

# Gefährdungs- & Risikoabschätzung **fäkaler Kontaminationen von Wasser** im Zeitalter von PCR-Analytik und Dosis-Wirkungs-Modellierung

Farnleitner A.H.<sup>1,2</sup>, Blaschke, A.P.<sup>3</sup>, Demeter, K.<sup>2</sup>,  
Kirschner, AKT<sup>1,4</sup>, Linke R<sup>2</sup>, Sommer R.<sup>4</sup> & J. Derx<sup>3</sup>

[andreas.farnleitner@kl.ac.at](mailto:andreas.farnleitner@kl.ac.at) / [andreas.farnleitner@tuwien.ac.at](mailto:andreas.farnleitner@tuwien.ac.at)

<sup>1</sup> Fachbereich Wasserqualität & Gesundheit, Karl Landsteiner Universität für Gesundheitswissenschaften, Krens

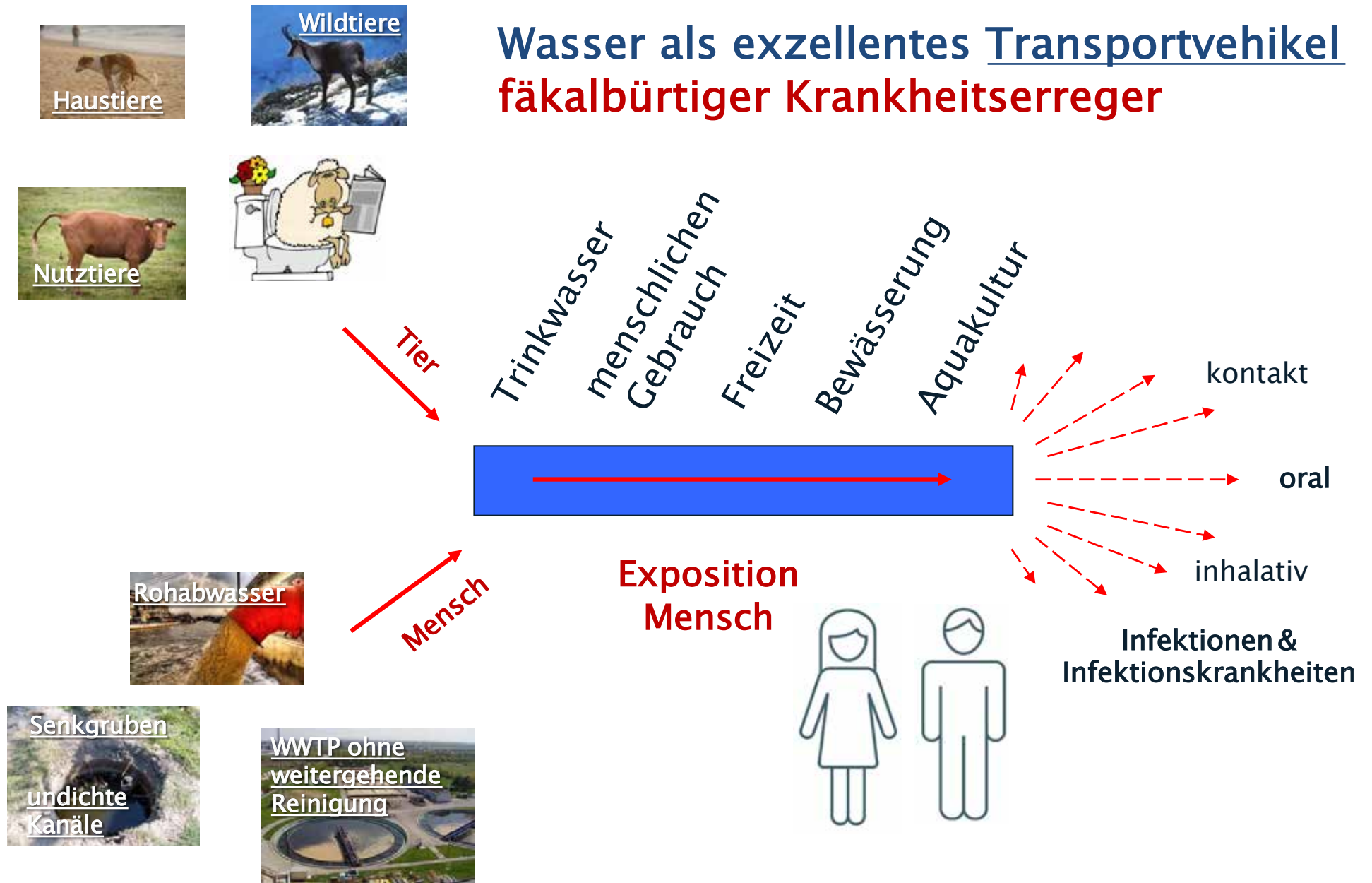
<sup>2</sup> Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU Wien

<sup>3</sup> Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien

<sup>4</sup> Institut für Hygiene und Angewandte Immunologie, Abteilung Wasserhygiene, MedUni Wien

# 1. Wasserressourcen, fäkale Kontaminationen und ausreichender Infektionsschutz

# Wasser als exzellentes Transportvehikel fäkalbürtiger Krankheitserreger





# Sichere Wassernutzung? Ausreichender Infektionsschutz?

**Management der Qualität**

**Analyse & Überwachung**

**The Global Water  
Pathogen Project**

[www.waterpathogens.org](http://www.waterpathogens.org)



## 2. Der Nachweis von Fäkalindikatorbakterien

Das „historische“ Fundament der mikrobiologischen Wasserqualitätsanalyse

# Das traditionelle Indikationsprinzip

fäkale Verschmutzung



Darmmikrobiota  
Fäkalindikatoren

Indikation

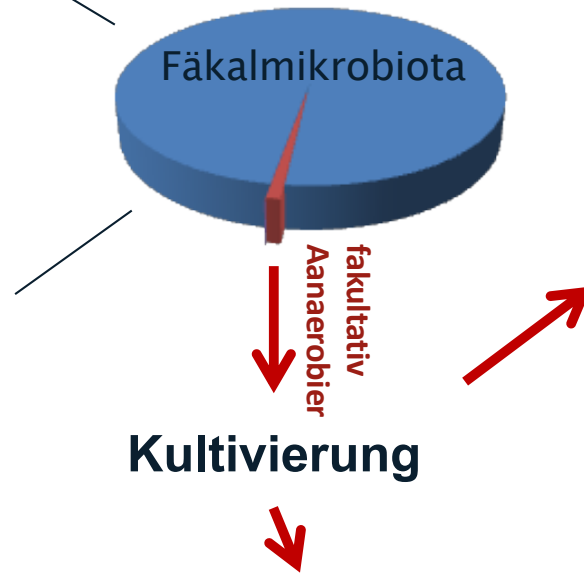
fäkalbürtige Krankheitserreger



→ **empfindlicher Nachweis fäkaler Einträge** von **Mensch und Tier** (**direkter Nachweis**)  
(in hohen Konzentrationen im Fäzes/Abwasser enthalten)

→ **mögliches Vorhandensein** von **fäkalen Krankheitserregern** (**indirekter Hinweis**)  
(nur im Falle von Kranken/Ausscheidern im Fäzes/Abwasser vorhanden)

# Bakterielle Fäkalindikatoren - eine Erfolgsgeschichte der letzten 130 Jahre



## E.coli & Co

- + *E.coli* (10.000.000 Kolonien/g Fäzes)
- + Enterokokken (1.000.000 Kol./g Fäzes)

- + kommensale Darmbakterien
- + sensitive Verschmutzungszeiger\*
- + standardisierte Verfahren (ISO)

- keine universellen Indikatoren für  
Aufbereitungseffizienz
  - + *Clostridium perfringens* (Sporen)
  - + somatische Coliphagen



**“traditionelle”  
Fäkalindikatorbakterien**

Nutztiere

Mensch

Wildtiere

Umwelt

Krankheitserreger

Infektionsrisiko

Risikomanagement

weiterführende  
Fragestellungen

Byamukama, D., Mach, R.L., Kansiime, F., Manafi, M. & Farnleitner AH (2005): **Discrimination efficacy of faecal pollution detection using presumptive coliforms, Escherichia coli and Clostridium perfringens enumeration techniques in different aquatic habitats at a high altitude tropical country.** *Applied & Environmental Microbiology* 71:65-71.



# 3. Die neuen Möglichkeiten der Diagnostik fäkaler Verschmutzungen

**„Quantensprung“ quantitative DNA-Analytik**

Microbial Source Tracking (MST)  
Herkunftsbestimmung fäkaler Kontaminationen

# Die Ära der genetischen (MST) Fäkalmarker

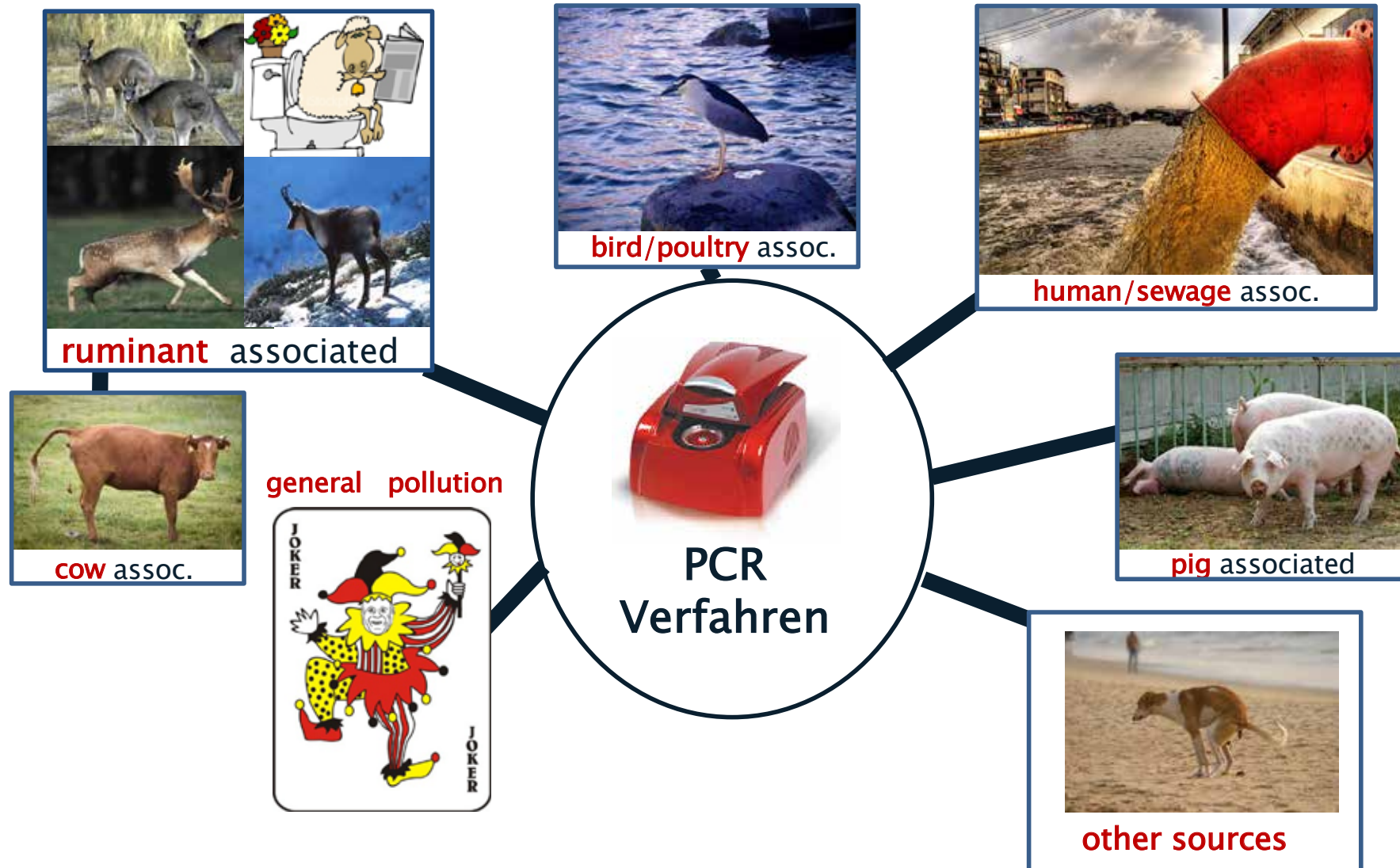
= verursacher-assoziierte anaerobe Fäkalbakterien



Reischer, G.H., Kasper, D.C., Steinborn, R., Mach, R.L. & Farnleitner, AH (2006) Quantitative PCR method for sensitive detection of ruminant faecal pollution in freshwater and evaluation of this method in alpine karstic regions. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 5610 - 5614

# Genetischer Fäkalmarker: weltweite Entwicklung ist im Gange...

(Bakterien + Viren + Mitochondrien)



Youngblut, N. Reischer, G.H., Walters, M., Schuster, N., Walzer, C., Stalder, G., Ley, R.E. & Farnleitner A.H. (2019) Drivers mediating the composition of vertebrate intestinal microbiota. *Nature Communications* **10**: 2200-



# Fallbeispiel: Joint Danube Survey

Surveys 2001, 2007, 2013, 2019

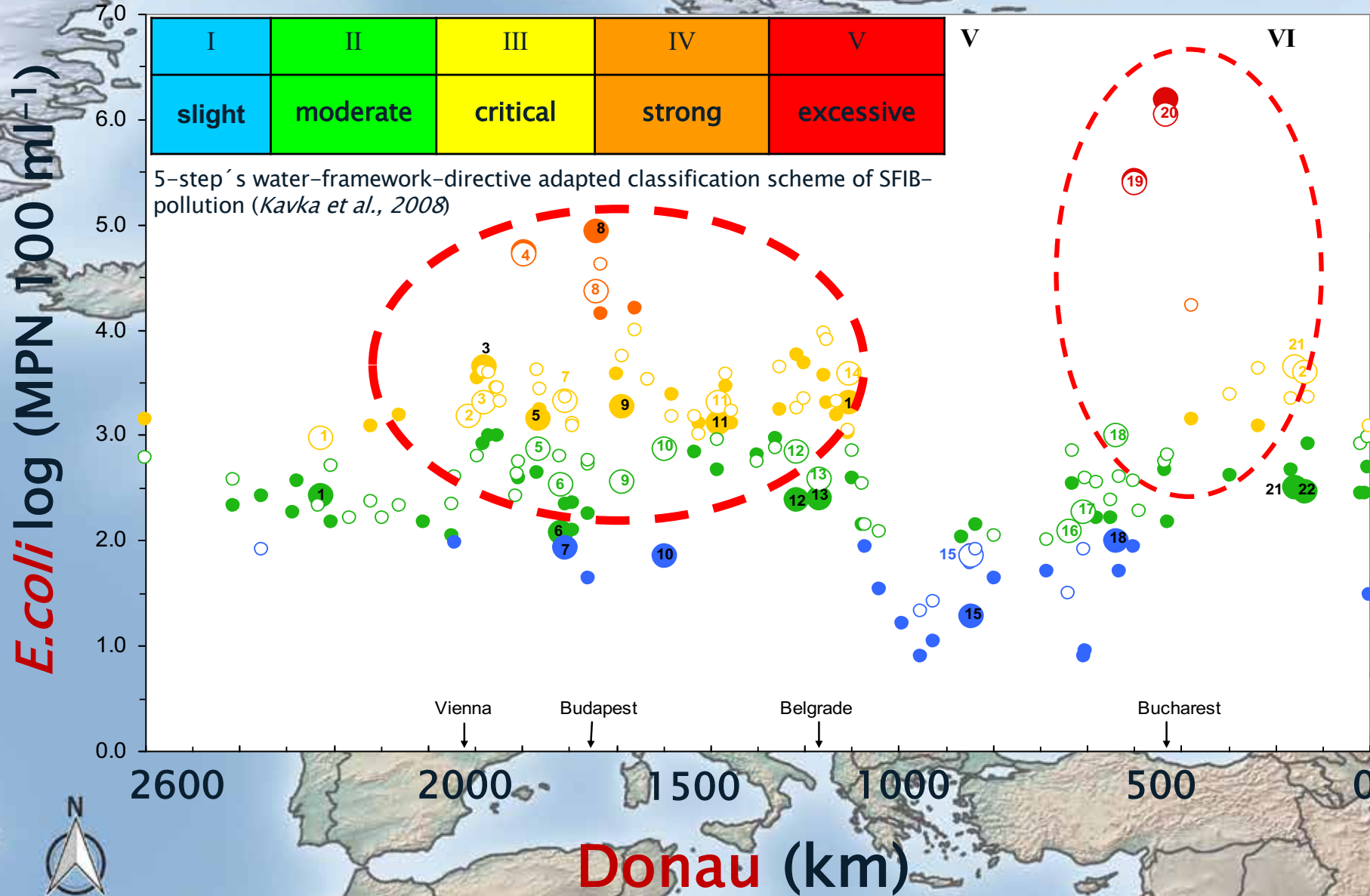


2001+2007: Fäkalindikatorbakterien

2013: + genetische Fäkalmarker

International Commission for the Protection of the Danube River  
(ICPDR) [www.icpdr.org](http://www.icpdr.org)

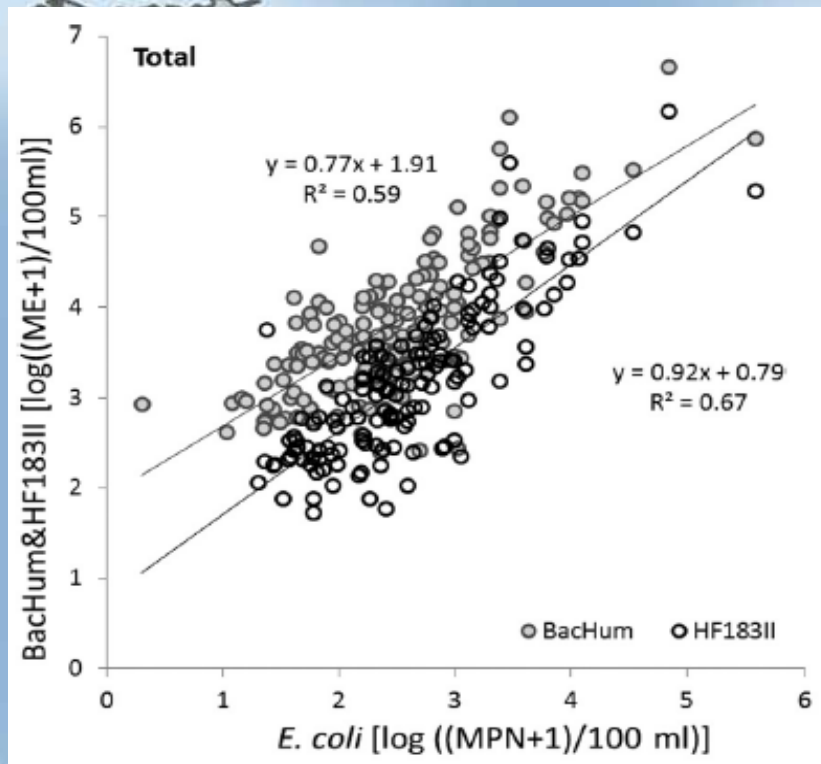
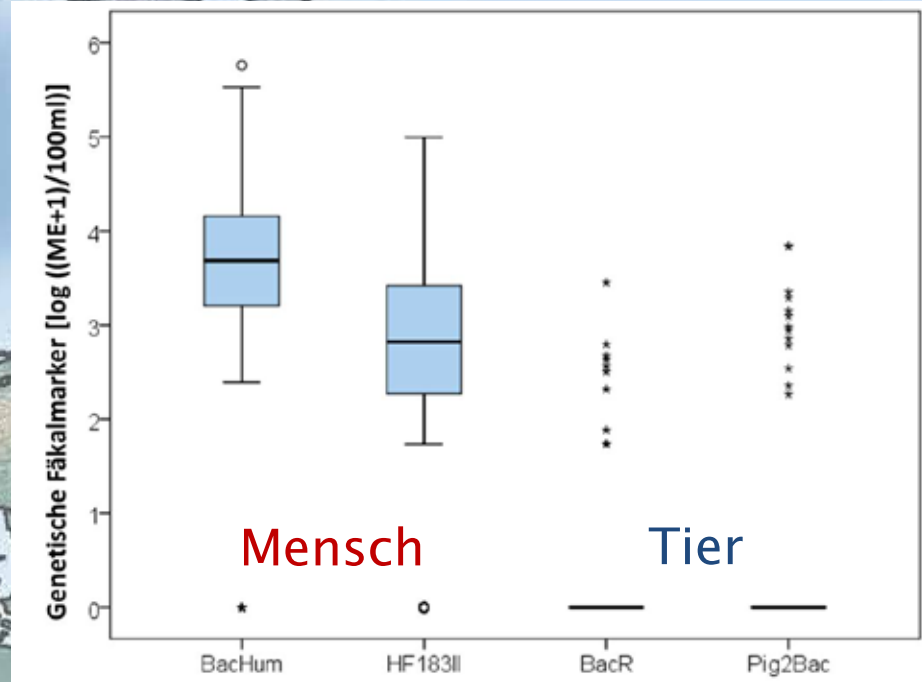
# Fäkale Verunreinigung der Donau (JDS 2001, JDS 2007)



Kirschner AK, 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.

# Verursacher-assoziierte Fäkalmarker (JDS 2013)

## Schritt 1: Konzentrationen



## Schritt 2: Korrelationsanalyse

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



# 4. Die neuen Möglichkeiten der Analyse fäkaler Verschmutzungen (2/2)

„Gesundheitsrisiken modellierbar machen“

# Quantitative Mikrobiologische Risikoabschätzung

**QMRA**: Die 4 wesentlichen Schritte

**Welche fäkalen Kontaminationsquelle(n)?**

- **Kapitel 2 & 3** (Fäkalindikatoren & MST Marker)



**Welche Krankheitserreger werden betrachtet?**

- **Auswahl der zu betrachtenden „Referenzorganismen“**
  - Bakterien, Viren & Parasiten „Modell“



**Welche Dosis (= Menge) wird aufgenommen?**

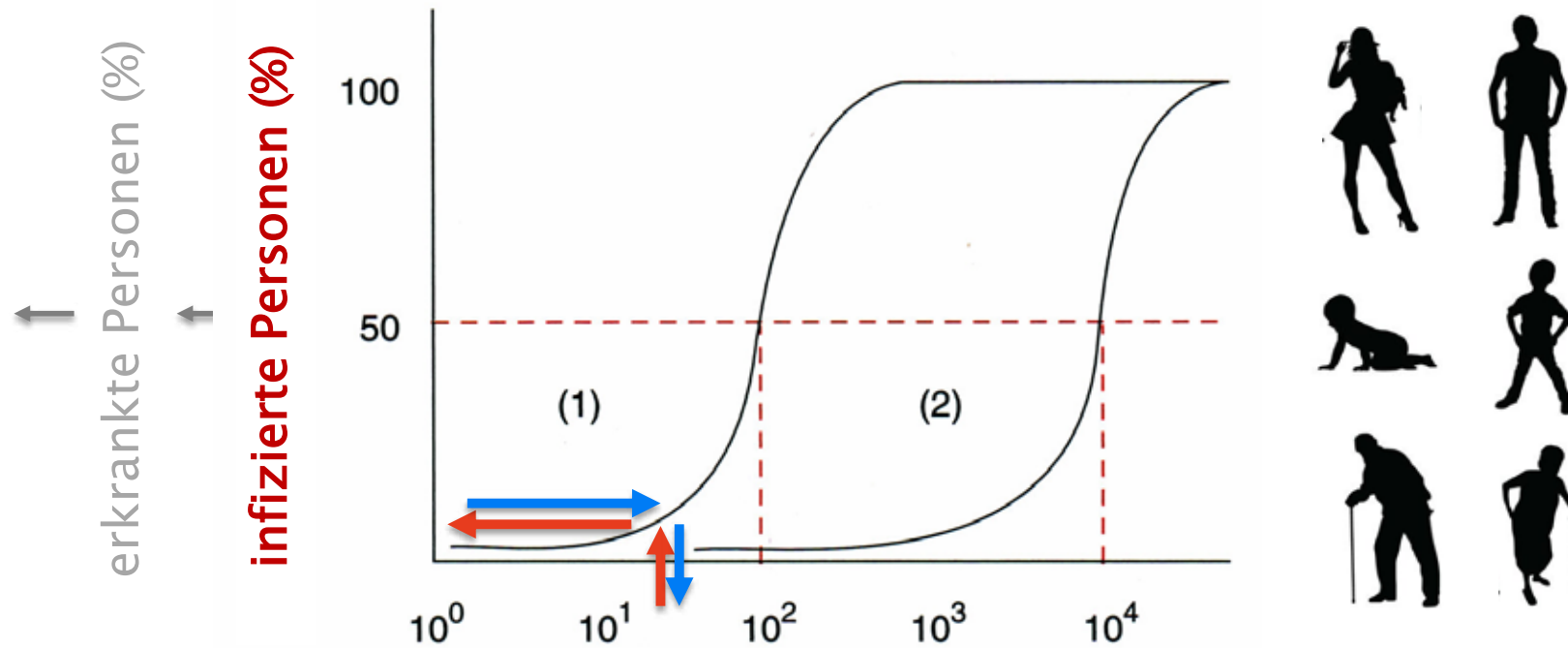
- **Konzentration im Wasser x aufgenommener Wassermenge**
  - Nutzungsart (Trinken, Schwimmen, ...)



**Welche Wirkung wird dadurch erzeugt?**

- **mathematischer Dosis – Wirkungszusammenhang**

# DOSIS – WIRKUNGS – ZUSAMMENHANG das „Credo“ der Risikoanalyse



Dosis Krankheitserreger aufgenommen

direkte  
Quantifizierung

hydrologische  
Modelle

Stalder, G., Farnleitner, AH, Sommer, R., Beiglböck, C. & Walzer C. (2011) **Gefährdungs- & risikobasierende Konzepte zur Bewertung der mikrobiologischen Wasserqualität - Teil 2**  
*Veterinary Medicine Austria* 98: 54-65.



# Die Bedeutung interdisziplinärer mathematischer Modellansätze

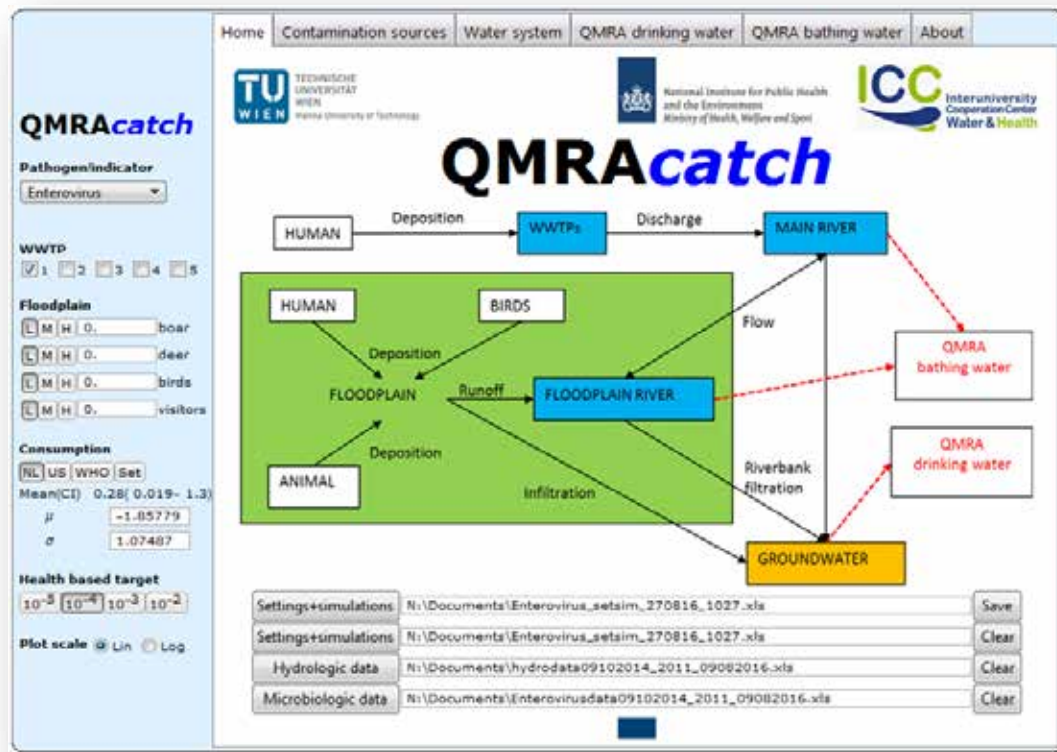
Umwelt ↔ Exposition ↔ Gesundheit



# Beispiel: interdisziplinäre Entwicklung Rechenmodell

- mikrobiologische Wasserqualität für definiertes EZG
- **Infektionsrisiken** (Trinken, Schwimmen)
- notwendige **Aufbereitungsmaßnahmen**

**catch**  
**QMRA**



Fäkalindikatoren

genetische  
Fäkalmarker

Referenz-  
Krankheitserreger



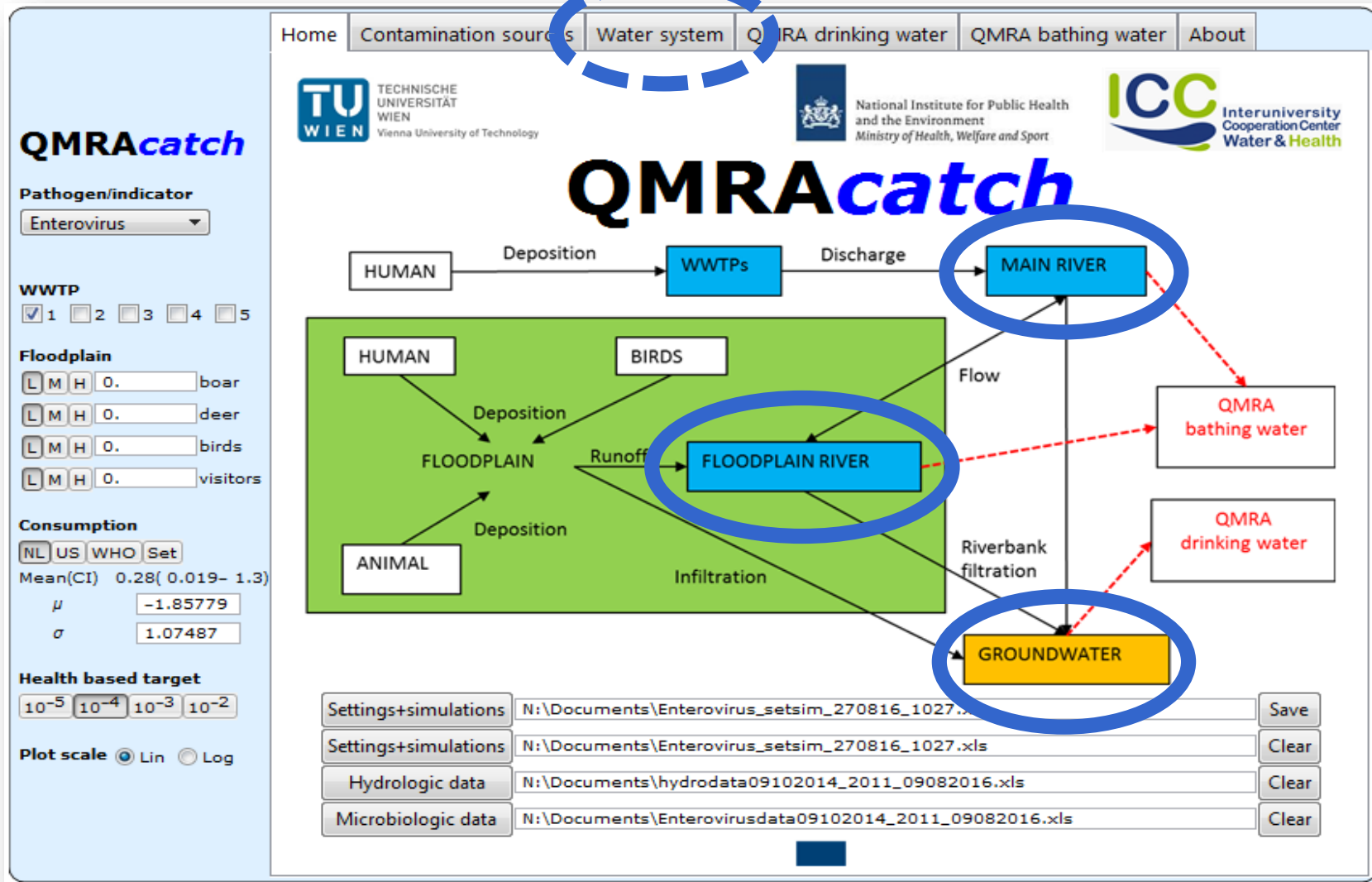
- ✓ Fluss- und Augewässer
- städtische Gebiete
- Karst- & Kluftgrundwasser

free download: [www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at)

Schijven, J., Derx, J., De Roda Husman, A.M., Blaschke, A.P. & Farnleitner AH (2015) QMRACatch – Microbial quality simulation of water resources including infection risk assessment. *Journal of Environmental Quality* 44(5):1491–1502



# Beispiel: interdisziplinäre Entwicklung Rechenmodell



Schijven, J, Derx, J., De Roda Husman, A.M., Blaschke, A.P. & Farnleitner AH (2015) QMRAcatch – Microbial quality simulation of water resources including infection risk assessment. *Journal of Environmental Quality* 44(5):1491–1502





# Beispiel: interdisziplinäre Entwicklung Rechenmodell



The screenshot displays the QMRAcatch software interface. At the top, a navigation menu includes 'Home', 'Contamination sources', 'Water system', 'QMRA drinking water', 'QMRA bathing water', and 'About'. The 'Contamination sources' tab is highlighted with a red dashed circle. The interface features logos for TU WIEN, the National Institute for Public Health and the Environment, and the Interuniversity Cooperation Center Water & Health.

The central diagram illustrates the water cycle and contamination pathways. Key components include:
 

- Contamination Sources:** HUMAN (circled in red), BIRDS (circled in red), and ANIMAL (circled in red) contribute to 'Deposition' into the 'FLOODPLAIN'.
- Water Treatment:** 'HUMAN' (circled in red) also contributes to 'Deposition' into 'WWTPs', which then 'Discharge' into the 'MAIN RIVER'.
- Flow and Filtration:** 'MAIN RIVER' flows into 'FLOODPLAIN RIVER'. 'FLOODPLAIN RIVER' undergoes 'Riverbank filtration' into 'GROUNDWATER'.
- Final Use:** 'MAIN RIVER' and 'GROUNDWATER' are used for 'QMRA bathing water' and 'QMRA drinking water' (indicated by red dashed arrows).

On the left side, the 'Pathogen/indicator' is set to 'Enterovirus'. The 'WWTP' section has checkboxes for 1, 2, 3, 4, and 5. The 'Floodplain' section includes input fields for 'boar', 'deer', 'birds', and 'visitors'. The 'Consumption' section shows 'NL US WHO Set' and 'Mean(CI) 0.28( 0.019- 1.3)'. The 'Health based target' is set to  $10^{-5}$ . The 'Plot scale' is set to 'Lin'.

At the bottom, there are four rows of file paths and actions:
 

- Settings+simulations: N:\Documents\Enterovirus\_setsim\_270816\_1027.xls (Save)
- Settings+simulations: N:\Documents\Enterovirus\_setsim\_270816\_1027.xls (Clear)
- Hydrologic data: N:\Documents\hydrodata09102014\_2011\_09082016.xls (Clear)
- Microbiologic data: N:\Documents\Enterovirusdata09102014\_2011\_09082016.xls (Clear)

Schijven, J, Derx, J., De Roda Husman, A.M., Blaschke, A.P. & Farnleitner AH (2015) QMRAcatch – Microbial quality simulation of water resources including infection risk assessment. *Journal of Environmental Quality* 44(5):1491–1502



# Beispiel: interdisziplinäre Entwicklung Rechenmodell



The screenshot displays the QMRAcatch software interface. At the top, navigation tabs include 'Home', 'Contamination sources', 'Water system', 'QMRA drinking water', 'QMRA bathing water', and 'About'. The main header features logos for TU WIEN, the National Institute for Public Health and the Environment, and the Interuniversity Cooperation Center Water & Health. The central diagram illustrates the flow of contamination: HUMAN and ANIMAL sources lead to DEPOSITION on the FLOODPLAIN. BIRDS also contribute to DEPOSITION. The FLOODPLAIN leads to RUNOFF into the FLOODPLAIN RIVER. WWTPs receive input from HUMAN sources and discharge into the MAIN RIVER. The FLOODPLAIN RIVER also discharges into the MAIN RIVER. GROUNDWATER is formed through INFILTRATION from the FLOODPLAIN RIVER and is used for RIVERBANK FILTRATION into the MAIN RIVER. The MAIN RIVER then provides water for QMRA bathing and QMRA drinking. The left sidebar contains input parameters for Pathogen/indicator (Enterovirus), WWTP (checkboxes 1-5), Floodplain (species and counts), Consumption (NL, US, WHO, Set), and Health based target (10<sup>-5</sup> to 10<sup>-2</sup>). The bottom right shows a table of file paths for settings, hydrologic, and microbiologic data.

Schijven, J, Derx, J., De Roda Husman, A.M., Blaschke, A.P. & Farnleitner AH (2015) QMRAcatch – Microbial quality simulation of water resources including infection risk assessment. *Journal of Environmental Quality* 44(5):1491–1502



**Beispiel:** QMRA Anwendung für Donau (Großraum Wien)

Donauwasser  $\longrightarrow$  Trinkwasser



$\rightarrow$  benötigte Reduktionsfaktoren i.d.R. in  $\log_{10}$ -Werte angegeben

1  $\log_{10}$  = 10-fach

2  $\log_{10}$  = 100-fach

3  $\log_{10}$  = 1000-fach

6  $\log_{10}$  = 1.000.000-fach

etc...

Welche Reduktion der Konzentration für pathogene Viren notwendig um ausreichenden Infektionsschutz zu gewährleisten ( $\leq 10^{-4}$  Infektionen pro Person und Jahr)?



**Beispiel:** QMRA Anwendung für Donau (Großraum Wien)

Donauwasser → Trinkwasser



Reduktion (Log <sub>10</sub> )	Aktuell	„Best Case“	„Very Bad Case“
<u>Donau</u>			
Enterovirus			
Norovirus			
<u>Augewässer</u>			
Enterovirus			
Norovirus			

1 Log<sub>10</sub> = 10-fache, 2 log<sub>10</sub> = 100-fache, 3 log<sub>10</sub> = 1000 fache Reduktion.....

Fäkaler Hauptverursacher = **Mensch** (kommunale Abwasserentsorgung)

**Beispiel:** QMRA Anwendung für Donau (Großraum Wien)

Donauwasser → Trinkwasser



Reduktion (Log <sub>10</sub> )	Aktuell	„Best Case“	„Very Bad Case“
<u>Donau</u>			
Enterovirus	4.5		
Norovirus	6.6		
<u>Augewässer</u>			
Enterovirus	3.6		
Norovirus	5.7		

1 Log<sub>10</sub> = 10-fache, 2 log<sub>10</sub> = 100-fache, 3 log<sub>10</sub> = 1000 fache Reduktion.....

Fäkaler Hauptverursacher = **Mensch** (kommunale Abwasserentsorgung)

**Beispiel:** QMRA Anwendung für Donau (Großraum Wien)

Donauwasser → Trinkwasser



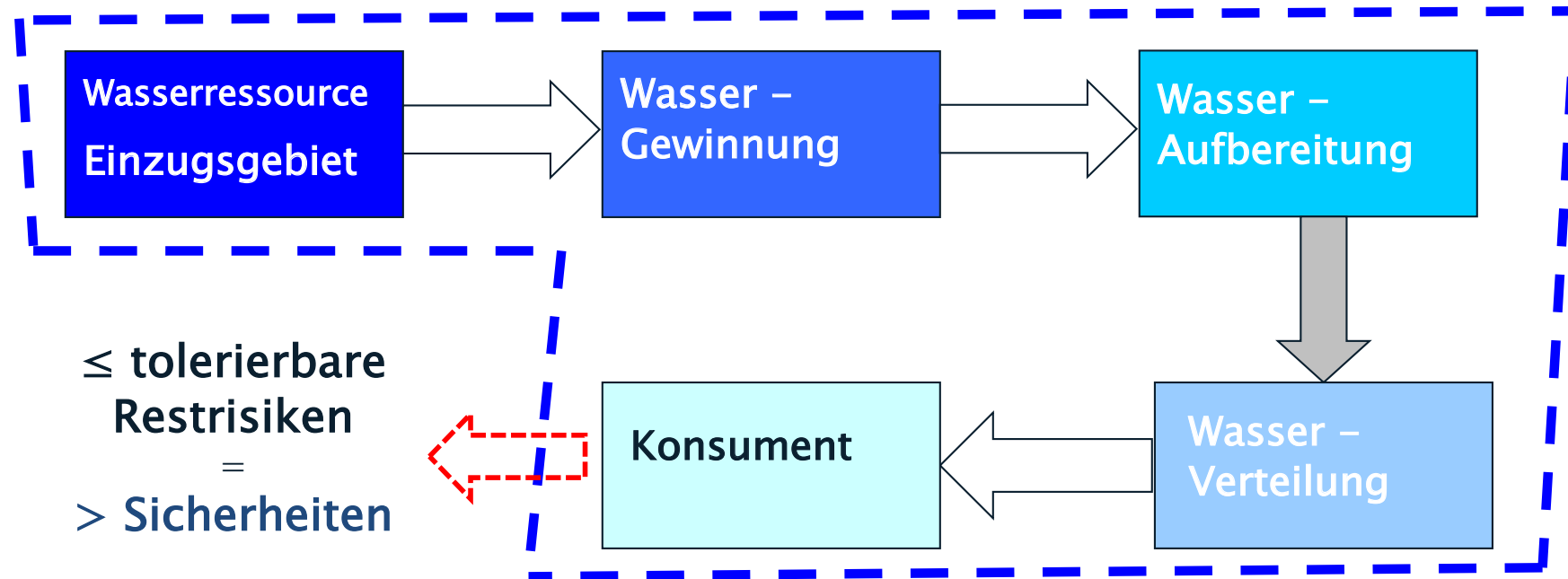
Reduktion (Log <sub>10</sub> )	Aktuell	„Best Case“	„Very Bad Case“
<b><u>Donau</u></b>			
Enterovirus	4.5	2.1 ↔ 5.7	5.7
Norovirus	6.6	4.3 ↔ 8.2	8.2
<b><u>Augewässer</u></b>			
Enterovirus	3.6	0.0 ↔ 7.7	7.7
Norovirus	5.7	1.1 ↔ 7.8	7.8

1 Log<sub>10</sub> = 10-fache, 2 log<sub>10</sub> = 100-fache, 3 log<sub>10</sub> = 1000 fache Reduktion.....

Fäkaler Hauptverursacher = **Mensch** (kommunale Abwasserentsorgung)



# 5. Synthese: SICHERES (TRINK)WASSER? Der WHO Lösungsansatz für das 21. Jahrhundert



- Qualitätsmanagement entlang der gesamten Produktions- & Verteilungskette (Wassersicherheitsplanung)
- gesundheitsbezogene Qualitätsziele (quantifizierbar)



EUREKA



LAND NIEDERÖSTERREICH

FWF

Der Wissenschaftsfonds.

EVN

EVN Wasser

Bundesministerium Digitalisierung und Wirtschaftsstandort



W/W/T/F

# Danke für ihre Aufmerksamkeit



N [f+b] NÖ Forschung & Bildung

Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus

ÖAW ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

