

Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn
und
Erftverband, Bergheim

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

Mikrobielle Belastung der Fließgewässer aus
diffusen Eintragspfaden am Beispiel der Swist
(„Swist III“)



PD Dr. med. Thomas Kistemann MA (geogr.)
Dipl. Umw. Wiss. Dipl.-Ing. Ekkehard Christoffels
Dipl. Biol. Dipl. Geogr. Christiane Franke
Dipl. Biol. Andrea Rechenburg
Dr. rer. nat. Marlene Willkomm
Prof. Dr. med. M. Exner

unter Mitarbeit von

Dipl.-Geogr. Thomas Claßen, Dr. rer. nat. Christoph Koch, Dipl. Geogr. Esther Rind, Regina Brang-Lambrecht, Dipl.-Biol. Susanne Baumanns, Dipl.-Biol. Sabine Nöbel, cand. biol. Christoph Ottenheim, cand. geogr. Zoltan Szenasi, Robert Krump

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung und Auftrag	1
2	Material und Methoden	1
3	Ergebnisse und Diskussion	2
3.1	Geoökologische Charakterisierung des Einzugsgebietes	2
3.2	Hydraulische Situation im Untersuchungszeitraum	3
3.3	Konzentrationen in den unterschiedlichen Wasserproben	3
3.4	Statistische Analyse	7
3.5	Belastung der Fließgewässer durch diffuse Quellen	8
3.5.1	Jahreszeitliche Abhängigkeiten	8
3.5.2	Belastungen durch vorhandene potentielle Kontaminationen	9
3.5.3	Jahresfrachten	9
3.6	Frachtbelastung der Fließgewässer durch diffuse Quellen	12
3.7	Bedeutung der diffusen Quellen im Vergleich zu Punktquellen (Bilanzierung)	14
3.8	Risikobewertung von Infektionen	16
3.9	Weiterer Forschungsbedarf	18
4	Zusammenfassung	19
5	Literatur	20

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbauskizze des Monitoringsystems Probenahmemimik, Erftverband.....	2
Abb. 2: <i>E. coli</i> -Konzentrationen (Direktnachweis) in den Gewässerproben differenziert nach Landnutzung	5
Abb. 3: Mikroorganismen-Konzentrationen in den Ereignisproben differenziert nach Landnutzung, am Beispiel des Parameters <i>E. coli</i> (Direktnachweis).....	7
Abb. 4: Verhältnis der eingetragenen Jahresfrachten pro Hektar Rackeeinzugsgebiet aus den Abflusskomponenten Oberflächen- und Bodenwasserabfluss am Beispiel Nitrat-Stickstoff.	10
Abb. 5: Vergleich der Konzentrationen von <i>E. coli</i> in unterschiedlichen Abflüssen.....	12
Abb. 6: Jahresfracht von <i>E. coli</i> im Einzugsgebiet der Swist aus unterschiedlich genutzten, unversiegelten Flächen unter der Annahme, dass das gesamte Grünland extensiv (links) bzw. als Viehweide (rechts) im Einzugsgebiet genutzt wird.....	13
Abb. 7: Jahresfracht von Nitrat-Stickstoff (links) und Gesamtphosphor (rechts) im Einzugsgebiet der Swist aus unterschiedlich genutzten, unversiegelten Flächen	14
Abb. 8: Jährlicher Anteil der Punkt- und diffusen Quellen am Wasserzufluss zur Swist (Datengrundlage Erftverband 2006).....	15
Abb. 9: Jahresfrachten von <i>E. coli</i> aus Kläranlagen, Mischwasserentlastungen und diffusem Eintrag (Szenario extensive Grünlandnutzung).....	15
Abb. 10: Jahresfrachten von <i>Giardia lamblia</i> , im Einzugsgebiet der Swist aus Kläranlagen, Mischwasserentlastung und diffusem Eintrag.....	15
Abb. 11: Häufigkeit der Grenzwertüberschreitungen in den Gewässern nach AGA und Badegewässerverordnung NRW für den Parameter <i>E. coli</i> [%].....	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Nitrat-Stickstoff und Phosphorgesamt-Konzentrationen unterschieden nach Flächennutzung und Abflussart.....	4
Tab. 2_ Mikrobiologische Konzentrationen (Median) der Regelproben im Gewässer differenziert nach Landnutzung und Abflussart.....	5
Tab. 3: Mikrobiologische Konzentrationen (Median) der Ereignisproben differenziert nach Landnutzung und Abflussart.....	6
Tab. 4: Jahresfrachten der mikrobiologischen Parameter pro Hektar	11

1 Problemstellung und Auftrag

In den vergangenen Jahrzehnten wurden vielfältige Anstrengungen zur Verbesserung der Gewässerqualität unternommen. Die Maßnahmen zur Abwasserbehandlung führten zum Erreichen eines zufrieden stellenden Levels der chemischen Gewässergüte. Für die anthropogene Nutzung von Oberflächengewässern sind indes heute vielfach mikrobielle Belastungen limitierend. Neben den allgemein recht gut untersuchten Punktquellen ist die Bedeutung des Eintrags von Belastungen aus diffusen Quellen in diesem Zusammenhang eine wichtige Regelgröße. Das Annapolis-Protokoll der WHO (1999) geht im Rahmen der Überwachung von Gewässern, die Erholungszwecken dienen, explizit auf die Gesundheitsgefährdung durch den Eintrag von Pathogenen aus Abwasserbehandlungsanlagen und diffusen Verschmutzungsquellen ein. Obwohl die Risiken bekannt sind, fehlen quantitative Abschätzungen, welche mikrobiologischen Frachten über die verschiedenen Wege in die Gewässer eingetragen werden (Ritter et al., 2002).

Die nordrhein-westfälische Landesregierung förderte bereits verschiedene Projekte zur Ermittlung der Auswirkungen anthropogener Belastungen der Gewässer durch Siedlungsabwässer aus Kläranlagen und Mischwassereinleitungen auf das Auftreten pathogener Mikroorganismen in Oberflächengewässern (Kistemann et al., 2001, Kistemann et al., 2002, Kistemann et al., 2004). Es zeigte sich jedoch, dass bereits in den vermeintlich unbelasteten Oberläufen signifikante mikrobielle Belastungen bzw. Einträge existieren, die nicht schlüssig auf die vorgenannten Eintragspfade zurückzuführen sind und ein maßgebliches Bilanzdefizit erkennen lassen.

In dem vorliegenden vom Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn in Kooperation mit dem Erftverband, Bergheim, durchgeführten F&E-Vorhaben "Mikrobielle Belastung der Fließgewässer aus diffusen Eintragspfaden am Beispiel der Swist" („Swist III“) lagen die Ziele des Vorhabens aufbauend auf den Ergebnissen der Vorgängerprojekte in folgenden Arbeitsschwerpunkten:

- Erfassung der hygienisch-mikrobiologischen und chemischen Belastungen der diffusen Eintragspfade zur Vervollständigung einer Gesamtemissionsbilanz und zur Ermittlung der jeweiligen Anteile der Herkunftsbereiche an der Gesamtbelastung der Swist und ihrer Nebenläufe;
- Darstellung der zeitlichen – saisonspezifischen bzw. ereignisspezifischen – Schwankungsbreite der Belastungen sowie ihrer räumlichen Zuordnung;
- Ausweisung von Teileinzugsgebieten und korrespondierenden Zeitfenstern, in denen die Einhaltung bzw. die Überschreitung einschlägiger Richt- und Grenzwerte mit einer hohen, noch zu quantifizierenden Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist.

2 Material und Methoden

Als Untersuchungsraum wurde das Einzugsgebiet des Swistbaches (Flussgebietskennzahl 2742) ausgewählt. In verschiedenen Teileinzugsgebieten mit jeweils möglichst homogener Flächennutzung, wurden im Untersuchungszeitraum unterschiedliche Abflusskomponenten untersucht, um den diffusen stofflichen und mikrobiellen Eintrag in das Gewässer charakterisieren zu können.

Das gesamte Untersuchungsgebiet wurde einer geökologischen Charakterisierung unterzogen. Die Daten wurden durch eigene Begehungen, Auswertung vorhandener Literatur und Daten sowie durch Befragung entsprechender Fachinstitutionen gewonnen. Alle Informationen wurden in ein Geographisches Informationssystem (ArcGIS®9) zur Analyse und Visualisierung überführt.

Für die Probenahme wurden fünf Routine-Probenahmestellen an Fließgewässern für Trockenwetterbeobachtung sowie sieben Ereignis-Probenahmestellen zum Auffangen des Abflusses infolge von Nieder-

schlag eingerichtet. Die vom Erftverband entwickelten Racks ermöglichen das Auffangen des abfließenden Niederschlagswasser verschiedener Abflusskomponenten getrennt von einander (Oberflächenabfluss und Bodenwasserabfluss). Daneben wurden ausgewählte Drainagen beprobt.

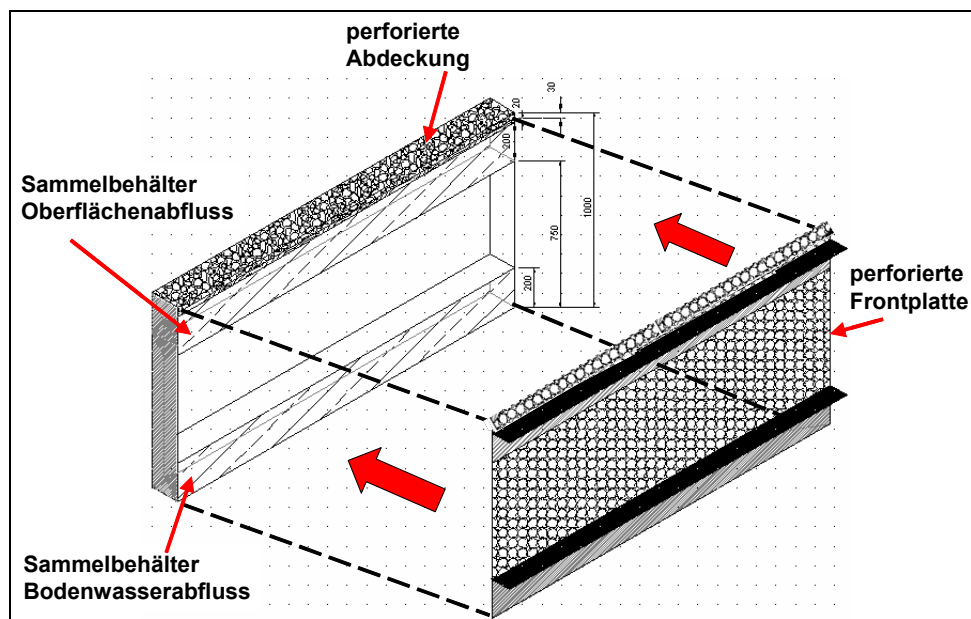


Abb. 1: Aufbauskinne des Monitoringsystems Probenahmemimik, Erftverband

Die Probenahme erfolgte im Zeitraum von August 2005 bis November 2006. Regelproben wurden während des gesamten Untersuchungszeitraums gezogen, mit von Gewässerabschnitten, die über längere Zeiträume im Sommer sowie Herbst 2006 trocken gefallen waren.

Die gewonnenen Proben wurden physikalisch, chemisch, bakteriologisch und parasitologisch untersucht. Neben den Indikatorbakterien *E. coli*, Coliforme, Fäkalstreptokokken und sulfitreduzierenden anaeroben Sporenbildner (Clostridien) wurden weitere Bakterien in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, die teilweise erst in den letzten Jahren und Jahrzehnten als trinkwasserübertragene Krankheitserreger erkannt wurden: Salmonellen, *Campylobacter* sp. Die parasitologischen Untersuchungen umfassten *Cryptosporidium* sp. und *Giardia lamblia*, die beim Menschen schwere Durchfallerkrankungen verursachen können. Flankierend wurden 26 physiko-chemische Parameter gemessen. Aufgrund der aktuellen Diskussionen wurde das Vorkommen von insgesamt 41 Arzneistoffen und Pflanzenschutzmitteln in den Ereignisproben analysiert und in die Auswertung mit einbezogen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Geoökologische Charakterisierung des Einzugsgebietes

Das Einzugsgebiet des Swistbaches mit seinen tributären Fließgewässern erstreckt sich von der rheinland-pfälzischen Landesgrenze im Süden bis nach Weilerswist im Norden. Es umfasst insgesamt ca. 285 km² und wird zu einem Großteil durch das großräumige und ausgeräumte Landschaftsbild der ebenen Lößgebiete der Zülpicher Börde bestimmt, in dem ausgedehnte, offene Ackerfluren mit Weizen- oder Zuckerrübenanbau überwiegen. Im Eifelvorland kommt Grünlandwirtschaft und Obstanbau hinzu. Vor allem im Raum Meckenheim haben sich Obstanbau und Baumschulen gegenüber dem Ackerbau durchsetzen können. Laut ATKIS-Abfrage werden ca. 40 % der Fläche im Einzugsgebiet des Swistbaches ackerbaulich, ca. 6 % als Grünland und ca. 6 % als Sonderkulturen genutzt. Vereinzelt wird zur Beregnung der Sonderkulturen (z.B. Erdbeeren) Oberflächenwasser genutzt. Die direkte

Entnahme von Flusswasser zur Viehtränkung wurde beobachtet. Im Untersuchungsgebiet leben ca. 70.000 Menschen. Die Bevölkerungsdichte von 246 E/km² liegt dabei deutlich unter der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von NRW. Die kommunale Abwasserbehandlung im Untersuchungsgebiet obliegt dem Erftverband. An einigen Stellen im oder am Bachbett findet eine regelmäßige Spiel- und Badenutzung statt.

Während die Niederungen an den Fließgewässern von Auenböden geprägt sind, besteht die Region, worin sich die Probenahmestellen befinden, aus Unterdevon und Tonschiefer/Sandstein. Hier liegen geologische Störungen vor, so dass kein zusammenhängender Grundwasserleiter vorhanden und das Gebiet kaum grundwasserbeeinflusst ist (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 1988). Nach den Ergebnissen der Bestandsaufnahme im Rahmen der Umsetzungen zur EG-Wasserrahmenrichtlinie ist die Gewässergüte der Swist durchweg "mäßig belastet" (Güteklasse II). Die im Rahmen der EG-WRRL relevanten Zuflüsse der Swist sind ebenfalls in Klasse II eingestuft, der Steinbach besitzt sogar die biologische Güte I-II (Ergebnisbericht Erft, 2007). Die Gewässerstruktur dagegen ist aufgrund der anthropogenen Überformung in weiten Teilen des Einzugsgebietes in Strukturgüteklasse V und schlechter eingestuft.

3.2 Hydraulische Situation im Untersuchungszeitraum

Im Einzugsgebiet der Swist unterhält der Erftverband mehrere Niederschlagsmessstationen. Die für diese Studie repräsentativen Stationen befinden sich in der Nähe der Ortschaften Todenfeld, Niederdrees, Meckenheim und Heimerzheim. Die Jahressumme des Niederschlags im Zeitraum vom 20.11.2005 bis zum 20.11.2006 lag an den vier Niederschlagsmessstationen zwischen 553,5 mm und 653,6 mm. Das Jahresniederschlagsmittel des Untersuchungsraumes, berechnet als arithmetisches Mittel dieser Werte, beträgt 596,6 mm. Verglichen mit dem langjährigen Mittel von 639,3 mm ist das Untersuchungsjahr mit einem Verhältnis von 93,3 % als „normal“ zu klassifizieren. Obwohl das Sommerhalbjahr 2006 verglichen mit dem langjährigen Gebietsmittel als „normal“ zu charakterisieren ist, gab es einige Wochen im Sommer und Herbst 2006, in denen die Wasserläufe des Morsbach und des Hunnensiefen trocken gefallen waren.

Die Rackproben wurden über das gesamte Jahr verteilt genommen. Da der Oberflächen- und Bodenwasserabfluss von Regenereignissen abhängig ist, konnten im Frühjahr mit häufigem Niederschlag vermehrt Proben gewonnen werden. Die sehr trockenen Monate September und Oktober im Spätsommer 2006 führten dagegen zu langen Phasen, in denen in den Racksystemen kein Wasserzufluss festgestellt wurde. Erst als Anfang November wieder mehrere Regentage auftraten, konnten die letzten Ereignisproben (Rackproben) gewonnen werden.

3.3 Konzentrationen in den unterschiedlichen Wasserproben

Die Ergebnisse der physikalisch-chemischen Analytik an den Gewässerprobestellen waren unauffällig (pH 6,8-8,5, O₂ im Median 8-12 mg/L, Leitfähigkeit 204-270 µS/cm; Die Wässers 102-741 µS/cm, CSB <20 mg/l, Kjeldahl-N i.d.R. <2 mg/l). Sie dokumentieren den Erfolg der langjährigen Bemühungen um weitergehende Reinigung der eingeleiteten Abwässer. Größere Schwankungen waren bei der Trübung festzustellen. Schwermetallnachweise waren selten positiv, mit einem Maximum von 23,87 mg/L Eisen in einer Probe der Teichanlage.

Die Nachweise auf Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und Arzneimittelwirkstoffe in den Gewässern waren großteils negativ. Bei zwei von vier Proben der Wässers (Acker) wurden Chloridazon, Desethylterbuthylazin, Diuron, Metamitron, Metazachlor, Metribuzin und Terbuthylazin nachgewiesen, ebenso

Stoff-Konzentration [mg/L]		Nitrat-Stickstoff	Phosphor _{gesamt}
Wald	Gewässer	0,52	0,1
	OA	5,26	0,53
	BA	6,62	0,79
Teichanlage	Gewässer	0,2	0,1
Weide	Gewässer	0,79	0,1
	OA	12,5	1,01
	SW	1,73	0,1
Acker	Gewässer	22,8	0,54
	OA	19,8	2,02
	BA	12,6	0,14
Sonderkultur	Gewässer	2,43	0,1
	OA	14,54	1,9
	BA	5,82	0,87

Tab. 1: Nitrat-Stickstoff und Phosphorgesamt-Konzentrationen unterschieden nach Flächennutzung und Abflussart

in einer von drei Proben des Morsbach (Sonderkultur) die Pflanzenschutzmittel Chloridazon, Diuron und MCPA.

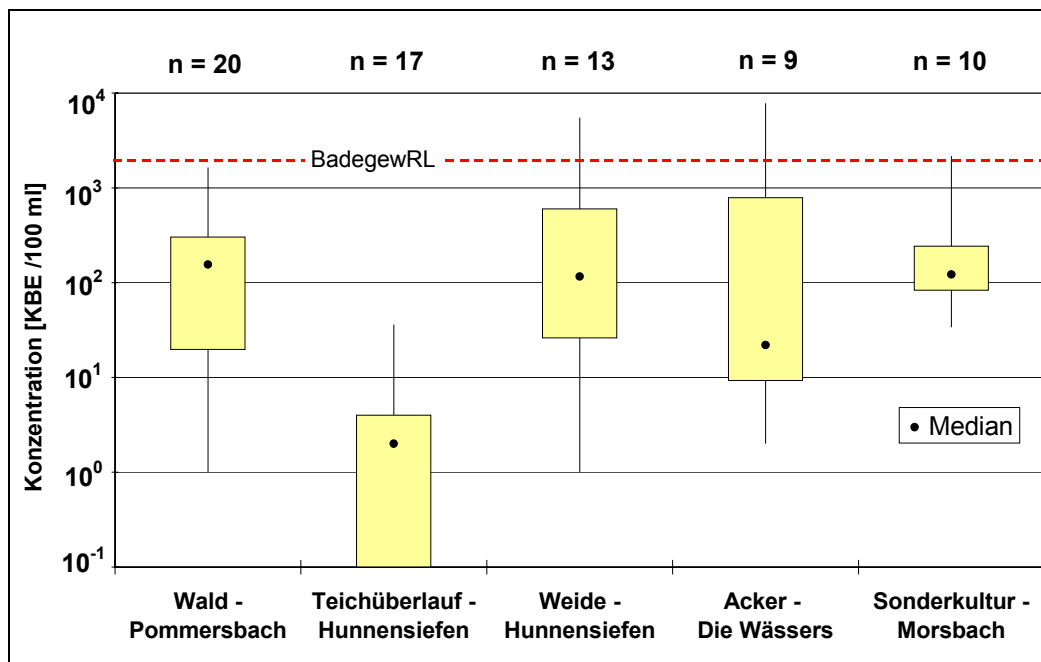
Auch für die Proben von Oberflächen- und Bodenwasserabfluss sowie Drainagen gilt, dass die vor Ort gemessenen Parameter wie pH-Wert (Mediane zwischen 5,0 und 7,4), oder der Sauerstoffgehalt (4,0 – 15,5 mg/L) unauffällig waren. Die Trübung unterlag auch hier größeren Schwankungen. Pflanzenschutzmittel wurden einmalig im Drainagewasser des Erdbeerfeldes am Sürstbach in der 25. KW 2006 nachgewiesen (Desethylterbutylazin, MCPA und Terbutylazin).

Allerdings fielen im Oberflächenabfluss des Waldstandortes einzelne Nachweise von Cadmium und Aluminium positiv aus. Auch im Oberflächenabfluss der Grünlandfläche wurde einmalig Aluminium (37,1 mg/L) gefunden; ebenso am Morsbach (Sonderkultur) im Bodenwasserabfluss (4,69 mg/L) und Drainagewasser (P12: 0,86 mg/L, P13: 0,98 mg/L). Eisen- und Mangangehalte waren am Waldstandort sehr hoch. Der Median für die Eisengesamt – Konzentration lag im Oberflächenabfluss bei 65,3 mg/L und für Mangangesamt bei 5,86 mg/L. Im Bodenwasserabfluss betrug der Median für Eisengesamt sogar 123 mg/L und für Mangangesamt 6,01 mg/L. An den anderen Standorten waren die Schwermetall-Konzentrationen nicht ganz so hoch, aber ebenfalls deutlich höher als bei den Gewässerproben.

Die Mediane der mikrobiologischen Parameter der Regelproben, die aus den Gewässern gewonnen wurden, sind in Tab. 2 aufgeführt. Die höchsten Koloniezahlen traten bei Ackerflächen auf. *E. coli* findet sich median mit höchsten Konzentrationen bei der Weide und dem Wald. Die absolut höchsten Konzentrationen an *E. coli* wurden jedoch bei Acker- und Weideland festgestellt (Abb. 2). Auch Clostridien kommen in den höchsten medianen Konzentrationen bei Acker- und Weideland vor. *Campylobacter* finden sich im Median mit den höchsten Konzentrationen bei Weidenutzung. Giardien und Salmonellen wurden in der Teichanlage am häufigsten nachgewiesen, während Cryptosporidien bei Ackernutzung am häufigsten auftrat.

Regel-Proben	KBE 20°C	KBE 36°C	<i>E. coli</i> (Direktnachweis)	<i>E. coli</i> (MPN)	Coliforme	Streptokokken	Clostridien	<i>Campylobacter</i>	Salmonella	Giardia	Cryptosporidium
	[KBE/mL]		[KBE/100mL]						Anzahl positiver Proben		
Wald Teich-anlage	1.000	238	153	230	680	30	20	0	2	0	2
	262	91	3	40	230	200	24	3	5	6	2
Weide	1.570	456	106	580	4.600	120	76	100	0	0	2
Acker Sonder-kultur	19.900	1.560	34	40	3.900	155	155	<10	2	1	4
	2.020	552	99	110	1.500	78	32	0	1	2	2

Tab. 2_ Mikrobiologische Konzentrationen (Median) der Regelproben im Gewässer differenziert nach Landnutzung und Abflussart

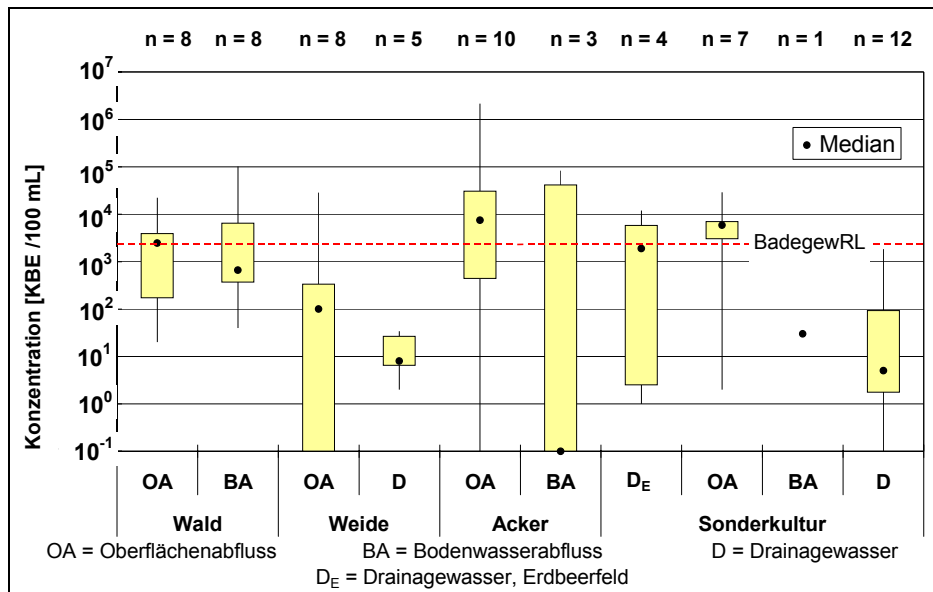


Der Grenzwert der Badegewässerrichtlinie (BadegewRL) ist als gestrichelte rote Linie eingefügt.
Abb. 2: *E. coli*-Konzentrationen (Direktnachweis) in den Gewässerproben differenziert nach Landnutzung.

Ereignisproben		KBE 20 °C	KBE 36 °C	<i>E. coli</i> (Direktnachweis)	<i>E. coli</i> (MPN)	Coliforme	Streptokokken	Clostridien	<i>Campylobacter</i>	<i>Salmonella</i>
		[KBE/mL]								
Wald	OA	111.760	9.365	2.200	230	2.300	3.060	82	<10	0
	BA	162.800	10.625	660	840	3.900	3.800	325	<10	0
Grünland	OA	75.855	19.700	100	930	8.650	2.500	970	<10	1
	BA	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	D	174	102	8	40	430	2	30	0	0
Acker	OA	114.500	54.400	7.440	43.000	125.000	10.300	6.250	10	3
	BA	3.105	161	0	0	12.045	10	2	0	0
Sonderkultur	OA	94.800	42.815	5.703	1.500	82.500	8.350	10.950	<10	1
	BA	13.870	6.400	30	30	2.375	235	137	0	0
	D _E	8.315	13.918	1.894	15.000	56.200	13	39	0	3
	D _(M1)	2.400	635	4	30	6.650	10	21	0	2
	D _(M2)	2.115	680	6	1.500	7.500	626	40	0	3

Tab. 3: Mikrobiologische Konzentrationen (Median) der Ereignisproben differenziert nach Landnutzung und Abflussart

Die medianen Konzentrationen der hygienisch-mikrobiologischen Beprobung der Abflusskomponenten ist in Abb. 3 exemplarisch für *E. coli* dargestellt und verdeutlichen die Schwankungsbreite der Ergebnisse. Über alle Abflusskomponenten, gleich welcher Flächennutzung, gemittelt stellt sich der Oberflächenabfluss als der Eintragspfad mit der höchsten *E. coli*-Konzentration dar (Tab. 3). Dahinter rangiert der Bodenwasserabfluss. Seine im Vergleich zum Oberflächenabfluss geringere Belastung erklärt sich ohne weiteres durch die Filterwirkung des Bodens sowie Rückhalt der Zellen in den Mikroporen des Bodens. Für die weiteren untersuchten hygienisch-mikrobiologischen Parameter gilt, dass häufig die höchsten medianen Konzentrationen im Oberflächenabfluss auftraten, jedoch nicht ausschließlich, z.B. KBE bei 20°C und Waldnutzung. Giardien und Cryptosporidien konnten weder in den Rackproben noch im Drainagewasser nachgewiesen werden. Die geringste mikrobielle Belastung zeigt das Drainagewasser mit einem über alle Proben erhobenen Median von 5 KBE/100ml für den Parameter *E. coli*.



Der Grenzwert der Badegewässerrichtlinie (BadegewRL) ist als gestrichelte rote Linie eingefügt.
Abb. 3: Mikroorganismen-Konzentrationen in den Ereignisproben differenziert nach Landnutzung, am Beispiel des Parameters *E. coli* (Direktnachweis).

Die über Oberflächen- und Bodenwasserabfluss eingetragene Konzentration an Bakterien im Gewässer wird demnach u. a. durch das Drainage- und dem Gewässer direkt zufließenden Grundwasser verdünnt. Daneben ist der Einfluss unbelasteten, zuströmenden Grundwassers zu berücksichtigen.

Die Drainageabflüsse unterscheiden sich von den Bodenwasserabflüssen hinsichtlich der aus der allgemeinen Umwelt stammenden coliformen Bakterien kaum. Die allgemeine Koloniezahl bei 20°C und 36°C ist höher als in den Gewässerproben (vgl. Tab. 2). Es ist anzunehmen, dass sowohl die bei 20°C nachgewiesenen heterotrophen Organismen, welche vor allem ubiquitär verbreitete Umweltbakterien repräsentieren, als auch die bei 36°C nachgewiesenen Bakterien in Biofilmen an den beprobten Drainagewänden siedeln und diese daher für die höchsten Koloniezahlen verantwortlich sein können.

3.4 Statistische Analyse

Für weitere Betrachtungen über den statistischen Zusammenhang der einzelnen Parameter untereinander sowie zu Flächennutzung, Abflusskomponenten und Niederschlag wurden Rangkorrelationen nach Spearman berechnet. Ein starker (Korrelationskoeffizient $r > 0,5$) und signifikanter Zusammenhang (Irrtumswahrscheinlichkeit $< 0,05$) ist nur bei wenigen hygienisch-mikrobiologischen Parametern festzustellen. Dies liegt aber auch in der natürlichen Variation mikrobieller Konzentrationen begründet (Tillett et al., 2001). Besonders stark ist dieser zwischen *E. coli* und Fäkalstreptokokken ($r = 0,745$) ausgeprägt. Die gemessenen Konzentrationen von *Campylobacter* und den beiden Parasitendauerstadien dagegen stehen mit keinem der anderen hygienisch-mikrobiologischen Parameter in Zusammenhang. *Giardia* zeigt als einziger hygienisch-mikrobiologischer Parameter mit ausreichender Signifikanz einen schwachem Zusammenhang (in beiden Fällen $r = 0,431$) mit PSM (Desethylterbuthylazin und Metazachlor). Ein ausreichend starker und signifikanter Zusammenhang von hygienisch-mikrobiologischen mit physiko-chemischen Parametern ist nur im Falle der Trübung gegeben, hier besonders die allgemeinen Koloniezahlen bei 36°C und 20°C, gefolgt von Fäkalstreptokokken und Clostridien. Dieser Zusammenhang zwischen dem physikalischen Parameter Trübung und der Mikroorganismenkonzentration wurde verschiedentlich beschrieben (LeChevallier et al., 1991, MacKenzie et al., 1994, Atherholt et al., 1998, Kinzelman et al., 2004). Fäkalstreptokokken und Clostridien sind unbeweglich und bei höherer Trübung vermutlich in höheren Konzentrationen vorhanden,

weil sie sich ähnlich wie Partikel verhalten und schneller sedimentieren als bewegliche Bakterien. Außerdem haften viele Bakterien in Biofilmen auf den Partikeln (Matz et al., 2004).

Die Landnutzung zeigt mit hoher Signifikanz einen nur schwachen Zusammenhang ($r = 0,290$ bzw. $0,220$) mit den hygienisch-mikro-biologischen Parametern coliforme Bakterien sowie Salmonellen an und daher in der Praxis als nicht nachvollziehbar zu bewerten ist. Ein Zusammenhang zwischen hygienisch-mikrobiologischen und anderen physiko-chemischen Parametern darüber hinaus konnte nicht erkannt werden. Bezüglich der einzelnen Abflusskomponenten konnte kein signifikanter Zusammenhang mit den hygienisch-mikrobiologischen Parametern ermittelt werden.

Ein schwacher Zusammenhang hoher Signifikanz zwischen der Landnutzung und Abflussart zu den untersuchten chemischen Parametern ist in einigen Fällen gegeben. Bezüglich der verschiedenen Abflusskomponenten lässt sich kein Unterschied in der Eintragungshöhe feststellen. Eine Ausnahme stellen der starke Zusammenhang zwischen Landnutzung und Calciumgehalt ($r = 0,791$) bzw. zwischen Landnutzung und Säurekapazität ($r = 0,533$) dar. Auffällig ist der sehr starke und höchst signifikante negative Zusammenhang zwischen abfiltrierbaren Stoffen und der elektrischen Leitfähigkeit. Dieser kann durch einen erhöhten Wasserabfluss erklärt werden, der Abschwemmungen von den untersuchten Oberflächen fördert und den Anteil abfiltrierbarer Stoffe in den untersuchten Proben mit steigendem Wasserabfluss, jedoch werden vorhandene Salze eher verdünnt und sind aus der Bodenfraktion relativ schnell ausgewaschen. Außerdem korreliert die elektrische Leitfähigkeit höchst signifikant mit den Parametern Calcium (stark), Chlorid und Säurekapazität (mittel stark) sowie signifikant mit dem Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) (mittel stark). Der pH-Wert weist mit hoher Signifikanz einen mittel starken Zusammenhang mit dem Gesamttrockenrückstand und Gesamtlührückstand auf. Zwischen den chemischen Parametern selbst bestehen vielfältige hoch signifikante Korrelationen, von denen auch ein Großteil starke bis sehr starke Zusammenhänge aufweisen. Der Grund liegt darin, dass die meisten chemischen Stoffe bzw. Reaktionen miteinander gekoppelt sind. Eingängiges Beispiel ist der pH-Wert mit seinem Einfluss auf die Freisetzung von Eisen, Aluminium, Zink oder Mangan aus dem Boden (Liljaniemi et al., 2003).

Im Falle der untersuchten Pflanzenschutzmittel lässt sich aufgrund der Datenlage nur in wenigen Fällen eine Korrelationsberechnung durchführen. Meist lagen die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze. Es ist hier nur in einem Fall (Metamitron und Abflussart) eine Signifikanz von $0,047$ gegeben. Die Stärke des Zusammenhangs ist nicht hoch ($r = -0,298$), allerdings ist die Fallzahl mit $n = 7$ sehr gering, so dass keine belastbare Aussage getroffen werden kann. Die Vor-Ort-Parameter korrelieren in keiner Weise mit dem Vorhandensein der PSM. Angesichts der geringen Zahl positiver Nachweise einzelner PSM war dieses Ergebnis jedoch zu erwarten. Einige der untersuchten PSM stehen untereinander in einem starken und hoch signifikanten Zusammenhang. Dies war zu erwarten, da in der Praxis nicht einzelne PSM aufgetragen werden, sondern es werden verschiedene PSM gleichzeitig appliziert. So eignet sich Desethylterbuthylazin (ein Abbauprodukt von Terbuthylazin) z.B. gut als Indikator für die Stoffe Metazachlor, Terbuthylazin, Diuron und Chloridazon.

3.5 Belastung der Fließgewässer durch diffuse Quellen

3.5.1 Jahreszeitliche Abhängigkeiten

Es sind keine Schwankungen der hygienisch-mikrobiologischen und chemischen Parameter in Abhängigkeit von der Jahreszeit sind nachvollziehbar. Hier sind vielmehr Einzelereignisse wie z.B. Schneeschmelze oder Gülleaufbringung auf Felder in Verbindung mit Niederschlägen bezüglich des Einflusses auf die Mikroorganismenkonzentration dominierend (Heinonen-Tanski und Uusi-Kamppa, 2001).

So konnte in der 15. KW 2006 an der Probenahmestelle Weide frisch ausgebrachte Gülle beobachtet werden. Nach einigen kleineren Niederschlagsereignissen war in der 20. KW 2006 die Gewässerprobe an dieser Stelle massiv mikrobiell belastet. Auch die Pflanzenschutzmittel, die während des Jahres in kontinuierlichen Abständen auf die Sonderkulturflächen aufgetragen werden, konnten in den Abflusskomponenten nur vereinzelt und nicht in zeitlicher Beziehung zum Applikationsereignis nachgewiesen werden.

3.5.2 Belastungen durch vorhandene potentielle Kontaminationen

Im Rahmen der Kartierung des Untersuchungsgebietes wurden unterschiedliche potentielle diffuse Kontaminationsquellen für die Einzugsgebiete der Probenahmestellen bestimmt. Die Punktquellen wurden bereits ausführlich in den Abschlussberichten der Vorgängerprojekte Swist I und Swist II diskutiert (Kistemann et al., 2001, Kistemann et al., 2004). Diffuse Kontaminationsquellen lassen sich in 7 Kategorien einteilen. Gewässer wie Gräben, Rinnsale, Bäche und Teiche machen mit einem Viertel den größten Anteil aus. Hinzu kommen die Drainagen mit 21 % Anteil an den potentiellen Kontaminationsquellen. Die wasserassoziierten Quellen sind somit mit insgesamt 46 % dominierend. Die Kontaminationsquellen, tierischen Ursprungs, stehen mit insgesamt 33 % an zweiter Stelle. Viehtritt und Fäkalien betragen hiervon 18 %; hinzukommen Wildwechsel und Suhlstellen mit 15 % der potentiellen Kontaminationsquellen. An dritter Stelle rangieren Abfälle mit 21 % als potentielle Kontaminationsquellen. Diese lassen sich in Hausmüll (11 %), Bauschutt und defekte landwirtschaftliche Geräte (6 %) sowie Obst- und Pflanzenabfälle (4 %) gliedern. Es ist davon auszugehen, dass über wasserassoziierte Quellen Einträge aus großen Flächen in die Gewässer gelangen. Drainagen haben im Falle der landwirtschaftlichen Flächen eine wesentliche Bedeutung, da zumeist Nutzland drainiert wird. Seitliche Zuflüsse zu den Gewässern stehen außerdem in enger Verbindung zu den Quellen tierischen Ursprungs, da sie als Oberflächenwasserkörper von Wild- und Weidetieren im Rahmen von Suhlstellen, Viehtritt, Furten u. ä. beeinflusst werden.

3.5.3 Jahresfrachten

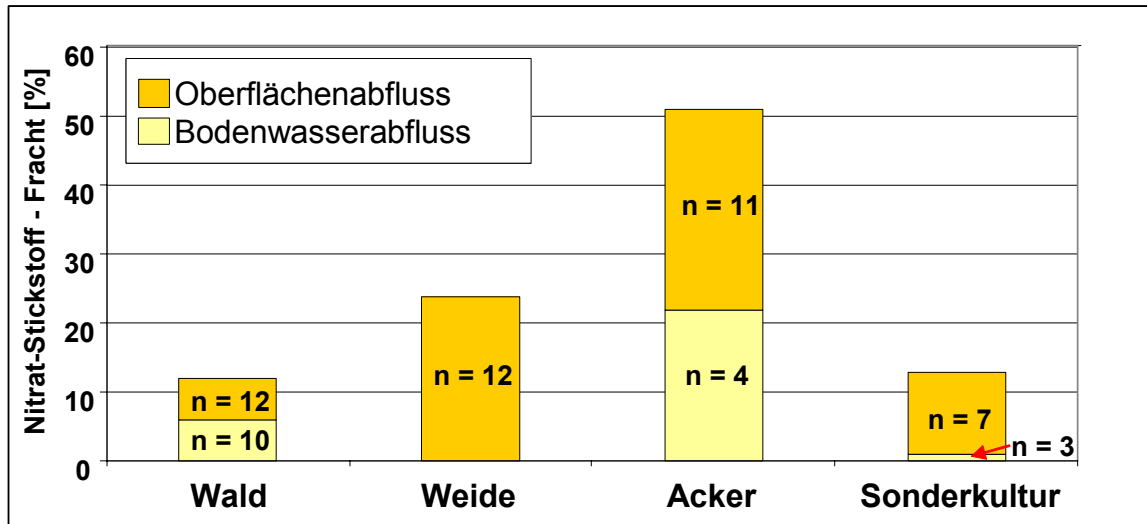
Für eine umfassende, das gesamte Einzugsgebiet einbeziehende Betrachtung der diffusen Einträge aus Flächen unterschiedlicher Nutzung und die spätere Bewertung ihrer Bedeutung hinsichtlich der Gesamtbelastung der Gewässer muss neben den Einzelereignissen auch das Gesamtjahr berücksichtigt werden. Es wurden zur Frachtberechnung der chemischen Substanzen sowie der Mikroorganismen, welche ins Gewässersystem Swist gelangen, zwei verschiedene Rechenwege gewählt:

1. Hochrechnung der Ergebnisse auf Jahresfrachten, die über die jeweilige Abflusskomponente (Oberflächenabfluss/Bodenwasserabfluss) pro Hektar Fläche eingetragen werden = Minimaleintrag
2. Berechnung der Frachten für das gesamte Einzugsgebiet der unterschiedlichen Nutzungen im Einzugsgebiet der Swist aufgrund des Gesamtabfluss am Pegel Weilerswist unter Abzug von Kläranlagenabfluss, Grundwasserneubildung und Mischwasserentlastungen.

Für die Entwässerung der Flächen mittels Drainagen und den Eintrag der betrachteten Stoffe über diesen Pfad in die Gewässer kann nur eine Schätzung erfolgen, da die Schüttungsdauer der Drainagen nicht bekannt ist.

An der Probestelle im Wald nehmen die Abflusskomponenten für den Boden und für die Oberfläche einen etwa gleichgroßen Anteil ein. Im Falle der Sonderkultur stellt sich das Verhältnis umgekehrt dar; etwa zwei Drittel der Abflüsse fließen hier oberflächlich ab. Der im Verhältnis zum Oberflächenabfluss (1/3) höhere Bodenwasserabfluss (2/3) im Bereich der Ackerfläche ist durch die geringe Hangneigung und die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung bedingt (Muirhead et al., 2006). Für Wei-

denutzung fehlt die Angabe des Bodenwasserabflusses aus technischen Gründen. Das geringste Bodenwasserabflussvolumen wurde auf den als Obstplantagen genutzten Sonderkulturflächen gewonnen und liegt vermutlich in der geringen Hangneigung und damit im Verhältnis höheren vertikalen Wasserfluss begründet. Die Probenahmestelle ist dennoch repräsentativ, da ein Großteil der Sonderkulturen im Einzugsgebiet auf ähnlich geneigten Anbauflächen liegt.



Die aufsummierten Jahresfrachten pro Hektar ergeben zusammen 100%.

Abb. 4: Verhältnis der eingetragenen Jahresfrachten pro Hektar Rackeinzugsgebiet aus den Abflusskomponenten Oberflächen- und Bodenwasserabfluss am Beispiel Nitrat-Stickstoff.

Das höchste Volumen konnte bei der Grünlandnutzung (Oberflächenabfluss) aufgefangen werden. Auf dem Grünland wird die Infiltration verlangsamt; ein größerer Anteil des Niederschlags verdunstet oder fließt ab, anstatt im Boden zu versickern.

Die Jahresfracht von Nitrat-Stickstoff und Phosphor_{gesamt}-Fracht ist zumeist im Oberflächenabfluss höher als im Bodenwasserabfluss und der Eintrag aus verschiedenartigen Nutzungen variiert stark. Der höchste Eintrag in das Gewässer lag bei der Ackernutzung vor (siehe Abb. 3). Den höchsten Phosphor_{gesamt}-Eintrag pro Hektar weist die Grünlandnutzung auf, gefolgt von der Sonderkultur-, Acker- und Waldnutzung.

Die Jahresfrachten der untersuchten Bakterien für die einzelnen Flächennutzungen sind in Tab. 4 dargestellt. Entsprechend bakteriologischen Beprobungsergebnisse und der Abflussvolumina variiert auch die Fracht je nach Landnutzung und Untersuchungsparameter. Beispielhaft wird an dieser Stelle auf den Parameter *E. coli* näher eingegangen. Über den Zeitraum eines gesamten Jahres gesehen unterscheiden sich die Einträge an *E. coli* pro Hektar aus Oberflächen- und Bodenwasserabfluss im Wald, Oberflächenabfluss der Weide, Bodenwasserabfluss der Ackerfläche und Oberflächenabfluss der Sonderkultur in das Gewässersystem der Swist nur wenig. Die Jahresfrachten dieser Abflüsse liegen zwischen 10^6 und 10^7 KBE /ha.

Den Ackerflächen kommt eine große Bedeutung als diffuser Eintragspfad zu, u.a. wegen des geringen Grades an Bodenbewuchs. Die Sonderkulturflächen leisten wie die Mähweiden über den Oberflächenabfluss einen ähnlichen, teilweise auch höheren Beitrag an der mikrobiellen Gewässerbelastung. Der Frachteintrag aus dem während des gesamten Untersuchungszeitraums nur sehr extensiv als Mähweide genutzten Grünland ist bis zu zwei Zehnerpotenzen geringer als aus Ackerflächen. Trotz der unter-

schiedlichen Volumina der in den Racks aufgefangenen Bodenwasserabflüssen von Wald und Acker liegen die mikrobiellen Frachten beider Probenahmestellen für *E. coli* und Streptokokken in gleicher Größenordnung.

Für die übrigen untersuchten Parameter kann festgestellt werden, dass aus der Waldfläche trotz des geringeren Abflussvolumens über den Bodenwasserabfluss eine höhere Fracht in die Gewässer eingetragen wird als aus der Ackerfläche. Dies kann durch eine höhere Fließgeschwindigkeit und daher geringere Filterwirkung aufgrund des stärkeren Gefälles und des recht tonhaltigen Bodens an dem ausgewählten Waldstandort bedingt sein, welcher vertikalen Wasserfluss nur bedingt zulässt.

Die Sonderkultur tritt bezüglich des Bodenwasserabflusses als Eintragspfad von Mikroorganismen in die Gewässer eindeutig hinter die beiden Nutzungsarten Wald und Acker zurück. So wurden hier immer unter 10 *Campylobacter* pro 100 mL gefunden. Ausnahme sind Clostridien und die Gesamtkoloniezahl bei 36°C, deren Menge den Eintrag aus Ackerflächen übertrifft.

Aus dem Oberflächen- und Bodenwasserabfluss konnten nur wenige parasitologische Wasserproben gewonnen werden. In diesen wurden keine Giardia-Cysten oder Cryptosporidium-Oocysten nachgewiesen. Frachtbetrachtungen diesbezüglich entfallen daher an dieser Stelle.

Es kann keine der untersuchten Flächennutzungen kann als prädestiniert für den Eintrag von Mikroorganismen in Gewässer über abfließendes Wasser hervorgehoben werden. Über alle Abflusskomponenten, gleich welcher Flächennutzung, gemittelt stellt sich der Oberflächenabfluss als der Eintragspfad mit der höchsten Bakterienkonzentration (Median von *E. coli* = 2.200 KBE /100 mL) dar. Dahinter rangiert der Bodenwasserabfluss. Seine im Vergleich zum Oberflächenabfluss geringere Belastung erklärt sich ohne weiteres durch die Filterwirkung des Bodens sowie Rückhalt der Zellen in den Mikroporen des Bodens

Tab. 4: Jahresfrachten der mikrobiologischen Parameter pro Hektar

Jahresfracht/ha		KBE 20	KBE 36	<i>E.coli</i> (CC)	<i>E. coli</i> (MPN)	Coliforme	Streptokokken	Clostridien	<i>Campylobacter</i>
Wald	OA	1,4*10 ¹⁰	2,5*10 ⁹	2,2*10 ⁶	1,0*10 ⁷	2,0*10 ⁷	3,6*10 ⁶	1,4*10 ⁵	3,6*10 ³
	BA	1,5*10 ¹⁰	3,5*10 ⁹	3,2*10 ⁶	1,1*10 ⁷	3,9*10 ⁷	2,2*10 ⁶	1,4*10 ⁵	3,6*10 ³
Weide	OA	9,2*10 ⁹	1,3*10 ⁹	1,1*10 ⁶	1,7*10 ⁶	3,1*10 ⁷	1,4*10 ⁷	4,9*10 ⁵	2,0*10 ⁴
	BA	--	--	--	--	--	--	--	--
Acker	OA	9,5*10 ⁹	6,3*10 ⁹	1,0*10 ⁸	6,1*10 ⁷	9,7*10 ⁷	5,2*10 ⁷	2,4*10 ⁶	1,7*10 ⁵
	BA	4,2*10 ⁸	2,0*10 ⁷	3,8*10 ⁶	4,3*10 ⁶	1,2*10 ⁶	2,6*10 ⁶	2,3*10 ³	4,6*10 ²
Sonderkultur	OA	2,0*10 ⁹	1,4*10 ⁹	1,4*10 ⁶	5,8*10 ⁶	2,4*10 ⁷	7,0*10 ⁷	5,9*10 ⁶	1,4*10 ³
	BA	7,7*10 ⁶	2,9*10 ⁷	1,8*10 ³	2,3*10 ³	1,1*10 ⁵	1,4*10 ⁴	1,2*10 ⁴	n.b.

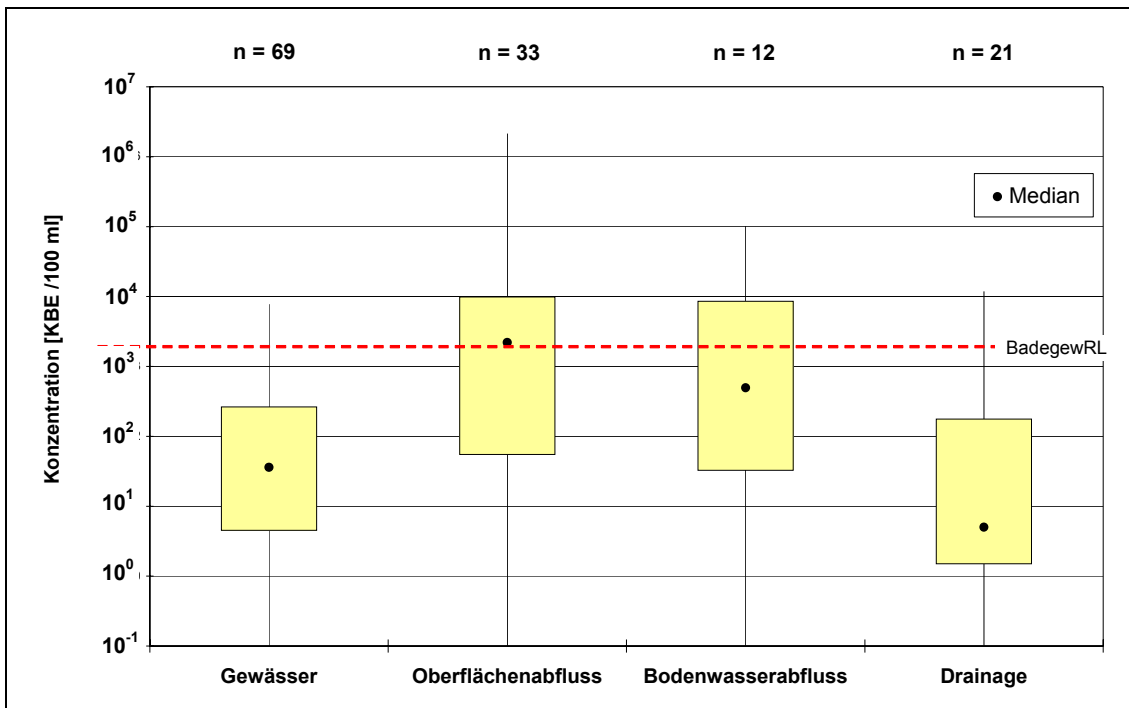


Abb. 5: Vergleich der Konzentrationen von *E. coli* in unterschiedlichen Abflüssen.
Der Grenzwert der Badegewässerrichtlinie ist als gestrichelte rote Linie dargestellt.

Die geringste mikrobielle Belastung zeigt das Drainagewasser mit einem Median von 5 KBE /100ml für den Parameter *E. coli*. Die über Oberflächen- und Bodenwasserabfluss eingetragene Konzentration an Bakterien im Gewässer wird demnach u. a. durch das Drainage- und dem Gewässer direkt zufließenden Grundwasser verdünnt. Hinsichtlich der aus der allgemeinen Umwelt stammenden coliformen Bakterien unterscheiden sich die Drainageabflüsse von den Bodenwasserabflüssen allerdings kaum. Die allgemeine Koloniezahl bei 20°C und 36°C ist hier höher als in den Gewässerproben. Es ist anzunehmen, dass die nachgewiesenen heterotrophen Organismen in Biofilmen an den beprobten Drainagewänden siedeln und diese daher für die hohen Koloniezahlen verantwortlich sein können.

3.6 Frachtbelastung der Fließgewässer durch diffuse Quellen

Anhand der auf den repräsentativen Testflächen gemessenen Frachten aus den Oberflächen- und Bodenwasserabflüssen pro Hektar kann die Emission aus dem gesamten Einzugsgebiet der Swist abgeschätzt werden. Die Werte sind unter der vereinfachten Annahme berechnet, dass die Niederschlagsverteilung und das Abflussverhalten für alle Flächen einer Nutzung im Gesamteinzugsgebiet der Swist mit dem beobachteten Abflussverhalten auf der kleinen Teilfläche des jeweiligen Einzugsgebietes eines Racks übereinstimmen. Es wurde angenommen, dass die Attribute Hangneigung, Bodenart und -schichtung, Durchwurzelungsgrad und Makroporenbildung etc. auf Flächen gleicher Landnutzung einander ähnlich sind und denen der Rackeinzugsgebietsflächen entsprechen, ebenso wie die Effekte, die sich durch unterschiedliche Fließzeiten ergaben.

Die Größe der Flächen der verschiedenen Landnutzungen wurde mit Hilfe des GIS berechnet. Auf das gesamte Einzugsgebiet der Swist bezogen nimmt der Wald einen Flächenanteil von 28 % ein. Grünland ist mit 8 % vertreten. Ackerflächen beanspruchen 42 % des Einzugsgebietes und Sonderkulturflächen 6 %. Die auf das Einzugsgebiet hochgerechneten Belastungen aus diffusen Quellen werden in Kapitel 3.5 im Vergleich zu Punktquellen eingehend erläutert.

Die höchste Nitrat-Stickstoff- und Phosphor_{gesamt}-Fracht wurde genauso wie bei den Mikroorganismen über den Oberflächenabfluss auf Ackerflächen eingetragen. Den geringsten Eintrag gab es über den

Bodenwasserabfluss bei Sonderkulturnutzung. Dieses Bild wurde für die Mikroorganismen ebenfalls gefunden. Die Ackerfläche weist die höchste Fracht an Nährstoffen auf, da dort die Bearbeitung der Flächen mit Dünger wesentlich höher als bei den anderen Flächen ist.

Die unterschiedliche Bedeutung der jeweiligen Flächennutzungen am diffusen Eintrag (Kapitel 3.5.3) ist nicht zu vernachlässigen. Der Hauptteil der diffus eingetragenen Frachten (max. 73 %) stammt den Untersuchungsergebnissen nach, und bedingt durch den hohen Flächenanteil von 41,9 % im Einzugsgebiet der Swist, aus den unter Ackernutzung stehenden landwirtschaftlichen Flächen (vgl. Tab. 4 und Abb. 4). Aus Waldflächen wird der zweithöchste Frachtanteil eingetragen. Im Falle der Stofffrachten stammen nur 9 % des Nitrat-Stickstoffs und 12 % des Phosphors aus Grünland. Aus der Sonderkultur werden lediglich 2 % der Nitrat-Stickstofffracht und 4 % der Phosphorfracht eingetragen.

Im Falle der mikrobiellen Frachten stellen Grünland und Sonderkulturflächen zusammen weniger als 5 % des diffusen *E. coli*-Eintrags dar. Sonderkulturen, deren Abflüsse die höchste Fracht von Streptokokken und Clostridien pro Hektar Fläche aufweisen (vgl. 3.5.3), nehmen einen sehr hohen Anteil an der Gesamtfracht dieser Parameter ein, obwohl diese Landnutzungsart im Einzugsgebiet am geringsten vertreten ist.

Die Daten der Gewässerproben legen jedoch nahe, dass der tatsächliche Eintrag mikrobieller Frachten aus Grünland erheblich höher ausfällt als gemessen. Die ausgewählte Fläche (Am Zingsbach) für die Landnutzung Weide erwies sich im Jahresverlauf als sehr extensiv genutztes Grünland, welches lediglich für eine Gesamtdauer von 14 Tagen mit Vieh bestanden war. Die Weiden an der Gewässerprobenahmestelle (Hunnensiefen) waren dagegen über einen Großteil der Zeit mit Vieh bestanden. Die Frachteinträge, die aus den Medianen der Parameterkonzentrationen im Sommerhalbjahr berechnet sind, zeigen den Eintrag aus Grünflächen bei intensiver Beweidung durch Großvieh an. Unter der Annahme, dass alle Grünflächen im Einzugsgebiet der Swist als Weiden für Großvieh genutzt werden, erhöht sich die aus diesen Flächen in die Gewässer gelangende mikrobielle Fracht für den Parameter *E. coli* von $7,82 \cdot 10^{11}$ KBE /Jahr um das 24-fache auf $1,88 \cdot 10^{13}$ KBE /Jahr (vgl. Abb. 6). Auf die Gesamtheit der aus diffusen sowie punktuellen Quellen in die Gewässer gelangenden mikrobiellen Fracht wirkt sich dieser Unterschied erkennbar aus, da die Fracht aus Grünland von 1 % auf 10 % zunimmt (vgl. Abb. 6). Der tatsächliche Eintrag aus den Grünlandflächen des Einzugsgebietes kann wahrscheinlich bei ausschließlicher Weidenutzung noch höher ausfallen, da die im Gewässer gemessenen Konzentrationen bereits einer Verdünnung unterliegen.

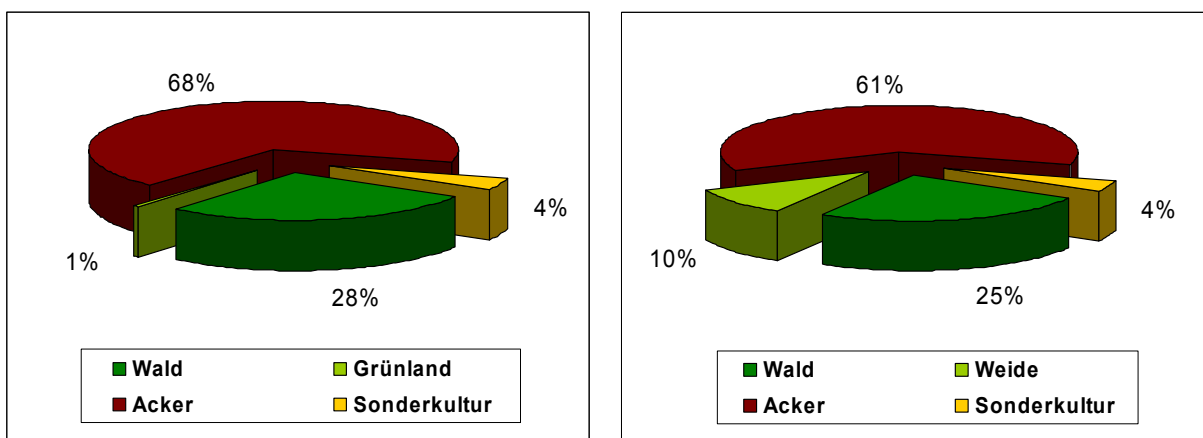


Abb. 6: Jahresfracht von *E. coli* im Einzugsgebiet der Swist aus unterschiedlich genutzten, unversiegelten Flächen unter der Annahme, dass das gesamte Grünland extensiv (links) bzw. als Viehweide (rechts) im Einzugsgebiet genutzt wird

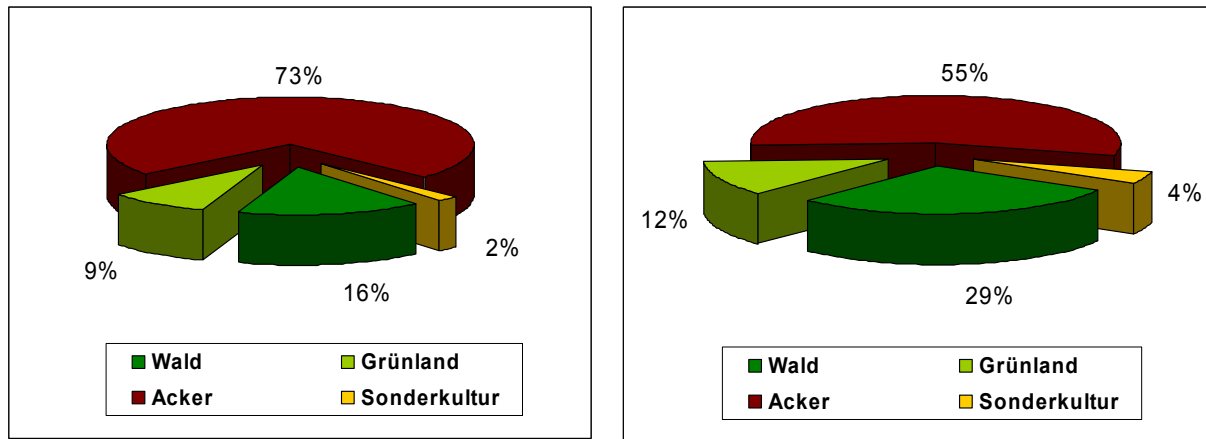


Abb. 7: Jahresfracht von Nitrat-Stickstoff (links) und Gesamtphosphor (rechts) im Einzugsgebiet der Swist aus unterschiedlich genutzten, unversiegelten Flächen

3.7 Bedeutung der diffusen Quellen im Vergleich zu Punktquellen (Bilanzierung)

Im Einzugsgebiet der Swist nehmen die unversiegelten Flächen 89 % ein. Das Verhältnis 0,6 : 4 von Siedlungsflächen zu unversiegelten Flächen spiegelt sich annähernd in der Verteilung der *E. coli*-Frachten aus punktuellen und diffusen Quellen wider: Mischwasserabschläge machen gut ein Fünftel aus, der kontinuierliche *E. coli*-Frachteintrag über Kläranlagen beläuft sich auf gut 5 %. Knapp drei Viertel der *E. coli*-Fracht stammt aus diffusen Quellen (Abb. 9). Stärker stellt sich der Unterschied für den Parasiten *Giardia lamblia* dar. Mit 55 % des Frachteintrags stammt die Hauptbelastung aus Punktquellen (Abb. 10). In den wenigen Wasserproben mit ausreichendem Volumen, die für parasitologische Analysen aus Oberflächen- und Bodenwasserabfluss gewonnen werden konnten, waren *Giardia*-Cysten nicht nachweisbar. Dies lässt jedoch nicht die Schlussfolgerung zu, dass kein diffuser Eintrag an Parasiten in die Gewässer stattfindet, da das untersuchte Abflussvolumen maximal 50 Liter betrug, während für die parasitologische Analyse der Gewässerproben zwischen 200-500 L Wasser zur Verfügung standen. Das Wasser der Oberläufe enthält *Giardia*-Cysten bis zu einer Konzentration von 4,76 Cysten /100 L, deren Herkunft nur diffuser Eintrag aus den umgebenden Flächen sein kann. Am Gebietsauslass am Pegel Weilerswist ist ein Maximum von 6,8 Cysten /100L und eine mediane Konzentration von 2,6 Cysten /100L nachweisbar (Kistemann et al., 2004). Die in dargestellten Frachten beruhen dem oben dargestellten Umstand unterschiedlicher Untersuchungsvolumina entsprechend auf einer Differenz-Berechnung zwischen am Gebietsauslass ankommender Fracht (berechnet über Median-Konzentration und Hochwasserabfluss) und der aus den einzelnen Median-Konzentrationen der Kläranlagenabläufe und Mischwasserentlastungen gebildeten Summenfracht. Deutlich wird, dass maximal rund 40 % der *Giardia*-Cysten in der Swist aus diffusen Einträgen stammen und ein etwa gleich hoher Anteil aus Mischwasserentlastungen.

Für sulfatreduzierende anaerobe Sporenbildner (*Clostridien*) wurden absolut deutlich geringere Frachten als für *E. coli* aus Mischwasserentlastungen festgestellt. Die Verteilung der Frachteinträge ist jedoch für *Clostridien* in Richtung einer erheblichen Steigerung des Anteils aus Mischwasserentlastungen verschoben. Rund zwei Drittel der in die Swist gelangenden *Clostridien* entstammen Entlastungsereignissen, nur ein knappes Drittel aus diffusen Flächen. Der Grund für den geänderten Gesamteinfluss des Siedlungsabwassers im Falle der *Clostridien* kann in der längeren Überlebensfähigkeit der Dauerstadien gegenüber den vegetativen *E. coli*-Zellen in den abwassertechnischen Anlagen liegen. *Clostridien*dauerstadien finden sich in Sedimenten der Kanalisation, werden bei Regenereignissen

mobilisiert und in großen Konzentrationen über das anfallende Mischwasser in den Vorfluter eingeschwemmt.

Obwohl enorme Frachtmengen aus Mischwasserentlastungen eingetragen werden, schlagen im Jahresverlauf die Regenentlastungsbauwerke nur an sehr wenigen Tagen ab. Die daraus resultierende Störung des Gewässerökosystems stabilisiert sich allerdings schnell wieder in Richtung des Ausgangs(belastungs)zustands (Borchardt, 1992, Mang et al., 1998). Hinsichtlich hygienisch-mikrobiologischen Gewässerverhältnissen sind Gewässernutzungen unmittelbar nach Abschlagsereignissen als kritisch zu erachten. Daneben stellen sedimentierte Parasitendauerstadien eine mögliche Infektionsgefahr dar, denn sie sind über mehrere Monate auch in der Umwelt infektiös und können leicht resuspendiert werden (Medema et al., 1998). Die punktuelle Quelle Mischwasserentlastung bietet jedoch optimale Voraussetzungen für baulich-technische Handlungsansätze zur Reduktion des mikrobiellen Frachteintrags in die Gewässer.

Der Eintrag aus diffusen Flächen geschieht dagegen flächig und auch bei Niederschlagsereignissen geringerer Intensität mit variierender Frachtmenge. Extensivierung der Nutzungen und Veränderungen in der Bewirtschaftung bieten Handlungsoptionen. Die Einführung von Gewässerrandstreifen entlang aller Wasserläufe im Einzugsgebiet zur Reduzierung direkter Abschwemmung in die Gewässer erscheinen viel versprechend.

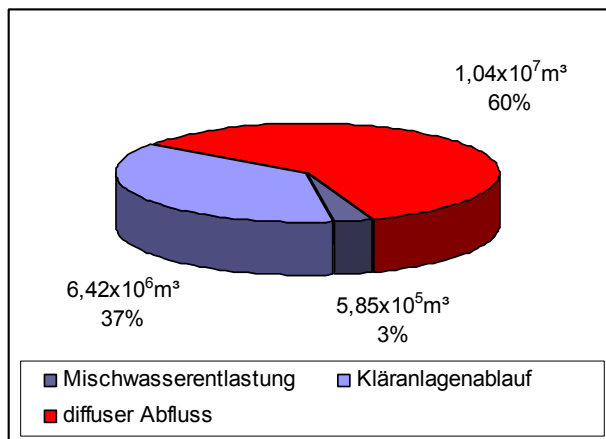


Abb. 8: Jährlicher Anteil der Punkt- und diffusen Quellen am Wasserzufluss zur Swist (Datengrundlage Erftverband 2006).

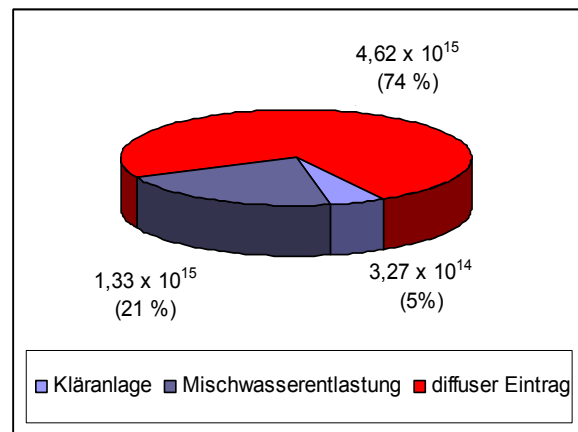


Abb. 9: Jahresfrachten von *E. coli* aus Kläranlagen, Mischwasserentlastungen und diffusem Eintrag (Szenario extensive Grünlandnutzung).

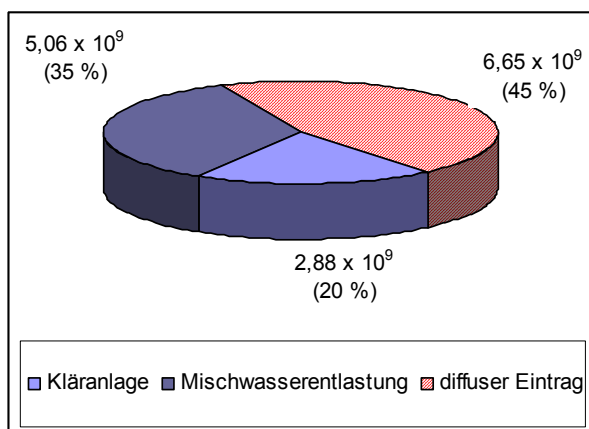


Abb. 10: Jahresfrachten von *Giardia lamblia*, im Einzugsgebiet der Swist aus Kläranlagen, Mischwasserentlastungen und diffusem Eintrag.

*Der diffuse Eintrag berechnet sich aus der Differenz der im Gewässer am Pegel Weilerswist ermittelten Fracht und der Siedlungswassereinleitungen. Er beinhaltet auch Fehleinleitungen aus Siedlungsflächen, da er über den Hochwasserabfluss berechnet wurde.

Kläranlagenabläufe belasten ein Gewässer kontinuierlich mit gleich bleibenden Frachten und sorgen somit für eine Hintergrundbelastung im Gewässer. Ihr Anteil an der bakteriellen Gesamtbelastung ist jedoch gering und eine weitere Verringerung des bakteriellen Eintrags durch technische Maßnahmen scheint nicht effizient zu sein. Allerdings werden durch das gereinigte Abwasser nicht nur Bakterien, sondern auch hohe Konzentrationen von Parasitendauerstadien in die Gewässer eingetragen. Diese könnten durch eine weitergehende Abwasserbehandlung, wie die Membranfiltration, effektiv entfernt werden. Um eine effektive Rückhaltung auch von Viren zu erreichen, müsste dabei eine Ultrafiltration, mit einer Porengröße von 0,01 bis 0,1 μm , eingesetzt werden (Röske und Uhlmann, 2005).

Je nach Parameter beträgt der Anteil der diffusen Einträge an der Gesamtbelastung der Swist zwischen 5 und 74 % und der Anteil der Mischwasserentlastungen zwischen 21 und 88 %, während der Anteil der Kläranlagenabläufe zwischen 1 % und maximal 20 % ausmacht. Die Frachtberechnung für den stofflichen Eintrag im gesamten Einzugsgebiet zeigt mit rund $1 \times 10^5 \text{ kg /Jahr}$ einen zweifach höheren Eintrag an Nitrat-Stickstoff und mit $7 \times 10^3 \text{ kg /Jahr}$ einen sechsfach höheren Eintrag für Phosphorgesamt aus dem diffusen Eintrag der Abflusskomponenten, als nach den Erkenntnissen der Vorgängerprojekte über das gereinigte Abwasser aus den Kläranlagen in die Gewässer eingetragen werden.

3.8 Risikobewertung von Infektionen

Laut Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wird der bestmögliche ökologische und chemische Zustand der Oberflächengewässer angestrebt. Der Aspekt des Gesundheitsschutzes wird in der EG-WRRL nur am Rande erwähnt (Kistemann und Claßen, 2003). Im Gegensatz dazu wird im Protokoll über Wasser und Gesundheit, das 1999 in der 3. europäischen interministeriellen Konferenz zu Gesundheit und Umwelt verabschiedet wurde und 2005 in Kraft trat, der Gesundheitsschutz stark thematisiert und verschiedene Richtlinien genannt, die Grenzwerte für die Wasserqualität enthalten (UN, 1999, WHO, 2004). Im Rahmen des Projektes wurden zur Bewertung der festgestellten Wasserqualität auf Grund der Vielfalt möglicher Gewässernutzungen verschiedene Grenz- und Richtwerte bzw. Güteanforderungen herangezogen, für die gesetzliche Vorgaben existieren. Dies sind u.a. die „Allgemeine Güteanforderungen für Fließgewässer“ (AGA), die Rohwasserrichtlinie (75/440/EWG), die Badegewässer-Verordnung Nordrhein-Westfalen und die Trinkwasserverordnung 2001. Die aus den Oberläufen kleiner Fließgewässer stammenden Regelproben unterscheiden sich in ihrer mikrobiellen Belastung je nach vorhersehender Landnutzung im Einzugsgebiet. Im Folgenden sind die Grenzwerte herausgegriffen, die im Rahmen der tatsächlich vorhandenen Nutzungen am wichtigsten erscheinen. Dies ist zum einen der Grenzwert für zur Feldbewässerung durch Beregnung genutztes Wasser nach AGA, zum anderen die immer wieder zu beobachtende Nutzung als Badegewässer. Von den für diese Nutzung geltenden Regelungen wurde der Grenzwert der Badegewässerverordnung des Landes NRW als Höchstgrenze gewählt. Abb. 11 stellt die Überschreitungshäufigkeit in den Gewässern für den Parameter *E. coli* dar, welcher als Indikator für fäkale Verunreinigungen ein wichtiger Hinweis auf mögliche Krankheitserreger ist.

Wie oben dargestellt, ist die Nutzung von Oberflächenwasser zur Bewässerung unabhängig von der umgebenden Landnutzung kritisch zu betrachten und der direkte Verzehr von ungewaschenem Obst (z.B. Erdbeeren vom Feld) zu vermeiden. Die wassergebundene Nutzung der Oberläufe zu Erholungszwecken erscheint weniger kritisch, da zwar häufig nicht der Leitwert, wohl aber der Grenzwert laut BadegewVO NW eingehalten wird. Zeitweise erscheint jedoch auch diese Nutzung aus hygienisch-medizinischer Sicht bedenklich, insbesondere nach Starkregenereignissen.

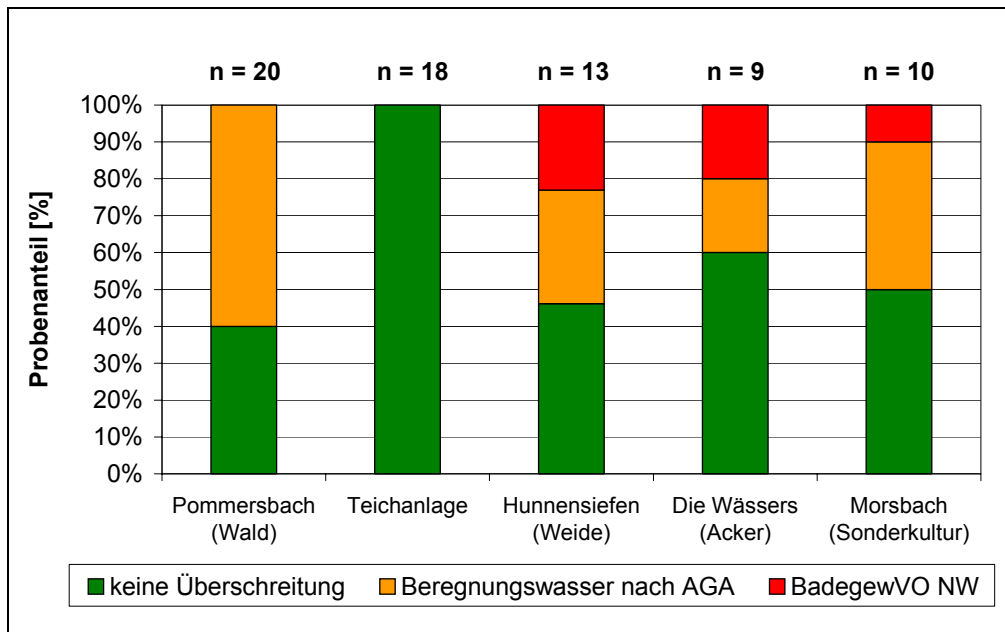


Abb. 11: Häufigkeit der Grenzwertüberschreitungen in den Gewässern nach AGA und Badegewässerverordnung NRW für den Parameter *E. coli* [%].

Die parasitäre Belastung aller Gewässerproben ist eher unbedenklich. Das Action-Level für Cryptosporidien von 30 Oocysten /100L Probe (Regli et al., 1991) wurde nur ein Mal am Standort „Die Wässers“ überschritten. Infolge der fehlenden Abwassereinleitungen (Karanis und Seitz, 1996) ist auch der Gehalt an *Giardia*-Cysten sehr gering bzw. sie waren vielfach nicht nachweisbar. Der häufigste Nachweis (40 % der Proben) gelang an der Teichanlage mit einem Maximum von 3,18 Cysten /100L. Es erscheint der in einer in Norwegen durchgeführten Studie erfolgte Nachweis von Cryptosporidien und Giardien auf mit Oberflächenwasser bewässertem Salat und Erdbeeren in 6 % der untersuchten Proben (Robertson und Gjerde, 2001) auch hier möglich.

Betrachtet man die einzelnen bei Niederschlagsereignissen auftretenden Abflusskomponenten, ergibt sich ein differenzierteres Bild der Eintragspfade mikrobieller Gewässerbelastung und deren gesundheitlicher Bedeutung. Der Grenzwert der BadegewVO NW wurde besonders häufig im Oberflächenabfluss von Sonderkulturen (Obstbauplantagen) und Acker überschritten. Mit Ausnahme des Waldstandortes ist das teilgefilterte Wasser von Bodenwasserabfluss und Drainagen seltener kritisch belastet als der jeweilige Oberflächenabfluss. Bei intensiverer Nutzung des untersuchten Grünlandes als Viehweide ist beim Drainabfluss von einer höheren Belastung und damit von Grenzwertüberschreitungen auszugehen. Insgesamt wird deutlich, dass der diffuse Eintrag aller Abflusskomponenten eine Auswirkung auf die Nutzungseignung des Gewässers besitzt, besonders jedoch der Oberflächenabfluss. Es konnte zweifelsfrei nachgewiesen werden, dass über den diffusen Eintrag aus unterschiedlichen Landnutzungen 10-70 % der Gesamtmission pathogener Mikroorganismen in die Gewässer gelangen. Eine Grenzwertüberschreitung der Gewässer hängt jedoch von mehreren Faktoren ab, die nicht allein durch die Aufsummierung mikrobieller Frachten einzelner Abflusskomponenten erklärt werden können. Hier spielen unter anderem die hydrologischen und strukturellen Faktoren der Gewässer selbst eine große Rolle, sowie die durch die Gewässerbiozönose beeinflusste Selbstreinigungskraft.

Für die Swist und ihre Nebengewässer sind keine Nutzungen außer die Gewährleistung der Vorfluter für abwassertechnische Anlagen ausgewiesen. Dennoch sind vielfältige weitere Nutzungen bekannt und konnten im Feld auch während der Untersuchungen belegt werden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang Bade- und Spielstellen, Viehtränken und die Entnahme zur Beregnung von Sonderkulturen. Die höchste Aufnahmewahrscheinlichkeit enthaltener Krankheitserreger besteht nur beim Trinken des Bachwassers. Eine derartige Nutzung des Bachwassers als Trinkwasserressource ist jedoch weder vorgesehen noch wurde sie vor Ort beobachtet. Die akzidentielle orale Aufnahme kann jedoch auch beim Spielen oder Baden im oder am Wasser zustande kommen. Auch über den Verzehr von Lebensmitteln, die mit kontaminiertem Bachwasser in Kontakt gekommen sind oder durch Beregnung bei direkter Entnahme des Wassers aus dem Bachlauf, besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit der oralen Aufnahme. Im Sinne einer qualitativen Risikobeurteilung kann festgestellt werden, dass das Risiko einer Infektion im Zusammenhang mit wassergebundenen Freizeitaktivitäten an der Swist mit Sicherheit nicht Null ist und dass alle Landnutzungen entlang des Gewässers einen Beitrag zu diesem Risiko leisten, da aus allen Flächen über die verschiedenen Abflusskomponenten Mikroorganismen in das Gewässersystem gelangen.

3.9 Weiterer Forschungsbedarf

Die für die vorliegende Studie entwickelte Methodik der Beprobung des Oberflächen- und Bodenwasserabflusses hat sich bewährt. Weiterführende Untersuchungen zur Validierung der gewonnenen Ergebnisse erscheinen besonders im Falle der Parasiten notwendig. Daneben wurde der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen innerhalb einer Art der Flächennutzung bisher nicht untersucht.

Im Sinne eines umfassenden Gesundheitsschutzes sollten nach einer abgesicherten Risikoabschätzung als weitere Schritte ein Risikomanagement und die Risikokommunikation folgen. Im Rahmen des Risikomanagements wird das Risiko evaluiert und, bezogen auf eine allgemeine Betrachtung von Risiken der öffentlichen Gesundheit, kann eine Entscheidung über ein akzeptables Gesundheitsrisiko für den vorliegenden Fall getroffen werden. Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduktion der ereignisbedingten sowie kontinuierlichen Frachteinträge werden untersucht und ggf. werden neue oder modifizierte Kriterien in Richtlinien, Verordnungen oder Gesetzen bestimmt. Die Risikokommunikation umfasst eine transparente Kommunikation zwischen denjenigen, die das Risiko abschätzen, und den letztlich entscheidungsbefugten Risikomanagern. Die Öffentlichkeit wird letztlich in geeigneter Weise über die Ergebnisse der Risikoabschätzung und des Risikomanagements informiert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie und der vorherigen F&E-Vorhaben (Swist I-III) sind eine gute Datengrundlage, um über die genaue Quantifizierung der Eintragspfade geeignete Maßnahmen zu entwickeln, mit denen der mikrobielle und stoffliche Eintrag ins Gewässer reduziert bzw. verhindert werden kann. Dadurch wird das gesundheitliche Risiko, welches durch Freizeitliche und landwirtschaftliche Nutzung auf Mensch und Tier einwirkt, verringert bzw. minimiert.

Mit Blick auf ein nachhaltiges Gewässermanagement im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und das darin enthaltene Ziel, alle Oberflächengewässer in einen „guten ökologischen Zustand“ zu versetzen, ist es empfehlenswert, die in dieser Studie gewonnenen Kenntnisse über den stofflichen wie mikrobiellen Frachteintrag aus verschiedenen Quellen zu nutzen, geeignete Maßnahmen abzuleiten, die an der Quelle des entsprechenden Eintrags ansetzen und durch Reduktion der Immission den ökologischen Zustand der Gewässer zu verbessern. Eine effiziente Vermeidungsstrategie kann indes nicht universal gelten, sie muss auf die individuell herrschenden Bedingungen in jedem einzelnen Gewässereinzugsgebiet abgestimmt sein. Hier bietet sich die Entwicklung eines modular aufgebauten

Systems (Maßnahmenkataloges) an, um zeit- und kosteneffektiv die am Beispiel der Swist gewonnenen Erkenntnisse für die Bewirtschaftung anderer Gewässereinzugsgebiete adaptieren zu können. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass eine große mikrobielle und stoffliche Fracht über diffuse Abflusskomponenten ins Gewässer eingetragen werden. Allerdings zeigen auch die Ergebnisse der PSM-Analyse, dass mit geeigneten Methoden, der Eintrag an diesen Stoffen gering gehalten werden kann. Daher sollte in weiteren Vorhaben ein Augenmerk auf die Entwicklung von Maßnahmen gelegt werden, um eine Wasserqualität zu erreichen, von der kein Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier ausgeht. Von besonderem Vorteil wäre es dabei, wenn diese in eine gemeinsame Strategie zum Rückhalt von Arzneimittelwirkstoffen, PSM und Mikroorganismen eingebettet werden könnten. Der Aufwand zur Vermeidung jeder Belastungsart im Gegensatz zu getrennt voneinander durchzuführenden Maßnahmen ließe sich so optimieren.

4 Zusammenfassung

Im vorliegenden F&E-Vorhaben wurde der mikrobielle und stoffliche Eintrag aus diffusen Eintragspfaden unter natürlichen Niederschlagsverhältnissen in ein Gewässersystem untersucht. Von ausgewählten Untersuchungsflächen (Acker, Wald, Grünland/Weide und Sonderkultur) wurden die verschiedenen Abflusskomponenten (Oberflächen-, Bodenwasser- und Drainageabfluss) getrennt voneinander aufgefangen und das gewonnene Probengut auf physikalisch-chemische und mikrobiologische Parameter untersucht. Dazu wurde eine innovative und praxistaugliche Beprobungsmethode entwickelt. Die ermittelten Stoffkonzentrationen der Abflüsse wurden auf die Frachten des jeweiligen untersuchten Einzugsgebietes umgerechnet.

Aus einer großen Bandbreite der untersuchten stofflichen Parameter wird im vorliegenden Kurzbericht auf die Nitrat-Stickstoff- und Phosphor_{gesamt}-Frachten eingegangen. Der stoffliche Eintrag in die Gewässer scheint von der Flächennutzung abhängig zu sein. Sowohl die höchste Nitrat-Stickstoff- als auch die Phosphor_{gesamt}-Fracht wurde in Abflusskomponenten bei der Ackernutzung nachgewiesen, gefolgt von der Wald-, Weide- und der Sonderkulturnutzung. Bei der Landnutzung Acker war die Nitrat-Stickstoff-Fracht im Bodenwasserabfluss höher als im Oberflächenabfluss. Für Phosphor_{gesamt} war es umgekehrt. Trotz intensiver Pflanzenschutzmittelbehandlung (einmal pro Woche) bei der Sonderkultur (Apfelbauplantage), konnten Pflanzenschutzmitteln in den Monaten von Mai bis Oktober nur einmal im Gewässer nachgewiesen werden.

Für die mikrobiellen Frachten konnten unterschiedlich hohe Einträge aus verschiedenen genutzten Flächen festgestellt werden. Beispielhaft wurde im Bericht insbesondere auf den Parameter *E. coli* näher eingegangen. Der höchste Eintrag im Untersuchungsgebiet stammt mit $1,26 \cdot 10^{14}$ KBE/Jahr ebenfalls aus Ackerflächen. Dies ist neben den hohen gemessenen Konzentrationen im Oberflächen- und Bodenwasserabfluss auch durch den hohen Flächenanteil unter ackerbaulicher Nutzung bedingt. Im Falle der Grünlandflächen konnte des weiteren ein klarer Unterschied zwischen extensiver (Mähweide) und intensiver (Viehweide) Nutzung festgestellt werden. Bei der Annahme einer intensivierten Nutzung allen Grünlands im Untersuchungsgebiet steigt der jährliche *E. coli*-Eintrag von Grünlandflächen von $8,47 \cdot 10^{11}$ KBE/Jahr auf $2,04 \cdot 10^{13}$ KBE/Jahr an.

Da die Fracht im Bodenwasserabfluss bis um den Faktor 10 geringer ist als im Oberflächenabfluss, kann eine effiziente Filterwirkung des Bodens angenommen werden. Zur Vermeidung von stofflichen Einträgen sind u. a. Maßnahmenprogramme wie z.B. Uferrandstreifenprogramm und eine gute fachliche Praxis sehr wichtig. Allerdings scheinen diese Maßnahmen alleine nicht auszureichend zu sein und müssen ergänzt werden.

Eine Bilanzierung der gesamten Frachteinträge im Einzugsgebiet der Swist aus diffusen Quellen wie auch aus Punktquellen unter zu Hilfenahme der Daten aus den Vorgängerprojekten Swist I und II zeigt je nach mikrobiologischem Parameter unterschiedliche Ergebnisse. Der Anteil der diffusen Einträge an der Gesamtbelastung der Swist beträgt demnach zwischen 5 und 74% und der Anteil der Mischwasserentlastungen zwischen 21 und 88%, während der Anteil der Kläranlagenabläufe zwischen 1% und 20% ausmacht

Während der vorliegenden Studie konnte ein massiver mikrobieller und stofflicher Eintrag aus den unterschiedlich genutzten, unbefestigten Flächen ins Gewässer festgestellt werden. Dieser Eintrag sollte auch in den scheinbar unbelasteten Gewässern überwacht werden, da aufgrund der wachsenden Freizeit- und Erholungsnutzung von Fließgewässern und der Novellierung der Badegewässerrichtlinien eine Berücksichtigung der bakteriologisch-hygienischen Wasserqualität bei der Bewirtschaftung von allen Gewässern unumgänglich macht, um das Gesundheitsrisiko von Mensch und Tier möglichst gering zu halten bzw. zu vermeiden. An vielen Probenahmetagen wurden die mikrobiologischen Richt- bzw. Grenzwerte der genannten Richtlinien überschritten. Dies ist besonders vor dem Hintergrund beobachteter Nutzungen (spielende Kinder, Bewässerung) bedenklich.

5 Literatur

Atherholt, T. B., LeChevallier, M. W., Norton, W. D. und Rosen, J. S. (1998) In *JAWWA*, Vol. 90, 66-80.

Borchardt, D. (1992) Wirkungen stoßartiger Belastungen auf ausgewählte Fließgewässerorganismen - Ein Beitrag zur Beurteilung ökologischer Schäden durch Niederschlagseinleitungen, *Wasser, Abwasser, Abfall*, 1-174.

Ergebnisbericht Erft: Wasserrahmenrichtlinie in NRW - Bestandsaufnahme, (2007) <http://www.niederrhein.nrw.de/erft>, vom: 02.07.2007

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Ed.) (1988) *Geologie am Niederrhein*, Krefeld.

Heinonen-Tanski, H. und Uusi-Kamppa, J. (2001) Runoff of faecal microorganisms and nutrients from perennial grass ley after application of slurry and mineral fertiliser, *Wat. Sci. Tech.*, **43**, 143-146.

Karanis, P. und Seitz, H. (1996) Vorkommen und Verbreitung von Giardia und Cryptosporidium im Roh- und Trinkwasser von Oberflächenwasserwerken, *gwf Wasser Abwasser*, **137**, 94-99.

Kinzelman, J., McLellan, S. L., Daniels, A. D., Cashin, S., Singh, A., Gradus, S. und Bagley, R. (2004) Non-point source pollution: determination of replication versus persistence of *Escherichia coli* in surface water and sediments with correlation of levels to readily measurable environmental parameters, *J Water Health*, **2**, 103-114.

Kistemann, T., Christoffels, E., Koch, C., Claßen, T., Rechenburg, A. und Exner, M. (2004), *Untersuchungen zur mikrobiellen Fließgewässerbelastung durch Regenentlastungen der Mischkanalisation am Beispiel der Swist*, Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn, Erftverband

Kistemann, T. und Claßen, T. (2003) Guter humanökologischer Zustand des Wassers?, In *Wasser-Raum-Planung*, (Hrsg., Nordrhein-Westfalen, I. f. L.-u. S. d. L.), Dortmund.74-77.

- Kistemann, T., Claßen, T., Koch, C., Dangendorf, F., Fischeder, R., Gebel, J., Vacata, V. und Exner, M. (2002) Microbial Load of Drinking Water Reservoir Tributaries during Extreme Rainfall and Runoff, *Appl Environ Microbiol*, **68**, 2188-2197.
- Kistemann, T., Koch, C., Herbst, S., Rechenburg, A. und Exner, M. (2001) *Untersuchungen zur mikrobiellen Fließgewässerbelastung durch Kläranlagen*, Hrsg., Bonn.
- LeChevallier, M. W., Norton, W. D. und Lee, R. G. (1991) Occurrence of Giardia and Cryptosporidium spp. in surface water supplies, *Appl Environ Microbiol*, **57**, 2610-2616.
- Liljaniemi, P., Vuori, K. M., Tossavainen, T., Kotanen, J., Haapanen, M., Lepisto, A. und Kenttamies, K. (2003) Effectiveness of constructed overland flow areas in decreasing diffuse pollution from forest drainages, *Environ Manage*, **32**, 602-13.
- MacKenzie, W. R., Hoxie, N. J., Proctor, M. E., Gradus, M. S., Blair, K. A., Peterson, D. E., Kazmierczak, J. J., Addiss, D. G., Fox, K. R., Rose, J. B. und Davis, J. P. (1994) A massive outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium infection transmitted through the public water supply, *New Engl. J. Med.*, **331**, 161-167.
- Mang, J., Geffers, K. und Borchardt, D. (1998) Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern - Fallbeispiel Lahn bei Limburg (Hessen) - ein staureguliertes Fließgewässer 2. Ordnung, *gwf Wasser Abwasser*, **139**, 408-417.
- Matz, C., Bergfeld, T., Rice, S. A. und Kjelleberg, S. (2004) Microcolonies, quorum sensing and cytotoxicity determine the survival of Pseudomonas aeruginosa biofilms exposed to protozoan grazing, *Environ Microbiology*, **6**, 218-226.
- Medema, G. J., Schets, F. M., Teunis, P. F. M. und Havelaar, A. H. (1998) Sedimentation of free and attached Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in water, *Appl. Env. Microbiol.*, **64**, 4460-4466.
- Muirhead, R. W., Collins, R. P. und Bremer, P. J. (2006) The association of E. coli and soil particles in overland flow, *Water Science Technology*, **54**, 153-9.
- Regli, S., Rose, J. B., Haas, C. N. und Gerba, C. P. (1991) Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water, *Journal AWWA*, **83**, 76-84.
- Ritter, L., Solomon, K., Sibley, P., Hall, K., Keen, P., Mattu, G. und Linton, B. (2002) Sources, pathways, and relative risks of contaminants in surface water and groundwater: a perspective prepared for the Walkerton inquiry, *J Toxicol Environ Health A*, **65**, 1-142.
- Robertson, L. J. und Gjerde, B. (2001) Occurrence of parasites on fruits and vegetables in Norway, *J Food Prot*, **64**, 1793-8.
- Röske, I. und Uhlmann, D. (2005) *Biologie der Wasser- und Abwasserbehandlung*, Hrsg.: Verlag Eugen Ulmer.
- Tillett, H. E., Sellwood, J., Lightfoot, N. F., Boyd, P. und Eaton, S. (2001) Correlations between microbial parameters from water samples: expectations and reality, *Wat. Sci. Tech.*, **43**, 19-22.
- UN (1999) *Protocol on water and health to the 1992 convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes*, <http://www.unece.org/env/documents/2000/wat/mp.wat.2000.1.e.pdf>, vom: 01.12.2003
- WHO (Ed.) (1999) *Health-Based Monitoring of Recreational Waters: The Feasibility of a new Approach (the 'Annapolis Protocol')*, Genf.
- WHO (Ed.) (2004) *Guidelines for drinking-water quality, 3rd edition*, Genf.