenn zitierte Untersuchungen auch nicht mit diesem Parameterumfang und in dieser zeitlichen Dichte durchgeführt wurden, so sind die Ergebnisse und Interpretation dieser Studien mit der gegenständlichen durchaus vergleichbar. Auch auf internationaler Ebene sind vergleichbare Studien selten anzutreffen. An der Donau

wurden 2001 und 2007 im Rahmen eines internationalen Projektes ebenfalls Analysen bakterieller Fäkalindikatoren durchgeführt [11]. Auch dabei war ein signifikanter anthropogener Einfluss mit Spitzenbelastungen stromabwärts von Ballungszentren wie Wien, Budapest, Belgrad und Bukarest gegeben. In einer Studie die Seine betreffend wird die fehlende Eignung für Badezwecke und vergleichbarer Freizeitaktivitäten beklagt [22,23]. 2006 wird über einen Leptospirose-Ausbruch nach Schwimmen im Neckar im Rahmen eines Triatlons berichtet [6]. Die hohen Belastungen mit bakteriellen Fäkalindikatoren der Mur sind im Vergleich mit anderen Fließgewässern also nicht die Ausnahme, sondern aufgrund der Literaturberichte kann davon ausgegangen werden, dass Fließgewässer massiven anthropogenen Beeinflussungen ausgesetzt sind und diese Belastungen sich u.a. im Gehalt an Fäkalindikatoren widerspiegeln. Aufgrund des Fehlens seuchenhygienischer Parameter bei der Bestimmung der Gewässergüte finden derartige Analysen nur selten Aufnahme in die Untersuchungsprogramme von Fließgewässern, was auch die spärlichen Publikationen erklärt.

5.2. Immissionsquellen anthropogener Belastungen

Hinsichtlich der festgestellten seuchenhygienischen Belastungen sind die Emissionsquellen zu eruieren. In erster Linie sind kommunale Abwässer als Hauptquellen von Fäkalindikatoren und Krankheitserregern zu nennen. Im ungereinigten kommunalen Abwasser sind neben den organischen und anorganischen Inhaltsstoffen auch Mikroorganismen in hoher Konzentration vorhanden, die von menschlichen und tierischen Ausscheidungen stammen und Infektionskrankheiten verursachen können. Lange Zeit war man der Ansicht, dass Abwasserreinigungsanlagen nach Stand der Technik in der Lage sind pathogene Mikroorganismen aus dem Abwasser zu eliminieren. Die Reinigungsleistung von herkömmlichen Abwasserreinigungsanlagen im Hinblick auf die Elimination von Mikroorganismen bzw. Krankheitserregern (Erreger fäkal-oral übertragbarer Erkrankungen) ist äußerst unzureichend, sodass eine seuchenhygienische Unbedenklichkeit des gereinigten Abwassers nicht vorliegt. Mehrere Studien in der Steiermark [14,15,24] haben gezeigt, dass die Produkte der Abwasserreinigung, gereinigtes Abwasser und Klärschlamm, ganz massiv mit Fäkalindikatoren kontaminiert sind und die Einleitung gereinigter Abwässer in die Vorfluter eine signifikante Verschlechterung der Wasserqualität in seuchenhygienischer Hinsicht bewirkt. In der Abwasserreinigung nach Stand der Technik findet keine Inaktivierung, sondern nur eine Auftrennung der Fäkalbakterien statt, wobei im Klärschlamm eine Konzentration dieser Bakterien stattfindet und der restliche Teil noch immer in hoher Konzentration im gereinigten Abwasser vorzufinden ist und bei Einleitung in den Vorfluter je nach Verdünnungsverhältnis zu einer erheblichen Erhöhung der Konzentration an Fäkalbakterien und Krankheitserregern führen kann. Auch Überläufe von Abwasserreinigungsanlagen bei heftigen Niederschlagsereignissen, was zu einer Einleitung ungeklärter Abwässer in den Vorfluter führt, sind ein wesentlicher Belastungsfaktor für die seuchenhygienische Qualität der Oberflächengewässer. Aufwendige Studien über die Entfernung von Krankheitserregern in Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland und Holland [12,18] haben diese Beobachtungen grundsätzlich bestätigt, wobei im Detail aber sehr große Unterschiede in der Reduktion von hygienisch relevanten Mikroorganismen (1,9

bis 3,5 log₁₀) in Abhängigkeit von der Größe und Art der Reinigungsprozesse gegeben waren. So zeigten beispielsweise kleine Anlagen eine signifikant geringere Reduktion von hygienisch relevanten Mikroorganismen als große Anlagen mit einer tertiären Reinigungsstufe [12]. Wenn auch die Reduktion von pathogenen Mikroorganismen nicht immer mit der Reduktion der Fäkalindikatoren korreliert [18], so steht doch außer Zweifel, dass im gereinigten Abwasser noch erhebliche Mengen von hygienisch relevanten Mikroorganismen vorhanden sind.

Neben den punktuellen Immissionsquellen, wie sie z.B. kommunale Abwasserreinigungsanlagen darstellen, haben diffuse Einleitungen kontaminierter Wässer eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. Aus hygienischer Sicht sind diesbezüglich bestimmte landwirtschaftliche Bewirtschaftungsformen relevant. In Gebieten mit großflächigem Ackerbau und entsprechend intensiver Bewirtschaftung kann die Qualität der Fließgewässer nachteilig beeinflusst werden. Insbesondere die Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Jauche, Gülle) ist eine bedeutende Kontaminationsquelle für bakterielle Fäkalindikatoren und Krankheitserreger. Dies vor allem dann, wenn die Ackerflächen ohne entsprechende Grünstreifen (Schutzzone) direkt bis an die Fließgewässer heranreichen und die Ab- und Einschwemmung von Stoffen aus der landwirtschaftlichen Tätigkeit begünstigen [25].

Betrachtet man das Einzugsgebiet der Mur hinsichtlich Siedlungsdichte und den Bewirtschaftungsformen, so korrelieren diese sehr gut mit den festgestellten bakteriologischen Belastungen.

Im Gebiet von Predlitz bis Murau befinden sich nur Wald, Weiden und Wiesen. Erst nach Murau und bis etwa Frojach gibt es im Talboden des Murtales landwirtschaftliche Nutzflächen. Auch im Gebiet rund um Scheifling gibt es kleine landwirtschaftliche Flächen. Das obere Murtal zwischen Predlitz und dem Aichfeld ist geprägt durch Wald an den Hängen des Murtales und Weiden und Wiesen im Talboden. Ackerflächen spielen eine sehr untergeordnete Rolle. Die Siedlungsdichte ist als gering zu bezeichnen. Dies entspricht dem Flussabschnitt von P1 bis P6, welches aufgrund der Analyseergebnisse als der Flussabschnitt mit den geringsten anthropogenen Belastungen zu bezeichnen ist.

Danach durchfließt die Mur das Aichfeld, welches im Vergleich zum Oberlauf der Mur einen ersten gravierenden Anstieg der Siedlungsdichte und nennenswerte agrarische Nutzflächen mit Ackerland aufweist. Am Beginn des Aichfeldes befinden sich in geringem Abstand mit Judenburg, Zeltweg und Knittelfeld gleich 3 der größten Städte in diesem Bereich mit entsprechender Siedlungsdichte, Gewerbe und Industrie. Danach, im Gebiet zwischen Knittelfeld und Leoben, gibt es nur wenige kleine Siedlungen und Wald und Wiesen prägen das Murtal in diesem Bereich. Von Leoben bis Bruck weist das Murtal wieder eine hohe Siedlungsdichte auf. Außerdem gibt es im Talboden zwischen den beiden Städten recht große Flächen agrarischer Nutzung. Von Bruck murabwärts über Frohnleiten bis nach Gratkorn gibt es größtenteils Wald und Wiesen, aber auch einige kleine Ackerflächen. P7 liegt im Aichfeld im Abströmbereich von Zeltweg und Knittelfeld, wodurch der festgestellte erste sprunghafte Anstieg der bakteriologischen Belastung erklärt wird. Im weiteren Verlauf der Mur bis Graz-Nord (P11) sind keine gravierenden Änderungen der anthropogenen Beeinflussung

festzustellen. Die Belastung liegt aber generell deutlich über jenem des oberen Murabschnitts von P1 bis P6. Auffallend ist der sprunghafte Anstieg von Phosphor und der organischen Fracht bei P11, was mit der Industriezone Gratkorn zusammen hängen könnte. Die Bedeutung dieses Industriestandortes wird durch die größte Abwasserreinigungsanlage der Steiermark mit 520.000 Einwohnerwerten dokumentiert.

Danach folgt der Ballungsraum Graz mit der größten Siedlungs- und Industriedichte. Südlich von Graz durchfließt die Mur das Grazer Feld und das Leibnitzer Feld, welche beide für intensive Landwirtschaft mit Ackerbau bekannt sind. Das Grenzgebiet zwischen Österreich und Slowenien, das Untere Murtal, ist ebenfalls geprägt von intensiver landwirtschaftlicher Nutzung. Im engeren Stadtgebiet, von P12 bis P14, ist keine Zunahme der anthropogenen Belastung messbar. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als die Stadtentwässerung bzw. Abwasserentsorgung und -reinigung über die zentrale Kläranlage in Gössendorf mit 500.000 Einwohnerwerten erfolgt. Der Kläranlagenablauf mündet erst nach P14 in die Mur. Ab P15 (Kalsdorf) ist wiederum ein Anstieg der anthropogenen Belastung feststellbar, mit den höchsten und stark schwankenden Belastungen im Leibnitzer Feld und Unteren Murtal.

Die teilweise sehr erheblichen Konzentrationsschwankungen der untersuchten Parameter im Jahresverlauf könnten mit der unterschiedlichen Wasserführung der Mur und auch unterschiedlichen Schadstoffeinträgen über diffuse Quellen zusammenhängen. Da das Abflussregime von Flüssen im Wesentlichen durch Niederschlagstätigkeit und Schneeschmelze beeinflusst wird und somit jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, sind Korrelationen zwischen den Durchflussmengen und den jahreszeitlichen Schwankungen der bakteriologischen Fäkalindikatoren bedingt durch Verdünnungseffekte einerseits, aber auch Konzentrationserhöhungen durch die Freisetzung von Mikroorganismen aus dem Sediment andererseits möglich. Generell sind in den Wintermonaten geringere Konzentrationen an Fäkalindikatoren zu beobachten, als im Sommer. Dies kann durch eine Remobilisierung aus dem Sediment, verstärkten diffusen Einträgen durch Einschwemmungen bei Niederschlagsereignissen und durch Kläranlagenüberläufe, ebenfalls verursacht durch Niederschlagsereignisse in den Sommermonaten, verursacht sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorliegenden Untersuchungsergebnisse den anthropogenen Einfluss auf die Wasserqualität der Mur sehr gut dokumentieren und mit den wichtigsten Immissionsquellen korrelieren. Für Aussagen in welchem Ausmaß die Belastungen einzelnen Faktoren, sowohl in Fließrichtung gesehen als auch in Bezug auf jahreszeitliche Schwankungen, im Detail zugerechnet werden können, ist das Untersuchungsnetz sowohl in räumlicher als auch zeitlicher Hinsicht nicht engmaschig genug.

5.3. Mögliche Verbesserungsmaßnahmen

Wenn auch die Gewässergüte basierend auf dem Nachweis von bakteriellen Fäkalindikatoren nicht mit der auf biologischen Kriterien (Saprobiensystem) beruhenden Gewässergüte **bzw. mit dem biologischen Zustand hinsichtlich stofflicher Belastung gemäß Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan** konform geht, so sollen die in den letzten Jahrzehnten eingetretenen Verbesserungen und Erfolge der Gewässersanierung keinesfalls in Frage gestellt werden. Diese Verbesserungen in der biologischen und auch chemischen Wassergüte sind nachweislich und in einer Vielzahl von Publikationen dokumentiert. Allerdings darf gleichzeitig das aufgrund der Ergebnisse dieser Studie vorhandene seuchenhygienische Risikopotential keinesfalls unterschätzt werden und ist bei der Nutzung der Fließgewässer als Naherholungsraum in Form von Wassersport und Badenutzung sowie für Bewässerungszwecke zu berücksichtigen. Für eine nachhaltige Reduzierung des seuchenhygienischen Risikos sind Desinfektionsmaßnahmen des gereinigten Abwassers, beispielsweise durch Nachrüstung der Abwasserreinigungsanlagen mit UV-Desinfektionsanlagen, geeignet, den punktuellen Eintrag von Erregern fäkal-oral übertragbarer Erkrankungen signifikant zu reduzieren. Auch die Mikrofiltration kann eine geeignete Maßnahme zur Erhöhung der Reinigungsleistung von Abwasserreinigungsanlagen darstellen. Um auch diffuse Einträge nachhaltig zu reduzieren, insbesondere durch Abschwemmungen von Wirtschaftsdünger aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, wären entsprechende Schutzzonen/Trennzonen zwischen landwirtschaftlichen Flächen und den Fließgewässern erforderlich. Derartige Maßnahmen wurden im Rahmen der Isarsanierung [9,19,20,21] mit Erfolg umgesetzt und es konnte eine nachweisliche Verbesserung der bakteriologischen Qualität des Wassers erreicht werden. Wenn solche Maßnahmen sich auch sehr kostenintensiv gestalten, so zeigt das Beispiel der Isarsanierung doch, dass sie zumindest Abschnittsweise durchaus realisierbar sind. Der Wunsch in der Bevölkerung Fließgewässer zunehmend und verstärkt als Naherholungsgebiete zu nutzen ist zweifelsohne vorhanden. Um diesem Wunsch bzw. dieser Entwicklung entsprechen zu können, ist es aber auch erforderlich nicht nur die ökologische Funktionsfähigkeit der Fließgewässer zu erhalten bzw. wieder herzustellen, sondern ist es im Sinne der Volksgesundheit auch erforderlich das seuchenhygienische Risikopotential auf ein tolerables Maß zu reduzieren.

Wie oben zitierte Beispiele zeigen gibt es durchaus Möglichkeiten die anthropogenen Belastungen auch bezüglich seuchenhygienischer Aspekte zu verbessern, wenn diese auch mit erheblichen Investitionen verbunden sind. Es ist also eine Abwägung der Kosten und des Nutzens durchzuführen bzw. abzuwägen, welche Priorität einer Freizeitnutzung von Fließgewässern eingeräumt wird.

Aus volksgesundheitlicher Sicht ist es zumindest erforderlich die Bevölkerung auf mögliche Gesundheitsgefahren bei einer Nutzung der Mur für Badezwecke und Wassersport zu informieren.

Generell sollte in Fließgewässern oder Abschnitten von Fließgewässern, in denen eine Nutzung für Badezwecke und Wassersport stattfindet oder beabsichtigt ist, ein geeignetes Messprogramm mit entsprechenden hygienischen Parametern (bakterielle Fäkalindikatoren) durchgeführt werden.

6. LITERATUR

- [01] Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Steirischer Gewässergüteatlas 2004.
- [02] BMLFUW: Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009. BMLFUW-UW.4.1.2/0011-I/4/2010.
- [03] BHygG - Bäderhygienegesetz: Bundesgesetz über Hygiene in Bädern, Warmsprudelwannen (Whirlwannen) Sauna-Anlagen, Warmluft- und Dampfbädern sowie Kleinbadeteichen und über die Wasserqualität von Badegewässern. BGBl. Nr. 254/1976 idgF.
- [04] BHygV - Bäderhygieneverordnung: Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales über Hygiene in Bädern, Sauna-Anlagen, Warmluft- und Dampfbädern sowie Kleinbadeteichen und die an Badestellen zu stellenden Anforderungen. BGBl. Nr. 420/1998 idgF.
- [05] BGewV – Badegewässerverordnung: Verordnung des Bundesministers für Gesundheit, mit der die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung (Badegewässerverordnung – BgewV) erlassen und die Bäderhygieneverordnung geändert wird. BGBl. Nr. 349/2009 idgF.
- [06] Brockmann SO, Winter CH, Nockler K, Oehme R, Muller U, Leitmeyer K, Guerra B, Hartelt K, Bock-Hensley O, Gohring-Zwacka E, Jansen A, Klett M, Stark K, Kimmig P, Piechotowski I. Leptospirose bei Teilnehmern eines Triathlons. Gesundheitswesen, 2007, 69.
- [07] Europäische Union: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1-72, 2000.
- [08] Europäische Union: Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union L 64, 2006; 37-51.
- [09] Huber St, Popp W. Überprüfung der Abtötung bzw. Inaktivierung ausgewählter Krankheitserreger in Abwasser durch UV-Strahlung im Vergleich zur Reduktion von Fäkalindikatorbakterien und Untersuchungen zur Wiederverkeimung. Bayerisches Landesamt für Umwelt; 2005.
- [10] Kay D., Fleisher JM, Salmon RL, Wyer MD, Godfree AF, Zelenauch-Jacquotte Z, Shore R. Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing; results from randomized exposure. Lancet 344, 1994; 905-909.
- [11] Kirschner AKT, Kavka GG, Velimirov B, Mach RL, Sommer R, Farnleitner AH: Microbiological water quality along the Danube River: Integrating data from two whole-

- river surveys and a transnational monitoring network. *Water Research* 43, 2009, 3673-3684.
- [12] Kistemann T, Rind E, Rechenburg A, Koch C, Claßen T, Herbst S, Wienand I, Exner M. A comparison of efficiencies of microbiological pollution removal in six sewage treatment plants with different treatment systems. *Int.J.Hyg.EnvIRON.Health* 211, 2008; 534-545.
- [13] Köck M, Pichler-Semmelrock F, Mascher F, Möse JR. Salmonellenuntersuchungen der Mur in den Jahren 1986 und 1987. *Forum Städte-Hygiene* 39, 1988; 48-51.
- [14] Mascher F, Haas D, Stuhlbacher A, Marth E, Pichler-Semmelrock FP, Köck M, Feierl G. Abwasserreinigung unter dem Aspekt der Elimination seuchenhygienisch relevanter Mikroorganismen. *Österr. Wasser-und Abfallwirtschaft* 48 (1/2), 1996; 314 - 319.
- [15] Mascher F. Hygienische Bewertung von Abwasser und Klärschlamm aus Kleinkläranlagen. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 3 (1), 1998; 31-35.
- [16] Mascher F, Franz P, Pichler-Semmelrock, Franz F, Reinthaler, E, Marth: Kann man in Flüssen baden? Saprobiensystem versus Hygiene. *Hyg. Med.* 34 (6), 2009; 233-239.
- [17] Möse JR, Thiel W. Nachweis von Salmonellen in der Mur. Vergleich 1969 – 1981. *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B* 176, 1982; 562-570.
- [18] Ottoson J, Hansen A, Westrell T, Johansen K, Norder H, Stenström TA. Removal of noro- and enteroviruses, Giardia cysts, Cryptosporidium oocysts, and faecal indicators at four secondary wastewater treatment plants in Sweden. *Water Environ. Res.* 78 (8) 2006; 828-834.
- [19] Popp W, Roth D, Schindler RG. Bakteriologisch-hygienische Wasserqualität an der Oberen Isar – Zustand und Maßnahmen zur Verbesserung. *Wasser-Abwasser*, 141 (12), 2000, 843-848.
- [20] Popp W, Schertler C. Bakteriologisch-hygienisches Untersuchungsprogramm „Obere Isar“ zur Wiederherstellung der Badegewässerqualität. *Münchner Beiträge zur Abwasser-Fischerei- und Flussbiologie* 55, 2003; 61-78.
- [21] Popp W, Huber St, Kexel St. Abwasserdesinfektion zur Verbesserung der Badegewässerqualität an der Oberen Isar. *Wasser und Abfall* 5, 2004; 14-18.
- [22] Servais P, Billen G, Goncalves A, Garcia-Armisen T: Modeling microbiological water quality in the Seine river drainage network: past, present and future situations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 2007, 1581-1592.
- [23] Servais P, Garcia-Armisen T, Isabelle G, Billen G: Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network: sources, fate and modeling. *Science of the total environment* 375, 2007, 152-167.

- [24] Stuhlbacher A, Mascher F. Hygienisch-bakteriologische Untersuchungen von Abwasserreinigungssystemen. Joanneum Research, 1995.
- [25] Weiss K. Einträge von Fäkalbakterien in Oberflächengewässer aus gedränten Flächen. KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 6, 2002; 834-836.
- [26] Wiedenmann A. Gesundheitliche Bewertung einzelner mikrobiologischer Messergebnisse bei der Kontrolle von Badegewässern auf der Grundlage neuer epidemiologischer Erkenntnisse. Umweltmed. Forsch. Prax 12 (6), 2007, 351-365.
- [27] Wiedenmann A, Krüger P, Dietz K, Lopez-Pila JM, Szewzyk R, Botzenhart K. A randomized controlled trial assessing infectious disease risks from bathing in fresh recreational waters in relation to the concentration of Escherichia coli, intestinal Enterococci, Clostridium perfringens, and somatic coliphages. Environmental Health Perspectives 114/2, 2006; 228-236.

7. ANHANG

Probenahmestellen P1 bis P21

Probenahmestellen P1 bis P21

