

Trinkwasserbedingte gastrointestinale Infektionen auch in Deutschland?

**Eine Analyse der geographischen Verbreitung
gastrointestinaler Infektionen mit
Berücksichtigung der Trinkwasserversorgungsstruktur
am Beispiel des
Rheinisch-Bergischen Kreises**

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

Friederike Dangendorf

aus

Siegen

Bonn, Januar 2003

Angefertigt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

1. Referent: Prof. Dr. Klaus Greve

2. Referent: PD Dr. Thomas Kistemann MA

Tag der Promotion:

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Frage, ob in Deutschland trinkwasserbürtige Erkrankungen auftreten oder nicht. Aspekte der Infektionssurveillance und der hygienischen Trinkwasserüberwachung werden zwischen Hygienikern und Betreibern von Wasserversorgungsunternehmen häufig unterschiedlich bewertet. Deshalb war es für die Durchführung der Studie von großer Bedeutung, dass sowohl die Untere Gesundheitsbehörde als auch die Wasserversorgungsunternehmen im Untersuchungsgebiet großes Interesse zeigten und mich mit umfangreichem Datenmaterial versorgten.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt:

- Herrn Prof. Dr. Klaus Greve für seine Bereitschaft als Doktorvater diese Arbeit zu betreuen.
- Herrn Prof. Dr. Martin Exner für die Möglichkeit, diese Arbeit am Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit des Uniklinikums Bonn durchzuführen.
- Herrn PD Dr. Thomas Kistemann, der die Idee des Themas von Anfang an unterstützte, stets als Diskussionspartner zur Verfügung stand und mir wertvolle Anregungen gab.
- Herrn Dr. Petruschke, Untere Gesundheitsbehörde des Rheinisch Bergischen Kreises, und seinen Mitarbeitern Frau Hoch, Herrn Neu und Herrn Dahl für die langjährige Unterstützung und Bereitstellung der Datengrundlagen für die Arbeit.
- Herrn Lang von der AOK Rheinland für die Übermittlung der relevanten Krankmeldungsstatistiken.
- Frau Dr. Britt Hornei vom Labor Dr. Lembke & Co, durch die ich Zugang zu den Befundstatistiken des Labors erhielt.

Ein weiterer Dank gebührt den Mitarbeitern der Wasserversorgungsunternehmen, die mir im persönlichen Gespräch und telefonisch viele Fragen beantwortet haben und mir Kartenmaterial zur Verfügung stellten.

Der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. (ATT), namentlich Herrn Direktor Such, möchte ich für die Anschubfinanzierung des Projektes danken.

Ferner danke ich ganz besonders:

- Frau Susanne Herbst. Von ihren umfangreichen Erfahrungen und Kenntnissen über die Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis profitierte meine Arbeit sehr.
- Meinem Bruder Jochen Dangendorf für die vielen fachlichen Diskussionen und seine Geduld, die meine Arbeit entscheidend voran brachten.
- Herrn Joachim Hundhausen für die Mithilfe bei der telefonischen Umfrage sowie Herrn Hansjörg Mayer und Frau Regine Rest für redaktionelle Hilfestellungen.

Nicht zuletzt gebührt mein herzlicher Dank Herrn Peter Pfister, der mir in allen Problemsituationen den nötigen Rückhalt gegeben hat und meinen Eltern, die mich stets in meinem Vorhaben unterstützten.

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis.....	VI
Kartenverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
0 Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	5
1.1 Problemstellung.....	9
1.2 Forschungsstand der Trinkwasserepidemiologie.....	11
1.2.1 Case-mapping	11
1.2.2 Prospektive Studiendesigns	12
1.2.3 Retrospektive Studien.....	14
1.2.4 Ausbruchsuntersuchung - Serologische Studie – Fall-Kontroll-Studie	15
1.2.5 Surveillance	16
1.3 Aufgabenstellung und Ziel.....	18
1.4 Aufbau der Arbeit	20
1.5 Der geographische Kontext.....	21
1.5.1 Medizinische Geographie	21
1.5.2 Epidemiologie und Infektionsepidemiologie.....	22
1.5.3 Geographische Epidemiologie – Ökologie der Krankheiten	24
1.5.3.1 Disease Mapping und digitale Kartographie	26
1.5.3.2 Ökologische Studien.....	26
1.5.3.3 GIS in der geographischen Epidemiologie.....	28
2 Lage und Auswahl des Untersuchungsgebietes	31
2.1 Landeskundliche Charakterisierung des Untersuchungsgebietes.....	32
2.1.1 Naturräumliche Ausstattung.....	32
2.1.2 Bevölkerungsstruktur und -entwicklung	34
2.1.3 Die Erwerbsstruktur und das Pendlerverhalten	35

3	Trinkwasserkonsumverhalten im Rheinisch-Bergischen Kreis als Grundlage einer Risikoeinschätzung trinkwasserbedingter Infektionen.....	39
3.1	Die Trinkwassersituation in Deutschland	39
3.1.1	Überwachung des Trinkwassers in Deutschland	39
3.1.2	Das Wasserdargebot in Deutschland	41
3.1.3	Trinkwasserverbrauch und -verwendung.....	42
3.1.4	Trinkwasserkonsum in Deutschland	43
3.1.5	Der Wasserhaushalt des Menschen und seine Bedeutung für die Trinkwasseraufnahme	44
3.2	Microbial Risk Assessment (MRA) in der Trinkwasserepidemiologie.....	46
3.2.1	Hazard Assessment.....	47
3.2.2	Dosis-Wirkungsbeziehung	48
3.2.3	Expositionsbewertung.....	49
3.2.4	Die Risikocharakterisierung	49
3.3	Der Trinkwasserkonsum im Rheinisch-Bergischen Kreis	50
3.3.1	Methodik der empirischen Studie zum Trinkwasserkonsumverhalten	51
3.3.1.1	Entwicklung des Fragebogens.....	51
3.3.1.2	Ermittlung des Stichprobenumfangs	52
3.3.1.3	Methoden zu Auswertung der Umfrage	53
3.4	Ergebnisse der Fragebogenerhebung im Rheinisch-Bergischen Kreis.....	53
3.4.1	Allgemeine Betrachtung.....	53
3.4.1.1	Soziodemographische Charakteristika der Stichprobenpopulation	54
3.4.1.2	Ergebnisse zur Wasserversorgung.....	56
3.4.2	Ergebnisse des Trinkwasserkonsumverhaltens.....	57
3.4.2.1	Leitungswasser versus Mineralwasser	57
3.4.2.2	Art der Trinkwassernutzung	58
3.4.2.3	Verbreitung der Wassersprudler in der Stichprobe	59
3.4.2.4	Ergebnisse der Untersuchung auf Leitungswasserkonsum.....	60
3.4.2.5	Ergebnisse des Konsums von unabgekochtem Leitungswasser.....	64
3.4.2.6	Ergebnisse des χ^2 -Tests	67
3.4.2.7	Die Ableitung von Risikogruppen.....	71
3.4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Trinkwasserkonsum	72
3.5	Risikocharakterisierung wasserübertragbarer Krankheitserreger	73
3.5.1	Trinkwasserassoziierte Bakterien	73
3.5.1.1	Campylobacter.....	73
3.5.1.2	Yersinien	75
3.5.1.3	Darmpathogene <i>Escherichia coli</i> -Stämme.....	76
3.5.2	Wasserassoziierte Viruserkrankungen	77
3.5.2.1	Rotaviren	77
3.5.2.2	Norwalk-Viren und Norwalk-like-Viren	78
3.5.2.3	Adenoviren.....	79
3.5.3	Wasserassoziierte Parasiten	80
3.5.3.1	<i>Cryptosporidium parvum</i>	80
3.5.3.2	<i>Giardia lamblia</i>	81
3.6	Bewertung des Infektionsrisikos im Rheinisch-Bergischen Kreis.....	82

4	Aufbau eines fachgeographischen Informationssystems zur Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen im RBK	85
4.1	Die Surveillance von Infektionskrankheiten in Deutschland.....	85
4.2	Die Situation der Überwachung trinkwasserbürtiger Infektionskrankheiten in Deutschland.....	87
4.3	GIS-Anwendung in der Trinkwasserepidemiologie	88
4.4	Anforderungen an ein Surveillance-System für trinkwasserbedingte Infektionskrankheiten.....	89
4.5	Die Konzeption einer GIS-gestützten Surveillance auf lokaler Ebene.....	91
4.5.1	Auswahl der epidemiologischen Datengrundlage	92
4.5.1.1	Die amtliche Datengrundlage der Unteren Gesundheitsbehörde	93
4.5.1.2	Krankschreibungsstatistik der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK) Rheinland.....	94
4.5.1.3	Laborstatistiken.....	95
4.5.2	Methodik der Integration der epidemiologische Datensätze in das GIS	96
4.5.2.1	Integration der amtlichen Datenbasis	96
4.5.2.2	Integration der AOK Rhein-Berg Statistiken	96
4.5.2.3	Integration der Labor-Statistiken.....	97
4.5.3	Auswahl der Datengrundlage zur Trinkwasserversorgungsstruktur	97
4.5.3.1	Bestandteile der Trinkwasserversorgungsstruktur.....	97
4.5.3.2	Das HACCP-Konzept in der Trinkwasserproduktion	98
4.5.3.3	Die gesetzliche Überwachung des Roh- und Trinkwassers auf lokaler Ebene	100
4.5.4	Methodik der Integration von TEIS und HYGRIS in das GIS.....	102
4.5.4.1	Integration des Trinkwassererfassungs- und Informationssystems (TEIS).	102
4.5.4.2	Integration der Rohwasserdaten.....	103
4.5.5	Methodik der Zusammenführung der erhobenen Datengrundlagen	104
4.6	Ergebnisse des GIS-STI	109
4.6.1	Allgemeine Auswertung der epidemiologischen Datensätze	109
4.6.1.1	Auswertung des Melderegisters der Unteren Gesundheitsbehörde	109
4.6.1.2	Auswertung der Krankschreibungsstatistik der AOK Rhein-Berg	111
4.6.1.3	Auswertung der Labordaten	112
4.6.2	Allgemeine Auswertung der Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur ...	113
4.6.2.1	Auswertung der TEIS-Datenbank	113
4.6.2.2	Auswertung der Rohwasserdatenbank (HYGRIS).....	121
4.6.3	Auswertung der Datensätze mit GIS-STI-spezifischen Werkzeugen.....	121
4.6.3.1	Darstellung von Koordinatenangaben.....	122
4.6.3.2	Aggregation und Verschneidung.....	127
4.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	137

5	Ökologische Studie	139
5.1	Ökologische Studiendesigns	139
5.2	Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Verbreitungsmustern der GI und der Trinkwasserversorgungsstrukturen im RBK	140
5.3	Methoden zur Untersuchung der räumlichen Verteilung der GI	141
5.3.1	Berechnung von Vergleichsgrößen.....	141
5.3.2	Die Altersstandardisierung.....	142
5.3.2.1	Direkte Altersstandardisierung.....	142
5.3.2.2	Indirekte Standardisierung	143
5.3.3	Methoden zur Auswertung der standardisierten Maßzahlen	143
5.3.3.1	Lokalisations- und Dispersionsmaße.....	143
5.3.4	Statistische Analyse räumlicher Verbreitungsmuster.....	144
5.3.4.1	Der χ^2 -Heterogenitätstest.....	144
5.3.4.2	Räumliche Autokorrelation.....	145
5.3.5	Probability Mapping	146
5.3.5.1	Die Poisson-Verteilung	146
5.3.5.2	Die Normalverteilung	146
5.3.5.3	Empirische Bayes Schätzer	147
5.3.5.4	Quantile der Enteritis-Inzidenz.....	148
5.4	Ergebnisse der Untersuchung auf räumliche Verbreitung der GI.....	148
5.4.1	Ergebnisse der Lage- und Streuungsmaße der direkt altersstandardisierten Enteritis-Inzidenz	148
5.4.2	Ergebnisse der Analyse räumlicher Verbreitungsmuster.....	156
5.4.2.1	Ergebnisse des χ^2 -Heterogenitätstest.....	156
5.4.2.2	Ergebnisse der räumlichen Autokorrelation.....	156
5.4.3	Ergebnisse des Probability Mapping.....	157
5.4.3.1	Die Poisson-Verteilung	157
5.4.3.2	Die Normalverteilung	158
5.4.3.3	Empirischer Bayes Schätzer.....	159
5.5	Methoden der statistischen Zusammenhangsanalyse	163
5.5.1	Evaluierung der Parameter zur Trinkwasserversorgungsstruktur.....	163
5.5.2	Lineare Einfachkorrelation nach Pearson.....	164
5.5.3	Die partielle Korrelationsanalyse	165
5.5.4	Die multiple Regression.....	165
5.5.4.1	Ermittlung von weiteren Einflussfaktoren auf die Varianz der IRst.....	167
5.5.4.2	Die Bezeichnung der Einflussgrößen.....	170
5.6	Ergebnisse der statistischen Zusammenhangsanalyse	173
5.6.1	Ergebnisse der einfachen Korrelationsanalyse.....	173
5.6.2	Ergebnisse der partiellen Korrelationsanalyse.....	174
5.6.3	Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse	177
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse der ökologischen Studie	180

6	Trinkwasserbürtige Infektionen auch in Deutschland?.....	183
6.1	Das Trinkwasserkonsumverhalten in Deutschland und im internationalen Vergleich	183
6.2	Ein GIS-gestütztes Konzept zur Surveillance trinkwasserbürtiger GI	186
6.2.1	Die Bedeutung des neuen IfSG und der neuen TrinkwV	187
6.2.2	Bedeutung des GIS-STI.....	190
6.3	Bewertung der Ökologischen Studie	193
6.4	Die Abschätzung des Risikopotenzials in Deutschland	198
6.4.1	Risikofaktoren für das Auftreten trinkwasserbürtiger Infektionskrankheiten	199
6.4.2	Bedeutung der Versorgungsnetze für die Rekontaminierung von Trinkwasser.....	202
6.4.3	Auswirkungen der Privatisierung und Liberalisierung auf die Trinkwasserversorgung.....	204
6.5	Trinkwasserversorgungsstrukturen im internationalen Vergleich	205
6.6	Ökonomische Bedeutung gastrointestinaler Infektionen	208
6.7	Möglichkeiten der Kontrolle und Bekämpfung von trinkwasserbedingten GI	210
6.7.1	Risikomanagement und Risikokommunikation	210
6.7.1.1	Risikomanagement in Einzugsgebieten von Trinkwasserressourcen.....	212
6.7.1.2	Risikomanagement in der Trinkwasseraufbereitung	214
6.7.1.3	Risikomanagement im Trinkwasserversorgungsnetz	216
6.7.1.4	Störfallmanagement.....	218
6.8	Globale Bedeutung der trinkwasserbürtigen Gesundheitsrisiken.....	222
7	Fazit	225
8	Literaturliste.....	229
8.1	Zeitungsartikel	246
8.2	Kartenmaterial und Atlanten.....	246
8.3	Statistiken.....	247
8.4	Gesetze	248
8.5	Sonstige Quellen	249
9	Annex	251

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Trinkwasserbürtige Krankheitsausbrüche in 19 europäischen Ländern, 1986 – 1996.....	8
Tabelle 2:	Durchschnittliche Jahresniederschläge (in mm).....	33
Tabelle 3:	Mittlere Lufttemperatur in °C.....	33
Tabelle 4:	Ein- und Auspendleranteile 1997	37
Tabelle 5:	Entwicklung des durchschnittlichen personenbezogenen Wasserverbrauchs von Haushalt und Kleingewerbe	43
Tabelle 6:	Durchschnittlicher personen-bezogener Wasserverbrauch von Haushalt und Kleingewerbe nach ausgewählten Bundesländern 1999	43
Tabelle 7:	Trinkwasserverwendung in der BRD 1998	44
Tabelle 8:	Die Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Getränken in Deutschland.....	44
Tabelle 9:	Flüssigkeitsbilanz eines 70kg schweren Erwachsenen	45
Tabelle 10:	Demographische Merkmale der Bevölkerung	54
Tabelle 11:	Anzahl der Befragten nach Geschlecht und Altersklasse.....	55
Tabelle 12:	Haushaltsgröße nach Altersklassen	56
Tabelle 13:	Anteil der Leitungswasser- bzw. Mineralwasserkonsumenten der Stichprobe	58
Tabelle 14:	Einsatz von Wassersprudlern nach Haushaltsgröße und Alterklassen	59
Tabelle 15:	Leitungswasserkonsum	60
Tabelle 16:	Leitungswasserkonsum (mTK) der Frauen nach Alter	61
Tabelle 17:	Leitungswasserkonsum (mTK) der Männer nach Alter	62
Tabelle 18:	Trinkwasserkonsum (mTK) und Berufstätigkeit.....	63
Tabelle 19:	Leitungswasserkonsum (oTK)	64
Tabelle 20:	Leitungswasserkonsum (oTK) der Frauen nach Alter	65
Tabelle 21:	Leitungswasserkonsum (oTK) der Männer nach Alter	65
Tabelle 22:	Leitungswasserkonsum (oTK) nach Berufstätigkeit	66
Tabelle 23:	Besitz von Wassersprudlern nach Haushaltsgröße.....	66
Tabelle 24:	Leitungswasserkonsum LTW (oTK) und Bedeutung der Wassersprudler..	67
Tabelle 25:	Ergebnisse des χ^2 -Test von LTW-Konsum und Geschlecht.....	68
Tabelle 26:	Ergebnisse des χ^2 -Test von LTW-Konsum und Alter	69
Tabelle 27:	Ergebnisse des χ^2 -Test zu LTW-Konsum und Haushaltsgröße	69
Tabelle 28:	Ergebnisse des χ^2 -Test zum Wassersprudlereinsatz	70
Tabelle 29:	Korrelation zwischen Trinkwasserkonsum und Wassersprudlereinsatz.....	71
Tabelle 30:	Konvertierung der Entitäten	105
Tabelle 31:	Anzahl der Krankschreibungen ermittelt für die 3-stelligen ICD-Codes ...	112
Tabelle 32:	Erregernachweise der Labor statistik (12/1997 – 08/2000).....	113
Tabelle 33:	Anzahl der Eigen- und Einzelwasserverorgung.....	116
Tabelle 34:	Anzahl der TEIS-Probenahmenstellen 1997	117
Tabelle 35:	Zusammenstellung der Informationen zu den Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis	119
Tabelle 36:	Absolute Zahl der Enteritis-Fälle „übrige Formen“ pro Versorgungsgebiet	130
Tabelle 37:	Direkt altersstandardisierte Enteritis-Inzidenzrate in den einzelnen Beobachtungsjahren (1988-99).....	150
Tabelle 38:	Die untersuchten Einflussgrößen auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz..	172

Tabelle 39:	Korrelationskoeffizient zwischen Enteritis-Inzidenz und Trinkwasserherkunft	173
Tabelle 40:	Korrelationskoeffizienten für weitere Einflussgrößen auf die erfasste Enteritis-Inzidenz	173
Tabelle 41:	Korrelationsmatrix.....	175
Tabelle 42:	Partielle Korrelationskoeffizienten für r_{yx1}	176
Tabelle 43:	Partielle Korrelationskoeffizienten für r_{yx3}	176
Tabelle 44:	Änderungen der Standardabweichung bei Einfachregression der unabhängigen Variablen.....	178
Tabelle 45:	Schrittweiser Einschluss der Variablen in die multiple Regressionsanalyse	179
Tabelle 46:	Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse.....	180
Tabelle 47:	Ergebnisse verschiedener Studien zum Trinkwasserkonsum	185
Tabelle 48:	Größe der WVU.....	197

Kartenverzeichnis

Karte A:	Herkunft des Trinkwassers im Untersuchungsgebiet des Rheinisch-Bergischen Kreises	31
Karte B:	Bevölkerungsdichte und Altersverteilung im Rheinisch-Bergischen Kreis....	35
Karte C:	Pendlerströme im Rheinisch-Bergischen Kreis 1997.....	36
Karte D:	Fallzahlentwicklung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ 1992 bis 1999	123
Karte E:	Vergleich der epidemiologischen Datenbasen.....	125
Karte F:	Trinkwasserbezug und Trinkwasseraufbereitung	129
Karte G:	Die Versorgungsgebiete der Wasserversorgungsunternehmen.....	131
Karte H:	Bevölkerungsgröße und Inzidenzberechnung pro 0,25km ² Rasterzelle	135
Karte I:	Verbreitung der mittleren rohen und direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (1988-99) im RBK.....	152
Karte J:	Lage- und Streuungsmaße der IRst.....	155
Karte K:	Extremwerte unter Annahme einer Poisson-Verteilung	157
Karte L:	Extremwerte unter Annahme einer Normalverteilung	158
Karte M:	SMR und empirische Bayes-Schätzung	159
Karte N:	Oktile der Enteritis-Inzidenz	161

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wasserförderung nach Wasserarten in Deutschland und NRW	41
Abbildung 2:	Meldeschema des neuen IfSG	86
Abbildung 3:	Technische Voraussetzungen und Verknüpfungen des GIS-Projektes....	104
Abbildung 4:	GIS-Konzept zur Surveillance trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen (GIS-STI)	106
Abbildung 5:	Konzeptionelles Modell zur trinkwasserepidemiologischen Datenbankstruktur	108
Abbildung 6:	Anteil der einzelnen Infektionserreger an der Gesamtzahl der gemeldeten Fälle	111

Abbildung 7: Abfrageergebnis der epidemiologischen Datengrundlage der UGB.....	122
Abbildung 8: Darstellung von Informationen aus der TEIS-Datenbank	126
Abbildung 9: Rohwasser-Analyseergebnisse an Brunnen 1 des WBV Bechen	127
Abbildung 10: Rasterdarstellung der Enteritis infectiosa am Beispiel eines Ausschnitts des RBK's.....	133
Abbildung 11: Mittlere Enteritis-Inzidenz der Altersklassen (1988-99).....	141
Abbildung 12: Streuungsmaße der mittleren IRst 1988 - 1999	149
Abbildung 13: Die Entwicklung von Inzidenzraten über den Beobachtungszeitraum für ausgewählte Gemeinde- bzw. Stadtteile	151
Abbildung 14: Größe der WVU nach Trinkwasserabgabe.....	197
Abbildung 15: Entwicklung der Enteritis-Inzidenzen von 1990 bis 1999	198
Abbildung 16: Risk Management Zyklus	211
Abbildung 17: Risikoindikatoren je nach Herkunft des Rohwassers	213
Abbildung 18: Risikoindikatoren in Wasserwerken.....	215
Abbildung 19: Risikoindikatoren im Versorgungsnetz	217
Abbildung 20: Risikoindikatoren der Surveillance	219
Abbildung 21: Die wichtigsten Bausteine des Störfallmanagementplans.....	222

Abkürzungsverzeichnis

AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse
BELKAW	Bergische Licht-, Kraft- und Wasserwerke
BgVV	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin
BGW	Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft
BSeuchG	Bundeseseuchengesetz
CCDC	Consultant in Communicable Disease Control
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CDSC	Communicable Disease Surveillance Centre
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
DWI	Drinking Water Inspectorate
E	Einwohner
EHEC	enterohämorrhagische <i>Escherichia coli</i>
ERIS	Epidemiologisches Rauminformationssystem
ESP	Einspeisungspunkt
gbTW	grundwasserbürtiges Trinkwasser
GI	Gastrointestinale Infektionen
GIS-STI	Geographisches Informationssystem zur Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen
GKZ	Gemeindekennzahl
HA	Haushalte
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
HYGRIS	Hydrologisches Grundlagen-Informationssystem
IAMFES	International Association of Milk, Food and Environmental Sanitarians
ICD-Code	Internationale Klassifikation der Krankheiten

ID Nr.	Identifikationsnummer
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IRerw	erwartete Inzidenzrate
IRroh	rohe Inzidenzrate
IRst	direkt altersstandardisierte Inzidenzrate
IWW	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserchemie und Wassertechnologie
J	Jahr
KBE	Koloniebildende Einheiten
LDS	Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen
LÖGD	Landesamt für den Öffentlichen Gesundheitsdienst
LTW	Leitungswasser
(mTK)	Leitungswasser mit Tee und Kaffee
(oTK)	Leitungswasser ohne Tee und Kaffee
LUA	Landesumweltamt
LWG	Landeswassergesetz
MFJGS	Ministerium für Frauen, Jugend, Gesundheit und Soziales
MRA	Microbial Risk Assessment
obTW	oberflächenbürtiges Trinkwasser
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PHLS	Public Health Laboratory Service
PNS	Probenahmestellen
QMRA	Quantative Microbial Risk Assessment
RBK	Rheinisch-Bergischer Kreis
RKI	Robert Koch Institut
RN	Rohrnetzlänge
SIR	Standardisierte Inzidenz-Ratio
SMR	Standardisierte Morbiditäts-Ratio
TEIS	Trinkwasserdatenerfassungs- und Informationssystem
TrinkWV	Trinkwasserverordnung
TWDB	Trinkwasserdatenbank
UGB	Untere Gesundheitsbehörde
WBV	Wasserbeschaffungsverband
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WVU	Wasserversorgungsunternehmen
WVV	Wasserversorgungsverband
WW	Wasserwerk

0 Zusammenfassung

Anlass der vorliegenden Studie war die Frage, ob vor dem Hintergrund der weltweit zunehmenden Registrierung trinkwasserbedingter Erkrankungen auch in Deutschland trinkwasserbürtige Erkrankungen auftreten können. Wieder- und neuentdeckte Krankheitserreger verursachten in den letzten 15 Jahren weltweit zahlreiche trinkwasserassoziierte Erkrankungen. Erstaunlich war die Feststellung, dass in Deutschland seit 20 Jahren keine trinkwasserbürtigen gastrointestinalen Infektionen oder gar Ausbrüche gemeldet wurden. Verschiedene Gründe wurden identifiziert, die diese Situation erklären könnten.

Es wurde angenommen, dass in Deutschland weniger Leitungswasser getrunken würde als in anderen Ländern und in Folge dessen das Infektionsrisiko geringer sein könnte. Die Vermutung bestand, dass die Surveillance trinkwasserbürtiger Infektionen in Deutschland unzureichend sein könnte und deshalb ein möglicher Zusammenhang von Trinkwasser und gastrointestinalen Infektionen nicht aufzuspüren sei. Zusätzlich sollte mit uni- und multivariaten Korrelations- bzw. Regressionsmodellen geprüft werden, ob statistische Zusammenhänge zwischen der Trinkwasserversorgungsstruktur und dem Auftreten von gastrointestinalen Infektionen (GI) festgestellt werden können.

Diesen Aspekten wurde mit verschiedenen methodischen Ansätzen nachgegangen. Untersucht wurde die Verbreitung der gastrointestinalen Infektionen, die u. a. durch Verschlucken fäkal verunreinigten Trinkwassers verursacht werden. Als Untersuchungsgebiet wurde der Rheinisch-Bergische Kreis gewählt, dessen Bevölkerung zu 50% aufbereitetes Talsperrenwasser und zu 50% Grundwasser als Trinkwasser erhält.

Zur Untersuchung des Trinkwasserkonsumverhaltens wurde in 2000/2001 eine telefonische Umfrage unter der Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises durchgeführt, um den Anteil des getrunkenen Leitungswassers, getrennt nach abgekochtem und nicht abgekochtem Zustand, zu erheben. Dies wurde vor dem Hintergrund der Expositionsermittlung durchgeführt, die ein Bestandteil des „Quantative Microbial Risk Assessment“ (QRMA) in der Trinkwasserepidemiologie ist (Kapitel 3).

Das Ergebnis der Studie zeigte, dass 42% der Befragten zwischen 0,5L bis 1L pro Tag Leitungswasser (LTW) incl. Tee und Kaffee, 34% zwischen 1,5L bis 2L trinken. Bei unabgekochtem Leitungswasser sah es erwartungsgemäß anders aus. Dort tranken 43% der Probanden 0,15L und weniger unabgekochtes LTW, 18% um 0,5L und 22% zwischen 1 und 1,5 L pro Tag. Im Durchschnitt wurden 0,5L LTW ohne Tee und Kaffee getrunken. In 34% der befragten Haushalte wurden Wassersprudler verwendet. Es konnte ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Anteil der Personen, die Wassersprudler einsetzen und der getrunkenen Leitungswassermenge ermittelt werden. Für eine bestimmte Gruppe von Kindern konnte ein höheres Infektionsrisiko abgeleitet werden, da Wassersprudler zu 30% in 4-Personenhaushalten mit 2 Kindern <18 Jahren eingesetzt wurden.

Zur Abschätzung der Gesundheitsgefährdungen durch verunreinigtes Trinkwasser wurde auf Basis von Ergebnissen des QMRA für einige wasserbürtige Infektionserreger das Infektionsrisiko dargestellt. Aufgrund der Ergebnisse aus der Umfrage, die einen steigenden Trinkwasserkonsum seit der Verbreitung der Wassersprudler zeigen sowie Erkenntnisse aus Dose-Response-Analysen bestätigen, dass auch für die Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises ein Risikopotenzial besteht an trinkwasserbürtigen GI zu erkranken.

Zur Aufgabenstellung der Arbeit gehörte die Darstellung der derzeitigen Erfassung von Infektionskrankheiten in Deutschland sowie die Entwicklung von Vorschlägen für eine verbesserte Surveillance von trinkwasserbürtigen GI.

Zur Konzeption eines fachspezifischen Geographischen Informationssystems zur Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen (GIS-STI) wurden retrospektiv epidemiologische Datenbasen und Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis erhoben. Die Datenbasen stammten aus verschiedenen Datenquellen und wurden auf ihren Informationsgehalt und ihre Eignung zur Integration in ein GIS-STI getestet (Kapitel 4).

Da die gastrointestinalen Infektionen eine unspezifische Krankheit darstellen, die durch zahlreiche Krankheitserreger, auch trinkwasserübertragbare, verursacht werden, wurden sie als Indikatorkrankheiten für mögliche Trinkwasserkontaminationen herangezogen. Die epidemiologische Datenerhebung umfasst die nach § 3 BSeuchG beim Gesundheitsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises gemeldeten Fälle der Enteritis infectiosa "übrige Formen" über den Beobachtungszeitraum 1988-1999 sowie die Datensätze der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK), Regionaldirektion Rhein-Berg über Krankmeldungen der versicherungspflichtigen Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen aufgrund von Durchfallerkrankungen im Zeitraum 1991-1998. Zusätzlich wurden Laboraten erhoben, die jedoch erst ab 1999 elektronisch zur Verfügung gestellt werden konnten.

Die Erfassung der Trinkwasserversorgungsstrukturen des Rheinisch-Bergischen Kreises erfolgte unter Berücksichtigung des von HAVELAAR et al. (1994) in die Trinkwasserproduktion eingeführten HACCP-Konzepts. Dabei steht die Untersuchung der Trinkwassergewinnung nach Herkunft (Grundwasser, Oberflächenwasser, Quellwasser), Aufbereitung und Abgabe des Trinkwassers durch die Wasserversorgungsunternehmen im Vordergrund. Die Daten zur Trinkwasserherkunft und -beschaffenheit konnten größtenteils der Trinkwasserdatenbank des Gesundheitsamtes (TEIS) und der Rohwasserdatenbank des Staatlichen Umweltamtes Köln (HYGRIS) entnommen werden.

Die verschiedenen Datenbasen wurden als Komponenten eines Geographischen Informationssystems in einer relationalen Datenbank gespeichert, verwaltet und analysiert sowie mit Objektdaten verbunden. Mit verschiedenen GIS-Werkzeugen wurden die Datensätze ausgewertet und die Ergebnisse in Abbildungen und Karten dargestellt.

Die Bewertung der unterschiedlichen epidemiologischen Datensätze ergab, dass die amtliche Datenbasis aufgrund der Adresskoordinaten und der durch die Ermittlungsbögen gewonnen Zusatzinformationen im Vergleich zu den beiden anderen epidemiologischen Datenbasen für die Surveillance trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten am geeignetsten ist.

Die Krankschreibungsstatistik der AOK-Geschäftsstelle Rhein-Berg erwies sich für eine fortlaufende Überwachung als ungeeignet. Vor allem aufgrund der ungenügenden Differenzierung der Diagnosen und der geringen räumlichen Auflösung ließen sich keine sinnvollen epidemiologischen Auswertungen vornehmen. Die räumliche Auflösung der Labordaten bis auf Adressenebene war zwar für den Einsatz in einem GIS vorteilhaft, jedoch lieferten die Labordaten neben mikrobiologischen Befunden keine weitere Auskunft über epidemiologisch wichtige Informationen. Außerdem standen sie nicht flächendeckend zur Verfügung, so dass die Labordaten für eine Surveillance auf lokaler Ebene nicht sinnvoll einsetzbar erscheinen.

Die Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur aus den Trinkwasser- und Rohwasserdatenbanken des Landes Nordrhein-Westfalens (TEIS, HYGRIS) stellten eine gute Grundlage für ein GIS-STI dar. Viele Angaben, z. B. Probenahmestellen, Eigen- und Einzelwasserversorgung, Adressen der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) mit Angaben zur Trinkwasserherkunft und versorgten Bevölkerung ließen sich über Koordinatenangaben integrieren. Zusätzlich mussten jedoch auch eigene Digitalisierungen vorgenommen und weitere Informationen bei den WVU eingeholt werden.

Die Verknüpfung des Melderegisters der Unteren Gesundheitsbehörde (UGB) des Rheinisch-Bergischen Kreises mit einem fachspezifischen Geographischen Informationssystem sowie die Einbindung der Daten aus der Trinkwasserüberwachung bildet ein leistungsfähiges, schnell zu aktualisierendes Surveillance-System.

Zur Untersuchung, ob möglicherweise ein statistischer Zusammenhang zwischen Trinkwasserherkunft und -beschaffenheit und dem Auftreten von Enteritis infectiosa-Fällen im Untersuchungsgebiet besteht, wurde eine Ökologische Studie durchgeführt (Kapitel 5). Die für die Ökologische Studie notwendigen Daten wurden durch die Applikation des GIS-STI bereits erhoben.

Mit verschiedenen Methoden wurde das räumliche Verbreitungsmuster der altersstandardisierten Inzidenzraten der „übrigen Formen“ der Enteritis infectiosa aus dem amtlichen Melderegister auf Heterogenität getestet. Mit häufig angewendeten Methoden im Disease Mapping (Heterogenitätstest, Probability Mapping und räumliche Autokorrelation) zeigte sich eine Tendenz zur Clusterung mit einer Häufung der Krankheitsfälle in den südlichen Teilen des Kreisgebiets.

Mit multivariaten Korrelations- bzw. Regressionsmodellen wurde anschließend untersucht, ob möglicherweise ein statistischer Zusammenhang zwischen der räumlichen Verbreitung der GI mit der Trinkwasserversorgungsstruktur besteht. Dazu wurden verschiedene Parameter operationalisiert, die die Wasserversorgungsstrukturen sowie sozioökonomische Einflüsse charakterisierten.

Um den „Ökologischen Fehlschluss“ zu minimieren wurde eine genaue Aggregation der Informationen auf die Gemeinde- bzw. Stadtteilebene angestrebt. Für einige der Parameter konnte eine gute Annäherung der Exposition erreicht werden, für andere nicht, da hier nur Informationen für die acht Gemeinden und Städte des Rheinisch-Bergischen Kreises vorlagen.

Als Ergebnis der partiellen Korrelationsanalyse ergab sich, dass die Trinkwasserherkunft den größten isolierten Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz hatte. Der Einfluss der mikrobiologischen Trinkwasserqualität lieferte kaum zusätzliche Informationen. Insgesamt zeigte sich, dass vor allem die Parameter der Trinkwasserversorgungsstruktur zur Aufklärung der Varianz beitrugen. Pendlerverhalten, Arztdichte und Dichte der landwirtschaftlichen Betriebe zeigten keinen Einfluss auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz.

Um einen möglichst großen Anteil der Varianz der erfassten Enteritis-Inzidenz aufzuklären, wurde der additive Einfluss verschiedener Variablen mit multiplen Regressionsmodellen analysiert. Als Modell wurde eine schrittweise Regression gewählt, bei der die Aufnahme der verschiedenen Variablen von der Reihenfolge ihres Einflusses auf die Reduktion der Standardabweichung zum Null-Modell abhängt. Bei Durchführung der multiplen Regression zeigte sich, dass statistisch gesehen der additive Einfluss von

Rohrnetzlänge pro Haushalt und Anteil der mit Talsperrenwasser versorgten Bevölkerung den größten Erklärungsbeitrag zur Varianz der erfassten Enteritis-Inzidenz leisteten.

Anders ausgedrückt, im Untersuchungszeitraum stieg mit zunehmender Länge des Versorgungsnetzes pro angeschlossenen Haushalten das Risiko der Bevölkerung, an GI zu erkranken, insbesondere wenn Grundwasser an die Haushalte geliefert wurde. 25,6% der Varianz konnte allein durch diese beiden Variablen erklärt werden.

Die Bedeutung der Länge von Rohrnetzen auf die Wiederverkeimung von aufbereitetem Trinkwasser ist aus der Fachliteratur hinreichend bekannt. Es ist also möglich, dass dieser Faktor im Untersuchungszeitraum die räumliche Verbreitung der Enteritis-Inzidenz beeinflusste.

Allgemein gilt Oberflächenwasser anfälliger gegenüber mikrobiellen Kontaminationen als Grundwasser. Deshalb war es überraschend zu sehen, dass tendenziell die mit oberflächenwasserversorgten Gemeinde- bzw. Stadtteile des RBK durchschnittlich weniger Erkrankungsraten im Untersuchungszeitraum aufwiesen als diejenigen mit Grundwasserversorgung. Bei Betrachtung der Größe und Ausstattung der Wasserversorgungsunternehmen wurde jedoch deutlich, dass die großen Talsperrenwasseraufbereitungsanlagen möglicherweise aufgrund ihrer besseren finanziellen und dadurch besseren technischen Ausstattung eher eine kontinuierlich hohe Trinkwasserqualität leisten können als die kleineren Grundwasserwerke.

Fazit der Studie ist, dass auch in Deutschland, wie in anderen Ländern mit ähnlich hohen Standards in der Trinkwasserversorgung, jederzeit mit trinkwasserbürtigen GI gerechnet werden muss. Es gibt keine vollständig sichere Trinkwasserversorgung. Störfälle im Einzugsgebiet und während der Trinkwasseraufbereitung sowie menschliches Versagen können immer wieder auftreten und nur durch geeignete Managementstrategien kontrolliert werden. Ein Teil der in Deutschland jährlich gemeldeten Fälle kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf verunreinigtes Trinkwasser zurückgeführt werden.

1 Einleitung

Die hohen Standards der Trinkwasseraufbereitung und Qualitätsüberwachung in den Industriestaaten führten in den 1970iger und 1980iger Jahren zu der weitverbreiteten Auffassung, dass trinkwasserübertragene Infektionskrankheiten in den entwickelten Ländern kaum mehr eine Rolle spielen. Jedoch stellen die in den letzten 10 bis 15 Jahren weltweit neu- oder wiederauftretenden trinkwasserbürtigen Infektionen und Epidemien diese Sichtweise in Frage. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) schätzt, dass am Beginn des 21. Jahrhundert weltweit etwa 1,1 Milliarden Menschen derzeit keinen Zugang zu sauberem Wasser haben und dass gegenwärtig etwa 6% aller weltweiten Erkrankungen auf mangelhafte hygienische Verhältnisse bei der Wasserversorgung und der Ernährung zurückzuführen sind (BARTRAM & HUEB, 2000; WHO, 2000).

Besonders in Krisensituationen wie Kriegen, Flüchtlingslagern und Naturkatastrophen, treten häufig trinkwasserbedingte Epidemien (z. B. Cholera) mit schwerwiegenden Folgen auf. Auch in Europa hat nach Angaben des Europabüros der WHO jeder siebte Mensch keinen Zugang zu sauberem Wasser. Die Situation ist vor allem in den Ländern der ehemaligen Sowjetunion und Osteuropas kritisch. Dort treten wieder verstärkt Cholera, Typhus und Hepatitis A auf (WHO, 1999c).

Trinkwasserbedingte Infektionskrankheiten und Ausbrüche sind nicht nur ein Problem der sich entwickelnden Länder. Jährlich werden Krankheitsausbrüche auch aus den entwickelten Ländern gemeldet. Die Verursacher solcher Infektionen umfassen neu entdeckte als auch wieder entdeckte Krankheitserreger ("Emerging" und "Re-emerging Pathogens") (SATCHER, 1995). Es handelt sich dabei um Mikroorganismen, die aus fäkal verunreinigten Ressourcen stammen oder die sich in Wasserdistributionssystemen vermehren können (EXNER & TUSCHEWITZKI, 1994; SZEWZYK et al., 2000).

Als Verursacher von trinkwasserbürtigen Epidemien wird vor allem fäkal kontaminiertes Wasser verantwortlich gemacht. Die Kontaminationen stammen aus Siedlungsabwässern und anderen Abwässern, Abschwemmungen von landwirtschaftlichen Flächen und Freizeitnutzung der Gewässer (IAMFES, 1996). Die fäkal-oral über das Trinkwasser aufgenommenen Infektionserreger lösen im menschlichen Organismus meistens Durchfallerkrankungen aus.

1973 wurde mit dem Rotavirus die Hauptursache kindlicher Durchfallerkrankungen entdeckt (SATCHER, 1995) und 1977 in Schweden der erste trinkwasserbedingte Rotavirus-Ausbruch registriert (GERBA et al., 1996b).

Spezies der Gattung *Campylobacter* verursachen ca. 5% bis 14% der Durchfallerkrankungen weltweit (CHIN, 2000). Die erste dokumentierte Campylobacteriose-Epidemie, die durch kontaminiertes Trinkwasser verursacht wurde, trat 1978 in Bennington, Vermont auf. Dort erkrankten etwa 3.000 Personen an Durchfall (HUNTER, 1997).

Im Zeitraum von 1986 bis 1996 erhob die WHO bei 51 ihrer europäischen Mitgliedsstaaten Informationen zu trinkwasserbürtigen und epidemischen Ausbrüchen. 26 Länder beteiligten sich an der Erhebung und meldeten insgesamt 778 wasserbürtige Epidemien (KRAMER et al., 2001). Im Gegensatz zu Ländern mit ähnlich weit entwickelten Trinkwasserversorgungsstrukturen, z. B. Schweden oder England und Wales, wurden aus Deutschland über den Erhebungszeitraum keine wasserbürtigen Infektionskrankheiten oder gar Ausbrüche gemeldet. Einige Ergebnisse der Umfrage sind in Tabelle 1 dargestellt.

Von SWERDLOW et al. (1992) wurde der erste trinkwasserbürtige Ausbruch aufgrund von enterohämorrhagischen *Escherichia coli* O157 (EHEC) aus Missouri/USA berichtet. Insgesamt wurden 243 Fälle entdeckt, von denen vier Patienten starben. Als Infektionsquelle konnte die städtische Wasserversorgung nachgewiesen werden, deren an manchen Stellen defektes Verteilungssystem mit städtischem Abwasser kontaminiert worden war. Durch Abkochen des Wassers konnte die Epidemie eingedämmt werden (SWERDLOW et al., 1992).

Der in den letzten 10 Jahren größte bekannte trinkwasserbedingte Ausbruch ereignete sich 1993 in Milwaukee (Wisconsin/USA), bei dem schätzungsweise 400.000 Personen erkrankten (MACKENZIE et al., 1994). Eine Trinkwasseraufbereitungsanlage konnte nach der Wasserfassung aus einem kontaminierten See den pathogenen Mikroorganismus nicht durch die üblichen technischen Standards und Desinfektionspraktiken entfernen, so dass die Verunreinigung über das Rohrnetz verbreitet wurde. Als Krankheitserreger wurde der Parasit *Cryptosporidium parvum* nachgewiesen, welcher 1976 als wasserübertragbarer, humanpathogener Enteritiserreger identifiziert wurde (SATCHER, 1995).

Ein weiterer aufsehenerregender trinkwasserbürtiger Ausbruch trat im Mai 2000 in Walkerton (Ontario/Kanada) auf. Die Trinkwasserversorgung der Stadt wurde über einen kontaminierten Brunnen mit dem human-pathogenen *Escherichia coli*-Stamm EHEC verseucht. Insgesamt erkrankten 2.300 Personen, von denen sieben Patienten starben (O'CONNOR, 2001). Dieses Ereignis fachte weltweit die Diskussion um die Sicherung der Trinkwasserqualität erneut an.

Die letzten dokumentierten trinkwasserbedingten Epidemien in Deutschland traten 1979 in München-Ismaning (Ruhr-Ausbruch), 1980 in Jena (Typhus) und 1981 in Halle (Rotavirus) auf (SCHOENEN, 1996).

Die Trinkwassersicherheit in Deutschland wird sehr hoch eingeschätzt. Da das Trinkwasser als Lebensmittel gilt, sind die gesetzlichen Anforderungen zum Schutz der Wasserressourcen und der Trinkwasseraufbereitung streng geregelt (IfSG 2000, TrinkwV 1990). Durch das seit Anfang des 20. Jahrhunderts von Robert Koch eingeführte und bis heute eingesetzte Multibarrierensystem, welches u. a. den Schutz des Einzugsgebietes, Rohwasser-Filtration, Desinfektion und Qualitätsüberwachung des Trinkwassers umfasst, könnte angenommen werden, dass es in Deutschland zu weniger Zwischenfällen hinsichtlich mikrobieller Belastungen des Trinkwassers kommt (EXNER, 1996).

Über die Presse erfährt man jedoch immer wieder von Problemen in der Sicherung hygienisch einwandfreiem Trink- und Badewassers. Im Bonner Generalanzeiger vom 04.07.2000 wurde z. B. vor dem Baden in der Wied gewarnt, da die Grenzwerte für coliforme Bakterien, *Escherichia coli* (*E. coli*) und Salmonellen an vielen Stellen überschritten waren. Der Kölner Stadtanzeiger berichtete in der Ausgabe vom 23.05.2000 von einer Trinkwasserbelastung mit Kolibakterien im Kreis Düren. Den dortigen Bewohnern wurde durch das Gesundheitsamt empfohlen, ihr Trinkwasser abzukochen.

Im Kreis Aachen kam es 1993 nach schweren Regenfällen zum Auftreten von *E. coli* und coliformen Bakterien im Trinkwasser eines Wasserwerkes. Einige hunderttausend Menschen waren davon betroffen und mussten ihr Trinkwasser wochenlang abkochen. Fäkalien waren auf verschiedenen Wegen in die Trinkwassertalsperre und in die Trinkwasseraufbereitung gelangt. Als Ursachen wurden Abwasserfehlanschlüsse in Ortslagen und Gülleaufbringung im Einzugsgebiet diskutiert (Ruhrnachrichten, 05.10.1993, Aachener Volkszeitung, 27.10.1993, Aachener Volkszeitung 06.11.1993).

Auch im Untersuchungsgebiet des Rheinisch Bergischen Kreises kam es in den letzten Jahren zu Zwischenfällen. 1993 berichtete der „Bergische Volksbote“ (30.12.1993) über eine stärkere Desinfektion des Trinkwassers im Wasserwerk Schürholz. Nach Starkniederschlägen war es zu einem erhöhten Eintrag von Trübstoffen und organischen Wasserinhaltsstoffen in der Dhünn-Talsperre gekommen. In Bergisch-Gladbach wurden 1994 zwei Grundwasserbrunnen der Bergischen Licht-, Kraft- und Wasserversorgung (BELKAW) still gelegt, die (so vermutete man) durch Versickerung von Fäkalien verunreinigt worden seien (Kölner Stadtanzeiger, 19.01.1994). In derselben Ausgabe wurde aus Odenthal (eine Gemeinde des Rheinisch-Bergischen Kreises) von einem „medizinischen Geruch“ aus dem Wasserhahn berichtet. Die Chlordesinfektion fand aufgrund der Reinigung der Aktivkohlefilter statt.

Aufgrund der berichteten Zwischenfälle in der Trinkwasserversorgung bezogen auf einen relativ kleinen, regionalen Raum und vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von trinkwasserübertragbaren "Emerging" und "Re-emerging pathogens" stellt sich die Frage, ob nicht auch in Deutschland unter bestimmten Umständen wasserbedingte Infektionskrankheiten auftreten können.

Dieser Frage soll in der vorliegenden Arbeit nachgegangen werden. Sie soll einen Beitrag zur Abklärung der trinkwasser-epidemiologischen Situation in Deutschland leisten.

Die Arbeitsschwerpunkte der Studie beziehen sich auf charakteristische Methoden der Trinkwasserepidemiologie (s. Forschungsstand Kapitel 1.4) mit denen folgende Aspekte geklärt werden sollen:

- a) Ist das Trinkwasserkonsumverhalten der Bevölkerung in Deutschland gegenüber anderen Ländern verschieden, d. h. wird möglicherweise viel weniger Leitungswasser getrunken und somit das Infektionsrisiko minimiert?
- b) Ist die Erfassung mikrobiell bedingter Krankheitsausbrüche in Deutschland unzulänglich, so dass es durchaus auch zu trinkwasserbedingten Ausbrüchen kommt, welche aber mangels eines verlässlichen Surveillance-Systems nicht bemerkt werden?
- c) Gibt es Methoden, die zum Nachweis eines Zusammenhangs zwischen dem Auftreten gastrointestinaler Infektionen und der Trinkwasserversorgungsstruktur geeignet sind?

Mit geographisch-epidemiologischen Methoden wird in einem für Deutschland repräsentativen Trinkwasserversorgungsgebiet die räumliche Verbreitung gastrointestinaler Infektionen im Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgungsstruktur untersucht.

Vor dem Hintergrund der Ereignisse im Kreis Wied Ende des Jahres 2000 (Rheinzeitung vom 03.11.00), wo der erste trinkwasserbürtige Ausbruch von Durchfallerkrankungen aufgrund einer Kontamination mit *Giardia lamblia* epidemiologisch untersucht werden konnte (GORNİK et al., 2000), zeigt sich die Aktualität der vorliegenden Arbeit.

Tabelle 1: Trinkwasserbürtige Krankheitsausbrüche in 19 europäischen Ländern, 1986 – 1996

Land	Ätiologie der Erreger/Krankheit (Zahl der Ausbrüche)	Gesamtzahl der Ausbrüche
Albanien	Amöbenruhr (5), Typhus (5), Cholera (4)	14
Kroatien	Bakterienruhr (14), Gastroenteritis (6), Hep A (4), Typhus (4), Cryptosporidiose (1)	29
Tschechische Republik	Gastroenteritis (15), Bakterienruhr (2), Hep A (1)	18
England und Wales	Cryptosporidiose (13), Gastroenteritis (6), Giardiasis (1)	20
Estland	Bakterienruhr (7), Hep A (5)	12
Deutschland	Kein berichteter Krankheitsausbruch	0
Griechenland	Bakterienruhr (1), Typhus (1)	2
Ungarn	Bakterienruhr (17), Gastroenteritis (6), Salmonellose (4)	27
Island	Bakterienruhr (1)	1
Lettland	Hepatitis A (1)	1
Litauen	Kein berichteter Krankheitsausbruch	0
Malta	Gastroenteritis (152), Bakterienruhr (4), Hep A (4), Giardiasis (1), Typhus (1)	162
Norwegen	Kein berichteter Krankheitsausbruch	0
Rumänien	Bakterienruhr (36), Gastroenteritis (8), Hep A (8), Cholera (3), Typhus (1), Methaemoglobinämie (1)	57
Slowakische Republik	Bakterienruhr (30), Gastroenteritis (21), Hep A (8), Typhus (2)	61
Slowenien	Gastroenteritis (33), Bakterienruhr (8), Hep A (2), Amöbenruhr (1), Giardiasis (1)	45
Spanien	Gastroenteritis (97), Bakterienruhr (47), Hep A (28), Typhus (27), Giardiasis (7), Cryptosporidiose (1), nicht spezifiziert (1)	208
Schweden	Gastroenteritis (36), <i>Campylobacter</i> sp. (8), Norwalk-like Virus (4), Giardiasis (4), Cryptosporidiose (1), Amöbenruhr (1), <i>Aeromonas</i> sp. (1)	51 (!) (55)
Republik Jugoslawien	Gastroenteritis (30), Bakterienruhr (24), Hep A (10), Typhus (4)	68 ^s
Gesamt	Gastroenteritis (410), Bakterienruhr (191), Hep A (71), Typhus (45), Cryptosporidiose (16), Giardiasis (14), <i>Campylobacter</i> sp. (8), Amöbenruhr (7), Cholera (7), Norwalk like Virus (4), Salmonellose (4), <i>Aeromonas</i> sp. (1), Methaemoglobinämie (1), un spezifiziert (1)	778 (!) (780)

(KRAMER et al., 2001)

1.1 Problemstellung

Krankheiten, die in Verbindung mit Wasser übertragen werden, unterscheiden sich hinsichtlich der Übertragungswege und des klinischen Erscheinungsbildes. Das Spektrum der wasser-assoziierten, human-pathogenen Mikroorganismen umfasst Viren, Bakterien und Parasiten. Wieder- und neuentdeckte Infektionserreger im Trinkwasser sind von zunehmender Bedeutung. Zu den neu-identifizierten Pathogenen gehören *Campylobacter* spp., human-pathogene *Escherichia coli*-Stämme (EHEC), *Yersinia enterocolitica*, Enteroviren wie Rotavirus und Calicivirus und die Parasiten *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* (SZEWZYK et al., 2000).

Cholera, Typhus, Campylobacteriose, EHEC-Infektionen, Shigellosis und Yersiniosen werden als sehr gesundheitsgefährdend eingeschätzt (WHO, 1996). Verschiedene Typen von Viren (Adenoviren, Rotaviren und Norwalk-Viren) sind von großer Bedeutung in Zusammenhang mit Durchfallerkrankungen im Kindesalter (CHIN 2000). Die Parasiten *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* treten weltweit immer häufiger als Ursache wasserbedingter Durchfallerkrankungen auf (WHO 1996). Alle aufgeführten Krankheitserreger sind in menschlichen und tierischen Fäkalien enthalten und werden über den fäkal-oralen Weg übertragen (CHIN, 2000).

Legionella spp. sind wasser-assoziierte Erreger, die respiratorische Infektionen verursachen, bekannt als Legionärs-Krankheit und Pontiac-Fieber. Sie werden häufig in Wasserinstallationssystemen nachgewiesen, wo sie in Biofilmen kolonisieren. Der häufigste Übertragungsweg ist die Inhalation von kontaminierten Aerosolen. Weitere Erreger, die sich in wasserführenden Systemen vermehren können sind *Aeromonas* spp., *Mycobacterium* spp. and *Pseudomonas aeruginosa* (SZEWZYK et al., 2000).

In neueren Publikationen werden wasserassoziierte Krankheiten in vier Gruppen eingeteilt (GLEESON & GRAY, 1997; RIVM, 2000):

- a) Wasserbürtige Infektionen: Dies ist eine Gruppe von Infektionen, die durch fäkale Kontaminationen des Trinkwassers in den menschlichen Organismus gelangen. Cholera und Typhus sind klassische Beispiele, aber auch Hepatitis A und Gastroenteritiden sind ernstzunehmende Magen-Darm-Infektionen.
- b) Infektionen durch mangelnde Hygiene (water-washed diseases): Damit sind Erkrankungen gemeint, die aufgrund eines ungenügenden Wasserdargebots auftreten. Die Erreger werden direkt von Mensch zu Mensch fäkal-oral übertragen. Die Folgen können Gastroenteritiden, Konjunktivitis und Hautentzündungen sein.
- c) Wasser-basierte Krankheiten: Sie werden verursacht durch Mikroorganismen, deren Lebenszyklus teilweise von einer aquatischen Umgebung abhängt. Die Erreger parasitieren z. B. in Schnecken als Infektionsträger der Schistosomiasis oder in Guinea - Würmern (Dracunculiasis).
- d) Wassergebundene Infektionskrankheiten: Hierbei werden Parasiten durch Vektoren (Insekten) übertragen, deren Brutplätze an Wasser gebunden sind. Menschen in Kontakt mit offenen Gewässern können durch Stiche infiziert werden. Typische Beispiele sind Malaria, Dengue und Gelbfieber.

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind die unter Absatz a) erläuterten infektiösen, wasserübertragbaren Erreger, die durch Ingestion von fäkal kontaminiertem Trink- oder Badewasser sowie Lebensmitteln im menschlichen Organismus

Gastroenteritiden verursachen können. Gastroenteritiden werden durch eine Vielzahl von wasserübertragbaren Viren, Bakterien und Parasiten ausgelöst, so dass sie sich hervorragend als Indikator für möglicherweise fäkal-kontaminiertes Trinkwasser eignen. Für Studien in der Trinkwasserepidemiologie werden daher häufig Magen-Darm-Infektionen im Zusammenhang mit der Qualität des Trinkwassers untersucht (BALLESTER & SUNYER, 2000; ELKANA et al., 1996; PAYMENT, 1997; PAYMENT et al., 1997a; PAYMENT et al., 1991b; SCHWARTZ et al., 2000; SCHWARTZ et al., 1997; TOMPKINS et al., 1999; ZMIROU et al., 1987).

Im Bezug auf das Krankheitsbild der Magen-Darm-Infektionen (gastrointestinale Infektionen) müssen einige Begriffe definiert werden. Die Enteritis ist eine Dünndarm-entzündung, die bei Mitbeteiligung des Magens auch als Gastroenteritis bezeichnet wird. Ist der Dickdarm ebenfalls betroffen, spricht man von Gastroenterokolitis. Als allgemeine Benennung von Infektionen des Magen-Darmtraktes wird im Folgenden häufig von gastrointestinalen Infektionen oder Enteritiden gesprochen. Als Leitsymptom der Magen-Darm-Infektionen gilt die Diarrhöe. Deshalb werden sie auch als Durchfallerkrankungen bezeichnet. Weitere Symptome sind Übelkeit, Schwindel, Bauchkrämpfe, Kopf- und Gliederschmerzen (MARRE et al., 2000).

Im gesunden Erwachsenenalter verlaufen viele Magen-Darm-Infektionen selbstlimitierend und klingen nach einigen Tagen ab. Die Empfindlichkeit des Wirtsorganismus spielt jedoch bei Infektionen durch darmpathogene Keime eine wichtige Rolle für den Schweregrad der Erkrankung. Der Verlauf von gastrointestinalen Infektionen ist in sehr jungen Jahren (Kleinkindalter) und in sehr hohem Alter häufig schwerer als bei gesunden Erwachsenen. Es können durch Dehydration schwerere Komplikationen auftreten (CHIN, 2000; GERBA et al., 1996a).

Die Möglichkeit der Feststellung des endemischen oder epidemischen Auftretens von Durchfallerkrankungen in der Bevölkerung ist sehr beschränkt. Daten zur Beurteilung der epidemiologischen Situation stammen in der Regel aus drei Quellen: prospektiven Studien in Haushalten, passive und aktive Surveillance sowie Ausbruchsuntersuchungen. Prospektive Studien sind in der Regel sehr aufwendig und teuer und werden daher selten durchgeführt. Problematisch bei Daten aus der gesetzlichen Surveillance von Infektionskrankheiten ist, dass sie nur einen kleinen Teil der tatsächlich auftretenden Fälle repräsentieren. Da die Durchfallerkrankungen in entwickelten Ländern meistens keine ernsthaften Folgen haben und i. d. R. innerhalb einer Woche ausheilen, bleiben sie häufig aufgrund fehlender Diagnosen und/oder mangelhafter Dokumentation unentdeckt (NELSON et al., 2001).

Existierende Surveillance-Systeme sind oft nicht in der Lage, eine Häufung bestimmter Erkrankungen aufzuspüren. Selbst wenn gehäuft Magen-Darm-Infektionen registriert werden, ist die Assoziation mit Trinkwasser oft weit entfernt. Ausbrüche trinkwasserbedingter Infektionen repräsentieren ebenfalls nur einen kleinen Teil der tatsächlich aufgetretenen Erkrankungen. Durch Ausbruchsuntersuchungen können jedoch Risikofaktoren und Übertragungswege entdeckt sowie Kontrollmaßnahmen entwickelt werden (CRAUN et al., 2001; TILLET et al., 1998).

Die Abschätzung des endemischen Auftretens gastrointestinaler Erkrankungen in der Bevölkerung ist aus den o. g. Gründen schwierig. Eine Schätzung des Anteils trinkwasserbedingter Erkrankungen an allen Krankheiten in einer Bevölkerung ist schwer möglich. Zahlreiche internationale Studien haben sich mit diesen Problemen auseinandergesetzt. Einige Studien beschreiben die Möglichkeiten zur Auffindung von Krankheitsausbrüchen und deren epidemiologische Aufklärung. In anderen Untersuchungen werden Methoden zur Aufklärung sporadisch auftretender trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten vorgestellt. Im folgenden Kapitel 1.2 soll der gegenwärtige Forschungsstand in der Trinkwasserepidemiologie betrachtet werden.

1.2 Forschungsstand der Trinkwasserepidemiologie

In der Fachliteratur werden verschiedene methodische Vorgehensweisen diskutiert, um den Zusammenhang zwischen gastrointestinalen Infektionen bzw. Ausbrüchen und dem Konsum von Trinkwasser zu analysieren.

Grundlegende Studien in der Trinkwasserepidemiologie wurden vor allem durch PAYMENT et al. in Kanada durchgeführt (PAYMENT, 1997; PAYMENT et al., 1997a; PAYMENT et al., 1994; PAYMENT et al., 1991a; PAYMENT et al., 1993; PAYMENT et al., 1991b; PAYMENT et al., 1991c; PAYMENT et al., 1997b). Aber auch BEAUDEAU et al., 1999; BOWIE et al., 1997; DAVIS et al., 1998; ELKANA et al., 1996; KOOL et al., 1999; MORRIS & LEVIN, 1995; YAZIZ & PILLAY, 1995; ZMIROU et al., 1987 oder COLFORD et al., 2002; SCHWARTZ et al., 2000; SCHWARTZ et al., 1997 publizierten Forschungsergebnisse aus der Epidemiologie trinkwasserbürtiger Gastroenteritiden.

Die verschiedenen Ansätze zum methodischen Nachweis, ob eine Infektion oder eine Epidemie mit dem Konsum von Trinkwasser in Zusammenhang steht, wird im Folgenden erläutert.

1.2.1 Case-mapping

Als klassische, epidemiologische Untersuchung eines trinkwasserbedingten Krankheitsausbruchs gilt die Kartierung der Cholera-Toten in London 1854 durch den Arzt John Snow (BRODY et al., 2000; CLIFF & HAGGETT, 1988). Schon vor der Epidemie in London war John Snow zu der Überzeugung gelangt, dass verunreinigtes Trinkwasser der Übertragungsweg für das „Cholera-Gift“ sein musste. Er erstellte eine Karte, die verdeutlichte, dass im Einzugsbereich einer Wasserpumpe, die sich in der Broad Street befand, die meisten Todesfälle zu finden waren. Nach Schließung der Pumpe konnte die Cholera-Epidemie eingedämmt werden. Mit dieser Methode untermauerte er seine Hypothese, dass Trinkwasser als Übertragungsweg für die Cholera eine große Bedeutung habe (BRODY et al., 2000).

Seine Vorgehensweise, die auch als „case mapping“ bezeichnet wird, dient heute vor allem zur explorativen Datenanalyse und Hypothesengenerierung (SCHWEIKART, 1999).

Mit einer Computer-generierten Punktkarte wurde die räumliche Verbreitung von 94 *Toxoplasma gondii*-Infektionen in British Columbia / Kanada untersucht. Der Ausbruch konnte mit einer bestimmten Wasserversorgung in Zusammenhang gebracht werden. Mit

epidemiologischen Ausbruchsuntersuchungen wurde der Zusammenhang statistisch nachgewiesen (ENG et al., 1999).

Case-mapping kann jedoch nicht immer sinnvoll zur Auffindung von Infektionsquellen eingesetzt werden. Besonders wenn es sich beim Auftreten einer Krankheit um Einzelbeobachtungen handelt, ist mit dieser Methode eine Infektionsquelle kaum zu identifizieren.

1.2.2 Prospektive Studiendesigns

Im Rahmen einer prospektiven Studie publizierten PAYMENT et al. (1991c) die Ergebnisse einer "randomised intervention study". Durch empirische Methoden sollte die Frage beantwortet werden, ob es einen messbaren Zusammenhang zwischen gastrointestinalen Erkrankungen und dem Konsum von mikrobiell belastetem, oberflächenwassergewonnenem Leitungswasser gibt.

Interventionsstudien beziehen Experimente mit in das Studiendesign ein (SINNECKER, 1994). Man verändert die bestehende Trinkwasserversorgung verschiedener, durch Stichproben gewonnener Gruppen und vergleicht als Ergebnis die epidemiologische Situation zwischen den Stichproben-Gruppen. Interventionen können zusätzliche Aufbereitungstechniken in den Haushalten, Verwendung von in Flaschen abgefülltem Wasser oder Abkochen beinhalten (HUNTER, 1997).

Als Hypothese einer Studie wurde angenommen, dass Trinkwasser, welches hinsichtlich der Mikrobiologie den gesetzlichen Anforderungen entspricht, trotzdem eine häufige Ursache gastrointestinaler Infektionen ist (PAYMENT et al., 1991c).

Über einen Zeitraum von 15 Monaten in den Jahren 1988 bis 1989 wurden in einem für Montreal repräsentativen Gebiet 600 Haushalte auf den Konsum von Leitungswasser und dem Auftreten von Durchfallerkrankungen untersucht. Dabei wurde bei der Hälfte der Haushalte das Leitungswasser mit einem an den Wasserhahn angeschlossenen, häuslichen Trinkwasseraufbereitungssystem ausgestattet. Alle Familien wurden angewiesen ein Tagebuch über die Menge des getrunkenen Leitungswassers und dem Auftreten von Krankheitssymptomen wie Schwindel, Erbrechen, Krämpfe und Durchfall zu führen.

Das Tagebuch diente als Grundlage der statistischen Auswertung, die auch die Kovariaten Alter, Geschlecht und geographische Einheiten umfasste. Mit verschiedenen Regressionsmodellen wurden adjustierte Inzidenzraten ermittelt. Beim Vergleich der beiden Gruppen lag die Inzidenzrate bei den Haushalten mit herkömmlichem Leitungswasser mit 0,76 höher als bei der Gruppe mit zusätzlich aufbereitetem Wasser (0,5). Es konnte gezeigt werden, dass mit steigendem Leitungswasserkonsum auch das Krankheitsrisiko stieg.

Bemerkenswert war, dass während der gesamten Untersuchungsperiode von offizieller Seite keine Durchfallerkrankungen gemeldet wurden.

Das beschriebene Studiendesign ist vorteilhaft zur genaueren Schätzung von Erkrankungsraten innerhalb einer Bevölkerung. Besonders vor dem Hintergrund des unterschiedlich aufbereiteten Leitungswassers ließ sich zeigen, dass das Auftreten von Durchfallerkrankungen in dieser Region mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem durch Siedlungsabwasser verunreinigten Rohwasser zusammenhing.

In einer weiteren trinkwasserepidemiologischen Studie zur Untersuchung, ob Trinkwasser, das den aktuellen mikrobiologischen Anforderungen entspricht, trotzdem als Ursache gastrointestinaler Infektionen identifiziert werden kann, bedienten sich PAYMENT et al. (1997b) ebenfalls eines prospektiven, experimentellen Studiendesigns.

In einem Zeitraum von 19 Monaten (1993-1994) wurden über eine repräsentative Stichprobe von 1400 Haushalten die Auswirkungen von unterschiedlich aufbereitetem Leitungswasser auf die Studienpopulation untersucht. Als Indikator für die Auswirkungen der verschiedenen Wässer auf die Gesundheit wurde wiederum die Gastroenteritis und deren Symptome als Indikator gewählt.

Die Stichprobe wurde in vier Unterstichproben aufgeteilt, deren Trinkwasserversorgung sich jeweils unterschied. Eine Gruppe erhielt weiterhin herkömmliches Leitungswasser über das Versorgungsnetz. Bei einer weiteren Gruppe wurde der Wasserhahn mit einem Durchfluss präpariert, damit das Leitungswasser kontinuierlich floss. Mit Hilfe dieser Technik sollte der Einfluss der Hausinstallation auf die mikrobiologische Beschaffenheit des Leitungswassers ausgeschlossen und der Zustand des Wassers im Leitungsnetz simuliert werden. Um den Einfluss des Rohrnetzes auf die Rekontaminierung des Trinkwassers zu untersuchen, wurde eine dritte Gruppe mit Trinkwasser versorgt, das direkt bei der Trinkwasseraufbereitungsanlage in Kanister abgefüllt und zu den Haushalten geliefert wurde. Die Haushalte der vierten Gruppe wurden durch Flaschen versorgt, die mit „reverse-osmosis“ Filtern zusätzlich gereinigtes Leitungswasser oder reines Quellwasser enthielten. Diese letzte Gruppe sollte den Basiswert liefern.

Bakteriologische und physiko-chemische Wasseruntersuchungen des aufbereiteten Trinkwassers wurden gemäß der Standardmethoden an allen Stationen des Wassertransports täglich bis wöchentlich ermittelt (Wasserversorgungsunternehmen, Hausanschluss, abgefüllte Flaschen). Zusätzlich analysierte man alle zwei Wochen das Rohwasser wie auch das Trinkwasser auf Parasiten und Enteroviren.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum lieferte das Wasserversorgungsunternehmen Trinkwasser, das alle gesetzlichen Qualitätsanforderungen erfüllte.

Die Auswertung auf statistischen Zusammenhang zwischen gastrointestinalen Infektionen und der mikrobiologischen Beschaffenheit der verschiedenen Trinkwässer erfolgte mit Poisson-Regressionsmodellen. Die durchschnittliche Inzidenzrate für alle Haushalte lag bei 0,5 bis 1 Erkrankungsepisode pro Personenjahr. 14% der gastrointestinalen Infektionen während des Untersuchungszeitraumes konnten auf herkömmliches Leitungswasser zurückgeführt werden, 19% auf kontinuierlich fließendes Wasser. Kinder zwischen 2 und 5 Jahren waren mit 17% in der herkömmlichen Versorgung und mit 40% in der Gruppe mit ständigem Durchfluss am stärksten von Durchfallerkrankungen betroffen.

Die hohe Inzidenzrate in der Gruppe mit ständig fließendem Leitungswasser war ein unerwartetes Ergebnis, da fließendes Leitungswasser als keimarm gilt. Als Erklärung wurde angenommen, dass der Restchloranteil im stagnierenden Wasser weiterhin desinfizierend wirkte. Da jedoch das zirkulierende Wassersystem im Haushaltsanschluss die Situation des Verteilungsnetzes wiedergibt, kann angenommen werden, dass das Versorgungsnetz mit verantwortlich für die Rekontaminierung des Trinkwassers ist.

In den beiden Haushaltsgruppen, die mit in Flaschen bzw. Kanistern abgefülltem Leitungswasser versorgt wurden, konnte kein signifikanter Anstieg der gastrointestinalen Infektionen festgestellt werden.

Das Ergebnis dieser epidemiologischen Studie stützt die Hypothese, dass Leitungswasser eine signifikante Quelle von Durchfallerkrankungen darstellt, auch wenn es den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Die beiden vorgestellten prospektiven Interventionsstudien werden als optimale Methode gewertet, die Beziehung zwischen Wasserversorgung und Gesundheit bzw. Krankheit zu analysieren (HUNTER, 1997). Sie wurden aus diesem Grunde auch in anderen Ländern durch andere Forscher wiederholt, wie z. B. in Usbekistan (SEMENZA et al., 1998) und in Melbourne/Australien (SINCLAIR & FAIRLEY, 2000).

Das Studiendesign ist jedoch dahingehend kritisch zu bewerten, dass die Diagnose einer Durchfallerkrankung durch die betroffenen Personen, also durch Laien, selbst gestellt und notiert wurde. Auch wurde zur Bestätigung einer gastrointestinalen Infektion kein mikrobiologischer Nachweis angeordnet. Dadurch ist nicht auszuschließen, dass dies zu erheblichen Meldefehlern führte. Die auf diesen Meldedaten aufgebaute statistische Analyse kann dadurch evtl. verzerrte Ergebnisse liefern.

In Kalifornien/USA wurde eine randomisierte Interventionsstudie durchgeführt, bei der zusätzlich die Stichproben im Blindversuch untersucht wurden, d. h. dass den verschiedenen Haushaltsgruppen die Herkunft und Aufbereitung des Wassers nicht bekannt war. Damit sollte eine Überschätzung der gemeldeten gastrointestinalen Infektionen durch die TeilnehmerInnen in bestimmten Interventionsgruppen kontrolliert werden (COLFORD et al., 2002).

Allerdings ist es durchaus legitim, davon auszugehen, dass die Hauptsymptome einer Enteritis, nämlich Durchfall und Bauchschmerzen, in der Bevölkerung allgemein bekannt sind und somit die Meldungen annähernd den tatsächlichen Werten entsprechen. Dadurch ist meines Erachtens diese Vorgehensweise berechtigt.

Als ein Nachteil dieses Studiendesigns muss jedoch der sehr hohe Kosten-, Personal- und Zeitaufwand gesehen werden, der durch die Interventionsmaßnahmen und die relativ großen Stichproben entstehen.

1.2.3 Retrospektive Studien

Das Ziel der retrospektiven Studie von SCHWARTZ et al. (2000) war, mittels des Qualitätsmerkmals „Trübung“, im Trinkwasser das Auftreten gastrointestinaler Infektionen in einer Risikobevölkerung zu erklären. Als Risikogruppen der Bevölkerung bezüglich Durchfallerkrankungen gelten Kinder, Schwangere, alte Menschen und immunsupprimierte Personen (SCHWARTZ et al., 2000).

Die als ökologische Korrelationsstudie durchgeführte Untersuchung sollte den möglichen Zusammenhang zwischen der täglichen Fluktuation der Trübung im Trinkwasser und den nachfolgend auftretenden Krankenhauseinweisungen älterer Personen (> 65 Jahre) aufgrund von Durchfallerkrankungen in Philadelphia darstellen. Die epidemiologische Datengrundlage wurde für den Zeitraum 1992 bis 1993 aus den Krankenhausunterlagen ermittelt. Für die Trübungswerte stellte das zuständige Wasserversorgungsunternehmen (PWD, Philadelphia Water Department) die täglich gemessenen Ergebnisse über den erforderlichen Zeitraum zur Verfügung. Die Anzahl der Einweisungen pro Tag wurden mit den Messwerten der Trübung unter Berücksichtigung

der Confounder Wetter, Temperatur, Jahreszeit und Wochentag korreliert (SCHWARTZ et al., 2000).

Mit multivariaten Regressions- und Korrelationsmodellen konnte ein Zusammenhang zwischen Trübungsanstieg und einer Erhöhung der Krankenhauseinweisungen um 9% mit einer zeitlichen Verzögerung von 9-11 Tagen gefunden werden. Für über 75-Jährige war dieser Zusammenhang noch stärker.

Als Exposition wurde der Zeitpunkt, an dem das aufbereitete Wasser die Aufbereitungsanlage verließ, angenommen. Die Zeitspanne von 9 bis 11 Tagen gibt die Inkubationszeit der wasserbürtigen Infektionen wieder, die für protozoische und virale Pathogene 2 Tage bis 2 Wochen betragen kann. Die Autoren der Studie folgerten, dass trotz der Desinfektionspraktiken der Wasserversorgungsunternehmen das Trinkwasser weiterhin eine Infektionsquelle darstellt, insbesondere für Risikogruppen. Die Anzahl der auftretenden gastrointestinalen Infektionen müsse viel höher eingeschätzt werden, wenn davon ausgegangen werde, dass nur ein Teil der Erkrankungsfälle hospitalisiert wurde.

Dadurch, dass für die vorgestellte Studie bereits vorhandene Daten verwendet werden konnten, reduziert sich der Arbeitsaufwand ebenso wie die Kosten. Im Unterschied zu den bisher vorgestellten Studien bezieht sich diese Arbeit auf eine bestimmte Zielgruppe, die ein erhöhtes Krankheitsrisiko aufweist und somit möglicherweise sensibler auf Veränderungen der Trinkwasserqualität reagiert. Um den Zusammenhang zwischen Trinkwasser und dem Ausbruch von Durchfallerkrankungen zu untersuchen, wird jedoch nur auf den Parameter „Trübung“ zurückgegriffen. Ein mikrobiologischer Nachweis im Trinkwasser oder im Stuhl der Patienten wurde nicht durchgeführt.

Die Trübung wird in einigen Studien als Indikator für mikrobielle Kontaminationen des Roh- und Trinkwassers gewertet (BOWIE et al., 1997). Jedoch nicht alle Studien belegen einen Zusammenhang des Trübungsanstiegs mit einem Anstieg bestimmter, krankmachender Mikroorganismen-Konzentrationen z. B. mit *Cryptosporidium parvum* im Rohwasser (KISTEMANN et al., 2002a; KISTEMANN et al., 1998).

1.2.4 Ausbruchsuntersuchung - Serologische Studie – Fall-Kontroll-Studie

Mit einem serologischen Screening konnten Bowie et al. (1997) zwei trinkwasserbedingte Toxoplasmose-Ausbrüche in Vancouver/Kanada identifizieren. Toxoplasmose ist eine weltweit endemische Erkrankung, die häufig ohne Symptome verläuft. Bei Schwangeren hat die Infektion häufig schwerwiegende Folgen für den Fetus. Der Krankheitserreger ist ein Parasit, das *Toxoplasma gondii*, dessen Haupterregerreservoir Katzen sind (BOWIE et al., 1997).

Im Jahr 1995 konnte durch das Zentrallaboratorium in der Region Greater Victoria in British Columbia ein plötzlicher Anstieg von Toxoplasmosis serologisch festgestellt werden. Unabhängig davon wurden durch Augenärzte 7 Fälle akuter Augenentzündungen, verursacht durch *Toxoplasma gondii*, gemeldet. Eine Infektionsquelle konnte nicht identifiziert werden, weder bei Milch-, Gemüse oder Fleischprodukten noch in Restaurants. Bei der Kartierung der Fälle fiel auf, dass die Infektionen nur in einem bestimmten geographischen Gebiet auftraten. Als eine mögliche Infektionsquelle wurde schließlich die städtische Wasserversorgung in Betracht gezogen. In der Zeit des Ausbruchs lieferte das Wasserversorgungsunternehmen der Region ungefiltertes, gechlortes Oberflächenwasser an die Bevölkerung. Ein groß angelegtes, serologisches

Screening-Programm im Zusammenhang mit zwei Fall-Kontroll-Studien wurde durchgeführt.

In Fall-Kontroll-Studien (Case-Control Studies) werden Krankheitsfälle und Nicht-erkrankte Personen selektiert und hinsichtlich ihrer Exposition verglichen. Die Kontrollgruppe dient dabei der Schätzung der Exposition in der Standardbevölkerung (ROTHMAN & GREENLAND, 1998b).

Das Design der oben beschriebenen Studie bezog sich zum einen auf akute Fälle, incl. Personen mit Augenentzündungen oder anderen Symptomen und in einer weiteren Studie auf Schwangere und Frauen im Postnatal-Stadium. Durch serologische Tests wurden Fälle und Nichtfälle verifiziert und klassifiziert. Zusätzlich füllten alle StudienteilnehmerInnen (Fallgruppe und Kontrollgruppe) einen Fragebogen aus, der über den Expositionszeitraum und -ort Auskunft geben sollte.

100 Personen zwischen 6 und 83 Jahren wurden serologisch als ausbruchsbezogener Fall definiert. 94 davon wohnten in Greater Victoria und 6 besuchten die Region. Die klinischen Erscheinungsfälle (ohne die Gruppe der Schwangeren) variierten von Augenentzündung (19%), Lymphadenopathie (51%) bis keine Symptome. Bei 3.812 Schwangeren wies man 36 Fälle (0,9%) nach. Sowohl durch das „Case mapping“ als auch durch die beiden Fall-Kontroll-Studien konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen akuter Infektion und der bestimmten Wasserversorgungsregion nachgewiesen werden. Die epidemische Kurve zeigte einen bimodalen Verlauf mit „peaks“ im Dezember 1994 und April 1995.

Mit dem durchgeführten Studiendesign konnte gezeigt werden, dass nicht filtriertes, durch Chlor desinfiziertes Oberflächenwasser im Gebiet des Versorgungsunternehmens zu einer parasitären Epidemie geführt hatte.

Das bedeutet, dass das *Toxoplasma gondii* zu einem gewissen Grad chlorresistent und im Roh- und Trinkwasser überlebensfähig ist. Bisher wurde kein weiterer wasserbürtiger Ausbruch aufgrund dieses Parasiten dokumentiert.

Es ist bekannt, dass auch die Parasiten *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* eine hohe Chlorresistenz haben und somit über Desinfektionsmethoden im Zusammenhang mit Trinkwasser neu diskutiert werden muss (GIBSON et al., 1998; HAAS & ROSE, 1995; KARANIS & SEITZ, 1996).

1.2.5 Surveillance

Unter Surveillance werden "alle fortlaufenden Aktivitäten zur Erfassung, Dokumentation, maßnahmeorientierten Analyse und zur Anleitung der Bekämpfung von Krankheiten [...]" verstanden (RKI, 1996a, 2). Ein Surveillance-System besteht aus einem Netzwerk von Personen und Aktivitäten, die den Erfassungs- und Auswertungsprozeß kontinuierlich auf regionalen, nationalen und internationalen Ebenen unterhalten. Meistens übernimmt der öffentliche Gesundheitsdienst die Aufgabe der Überwachung von meldepflichtigen Krankheiten als Instrument zur Entwicklung von Präventions- und Kontrollstrategien (BUEHLER, 1998).

Als Methode zur Auffindung trinkwasserbürtiger Infektionskrankheiten ist sie ein wichtiges Instrument, vorausgesetzt sowohl trinkwasserbezogene als auch epidemiologische Daten werden in **einem** System erhoben, verwaltet und analysiert.

Weltweit gibt es nur sehr wenige Länder, die in das nationale Infektions-Surveillance-System die Überwachung trinkwasser- und badewasserbedingter Infektionskrankheiten integriert haben. Während in den USA und in Großbritannien solche Systeme etabliert wurden, gibt es in Deutschland keine zuständige Erfassungsstelle für trinkwasserbürtige Erkrankungen (EXNER & KISTEMANN, 2002).

England und Wales spielen diesbezüglich in Europa eine Vorreiterrolle. Dort sind auf verschiedenen administrativen Ebenen verantwortliche Überwachungsstellen eingerichtet worden (QUIGLEY et al., 2002; QUIGLEY & HUNTER, 2002; STANWELL-SMITH et al., 2002). Am Beispiel Großbritanniens sollen die wesentlichen Komponenten und Möglichkeiten zur Erfassung und Prävention von wasser-assoziierten Krankheiten dargestellt werden.

Aufgrund zunehmender wasserbedingter Krankheitsausbrüche in England und Wales empfahl 1990 das Komitee für mikrobiologische Sicherheit von Lebensmitteln eine konsequentere und detailliertere Überwachung von infektiösen Darmerkrankungen. Als Antwort auf diese Empfehlung wurde durch den „Public Health Laboratory Service (PHLS)“, Abteilung „Communicable Disease Surveillance Centre“ (CDSC), in Kooperation mit den „Consultant in Communicable Disease Control (CCDC)“ ein neuer Managementplan für die Überwachung von infektiösen gastrointestinalen Erkrankungen entwickelt (FURTADO et al., 1998; STANWELL-SMITH et al., 2002).

Innerhalb des PHLS CDSC wurde eine spezielle Abteilung für die Kontrolle gastrointestinaler Infektionen gegründet, in der die Meldungen über Krankheitsfälle zusammengetragen werden sollen. Das Meldesystem beruht auf einer aktiven regionalen Surveillance. Die „Consultant in Communicable Disease Control (CCDC)“, die im Namen der Bezirksgesundheitsämter handeln, decken in der Regel durchschnittlich 2 Krankenhäuser, drei regionale Gesundheitsämter, drei Laboratorien und eine Bevölkerung von ca. 450.000 Personen ab. Gemeinsam mit den lokalen Behörden für Umweltgesundheit, klinischen Mikrobiologen und Epidemiologen sowie den Krankenhaushygienikern haben sie die Aufgabe, auftretende Fälle und die Durchführung von Ausbruchsuntersuchungen dem PHLS CDSC Abteilung „Gastrointestinal Diseases Section“ zu melden.

Das PHLS besteht darüber hinaus aus einem Netzwerk von 49 Laboratorien, von denen 6 speziell Bedeutung für die Überwachung von wasserübertragbaren Krankheiten besitzen. In Rhyl befindet sich zum Beispiel das Referenzzentrum für Cryptosporidien, in Reading ein Speziallabor für Wasservirologie.

Nach Meldung eines Ausbruchs beim CDSC wird ein standardisierter Fragebogen zum Verlauf und zu Ergebnissen der Ausbruchsuntersuchung dem jeweilig verantwortlichen CCDC zugesendet. Das CDSC erhält als Dokumentationszentrale den ausgefüllten Fragebogen sowie zusätzliche Informationen von anderen Behörden zurück. Bezüglich wasserbürtiger Ausbrüche erhebt der Fragebogen Angaben über Beginn, Dauer und Anzahl der infizierten Personen. Ein wichtiger Punkt ist die Einschätzung der Signifikanz eines Zusammenhangs zwischen kontaminiertem Trinkwasser und Erkrankungen. Außerdem wird nach dem Anschluss an eine öffentliche oder private Trinkwasserversorgung und nach Größe und Technik der Wasserversorgungsunternehmen und Wasserwerke gefragt (STANWELL-SMITH et al., 2002).

Die gesammelten Daten werden in eine digitale Datenbasis aufgenommen und in Berichten veröffentlicht. Zusätzlich werden die mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse der Labors analysiert, um das Auftreten bestimmter Krankheitserreger und Stämme zu erfassen und ggf. räumliche Trends zu finden (FURTADO et al., 1998; HUNTER, 1997; TILLET et al., 1998).

1.3 Aufgabenstellung und Ziel

Alle vorgestellten Studien verfolgen mit unterschiedlichem Design das Ziel, den Zusammenhang zwischen dem Auftreten gastrointestinaler Infektionen und dem Trinkwasserkonsum methodisch nachzuweisen. Die assoziative Untersuchung klinischer und wasserbezogener Daten (BOWIE et al., 1997; PAYMENT et al., 1997b; SCHWARTZ et al., 2000; ZMIROU et al., 1987) dient zur Abschätzung der endemischen und epidemiologischen Situation in der Bevölkerung. Die permanente Erfassung von Gesundheitsdaten (Surveillance) und Studien zum Trinkwasserkonsumverhalten werden als Methoden zur Auffindung von Ausbrüchen, zur Charakterisierung von Gesundheitsrisiken und zur Entwicklung von Präventionsstrategien genutzt (BALLESTER & SUNYER, 2000; BUEHLER, 1998; EXNER, 1997; FURTADO et al., 1998; JOHN & WINKELHAKE, 1997; PROCTOR et al., 1998; SHIMOKURA et al., 1998; TILLET et al., 1998).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Auffindung von Einzelfällen und Ausbrüchen von einer guten Surveillance abhängt und sowohl Kenntnisse über die Ökologie der trinkwasserübertragbaren Krankheitserreger als auch über die epidemiologische Situation im Untersuchungsgebiet erfordert.

Zu einer umfassenden Analyse trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen gehört deshalb

- a) die Ermittlung des Gesundheitsrisikos in einer bestimmten Bevölkerung,
- b) der Aufbau oder die Verbesserung der Erfassung epidemiologischer Daten im Zusammenhang mit den Trinkwasserversorgungsstrukturen sowie
- c) die Anwendung von Methoden zum Nachweis eines statistischen Zusammenhangs zwischen Trinkwasserherkunft und -beschaffenheit und dem Auftreten von Erkrankungen.

Eine allgemeingültige Empfehlung zur Verwendung einer bestimmten Methode existiert nicht, da alle diskutierten Vorgehensweisen Vor- und Nachteile haben. Darüber hinaus müssen die speziellen Bedingungen des Untersuchungsgebiets, die Möglichkeiten der Datenerhebung, die Kooperationsbereitschaft verschiedener Personen und Institutionen sowie der zeitliche und finanzielle Rahmen im Studiendesign berücksichtigt werden.

Aus diesen Überlegungen sowie aus den in der Einleitung aufgeführten Aspekten zur trinkwasserepidemiologischen Situation in Deutschland lassen sich Aufgabenstellung und Ziel der vorliegenden Studie ableiten:

- a) Das Infektionsrisiko innerhalb einer bestimmten Bevölkerungsgruppe soll auf Grundlage bestehender Dose-Response Analysen ermittelt werden. Die Erhebung der Exposition gegenüber Krankheitserregern im Trinkwasser auf der Individualebene ist dafür Voraussetzung. Deshalb wird eine empirische Studie zum

Trinkwasserkonsumverhalten im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Es soll geprüft werden,

- ob sich das Trinkverhalten gegenüber anderen Ländern unterscheidet,
- wieviel Leitungswasser - getrennt nach abgekochtem und nicht abgekochtem Zustand - getrunken wird,
- wie sich der steigende Einsatz von Wassersprudlern in privaten Haushalten auf den Konsum von Leitungswasser auswirkt und
- ob sich besondere Risikogruppen ableiten lassen.

Zur Untersuchung der Arbeitshypothesen wird eine empirische Studie durchgeführt, bei der die o. g. Aspekte durch eine Fragebogenaktion erhoben werden. Die Ergebnisse fließen in eine Risikocharakterisierung ein.

- b) Es sollen vorhandene epidemiologische Datenbasen im Zusammenhang mit Daten zu Trinkwasserversorgungsstrukturen auf ihre Tauglichkeit für die Erfassung von trinkwasserbedingten Erkrankungen untersucht werden. Es wird geprüft,
- ob die in Deutschland derzeitige Surveillance meldepflichtiger Krankheiten für die Erfassung wasserbürtiger, gastrointestinaler Infektionen ausreicht,
 - inwieweit Geographische Informationssysteme zur effektiven Überwachung beitragen können und
 - welche raumbezogenen Analysemöglichkeiten GIS-Anwendungen für epidemiologische Untersuchungen zur Verfügung stellen.

Es wird angestrebt, eine leistungsfähige, erweiterbare Datenbank im Rahmen eines Geographischen Informationssystems (GIS) für ein Surveillance-System mit raumbezogenen Analysemöglichkeiten aufzubauen. Das neue Infektionsschutzgesetz wird in diesem Zusammenhang diskutiert.

- c) Auf der Basis der retrospektiv erhobenen Daten soll das räumliche Muster gastrointestinaler Infektionen analysiert werden. Es soll geprüft werden,
- ob die gastrointestinalen Infektionen homogen im Raum verteilt sind,
 - ob es zu Clusterbildungen kommt,
 - ob ein Zusammenhang zwischen der Trinkwasserversorgungsstruktur und der räumlichen Verbreitung der Durchfallerkrankungen besteht,
 - welche Confounder möglicherweise die räumliche Variation der Enteritis-Inzidenz beeinflussen.

Als eine zentrale Methode der geographischen Epidemiologie wird für die Teilstudie ein ökologisches Studiendesign angewendet, welche auch als geographische Korrelationsstudien bekannt sind (ENGLISH, 1992; GESLER, 1986).

Mit verschiedenen statistischen Modellen und multivariaten Analysen werden die trinkwasser-epidemiologischen Daten auf Zusammenhang untersucht. Die Ökologische Studie wird GIS-unterstützt durchgeführt.

Aufgrund der komplexen Aufgabenstellung kann eine sachgemäße Charakterisierung von Wasserversorgungsstrukturen sowie eine detaillierte Beurteilung der epidemiologischen Situation nur auf einer regionalen Ebene durchgeführt werden.

Für die Auswahl des Rheinischen-Bergischen Kreises als Untersuchungsgebiet war vor allem die unterschiedliche Herkunft des Trinkwassers ausschlaggebend, da dort etwa 50% der Bevölkerung grundwasserbürtiges Trinkwasser und die andere Hälfte aufbereitetes Oberflächenwasser erhalten. Die Herkunft, Aufbereitung und Verteilung des Trinkwassers und die potentielle Auswirkung auf die Verbreitung gastrointestinaler Infektionen im Rheinisch-Bergischen Kreis sowie die Einschätzung der Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung sind die Arbeitsschwerpunkte der vorliegenden Arbeit.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit folgt den in Kapitel 1.3 formulierten Aufgaben und Zielen. Die Untersuchung umfasst neben der Einleitung drei unterschiedliche Teilstudien, die in der Diskussion zusammengeführt werden.

Im ersten Kapitel wird neben der Einleitung in die Thematik (Kapitel 1.1) und der Formulierung von Aufgaben und Zielen (Kapitel 1.3) der Forschungsstand trinkwasser-epidemiologischer Studien bezüglich der Möglichkeiten des Nachweises von Zusammenhängen zwischen Trinkwasser und Krankheit dargelegt (Kapitel 1.2). Außerdem wird die Thematik im Kontext der Medizinischen Geographie und epidemiologischen Geographie erläutert (Kapitel 1.5).

Auswahl und Lage des Untersuchungsgebietes sowie eine kurze landeskundliche Charakterisierung wird in Kapitel 2 beschrieben.

Gemäß den formulierten Teilzielen werden, inklusive der jeweils verwendeten Untersuchungsmethoden, die drei Arbeitsschwerpunkte in den Kapiteln 3, 4 und 5 behandelt.

Kapitel 3 beinhaltet die Erhebung des Trinkwasserkonsumverhaltens im Rheinisch-Bergischen Kreis als Grundlage einer Risikoeinschätzung trinkwasserbürtiger Infektionen.

In Kapitel 4 wird der Aufbau eines Fachgeographischen Informationssystems zur Surveillance trinkwasserbürtiger Enteritiden auf lokaler Ebene für den Rheinisch-Bergischen Kreis erarbeitet. Hier geht es vor allem um die Erhebung und Prüfung der relevanten Datenbasen, die sowohl epidemiologische Daten als auch Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur beinhalten sowie deren Integration und Nutzung im GIS-System.

Der Nachweis von statistischen Zusammenhängen zwischen der räumlichen Verbreitung der Enteritis-Inzidenzen und den verschiedenen Wasserversorgungsstrukturen im Untersuchungsgebiet soll in Kapitel 5 durchgeführt werden. Die ökologische Studie basiert auf den in Kapitel 4 retrospektiv erhobenen Daten.

In der Diskussion (Kapitel 6) werden die Ergebnisse der Teilstudien aufgegriffen und im Zusammenhang diskutiert.

1.5 Der geographische Kontext

1.5.1 Medizinische Geographie

Bei der Untersuchung der vielfältigen Aspekte der räumlichen Verbreitung trinkwasserbürtiger Durchfallerkrankungen in einem bestimmten Raum überschneiden sich sowohl die Interessens- und Forschungsgebiete der Medizinischen Geographie als Teildisziplin der Geographie als auch der Epidemiologie als Forschungszeitweig der Medizin.

Die Medizinische Geographie, die nach TROLL (1953) zu den biologischen Grundlagen der Anthropogeographie gehört, ist ein traditioneller Forschungszeitweig der Medizinischen Geographie, deren Prinzip schon bei Hippokrates (460-377 v. Chr.) Beachtung fand (BARRETT, 2000; SCHWEIKART et al., 1998).

Zu den charakteristischen Merkmalen der Geographie als Wissenschaft gehört die "räumliche Betrachtungsweise", die versucht, das wechselseitige Beziehungsgefüge Mensch - Umwelt räumlich differenziert zu erforschen und zu erklären (WIRTH, 1979, 60). Vor diesem Hintergrund ist die Bearbeitung medizinischer Fragestellungen in der Geographie von großer Bedeutung, „(...) da Krankheitsfälle sich durch ihre Lage im geographischen Gradnetz räumlich definieren lassen (und) die Möglichkeit einer Erklärung der auf der Wirkung des Raumes beruhenden Ursachenkomponenten nicht ausgeschlossen werden (dürfen.)“ (FRICKE, 1987,4).

Der Beginn der deutschen Medizinischen Geographie kann auf den in der Nähe von Osnabrück geborenen Leonard Ludwig Finke zurückgeführt werden. 1795 schrieb er ein dreibändiges Werk zum Thema „Versuch einer allgemeinen medicinisch-praktischen Geographie...“ (BARRETT, 1993) beruhend auf Beschreibungen geographischer Aspekte von Krankheiten, der Ernährung und der medizinischen Versorgung. Als klassische Darstellung geographisch-medizinischer Forschung galt lange Zeit die Arbeit von August Hirsch. 1883 prägte er in einer durch Übersetzungen international anerkannte Publikation den Begriff der geographischen Pathologie (BARRETT, 2000).

In den dreißiger Jahren prägte H. ZEISS den Begriff „Geomedizin“, deren Hauptaufgabe in der dynamischen Kartographie medizinischer Fragestellungen nach dem Vorbild geopolitischer Karten liegen sollte und lange Zeit eher als ein Forschungsgebiet der Medizin betrachtet wurde (TROLL, 1953).

Inbesondere durch den Mediziner H. J. JUSATZ wurde die Geomedizin wieder mehr in den Blickpunkt geographischer Forschungsaufgaben gerückt (FRICKE, 1987). Die in seinem Sinn (JUSATZ, 1984, 1-2) als „geographisch orientierte Medizin“ oder „raumbezogene Medizin“ verstandene Geomedizin hat zur Aufgabe, die „(...) Aufklärung der Umweltbedingungen, die eine Krankheitsverbreitung in bestimmten geographischen Räumen ermöglichen, fördern oder begrenzen.“ Zielvorstellung sei „(...) die Aufstellung einer Prognose über das weitere Verhalten einer Krankheit im Raume, über die Bedingungen für das Einnisten, deren Aufklärung Anlaß zur wirkungsvollen Bekämpfung geben kann (...)“ (JUSATZ, 1984, 2).

Der dieser Auffassung zugrunde liegende landschaftsökologische Ansatz wurde durch H. JUSATZ (1984) aufgrund des Einflusses sozialer, ökonomischer und kultureller

Faktoren auf die Krankheitsverbreitung um einen sozial-geographischen Ansatz erweitert (JUSATZ, 1984).

Die Einbeziehung soziologischer Erhebungen führt zu einer Geomedizin im weiteren Sinne. Daraus lassen sich verschiedene Forschungsrichtungen entwickeln, denen in den USA und England als „Geography of Medical Care, Health Care Geography“ und in Frankreich als „Géographie de la Santé“ große wissenschaftliche Bedeutung beigemessen wird (FRICKE, 1987).

Der im Zentralverband der Deutschen Geographie eingegliederte „Arbeitskreis für Geomedizin und Medizinische Geographie“ wurde 1972 durch H. JUSATZ gegründet. 1996 wurde dieser Arbeitskreis in „Arbeitskreis für Medizinische Geographie“ umbenannt, dem sowohl Geographen als auch Mediziner angehören. Die Umbenennung erfolgte vor dem Hintergrund der Angleichung an den internationalen Begriff „Medical Geography“. Sie wirkt der in dem früheren Titel scheinbar zweigeteilten Aufgabenstellung entgegen (SCHWEIKART et al., 1998) und räumt die internationalen Irritationen über den Begriff "Geomedizin" im Bezug zur Geopolitik der dreißiger Jahre in Deutschland aus (BARRETT, 2000).

Die aktuellen Forschungsfelder der Medizinischen Geographie oder „Medical Geography“ umfassen die traditionellen Felder der Ökologie der Krankheiten (Disease ecology) und der Gesundheitssystemforschung (Health systems planning) (MAYER, 1982) die in einem neuen Konzept einer „Geography of health and impairment“ (CUMMINS & MILLIGAN, 2000) zusammengefasst werden. Diese zeichnet sich durch eine stärkere Interdisziplinarität aus, die neben den sozialen, kulturellen und physischen Ansätzen auch z. B. die Verhaltenswissenschaften, Ethnographie und Public Health einbezieht (CUMMINS & MILLIGAN, 2000).

1.5.2 Epidemiologie und Infektionsepidemiologie

Die moderne Epidemiologie ist eine relativ junge Wissenschaft, die zwar auch Anfang des 20sten Jahrhundert und davor schon Aktivitäten aufwies, für die aber erst nach dem zweiten Weltkrieg grundlegende Konzeptionen, Methoden und Technologien entwickelt wurden (ROTHMAN & GREENLAND, 1998a). Sie war in besonderem Maße von den Entwicklungen in der Mikrobiologie und deren Erforschung von übertragbaren Krankheiten abhängig (SINNECKER, 1994).

Die Epidemiologie beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Verhalten und Umweltbedingungen auf den physischen und psychologischen Gesundheitszustand des Menschen und mit den Faktoren, die die Verteilung von Krankheiten beeinflussen. Untersuchungsgegenstand sind nicht nur die Abklärung der Entstehung von Epidemien sondern auch die Ausbreitungsmechanismen des gesamten Spektrums der Krankheiten. Sowohl weitverbreitete als auch seltene Krankheitsbilder stehen heute im Mittelpunkt der epidemiologischen Wissenschaft, die mit rein deskriptiven Methoden und mit „Verfahren zur Zusammenhangsanalyse“ erforscht werden (KREIENBROCK & SCHACH, 2000,1).

Methodisch kann zwischen der deskriptiven und analytischen Epidemiologie unterschieden werden. Während die deskriptive Epidemiologie sich mit der Verteilung von Krankheiten beschäftigt, untersucht die analytische Epidemiologie den Zusammenhang mit Faktoren, die diese Verteilung verursachen. Typische analytische Studiendesigns sind Fall-Kontroll-Studien und Kohortenstudien (AHLBOHM & NORELL, 1991).

Grundlegende epidemiologische Maße der Krankheitshäufigkeit sind Inzidenz und Prävalenz. Die Inzidenz ist definiert als die Anzahl der Personen, die in einem bestimmten Zeitraum neu erkranken. Die Prävalenz gibt die Zahl der Personen an, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Krankheit erkrankt sind.

Besondere Bedeutung erlangte die moderne Epidemiologie in der Erforschung von Zusammenhängen zwischen Tabakrauchen und dem Auftreten von Lungenkrebs. In den Jahren 1950-1965 wurde diese Thematik intensiv erforscht (KREIENBROCK & SCHACH, 2000).

Eine besondere Stellung innerhalb der Epidemiologie stellt die Infektions-epidemiologie dar. Ihre Wurzeln reichen bis in die Antike zurück. Schon Hippokrates beschrieb Krankheiten mit epidemischem Charakter, deren Ursachen er auf Klima, Boden, Wasser, Ernährung und Lebensweise zurückführte.

Durch alle Jahrhunderte hindurch traten immer wieder große Plagen und Seuchen auf, von denen vor allem die im Mittelalter als der "Schwarze Tod" bekannte Pest große Auswirkungen auf die Zivilisation hatte. Schätzungsweise 24 Mio. Europäer starben. Auch die Pocken waren seit der Antike eine gefürchtete Krankheit, die im 18. Jahrhundert durch die Entwicklung des in der Medizingeschichte ersten Impfstoffes kontrolliert werden konnte. Weitere gefürchtete Seuchen waren und sind bis heute u. a. Cholera, Ruhr, Tuberkulose, Diphtherie und Poliomyelitis. Die nach der Entdeckung der Infektionserreger eingeführten Impfkampagnen, aber auch die im 19. Jahrhundert zunehmende Assanierung der Städte und verbesserten Lebensbedingungen führten zu einem Rückgang der Epidemien in Europa. Seit den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts konnten viele Infektionskrankheiten dank des Penicillins erfolgreich behandelt werden (NELSON et al., 2001).

Heute besitzen die Infektionskrankheiten für die Mortalität in Deutschland nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Dennoch musste in den letzten zwei Jahrzehnten die Auffassung, dass Infektionskrankheiten grundsätzlich besiegbar seien, revidiert werden; nicht zuletzt durch die AIDS Pandemie in den 80iger Jahren. Auch Tuberkulose stellt in Deutschland, wenn auch therapierbar, weiterhin eine Krankheit der sozial Schlechtergestellten dar. Reiseassoziierte Infektionskrankheiten werden jedes Jahr in steigendem Maße registriert. Der Bedeutungswandel der Infektionskrankheiten für die Morbidität und Mortalität in Deutschland beruht auf Veränderungen der Lebens- und Umweltbedingungen, der globalen Mobilität der Bevölkerung aber auch auf der Entwicklung von Antibiotikaresistenzen und Zunahme von immunabwehrgeschwächten Patienten (DANGENDORF et al., 2001).

Die Pathogenese der Infektionskrankheiten unterscheidet sich wesentlich von der der nicht übertragbaren Krankheiten. Während bei nicht übertragbaren Erkrankungen wie Krebs oder Herzkrankheiten der Einfluss anderer Erkrankter kaum eine Rolle spielt, sind Infektionskrankheiten charakterisiert durch die Übertragbarkeit von einem Erregerreservoir auf den Menschen. Das Erkrankungsrisiko für Influenza z. B. ist in extremen Maß von der infizierten Personenzahl in der Umgebung abhängig. Das heißt, dass ein Erkrankungsfall gleichzeitig Infektionsquelle sein kann, wobei wiederum ein Erkrankungsfall nicht unbedingt als solcher erkannt werden muss. Für die Ausbreitung der Krankheit sind deshalb der spezifische Übertragungsweg des Erregers und das Kontaktmuster in der Bevölkerungsgruppe verantwortlich. Die Übertragung von Infektionskrankheiten kann durch direkten oder indirekten Kontakt, Ingestion von

kontaminierten Lebensmitteln oder Trink- und Badewasser, durch die Luft oder perinatal stattfinden (GIESECKE, 1994).

Jedes infektiöse Agens ist durch spezifische Eigenschaften charakterisiert: Lebenszyklus, Immunologie, Ökologie, Evolution und Molekularbiologie. Dadurch werden neben den Methoden der allgemeinen Epidemiologie weitere Konzepte für die Untersuchung von Infektionskrankheiten notwendig. Solche Konzepte umfassen die Ermittlung von Exposition, Kontaktmustern, Erregerreservoirien, Infektionsdauer und Virulenz des Erregers (HALLORAN, 1998).

Die Aufklärung epidemischer oder endemischer Krankheitsphänomene läßt sich nach Sinnecker (1994) im Wesentlichen durch fünf effektive Untersuchungsformen erreichen (SINNECKER, 1994):

1. Untersuchungen zur Häufigkeit von bestimmten Erkrankungen in verschiedenen Gebieten und Bevölkerungsgruppen unter Berücksichtigung der lokalen Umwelt, des persönlichen Verhaltens und anderen Einflussfaktoren,
2. Testung von ätiologischen Hypothesen,
3. Experimentelle Beweisführung durch Labormethoden,
4. Praktische Prophylaxe und
5. Management im Gesundheitswesen zur Abschätzung zukünftiger Anforderungen und Maßnahmen.

Ein wesentliches Werkzeug zur Kontrolle und Bewertung der epidemiologischen Situation bestimmter Infektionskrankheiten in einer Bevölkerung stellen die bereits in Kapitel 1.2.5 vorgestellten, gesetzlich vorgeschriebenen Meldesysteme dar (RKI, 1996a; RKI, 1996b). Die Hauptaufgabe von Surveillance-Systemen ist, innerhalb der routinemäßigen Überwachung von Infektionskrankheiten einen plötzlichen Wechsel in der Anzahl der gemeldeten Fälle anzuzeigen. In erster Linie dienen Surveillance-Systeme zur Entdeckung von Epidemien. Ebenso können sie jedoch auch durch Dokumentation sinkender Infektionsraten den Erfolg von Präventionsmaßnahmen (z. B. Impfkampagnen) anzeigen (GIESECKE, 1994).

1.5.3 Geographische Epidemiologie – Ökologie der Krankheiten

Ebenso wie die Medizinische Geographie eine ihrer wichtigsten methodischen Vorgehensweisen in John Snows Kartierung der Cholerafälle in London begründet sieht (s. Kapitel 1.2.1), weist auch die infektionsepidemiologische Forschung auf die Leistung des "case mapping" zur Identifizierung der Infektionsquelle "kontaminiertes Trinkwasser" hin, welche als historischer Anstoß für die Entwicklung der Epidemiologie gedeutet wird (CLIFF & HAGGETT, 1988; MCLEOD, 2000). Nach McLeod (2000) existieren verschiedene Variationen „of the Snow and Broad Street myth (...) in public health, epidemiology, history of medicine, geography and cartography.“ Wenn auch die Bedeutung der Arbeit von Snow durch Mystifizierung über die Jahrzehnte hinweg als überbewertet gelten kann, war der interdisziplinäre Ansatz seiner Untersuchung der Grundstein für diese Entwicklung. Die Verbindung aller dieser fachlichen Sichtweisen erklärt in einfacher Weise die Grundlagen und Aufgaben der „Geographischen Epidemiologie“.

Im Kontext dieser Arbeit steht das Prinzip der geographischen Epidemiologie, welche vor allem in der älteren Fachliteratur gleichbedeutend als Disease Ecology (Ökologie der Krankheiten) bezeichnet wird (MAYER, 1982).

Die geographische Epidemiologie betrachtet soziale, demographische, ökonomische, kulturelle, umweltbedingte sowie biologische Faktoren im Zusammenhang mit dem Auftreten von Erkrankungen. Dabei spielt die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Dimension der Krankheitsphänomene eine übergeordnete Rolle (ENGLISH, 1992; MAYER & MEADE, 1994). JACQUES MAY führte in Amerika in den 50er Jahren das Konzept der Ökologie der Krankheiten in die Medizinische Geographie ein (MEADE, 1977). Er untersuchte epidemiologische Phänomene verschiedener Krankheiten in Verbindung mit Bevölkerungsdichte, Wasser, Boden, Vegetation u. ä. und beschreibt deren Bedeutung für die pathogenen Faktoren: Krankheitserreger, Vektoren (Mücken), Wirtstiere, Erregerreservoir und den Menschen (MAY, 1950).

Im Zusammenhang mit dem Umweltfaktor Wasser hebt MAY (1950, 427) hervor „each water supply has its special danger“ und meint damit die direkte Gesundheitsauswirkung z. B. durch eine zu niedrige oder zu hohe Dosis an natürlichen Mineralinhaltsstoffen aber auch die Entstehung und Auswirkung mikrobieller Kontaminationen des Wassers (Amöben, Salmonellen oder Choleravibrionen) auf die Gesundheit. Die Bedeutung des Umweltfaktors "Wasser" umschreibt er 1954 folgendermaßen: "from the waters the people get their food, also their cholera, their dysentery, their typhoid fever, their malaria; (...)" (MAY, 1954, 428).

Neuere Studien über gesundheitliche Auswirkungen von Umweltbedingungen auf den Menschen werden häufig vor dem Hintergrund des „Global Change“ durchgeführt. Das Auftreten neuer Infektionskrankheiten als auch das erneute Aufflammen altbekannter Infektionskrankheiten sind nach MAYER (2000) von großem Interesse für die gegenwärtige geographische Epidemiologie: „The disease ecological approach is essential for understanding the emerging of new diseases, the re-emerging of older ones, and their mutual potential diffusion.“ (MAYER, 2000, 938-939).

Verschiedene geographische Aspekte und deren Veränderungen fördern oder begrenzen z. B. das Auftreten vektorgebundener Parasitosen (Malaria, Leishmaniose) oder wasserübertragbarer Krankheiten. Geographische Faktoren für die Entstehung neuer und Aufflammen bekannter Infektionskrankheiten sind u. a. die zunehmende globale Mobilität der Bevölkerung, Flüchtlingsbewegungen, militärische Aktionen, unkontrolliertes Städtewachstum, Umweltveränderungen durch den Bau von Dämmen und Bewässerungssystemen sowie De- und Reforestationen (HAGGETT, 1994; MAYER, 2000).

Das Studiendesign heutiger geographisch-epidemiologischer Untersuchungen stützt sich im Wesentlichen auf drei Studientypen (ENGLISH, 1992):

- Deskriptive Studien
- Ökologische Studien
- Migrations-Studien

In den folgenden Kapiteln soll das methodische Vorgehen deskriptiver und ökologischer Studiendesigns beleuchtet werden¹.

¹ Auf Migrationsstudien wird nicht weiter eingegangen.

1.5.3.1 Disease Mapping und digitale Kartographie

Die Präsentation erhobener Daten in Form von Karten ist das wesentliche Mittel deskriptiver Studien in der geographischen Epidemiologie.

Die Krankheitskartierung stellt seit Beginn des Forschungsbereichs der geographischen Epidemiologie eine wichtige Untersuchungsmethode dar, die sich im 19. und 20. Jahrhundert in zahlreichen Publikationen in Form von Kartenwerken und Atlanten niederschlägt. Als bedeutende Autoren sind zu nennen: HIRSCH (zitiert aus BARRETT, 2000); POINCARÉ, 1884; PETERMANN 1852 (zitiert aus BARRETT, 2000); BECKER & WAHRENDORF, 1998; CLIFF & HAGGETT, 1988; HOWE, 1963; RODENWALDT & JUSATZ, 1952-1956; SMALLMAN-RAYNOR et al., 1992.

Traditionell werden geographische Informationen in Form von thematischen Karten, Kartogrammen, topographischen Karten und Atlanten visualisiert. In den 70er Jahren begann die Entwicklung der digitalen Kartographie, die den Wechsel der analogen, recht statischen Datenverarbeitung zu einem dynamischen und interaktiven System bewirkte (OPENSHAW, 1996). Im Internet stehen zunehmend kartographische Werke im Zusammenhang mit Gesundheitsdaten zur Verfügung. Der „Atlas of Cancer Mortality in the United States 1950-1994“ ist beispielsweise unter <http://www.nci.nih.gov/atlas/index.html> zu finden.

Methodisch ist Disease Mapping heute in zwei Bereiche eingebettet. Zum einen in das „Desktop mapping“ und zum anderen in GI-Systeme. Die technische Annäherung beider Methoden bewirkt, dass sich derzeit Disease Mapping über das Desktop Mapping hinaus entwickelt. Raumbezogene Analysemethoden und geostatistische Auswertungen treten durch Anwendung von GIS stärker in den Vordergrund (SCHWEIKART, 1999).

Als geographisch-epidemiologische Methoden haben seit den 80er Jahren computergestützte Modellbildungen unter Einsatz multivariater Analysen im Disease Mapping stärkere Anwendung gefunden (WHO, 1997; WHO, 1999a). Besondere Beachtung findet die Erstellung von Verbreitungskarten mit geglätteten und modellangepassten Inzidenzraten durch empirische Bayes-Schätzer, multivariate Regressionsverfahren und Kriging (GUO et al., 1998; LANGFORD, 1994; VACCHINO, 1999; WEBSTER et al., 1994), Kerndichte-Schätzfunktionen (ATKINSON & UNWIN, 1998) und andere Verfahren zur Auffindung von Clustern sowohl auf der Individualebene (z. B. Cuzick-Edwards Test, Grimson's Test) als auch auf Gebietsebene wie z. B. Moran's I Test, Geary c-Test (BITHELL, 1990; ODEN et al., 1996; OLSEN et al., 1996; TANGO, 1998; WELLIE et al., 2000).

1.5.3.2 Ökologische Studien

Ein quantitatives Ziel vieler epidemiologisch-geographischer Studien ist, den Effekt einer oder mehrerer Expositionen auf die räumliche Variation von Morbidität oder Mortalität einer Krankheit in einer definierten Risikobevölkerung zu schätzen. Die Messung solcher Effekte beruht auf der Berechnung von Korrelations- und Regressionskoeffizienten. Das Design solcher Studien wird als „Ökologisches Studiendesign“ oder auch als „geographische Korrelationsstudie“ bezeichnet. Bei Ökologischen Studien ist die Ebene der Untersuchungseinheit für die Analyseergebnisse entscheidend. Bei kompletten ökologischen Studien werden alle Variablen (Exposition, Krankheit, Kovariaten) auf räumliche Untersuchungseinheiten gruppiert (Region, Arbeitsplatz, Schule) oder auf eine bestimmte demographische Gruppe (Stratum) aggregiert. Innerhalb der Gruppen ist die

Verteilung der Variablen nicht bekannt. Bekannt ist der Anteil der exponierten Bevölkerung sowie die Häufigkeit der Krankheit über den Beobachtungszeitraum (ENGLISH, 1992; MORGENSTERN, 1998).

Die Vorgehensweisen zur Auffindung von Zusammenhängen umfasst folgende Aktivitäten (nach VAN DEN BERG & VON DER AHÉ, 1997; VON DER AHÉ et al., 1999):

- a) Die Identifizierung einer gesundheitsgefährdenden Exposition einer bestimmten Bevölkerung.
- b) Die statistische Untersuchung auf räumliche Heterogenität.
- c) Die statistische Ermittlung von Kausalzusammenhängen und deren Verifizierung durch zusätzliche Studien oder Daten.
- d) Die Präsentation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

Die Hauptgrenzen Ökologischer Analysen liegen darin, dass aufgrund von Verzerrungen keine kausalen Zusammenhänge nachgewiesen werden können. Das zugrundeliegende Problem ist die Heterogenität der Expositionen und Kovariaten innerhalb der Gruppen. Ökologische Beziehungen können stark von den auf der Individualebene gefundenen Werten abweichen.

Die Bias reflektiert den Fehler, der aus Rückschlüssen der geschätzten ökologischen Effekte auf die Individualebene resultiert. Das Phänomen wird auch als „ecological fallacy“ bezeichnet (WALTER, 1991).

Ökologische Bias kann durch Störgrößen (Confounder) hervorgerufen werden, die aufgrund nicht korrekter Auswahlmethoden und Fehlklassifikationen der untersuchten Gruppen und Gebietseinheiten beruhen. Weitere unbekannte Effekte und Risikofaktoren können zu Verzerrungen führen. Die Kontrolle von Störgrößen ist problematisch (MORGENSTERN, 1998).

Auch wenn alle Variablen akkurat gemessen und aufgenommen wurden, kann die Anpassung des Modells für besondere Risikofaktoren Verzerrungen der Ergebnisse nicht verhindern. Multikollinearität entsteht, wenn verschiedene Faktoren Einfluss auf die Erkrankungsraten haben, welche stark miteinander korrelieren, so dass der jeweilige Einfluss auf den Gesundheitszustand der untersuchten Populationen kaum zu ermitteln ist (WALTER, 1991).

Partielle ökologische Studien versuchen zusätzliche Informationen zu bestimmten Verteilungen als Kovariaten der untersuchten Variablen in multiple Regressions- und Korrelationsmodelle einzubeziehen, um so die Bias zu reduzieren (MORGENSTERN, 1998).

Trotz der methodischen Limitationen gibt es zahlreiche Gründe für die Anwendung von Ökologischen Studien in der geographischen Epidemiologie. In der Regel nehmen diese Studien wenig Zeit und Geld in Anspruch, da vorhandene Datenbasen verwendet werden können. Neben der routinemäßigen Erfassung von meldepflichtigen Krankheiten können die notwendigen Daten auch von Laboratorien, Versicherungen oder Volkszählungen stammen. Es können große Datenmengen in relativ kurzer Zeit bearbeitet werden. Die Ergebnisse solcher Studien stehen kurzfristig für weitere Untersuchungen oder Maßnahmen zur Verfügung. Die Durchführung von ökologischen Studien ist auch angezeigt, wenn die Expositionsdosis auf der Individualebene nicht akkurat ermittelt werden kann (MORGENSTERN, 1998).

1.5.3.3 GIS in der geographischen Epidemiologie

„Geographic information systems might be used to assess environmental risk. The ability to overlay disease patterns and possible causative factor patterns on the same x- and y-co-ordinate system should proved to be fruitful in the future“ (GESLER, 1986, 970).

Mitte der 80iger Jahre startete die „GIS-Revolution“ mit der Entwicklung neuer Informationstechnologien, die herkömmliche Datenbanken um eine räumliche Dimension erweiterten (OPENSHAW, 1996). Anfänglich wurden GIS-Technologien hauptsächlich in der Raumplanung sowie der Konstruktion und Erhaltung von Versorgungsnetzen angewendet (Energie, Wasser). Das Spektrum der Anwendungen erweiterte sich jedoch schnell auf Transportplanung, Marketing, Umwelt- und Ressourcenschutz und auf die Gesundheitsforschung (SCHOLTEN & DE LEPPER, 1991). Die GIS-Technologie hat sich heutzutage in vielen Forschungs- und Lebensbereichen durchgesetzt und ermöglicht neue Formen der Kommunikation durch Nutzung von Intranet, Internet und World Wide Web (GOODCHILD, 2000).

Geographische Informationssysteme oder die im deutschsprachigen Raum weitverbreitete Bezeichnung Geoinformationssysteme werden definiert als Systeme für die „... Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung von Daten, die einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen technischen und administrativen Einrichtungen sowie geowissenschaftliche, ökonomische und ökologische Gegebenheiten beschreiben“ (BARTELME, 1995, 12). BILL (1999) schließt in die Definition ausdrücklich auch die Hard- und Software-Komponente mit ein. Ein GIS kann demnach definiert werden als ein System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten erfaßt, verwaltet, redigiert, reorganisiert, modelliert, analysiert sowie graphisch präsentiert werden (BILL, 1999).

Praxisrelevante und häufig angewendete GIS-Funktionen sind Adress-Geocodierung, Distanzberechnungen, Pufferbildung, räumliche Abfragen und Polygon-Verschneidungen (VINE et al., 1997).

Die Einführung von Geographischen Informationssystemen in die Gesundheitsforschung basiert in erster Linie auf Studien der Umweltepidemiologie, z. B. Studien zur Auswirkung von Luftschadstoffen auf Krebsinzidenzen. Auch bei der Bekämpfung und Kontrolle parasitärer Infektionserkrankungen erkannte man früh die Vorteile der geographischen Informationsverarbeitung in der Habitatforschung verschiedener vektorgestützter Infektionskrankheiten (BRETAS, 1995; MOTT et al., 1995; NUTALL et al., 1995; SCHOLTEN & DE LEPPER, 1991). Da die Krankheitsvektoren (z. B. Insekten) sowie Erregerreservoir und Wirtstiere spezifische Ansprüche an Klima, Vegetation, Boden und andere Faktoren stellen, kann die Technik der satellitengestützten Fernerkundung genutzt werden, um die Habitate zu identifizieren.

Besonders in der Malaria-Forschung wurde die Technik eingesetzt, um die spezifischen Lebensräume der Anopheles-Mücke zu erforschen, die maßgeblich den Lebenszyklus des Vektors und das Infektionsrisiko für die Bevölkerung bestimmen (BECK et al., 1994; BRETAS, 1995; KITRON et al., 1994).

Einige GIS-Software-Programme wurden speziell für die Analyse von Gesundheitsdaten entwickelt. EpiInfo ist ein Produkt der Centers for Disease Control and Prevention (CDC) in Atlanta/USA und wurde bereits seit Anfang der 90iger Jahre entwickelt und eingesetzt. Das Programm steht kostenfrei über das Internet zur Verfügung

und enthält neben Visualisierungsfunktionen auch statistische Module (<http://www.cdc.gov>). Ein anderes Programm wurde zur Analyse der Häufigkeit und Ursache von Asthma und Allergien bei Kindern in einer regionalen Pilotstudie (Vorpommern, Bochum und Münster) entwickelt. ERIS (Epidemiologisches raumbezogenes Informationssystem) enthält fachspezifische Funktionsinhalte, die auf der Basis einer bestehenden GIS-Software programmiert wurden (VAN DEN BERG & VON DER AHÉ, 1997; VAN DEN BERG et al., 1999; VON DER AHÉ et al., 1999).

Die Nützlichkeit der Anwendung von GIS in der geographischen Epidemiologie läßt sich aus deren Zielvorstellungen ableiten, die im Folgenden noch einmal kurz zusammengefasst werden (nach GESLER, 1986; SCHWEIKART, 1999):

- Untersuchung des Gesundheitszustandes (räumliche Variation von Mortalität, Prävalenz und Inzidenz von Krankheiten, Diffusion von Krankheiten),
- Untersuchung der Gesundheitsrisiken (Einflüsse der natürlichen und anthropogen geprägten Umwelt, Krankheitsätiologie),
- Untersuchung der demographischen, sozioökonomischen Struktur und Kultur der Zielbevölkerung.

Die pathogenen Faktoren in der Mensch-Umweltbeziehung sind zu einem hohen Grad an geographische Objekte gebunden, so dass die räumlichen Analysetechniken eines GIS den Grundstein für deren Anwendung in der Epidemiologie bilden. Punkt- oder linienförmige Kontaminationsquellen (z. B. Standort eines Kernkraftwerks, Luftbelastung an stark befahrenen Straßen) und die Untersuchung der Auswirkung auf den Gesundheitszustand der exponierten Bevölkerung sind häufig Untersuchungsgegenstand in GIS-Anwendungen (GATRELL & LÖYTÖNEN, 1998). Besonderes Interesse besteht an der Lokalisation von Krankheitsfällen durch die Möglichkeit, Adressdaten von Patienten zu geokodieren und über X-Y-Koordinaten als Punktdaten zu visualisieren und analysieren.

Die Funktionen zur Aggregation von Daten auf bestimmte Gebietseinheiten (Länder, Regierungsbezirke, Städte, Gemeinden) sind prädestiniert für die Durchführung ökologischer Studien. Durch Variation der Grenzen der Raumeinheiten können die Ergebnisse ökologischer Studien erheblich beeinflusst werden (modifiable areal unit problem: MAUP). GIS können helfen, einen Teil dieser Probleme zu überwinden, da sie bei der Erstellung von Choroplethenkarten eine flexiblere und problemorientierte Abgrenzung der Raumeinheiten erlauben (DUNN, 1992). Für die statistische Analyse und Erstellung thematischer Karten können die im Disease Mapping herkömmlichen und neuen Modelle in das GIS integriert werden (s. Kapitel 1.5.3.1).

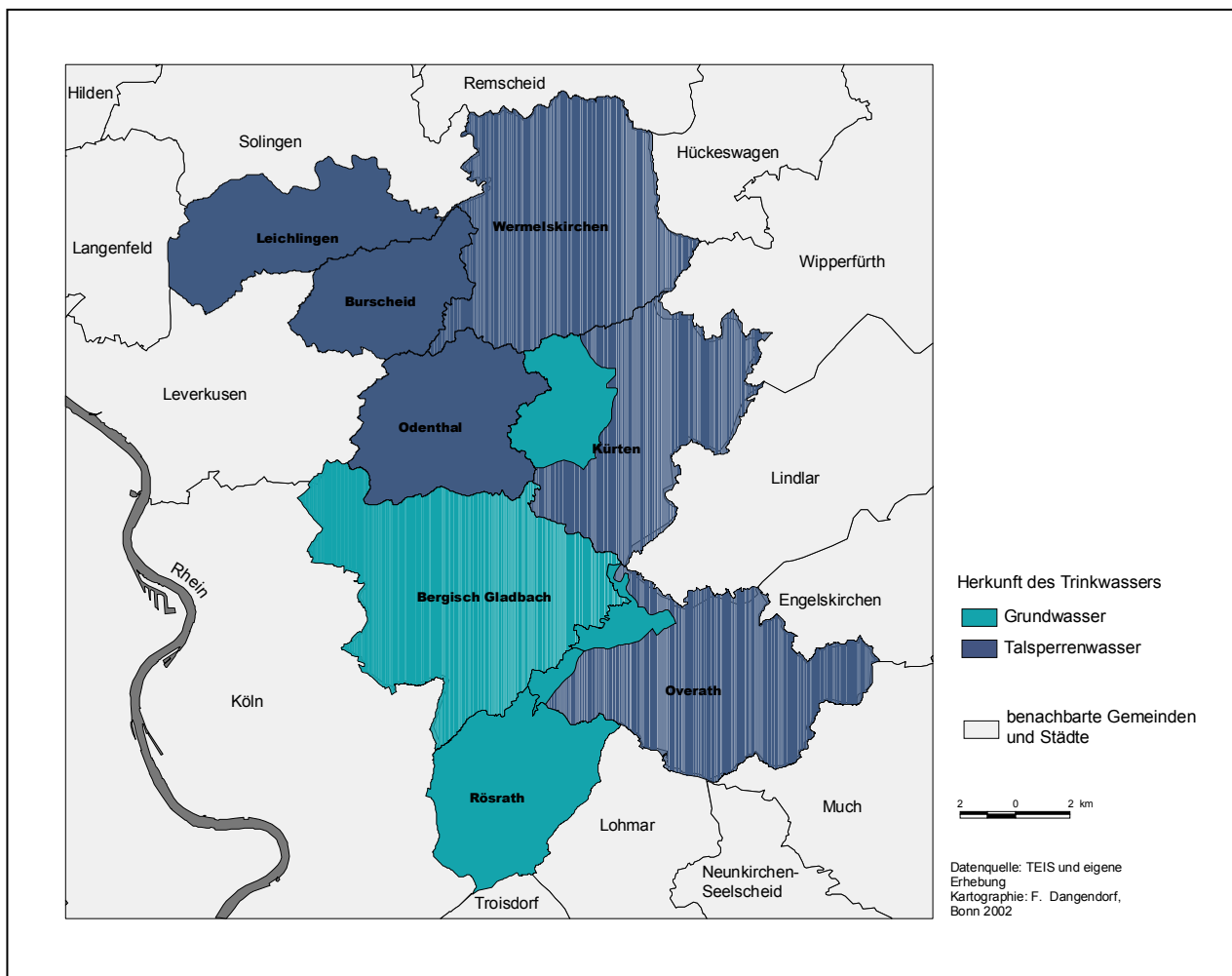
In Verbindung mit den digitalen Möglichkeiten des World Wide Web besteht seitens des Öffentlichen Gesundheitswesens in der online-Überwachung der zeitlichen und räumlichen Verbreitung infektiöser Erkrankungen größtes Interesse. Neue Strategien in der Krankheitsbekämpfung, wie z. B. die Entwicklung von Frühwarnsystemen, wurden durch die Möglichkeiten des Internets begünstigt (FLAHAULT et al., 1998; FLAHAULT et al., 2000).

In Frankreich wird durch das Nationale Institut für Gesundheit und Medizinische Forschung (INSERM) bereits seit 1984 ein landesweites Teleinformationssystem zur elektronischen Überwachung übertragbarer Krankheiten entwickelt (FLAHAULT et al., 2000; VALLERON & GARNERIN, 1992). Mit der Implementierung von GIS-Techniken im Internet und einer benutzerfreundlichen Oberfläche ist es jedem Nutzer möglich, die epidemiologische Situation in den französischen Regionen zeitnah abzufragen und

darzustellen. Derzeit kann die räumliche Verbreitung für Influenza, akute Durchfallerkrankungen und Windpocken abgefragt werden (<http://www.u444.jussieu.fr/sentiweb>). Das „FluNet“ (<http://www.oms.u444jussieu.fr>) ist eine Weiterentwicklung dieses Systems und überwacht die globale Situation der Influenza.

2 Lage und Auswahl des Untersuchungsgebietes

Der Rheinisch-Bergische Kreis liegt im Regierungsbezirk Köln. Infolge der kommunalen Neugliederung entstand er durch Zusammenlegung von Teilen des ehemaligen Rheinisch-Bergischen Kreises und des Rhein-Wupper Kreises. Heute umfasst der Kreis die Städte Bergisch Gladbach, Burscheid, Leichlingen, Rösrath, Overath und Wermelskirchen sowie die Gemeinden Kürten und Odenthal mit insgesamt 275.500 Einwohnern auf einer Fläche von ca. 440 km² (Stand 2001, Statistikdienststelle RBK 2002).



Karte A: Herkunft des Trinkwassers im Untersuchungsgebiet des Rheinisch-Bergischen Kreises

In naturräumlicher Hinsicht liegt der Rheinisch-Bergische Kreis am Südrand des Rheinischen Schiefergebirges im Übergang zur Kölner Bucht. Diese beiden Landschaftsräume sind geologisch unterschiedlich aufgebaut. Die Kölner Bucht stellt den südlichen Ausläufer des Niederrheinischen Tieflandes dar, das aus tertiären und quartären Ablagerungen aufgebaut ist. Das Rheinische Schiefergebirge hingegen besteht aus devonischen Schiefen. Diese geologischen Unterschiede bedingen das Vorkommen von unterschiedlichen Wasserressourcen. Die devonischen Schiefer bieten keine Voraussetzung zur Bildung von wasserstauenden Schichten und damit zur Bildung von

größeren Grundwasserreservoirs. Daher muss im Gebiet des Rheinischen Schiefergebirges die Trinkwasserversorgung durch die Anlage von Rückhaltebecken gewährleistet werden. Teile der Bevölkerung werden durch Oberflächenwasser der Dhünn-Talsperre des Wupperverbandes sowie der Genkel- und Wiehltalsperre des Aggerverbandes versorgt.

Eine grundwasserbürtige Wasserversorgung ist im Bereich der Kölner Bucht möglich. Dort kommt es durch wechselnde Schichtenfolgen von mächtigen Kies und Schotterablagerungen sowie dichten Tonablagerungen zur ausreichenden Bildung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung.

Der Kreis liegt im Osten der Ballungkerne Köln und Leverkusen. Im Norden grenzt der Ballungsraum an Solingen, Remscheid und Wuppertal (Strukturatlas Regio Rheinland, 1996).

Der Rheinisch-Bergische Kreis wurde maßgeblich aufgrund seiner unterschiedlichen Trinkwasserversorgung als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Während die Bevölkerung im Norden und Osten hauptsächlich aufbereitetes Talsperrenwasser erhält, wird die Bevölkerung im Südwesten mit Grundwasser versorgt (Karte A). Die Herkunft des Wassers spielt in der vorliegenden Arbeit eine wichtige Rolle. Krankheitserscheinungen sollen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Trinkwasserressourcen untersucht werden.

Ein weiteres Kriterium zur Auswahl des Rheinisch-Bergischen Kreises war die Bereitschaft der Unteren Gesundheitsbehörde, die Studie mit Daten aus der amtlichen Überwachung von Infektionskrankheiten und der Trinkwasserversorgung zu unterstützen, sowie seine gute Erreichbarkeit.

2.1 Landeskundliche Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die naturräumliche wie auch die wirtschaftliche- und sozialgeographische Charakterisierung des Untersuchungsgebiets erfolgt nach Kriterien, die für die Bewertung der Trinkwasserversorgung und der epidemiologischen Fragestellung im Untersuchungsgebiet relevant sind. In diesem Zusammenhang werden neben der naturräumlichen Ausstattung die Bevölkerungsentwicklung und die Beschäftigungsstruktur unter besonderer Berücksichtigung des Pendlerverhaltens untersucht.

2.1.1 Naturräumliche Ausstattung

Der Rheinisch-Bergische Kreis gehört naturräumlich gesehen zu den Großregionen des Rheinischen Schiefergebirges und der Niederrheinischen Bucht. Der westliche Teil gehört zur niederrheinischen Tiefebene, die aus tertiären und quartären Ablagerungen besteht; daran schließen sich die Bergischen Randhöhen an. Der östliche Teil gehört zum rechtsrheinischen Schiefergebirge, welches auch flächenmäßig den größten Teil einnimmt. Es ist aus stark gefalteten paläozoische Sedimentgesteinen, vorwiegend Schiefen, Sandsteinen und Karbonatgesteinen, aufgebaut. Die Kalke, Mergel und Dolomite nördlich von Bergisch Gladbach entstanden in mittel- und oberdevonischen Meeren und sind hauptsächlich aus Massen und Plattenkalken aufgebaut. Heute erstreckt sich in diesem Bereich ein von West nach Ost ziehendes Karstgebiet, dem die Bergisch Gladbacher-Paffrather Kalkmulde angehört. Die hydrologischen Verhältnisse sind durch

ein Karstwassersystem geprägt und hinterlassen als Oberflächenformen den typischen Karstformenschatz (HERMES & MÜLLER-MINY, 1974).

Geomorphologisch ist das Bergische Land durch drei Reliefgenerationen gekennzeichnet: Rumpffläche, Flussterrassen und Siefen. Bei den Rumpfflächen und den Terrassensystemen handelt es sich um vorzeitliche Formen. Unter den heutigen klimatischen Bedingungen entwickeln sich die so genannten „Siefen“, eine Bezeichnung für die zahlreichen kleinen Kerbtäler, die durch hohe Niederschlagsmengen und deren Abfluss in zahlreichen Bächen entstehen.

Das Bergische Land liegt im Übergangsbereich vom subozeanischen zum ozeanischen Klimabereich, die thermischen Jahresschwankungen betragen etwa 16°C. Es handelt es sich um ein Steigungsregengebiet, da es für die von Westen heranziehenden atlantischen Luftmassen das erste Gebirgshindernis darstellt. In den Niederschlagswerten der Tabelle 2 wird dies deutlich (NICKE, 1997).

Tabelle 2: Durchschnittliche Jahresniederschläge (in mm)

Station	Jahresniederschläge (mm/a)
Köln	650
Overath	1020
Heckberg	1160
Gummersbach	1227
Mühlenbach (Marienheide)	1279

(NICKE, 1997)

Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt im Westen des Kreises etwa 800 mm, während sie im Osten auf über 1.200 mm steigt. Die hohen Niederschlagswerte sind Ursache für einen stetigen Abfluss und damit auch für das dichte Gewässer- und Talnetz. Die früher sehr intensive Wasserkraftnutzung durch Mühlen aller Art nutzte den Wasserreichtum. Bei den Temperaturen zeigt sich deutlich ein Übergang zwischen dem Gunstklima der Niederrheinischen Bucht und dem Mittelgebirgsklima des Sauerlandes, wie es die folgende Übersicht zeigt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittlere Lufttemperatur in °C

Station	Januar	April	Juli	Oktober	Jahr
Köln	+2	+8	+17	+9	+10
Overath	0	+7	+16	+8	+8
Gummersbach	-1	+6	+15	+8	+7

(NICKE, 1997)

Trotz der hohen Niederschläge ergeben sich für das Bergische Land aufgrund der geologischen Verhältnisse in Verbindung mit der Ausbreitung offenen Kulturlandes, welches eine nur geringe Rückhaltekraft besitzt, recht ungünstige hydrologische Bedingungen mit gesteigertem Wasserabfluss. Dieser wird durch Bach- und Flussbegradigungen zum Teil noch beschleunigt. Das im Bergland in klüftigen Sandsteinschichten zirkulierende Grundwasser bildet in den Terrassenkörpern der Mittel- und Niederterrasse

des Rheins einen geschlossenen Grundwasserstrom, der sowohl rheinparallel von Süden her als auch vom östlichen Bergland her gespeist wird (NICKE, 1981).

Die Wasserversorgung des Rheinisch-Bergischen Kreises steht im engen Zusammenhang mit den herrschenden Reliefbedingungen, dem geologischen Bau und der Landschaftsstruktur sowie der Art und Dichte der Besiedlung und Bewirtschaftung. Obwohl im Bergischen Land überdurchschnittliche Niederschlagshöhen zu verzeichnen sind, stehen aufgrund des nicht speicherfähigen Untergrunds des Rheinischen Schiefergebirges keine größeren Grundwasservorkommen zur Verfügung. Schon um die Jahrhundertwende wurden oberirdische Wasserspeicher genutzt.

2.1.2 Bevölkerungsstruktur und -entwicklung

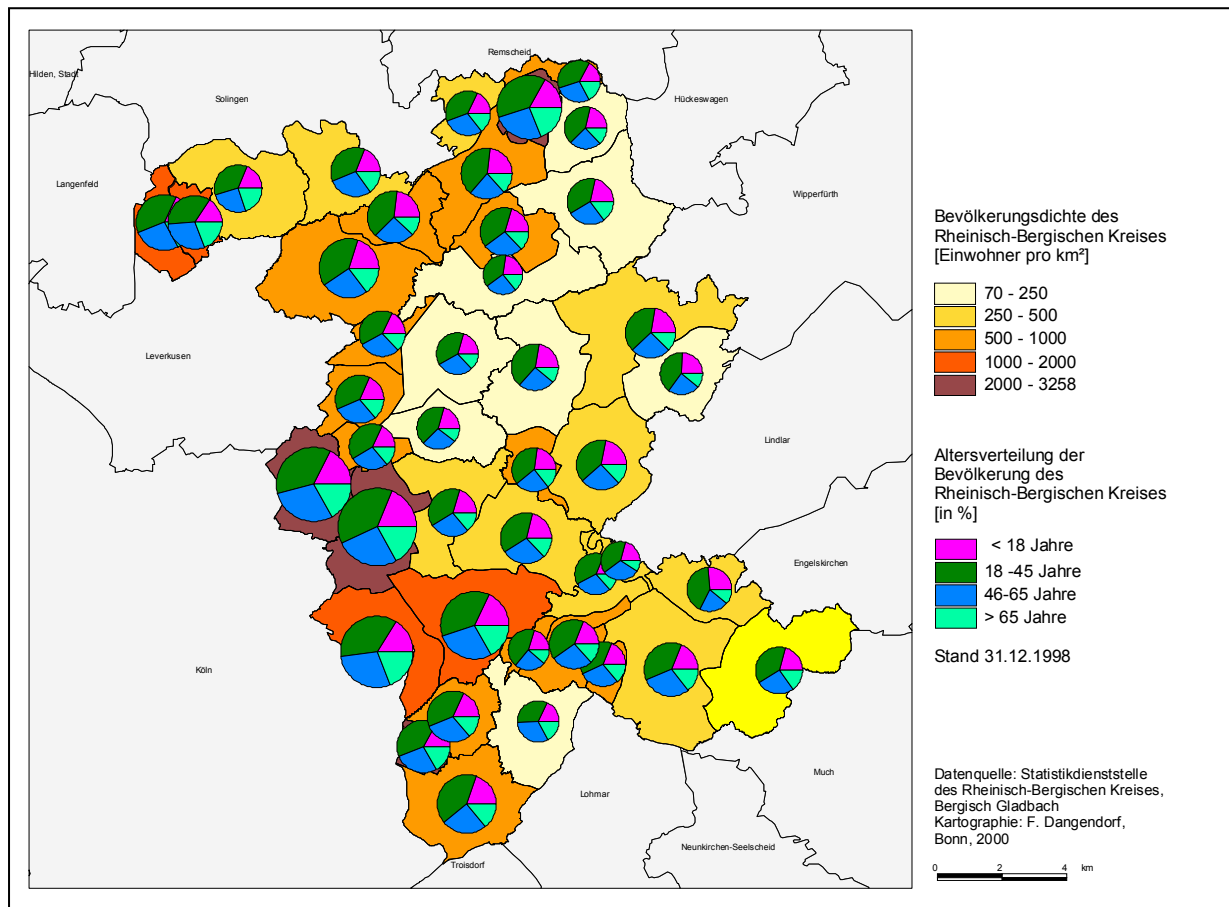
In den letzten Jahrzehnten erfuhr der Kreis einen starken Anstieg der Einwohnerzahl. 1977 besaß der Kreis 244.447 Einwohner, 1987 stieg die Zahl auf 249.323 und lag 2001 schließlich bei 275.500 Einwohnern. Die Prognose für die weitere Bevölkerungsentwicklung ist für die nächsten Jahre mit 102,4% im höheren Maße steigend als für das Land Nordrhein-Westfalen mit 98% (Statistikdienststelle RBK 2002).

Die Bevölkerungsdichte liegt mit 641 Einwohner/km² weit über dem Bundesdurchschnitt von 229 Einwohnern/km². Der Rheinisch-Bergische Kreis zählt daher zu den dicht besiedelten Regionen Deutschlands. Hinzu kommt die besondere Lage in der Ballungszone verschiedener Großstädte. Im Westen der Kreisstadt Bergisch Gladbach grenzen die Ballungkerne Köln und Leverkusen, im Norden grenzt der Ballungsraum Solingen-Remscheid-Wuppertal an. Durch diese Nähe zu den Ballungsräumen ist die Dichte in den westlichen und nördlichen Kommunen wesentlich höher als in den östlichen Bereichen, die zum Naturpark Bergisches Land gehören.

Karte B (s. S. 36) zeigt die räumliche Verteilung der Bevölkerungsdichte sowie die Verteilung der Alterstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis 1998.

Die größte Bevölkerungsdichte weist die Innenstadt Wermelskirchen mit etwa 3.250 Einwohnern pro km² auf. Neben dem Kernbereich konzentriert sich die Besiedlung der Stadt Wermelskirchen auf die Ortschaften Dabringhausen und Dhünn. Die Siedlungsstruktur des übrigen Stadtgebietes ist durch zahlreiche Streusiedlungen gekennzeichnet (Strukturatlas Regio Rheinland, 1996). Die geringste Bevölkerungsdichte weist Dabringhausen-Süd (Stadt Wermelskirchen) mit 71 Einwohnern/km² auf.

Hoffnungstal in der Gemeinde Rösrath mit 2.500 Einwohnern/km² liegt neben den Stadtteilen Paffrath und Gladbach der Stadt Bergisch Gladbach und der Stadt Leichlingen östlich der Wupper mit jeweils etwa 2.000 Einwohnern/km² weit über der mittleren Bevölkerungsdichte von 641 Einwohnern/km². Die Bevölkerung der Stadt Overath verteilt sich auf die Ortsteile Untereschbach, Steinenbrück, Marialinden und Vilkerath.



Karte B: Bevölkerungsdichte und Altersverteilung im Rheinisch-Bergischen Kreis

In Odenthal werden nur 7% der Gemeindefläche und in Kürten nur 5% für Wohnzwecke genutzt.

63,4% der Einwohner des Rheinisch-Bergischen Kreises liegen in der Altersklasse von 18 bis 65 Jahren und gehören somit zu der "aktiven" Bevölkerung (Statistikdienststelle RBK 2002). Der Ausländeranteil liegt bei 8,3%, davon kommen 34% aus der EU, 29 % aus der Türkei und 16% aus dem ehemaligen Jugoslawien (Kreisverwaltung Rheinisch-Bergischer Kreis, 1998).

2.1.3 Die Erwerbsstruktur und das Pendlerverhalten

Die Wirtschaftsstruktur des Rheinisch-Bergischen Kreises besteht zum einen aus historisch gewachsenen Industrie- und Handwerksbetrieben und zum anderen aus neuen Unternehmenstrukturen. Diese umfassen Bereiche der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie der Medienwirtschaft (Strukturatlas Regio Rheinland, 1996).

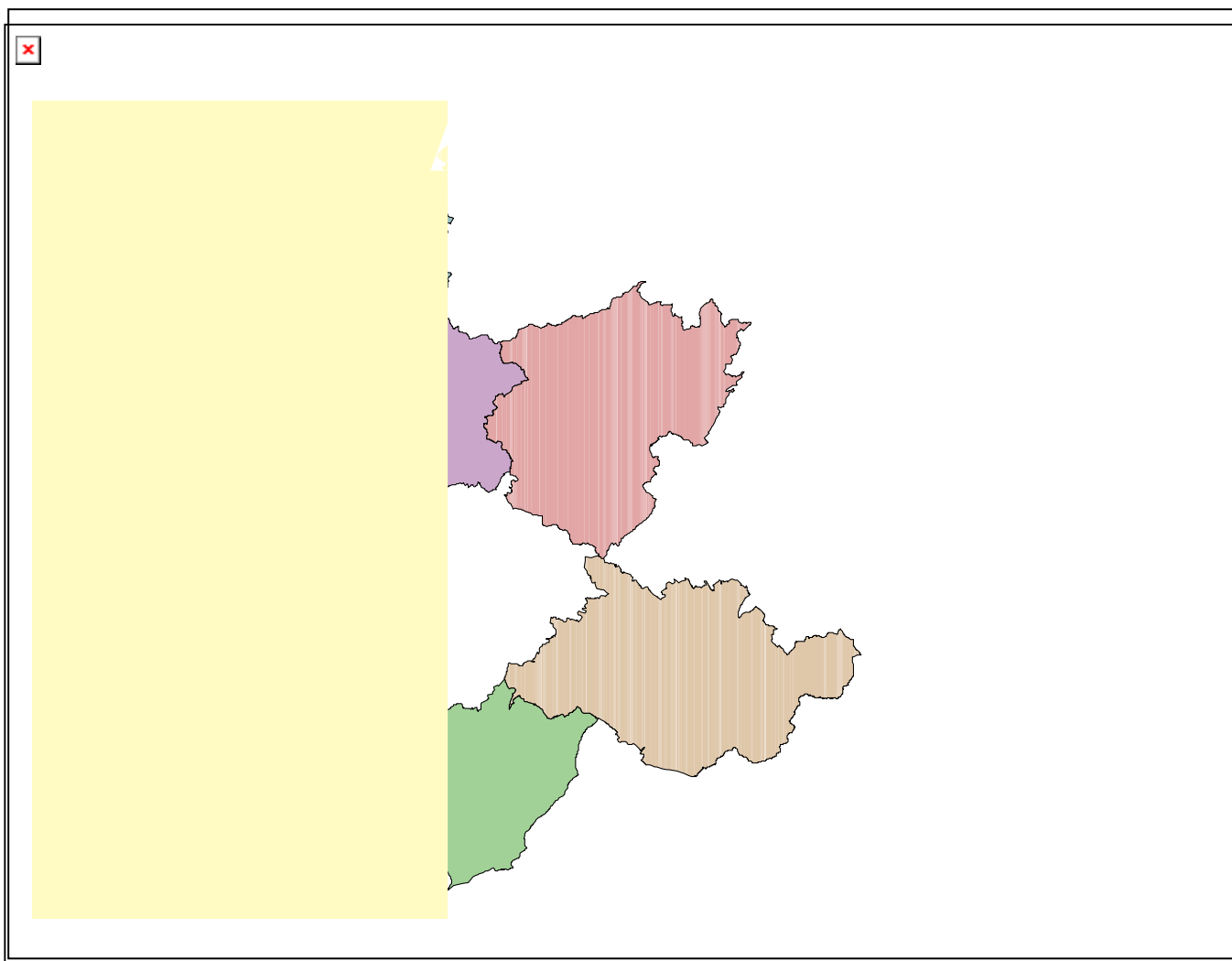
Im Rheinisch-Bergischen Kreis leben 62.668 sozialversicherungspflichtig beschäftigte Arbeitnehmer (Arbeitsamt Bergisch Gladbach, 1997), davon sind 27.648 Arbeiter (44%) und 35.020 Angestellte (56%). 44% aller Erwerbstätigen sind Frauen. Der

Anteil der ausländischen Erwerbstätigen beträgt 11% (7.108). Die Arbeitslosenquote im Kreis beträgt 9,0% (9.184), davon sind 52,3% Männer betroffen und 47,7 % Frauen. 16,5% der Arbeitslosen sind Ausländer.

Die Zahl der handwerklichen Betriebe im Rheinisch-Bergischen Kreis betrug im Jahr 2001 3.095, die Zahl der darin Beschäftigten belief sich auf 25.924. Es existieren 3.144 Einzelhandelsbetriebe mit einer Beschäftigtenzahl von 6.256 (Statistikdienststelle des RBK). Im Rheinisch-Bergischen Kreis gibt es 129 Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten, darin arbeiten insgesamt 15.742 Menschen. Der größte Anteil der Beschäftigten (23%) arbeitet im Papier-, Verlags- und Druckgewerbe (Arbeitsamt Bergisch Gladbach, 1997).

Auch wenn der Land- und Forstwirtschaft wirtschaftlich gesehen eher eine untergeordnete Bedeutung zukommt, nehmen sie flächenmäßig mit 40,7% und 36,4% den wohl größten Teil der Kreisfläche in Anspruch (LDS 1998). Die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe beträgt 553 (Stand 1998).

Das in 1997 durchschnittlich verfügbare Einkommen des Kreises lag mit 36.358 DM je Einwohner deutlich höher als das verfügbare Einkommen im Land Nordrhein-Westfalen mit 30.007 DM je Einwohner (Arbeitsamt Bergisch Gladbach 1997).



Karte C: Pendlerströme im Rheinisch-Bergischen Kreis 1997

Die Nähe zu den Ballungszentren und Arbeitsplätzen in Kombination mit den Erholungsräumen führten zur Bildung und Ausdehnung von Wohngemeinden und zu berufsbedingter Mobilität der Bevölkerung.

Zur Erfassung der Pendlerströme des Rheinisch-Bergischen Kreises wurden die Statistiken des Arbeitsamtes Bergisch Gladbach (1998) ausgewertet. Die zugrunde liegende Statistik (Stand 1997) über die Pendlerströme erfasst die sozialversicherungspflichtigen Erwerbstätigen, die im Rheinisch-Bergischen Kreis wohnhaft sind. Selbstständige, mithelfende Familienangehörige (vor allem in der Landwirtschaft), Beamte/innen, Richter/innen und geringfügig Beschäftigte werden jedoch nicht berücksichtigt. Trotzdem lassen sich Trends und Tendenzen ablesen (Tabelle 4).

Im Rheinisch-Bergischen Kreis wohnten 1997 ca. 89.010 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte. Von 59.701 sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten, die ihren Wohnort im Rheinisch-Bergischen Kreis zur Arbeitsausübung verlassen, können 10.663 im Kreisgebiet bleiben, 49.038 verlassen jedoch das Untersuchungsgebiet. Von den 62.668 im Kreisgebiet vorhandenen Arbeitsplätzen sind ca. 33.359 durch Einpendler besetzt. Die meisten Einpendler kommen aus Köln, dem Oberbergischen Kreis, Leverkusen und dem Rhein-Sieg Kreis.

Die Zahl der Auspendler hat sich gegenüber 1996 um 398 Beschäftigte bzw. um 0,7% erhöht. Gleichzeitig sank die Zahl der im Kreis an ihrem Arbeitsort wohnenden Beschäftigten um 764 Beschäftigte bzw. um 2,5% auf 29.309. Dabei gewannen vor allem Köln, Bonn und Düsseldorf als Zielorte der Auspendler an Bedeutung (Karte C). Verringert hat sich dagegen die Zahl der Auspendler nach Leverkusen, bedingt durch den dortigen Arbeitsplatzabbau.

Tabelle 4: Ein- und Auspendleranteile 1997

Stadt/Gemeinde	Einpendleranteil	Auspendleranteil
Bergisch Gladbach	52.51%	57.80%
Burscheid	56.59%	67.01%
Kürten	52.70%	79.82%
Leichlingen	52.51%	78.39%
Odenthal	67.22%	91.09%
Overath	59.85%	73.69%
Rösrath	64.79%	77.85%
Wermelskirchen	42.29%	57.95%

Quelle: Arbeitsamt Bergisch Gladbach, 1998

Für Berufstätige Bergisch Gladbachs, die keinen Arbeitsplatz in der Kreisstadt haben, ist Köln der dominante Zielort. Von der Kreisstadt sind es bis Köln-Innenstadt etwa 15 km. Leverkusen folgt mit deutlichem Abstand mit 12,1%. Wie aus Karte C ersichtlich, ist der Auspendleranteil in Odenthal mit 91% besonders hoch, ein Drittel pendelt nach Leverkusen, der Rest zu etwa gleichen Teilen nach Bergisch Gladbach und nach Köln.

In Kürten und Leichlingen ist der Anteil der Auspendler an den sozialversicherungspflichtigen Erwerbstätigen mit 80% ebenfalls sehr hoch. Die Kürtener (79,82%) pendeln vor allem nach Bergisch Gladbach (39,1%) und nach Köln (23,39%). Die Leichlinger haben als Zielort Leverkusen (35,32%) und den Kreis Mettmann (16%). Auch Rösrath hat einen hohen Auspendleranteil mit 77,85%.

Das Ziel der nicht in Rösrath beschäftigten Arbeitnehmer ist vor allem Köln mit über 54% und Bergisch Gladbach mit 16,6%. Die Auspendler von Wermelskirchen haben ihre Arbeitsplätze vor allem in Remscheid (44,03%).

3 Trinkwasserkonsumverhalten im Rheinisch-Bergischen Kreis als Grundlage einer Risikoeinschätzung trinkwasserbedingter Infektionen

3.1 Die Trinkwassersituation in Deutschland

3.1.1 Überwachung des Trinkwassers in Deutschland

Historisch gesehen korrespondiert die kulturelle und gesellschaftliche Entwicklung mit der Zunahme der Wasserversorgung in den privaten Haushalten (LEIST & MAGOULAS, 2000). Die Notwendigkeit einer (rechtlich) geordneten Wasserwirtschaft sowohl für die Bevölkerung als auch für die Gesamtwirtschaft erschloss sich durch die rasche industrielle Entwicklung und den intensiven Verstädterungsprozess zusammen mit den gestiegenen Lebensstandards im Laufe der letzten rund 150 Jahre (LAUTNER & NEBEL, 1992).

Wichtiges Gesetzeswerk zum Gewässer- und Trinkwasserschutz ist auf Bundesebene das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), welches den Rahmen für die einzelnen, mitunter nicht unerheblich voneinander abweichenden Landeswassergesetzen (LWG) bildet und die Bewirtschaftung von Gewässern allgemein regelt. Hierzu stehen eine Reihe von Instrumenten zur Verfügung. Dazu zählen Erlaubnis- und Bewilligungsvorbehalte für die Gewässerbenutzung, Planfeststellungen für Gewässerausbauten, wasserwirtschaftliche Planungen, die Ausweisung von Wasserschutzgebieten und die Bestimmungen für den Abwasserbereich (LAUTNER & NEBEL, 1992). Der Geltungsbereich des WHG betrifft das Grundwasser sowie Oberflächen- und Küstengewässer (WHG § 1). Die Bewirtschaftungskonzeption folgt dabei dem Grundsatz:

„Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushalts so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und dass jede vermeidbare Beeinträchtigung unterbleibt“ (WHG § 1a, Abs. 1).

Das zentrale Regelwerk zum Trinkwasser ist die vom Bundesgesundheitsministerium erlassene Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Am 28. Mai 2001 erfolgte die Verkündung einer neuen „Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ (BGB 2001, Teil I, Nr. 24). Mit der Novellierung der TrinkwV vom Stand 1990 wurden die europäischen Trinkwasserrichtlinien (Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch) in deutsches Recht umgesetzt.

Die Verordnung legt die mikrobiologischen und chemischen Anforderungen an die Beschaffenheit des Trinkwassers (§§ 4, 5 und 6) sowie des in der Lebensmittelherstellung verwandten Wassers (§ 10) fest. Darüber hinaus sind Verordnungen zur Trinkwasseraufbereitung (§ 11), zur hygienischen Überwachung durch die Gesundheitsämter (§§ 18, 19 und 20) und zu Verstößen (§ 25) sowie zum Inkrafttreten und zum Geltungsbereich der TrinkwV (§ 26) festgelegt.

Die Wasserrahmenrichtlinie der EU (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom Oktober 2000) soll zukünftig einen Ordnungsrahmen für gemeinschaftliche Maßnahmen einer nachhaltigen Wasserpolitik auf europäischer Ebene darstellen (LEIST & MAGOULAS, 2000).

Darüber hinaus basiert die neue TrinkwV auf dem ab dem 1. Januar 2001 in Kraft getretenen Infektionsschutzgesetz (IfSG) sowie dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz. In ersterem heißt es im § 37 über die Qualität des Trinkwassers ganz allgemein:

„Wasser für den menschlichen Gebrauch muss so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist“ (IfSG § 37, Abs. 1). Der Begriff „Wasser für den menschlichen Gebrauch“ wird im Sinne der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie verwendet und bildet einen Überbegriff für verschiedene Nutzungen des Trinkwassers durch die Verbraucher sowie für Wasser für Lebensmittelbetriebe.

Ferner obliegt die regelmäßige Überwachung dieser Anforderung den zuständigen Gesundheitsämtern (IfSG § 37, Abs. 3). Die Rechtsverordnungen bezüglich der einzuhaltenden Anforderungen an die Trinkwasserqualität im einzelnen werden durch das Bundesministerium für Gesundheit erlassen: „Das Bundesministerium für Gesundheit bestimmt durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates, welchen Anforderungen das Wasser für den menschlichen Gebrauch entsprechen muss, um der Vorschrift von § 37 Abs. 1 zu genügen“ (IfSG § 38 Abs.1).

Nach § 9 IfSG hat die zuständige Behörde die notwendigen Maßnahmen zu treffen, um die Einhaltung der Vorschriften des § 37 und der Rechtsverordnungen nach § 38 sicherzustellen und Gefahren für die menschliche Gesundheit abzuwenden, die von Wasser für den menschlichen Gebrauch ausgehen können (IfSG § 39, Abs. 2).

Die Bestimmungen der neuen TrinkwV regeln auf der Grundlage von Grenz- und Richtwerten das Vorhandensein und die Konzentration bestimmter mikrobiologischer Keime (§ 5) und chemischer (Schad-)Stoffe (§ 6) im Trinkwasser und in Rohwasser. Für die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers für den menschlichen Gebrauch gilt allgemein, dass es frei sein muss von Krankheitserregern. In 100 ml Wasser dürfen keine *Escherichia coli*, Enterokokken und coliforme Bakterien enthalten sein (Grenzwert). Zusätzlich gilt bei Trinkwasser, das „in Flaschen oder sonstige Behältnisse zum Zwecke der Abgabe bestimmt ist“ die Koloniezahl den Richtwert von 100/ml bei einer Bebrütungstemperatur von 22°C und 20/ml bei einer Bebrütungstemperatur von 36°C nicht überschreiten darf (Anlage TrinkwV zu § 5 Abs. 2 und 3).

Hinsichtlich chemischer Inhaltsstoffe (§ 6) gelten Grenzwerte für Schadstoffe bzw. ein grundsätzliches Minimierungsgebot für solche das Trinkwasser verunreinigende oder beeinträchtigende Stoffkonzentrationen.

Als Bundesverordnung regelt neben der TrinkwV die Mineral- und Tafelwasser-Verordnung (MTVO vom 1. August 1984, BGBl.I S. 1036) die Herstellung, Behandlung und das Inverkehrbringen von Mineral- und Heilwässern sofern sie abgepackt in den Handel kommen. Mineralwasser wird aus unterirdischen Wasservorkommen gewonnen, die einen bestimmten Gehalt von Mineralstoffen und Spurenelementen enthalten und dadurch ernährungsphysiologischen Wert besitzen. Im Lebensmittelrecht wird geregelt, welchen Anforderungen das Mineralwasser entsprechen muss, bevor es amtlich anerkannt wird und in den Verkehr gebracht werden darf.

3.1.2 Das Wasserdargebot in Deutschland

Die Bundesrepublik Deutschland zählt unter ausschließlich quantitativen Gesichtspunkten zu den wasserwirtschaftlich begünstigten Ländern. Mit einer jährlichen Wasserabgabe von 4.795 Mio. m³ (BGW 2001) sind lokale Wasserengpässe in Deutschland in erster Linie eine Folge von Schadstoffeinträgen in Grund- und Oberflächengewässer durch Industrie, Haushalte und die Landwirtschaft sowie eines erhöhten Nutzungsdrucks durch die Verbraucher vor allem in Ballungsräumen (HÖLLWARTH, 1992).

Die Wasserförderung hat sich von 1970 bis 1990 um 14% erhöht, welches einer durchschnittlichen jährlichen Steigerung von rund 0,7% entspricht. Die leichten Schwankungen seit Anfang der 1980er Jahre sind dabei vor allem klimatologisch bedingt, d. h. in Jahren mit einem heißen Sommer stieg der Wasserverbrauch entsprechend an. Betrug der Anteil des Grundwassers als die überwiegend genutzte Rohwasserbasis für die öffentliche Wasserversorgung im Jahre 1970 noch 55% (2,0 Mio. km³), so hat er bis 1990 auf 65% (2,75 Mio. km³) zugenommen, was einer Steigerungsrate von etwa 20% entspricht. Bis Ende der 1990er Jahre ist der Anteil der Grundwasserförderung hingegen in etwa konstant geblieben (Abbildung 1) Die Anteile von Quell- und Oberflächenwasser waren von 1970 bis 1990 zunächst leicht rückläufig (1970: 10% bzw. 35% und 1990: 8% bzw. 27%), stiegen dann bis 1999 im Falle des Oberflächenwasser wieder leicht an bzw. fielen beim Quellwasser weiter geringfügig ab (BGW Statistik 2001).

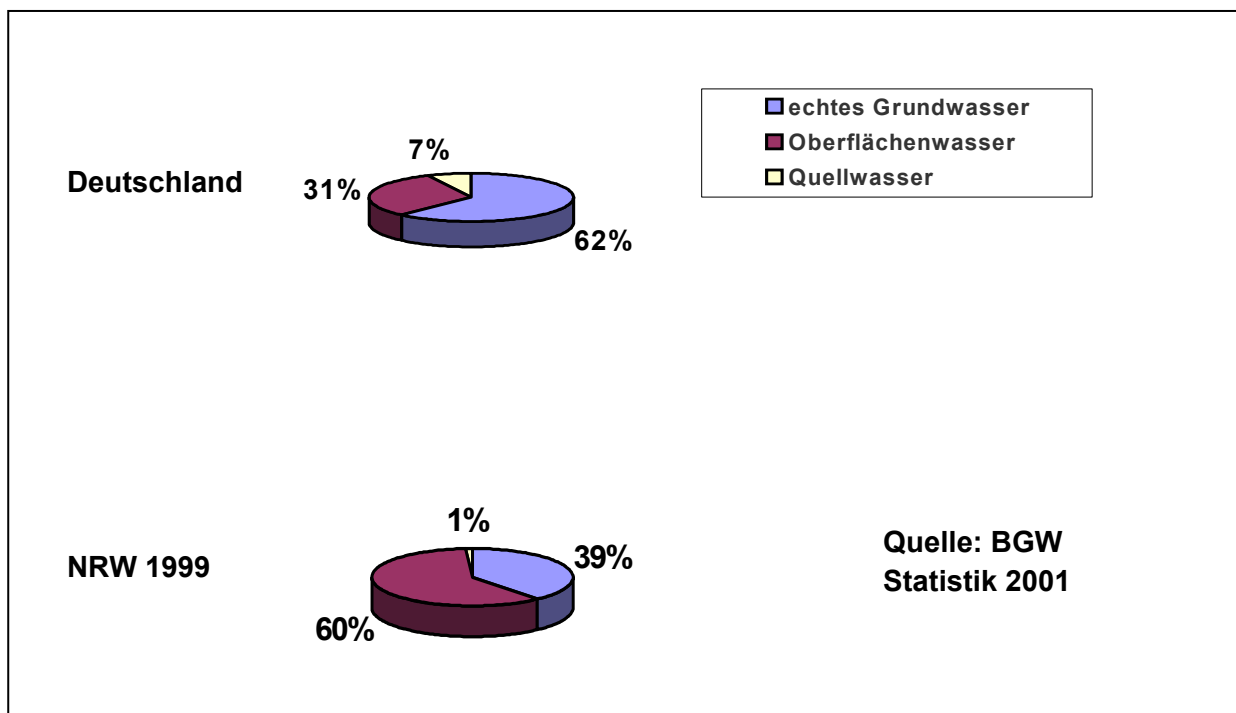


Abbildung 1: Wasserrförderung nach Wasserarten in Deutschland und NRW

In Nordrhein-Westfalen weicht die Wasserförderung nach Rohwasserarten deutlich vom Verteilungsmuster für das Bundesgebiet ab (Abbildung 1). Hier liegt der Grundwasseranteil mit 39% deutlich unter dem gesamtdeutschen Anteil von 60% bis 65% und auch der Anteil des Quellwassers für die Rohwassergewinnung ist mit 1% zu vernachlässigen. Den größten Stellenwert in Nordrhein-Westfalen besitzt statt dessen die Wassergewinnung aus Oberflächengewässern, in der Hauptsache Talsperrenwasser, da infolge der dichten Besiedlung eine Trinkwasserversorgung mit reinem Grundwasser nicht ausreichend wäre. Insbesondere ist die Nutzung von See- und Talsperrenwasser zu Lasten einer stark rückläufigen Entwicklung bei Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser beträchtlich angestiegen (STADTFELD, 1991).

3.1.3 Trinkwasserverbrauch und -verwendung

Die Wasserversorgungsunternehmen haben im Jahr 1998 rund 3,8 Mio. km³ Wasser an die Haushalte abgegeben gegenüber noch 4,1 Mio. km³ im Jahr 1991. An die Industrie und andere gewerbliche oder öffentliche Verbraucher wurde 1998 etwa 1,0 Mio. km³ Wasser geliefert, 0,6 Mio. km³ weniger als 1991. Die Verringerung des Wasserbedarfs in der Industrie innerhalb der letzten 20 Jahren ist im Wesentlichen auf eine geringere Nachfrage infolge verbesserter Wasseraufbereitung wie Prozesswasserkreisläufe und Wasserrecycling sowie auf verringerte Verluste (nur etwa 6-8%) aufgrund von Leckagen zurückzuführen (Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung 2000) vom 26. September 2000 unter <http://www.statistik-bund.de>).

Waren 1991 etwa 78,6 Mio. Einwohner (i.e. 97,9% der Bevölkerung) an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen, so waren es im Jahre 1998 rund 81,1 Mio. Einwohner (98,9%) (Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung vom 26. September 2000; <http://www.statistik-bund.de>).

In Bremen wurde bereits um 1900 ein durchschnittlicher Wasserverbrauch von etwa 109 Litern pro Tag ermittelt. Mit der Einführung der Spültoiletten stieg der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch sprunghaft auf 190 Liter an. Allerdings reduzierte sich der Wasserverbrauch im Zusammenhang mit der Entwicklung und Installation von Wasseruhren fast wieder auf den anfänglichen Wert (LEIST & MAGOULAS, 2000).

Wie das Statistische Bundesamt mitteilt, wurden 1998 je Einwohner und Tag durchschnittlich 128 Liter Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz entnommen (LEIST & MAGOULAS, 2000). Dies sind 17 Liter weniger als noch 1990 und 4 Liter weniger als Mitte der 1990er Jahre. War der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts bis in die 1980er Jahre noch kontinuierlich gestiegen, um dann Mitte der 1980er Jahre mit 148 Litern sein Maximum zu erreichen, so hat sich dieser Trend seit Beginn der 1990er Jahre allmählich wieder umgekehrt (Tabelle 5). Allerdings ist der durchschnittliche Wasserverbrauch der privaten Haushalte in den Bundesländern sehr unterschiedlich. Er lag 1999 zwischen 153 Litern in Schleswig-Holstein und nur 87 Litern in Sachsen und Thüringen. Nordrhein-Westfalen rangiert mit annähernd 130 Litern im oberen Mittelfeld (Tabelle 6).

Potenziale für die Einsparung von Trinkwasser liegen auf Seiten der Haushalte insbesondere in einer Änderung individueller Verhaltensweisen. Damit ist das vermehrte Ergreifen von Maßnahmen gemeint, die geeignet sind, den Wasserverbrauch zu senken, wie z. B. die direkte Einsparung von Trinkwasser, die Substitution von Trink- durch Brauchwasser (Toilettenspülung) aber auch die weitere Reduzierung von

Wasserverlusten im Verteilungsnetz (BULLERMANN, 1992). Ausgehend von diesen Trends wird ein weiteres Absinken des Wasserverbrauchs für die kommenden Jahre erwartet.

Tabelle 5: Entwicklung des durchschnittlichen personenbezogenen Wasserverbrauchs von Haushalt und Kleingewerbe

(ab 1995 incl. neue Bundesländer)

Jahr	Trinkwasserverbrauch (L/Einw./Tag)
1950	85
1960	92
1970	118
1980	140
1990	145
1995	132
1996	128
1997	130
1998	128

Quelle: LEIST & MAGOULAS 2000, 149

Tabelle 6: Durchschnittlicher personenbezogener Wasserverbrauch von Haushalt und Kleingewerbe nach ausgewählten Bundesländern 1999

Bundesland	Wasserverbrauch (L/Einw./Tag)
Schleswig-Holstein	153
Nordrhein-Westfalen	130
Sachsen	87
gesamtes Bundesgebiet	130

Quelle: BGW Statistik 2001

3.1.4 Trinkwasserkonsum in Deutschland

Tabelle 7 zeigt die tägliche Trinkwasserverwendung pro Kopf in absoluten Litern und in Anteilsprozenten für Deutschland: Es führen mit insgesamt 81 Litern und einem Anteil von 63% die Wassernutzung für Körperhygiene und die Toilettenspülung.

Mit 5L, was einem Anteil von gerade einmal 4% entspricht, nimmt die eigentliche Nutzung, nämlich als Trinkwasser im weiteren Sinne, eine nur marginale Stellung ein. Obschon der Getränkekonsum seit 1950 um immerhin 120% gestiegen ist, lag demgegenüber der Zuwachs bei solchen Getränken, die mit Leitungswasser zubereitet werden, bei gerade einmal 10% (Tabelle 8).

Dies verweist auf einen geringen Stellenwert des Leitungs- bzw. Trinkwassers für den direkten Konsum.

Tabelle 7: Trinkwasserverwendung in der BRD 1998

Verwendungsart	Trinkwasserverwendung in Liter/Tag	Anteile Trinkwasserverwendung in %
Baden/Duschen/Körperpflege	46	36
Toilettenspülung	35	27
Wäschewaschen	15	12
Geschirrspülen	8	6
Reinigung und Garten	8	6
Essen und Trinken	5	4
Kleingewerbeanteil	11	9
Gesamt	128	100

Quelle: BGW Statistik 2001.

Tabelle 8: Die Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Getränken in Deutschland

Jahr	Getränke insgesamt				Alkoholfreie Getränke		
	Hausgetränke (Milch, Kaffee, Tee) [Liter/a]	Alkoholische Getränke [Liter/a]	Alkoholfreie Getränke (s. rechts) [Liter/a]	Getränke insges. [Liter/a]	Erfrischungs- getränke (Limonaden etc.) [Liter/a]	Fruchtsäfte, -nektare [Liter/a]	Mineral-, Tafel-, Heil-, Quellwässer [Liter/a]
1950	244,3	42,8	12,2	299,3	5,5	1,9	4,8
1970	229,2	165,1	71,8	466,1	47,5	9,9	14,4
1990	303,4	175,4	208,6	687,4	85,0	39,6	84,0
1995	273,9	164,7	230,6	669,2	91,8	40,7	98,1
1998	269,6	156,4	240,5	666,5	99,6	40,8	100,1

(bis 1990 alte Bundesländer, ab 1995 Deutschland gesamt)

Quelle: LEIST & MAGOULAS (2000, 150)

3.1.5 Der Wasserhaushalt des Menschen und seine Bedeutung für die Trinkwasseraufnahme

Wasser ist für den menschlichen Organismus der wichtigste Faktor zur Aufrechterhaltung der notwendigen Lebensfunktionen. Für den Zellstoffwechsel benötigt der Körper Wasser und anorganische Elektrolyte. Der erwachsene menschliche Körper besteht zu etwa 70%-75% seines Gewichtes aus Wasser. Der Wassergehalt bei Neugeborenen liegt bei 80%, im Alter nimmt er bis auf 50% bis 55% ab (HESEKER, 2001).

Der Wasserhaushalt wird mit großer Genauigkeit konstant gehalten. Langfristig gesehen schwankt der Wassergehalt im Mittel um 0,22%, also um 150 ml. Verliert der Körper mehr als 0,5% seines Gewichtes an Wasser (bei 70kg sind dies etwa 350 ml) entsteht Durst. Durch Trinken wird dem Flüssigkeitsmangel entgegen gewirkt.

In der Medizin wird zwischen primärem und sekundärem Trinken unterschieden. Das Trinken als Folge eines absoluten Wassermangels im Körper wird als primäres Trinken bezeichnet. Trinken ohne offensichtliche Notwendigkeit der Wasserzufuhr gilt als sekundäres Trinken. Letzteres ist normalerweise die übliche Form der Flüssigkeitszufuhr. Im Allgemeinen wird das physiologisch notwendige Wasser schon im voraus aufgenommen, bevor der Durst entsteht. Dies geschieht über das regelmäßige Trinken über den Tag, vor und nach dem Essen und aus Gewohnheit. Primäres Trinken stellt im Grunde eine Notfallsituation dar, die aufgrund des hohen Lebensstandards und regelmäßiger Lebensweise bei uns nicht so häufig auftritt (SCHMIDT, 1990).

Die Wasserverluste des Körpers entstehen durch Wasserausscheidung über die Niere, Haut, Lunge und Darm. Die Flüssigkeitsbilanz eines 70kg schweren Erwachsenen zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Flüssigkeitsbilanz eines 70kg schweren Erwachsenen

Zufuhr in ml/Tag		Abgabe in ml/Tag	
Nahrung	800	Stuhl	100
Trinken	950	Urin	1000
Oxydationswasser*	250	Schweiß und Atemfeuchtigkeit	900
Gesamt	2000	Gesamt	2000

* Die Zufuhr durch Oxydationswasser entsteht beim Abbau der Nährstoffe aus der Nahrung.

Quelle: KEIDEL (1985)

2 Liter Wasser nimmt der Mensch im Durchschnitt täglich zu sich; 2 Liter werden ausgeschieden.

Durch körperliche Anstrengung oder Hitze, durch Fieber, Erbrechen und Durchfall kann extremer Wasserverlust entstehen. Um die Flüssigkeitsbilanz ausgeglichen zu halten, kann es notwendig sein, das 3 bis 4-fache der durchschnittlichen Trinkwassermenge aufzunehmen. Zur Deckung des Flüssigkeitsbedarfs steht ein vielfältiges Angebot zur Verfügung. Trinkwasser wird von Erwachsenen überwiegend in Form von Kaffee- oder Teegetränken zugeführt. Als Durstlöscher spielen Mineralwasser, Limonaden und Bier eine große Rolle. Als besonders geeignet zur Deckung des Flüssigkeitsbedarf werden von Fachgesellschaften Wasser mit und ohne Kohlensäure, pur oder gemischt mit Fruchtsäften empfohlen (HESEKER, 2001).

3.2 Microbial Risk Assessment (MRA) in der Trinkwasserepidemiologie

Da das Lebensmittel Wasser in der Ernährung des Menschen eine zentrale Bedeutung hat, ist es, wie in Kapitel 3.1.1 erläutert, durch strenge gesetzliche Regelungen geschützt.

Aufgrund von Umweltveränderungen (z. B. die zunehmende Abhängigkeit von Oberflächenwasser als Trinkwasserressource), Massenproduktion von Lebensmitteln, Entwicklung technischer Systeme (Raumlufttechnische Anlagen, Zentralisierung der Wasserversorgung), der Zunahme von gefährdeten Bevölkerungsgruppen sowie der Anpassungsfähigkeit der Mikroorganismen bestehen Risikopotenziale, durch Kontaminationen des Trinkwassers zu erkranken (EXNER, 1997).

Vor dem Hintergrund der weltweiten Zunahme von trinkwasser-assoziierten Krankheiten wurden Strategien zur Risikoerkennung und Prävention entwickelt. Als wichtiges Instrument zur Abschätzung von Gesundheitsrisiken durch mikrobiologische Kontaminationen von Trink- und Badewasser dient das „Microbial Risk Assessment (MRA)“ (CRABTREE et al., 1997; HAAS et al., 1999). Das MRA, welches häufig auch als „Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)“ (HAAS et al., 1999; HAAS et al., 1997) bezeichnet wird, folgt der methodischen Vorgehensweise des Risk Assessments (Risikoeinschätzung, Risikobewertung), das bereits vor ca. 20 Jahren zur Bewertung von Gesundheitsrisiken durch toxisch-chemische Umwelteinflüsse entwickelt wurde.

Als Risk Assessment (Risikoabschätzung) wird der systematische Prozess zur Beschreibung und Quantifizierung von Gesundheitsrisiken definiert. Ziel der Risikoabschätzung ist die Bereitstellung evidenter Daten als Grundlage zur Entwicklung von Strategien auf Ebene der Gesundheitsbehörden wie Präventionsmaßnahmen oder Maßnahmen zur Risikominimierung (EXNER, 1997).

Unter dem Begriff „Risiko“ (risk) ist die zu erwartende Häufigkeit unerwünschter Effekte aufgrund der Exposition gegenüber gesundheitsgefährdenden Substanzen und Mikroorganismen zu verstehen (CRABTREE et al., 1997).

Der Prozess des MRA stützt sich im Wesentlichen auf 4 Rahmenbedingungen (GIBSON et al., 1998; HAAS et al., 1997; HOORNSTRA & NOTERMANS, 2001; SAMET et al., 1998):

- Identifizierung des gefährlichen Agens (Hazard Assessment): Die Erhebung der auf dem gegenwärtigen Wissensstand relevanten biologischen Informationen zur Pathogenität der Krankheitserreger (übertragen auf die Trinkwasserepidemiologie).
- Analyse der Dosis-Wirkung Beziehung (Dose-Response Assessment): Der Prozess der Quantifizierung einer Dosis und Evaluation der Beziehung zum Auftreten einer Infektion bzw. einer Infektionskrankheit.
- Bestimmung der Exposition (Exposure Assessment): Die (qualitative oder quantitative) Ermittlung von Ausmaß, Dauer und Art der Exposition.
- Risikocharakterisierung (Risk Characterization): Integration und Zusammenfassung von Hazard Assessment, Dose-Response Assessment und Exposure Assessment.

Über das Risk Assessment hinaus wurden Konzepte zum Risikomanagement (Risk Management) und zur Risikokommunikation (Risk Communication) entwickelt (HOORNSTRA & NOTERMANS, 2001).

- Risikomanagement (Risk Management): Die Ermittlung des Risikos wird unter dem Aspekt der Erhaltung und der Förderung der Gesundheit für die Entwicklung von Strategien im Public Health-Bereich genutzt.
- Risikokommunikation (Risk Kommunikation): Sie beinhaltet sowohl transparente Kommunikation zwischen Risikobewertern und Risikomanagern als auch zu den Konsumenten.

Im Rahmen dieser Arbeit soll das Infektionsrisiko der Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises auf der Basis eines Microbial Risk Assessment (MRA) bewertet werden, wobei besonders der Aspekt der Exposition im Vordergrund steht. Die vier Arbeitsschritte des MRA werden im Hinblick auf die Aufgabenstellung der Studie erläutert.

3.2.1 Hazard Assessment

Das Hazard Assessment hat zum Ziel, die potentielle Signifikanz eines Pathogens für die menschliche Gesundheit zu identifizieren. Die Virulenz eines Erregers und die Immunantwort des menschlichen Organismus bestimmen das subklinische oder klinisch manifeste Erscheinungsbild der Infektionskrankheit. Virulenzfaktoren umfassen die Bindung an bestimmte Zellrezeptoren, die Invasivität des Erregers, die Toxinbildungsfähigkeit, die Vermehrungsfähigkeit und die Fähigkeit der Produktion von Substanzen, die die Immunantwort des Wirtsorganismus unterdrücken. Die Virulenzeigenschaften variieren nicht nur von Erreger zu Erreger, sondern auch innerhalb der Erregertypen und -stämme (BECK & SCHMIDT, 1994; HAAS et al., 1999).

Als Risikogruppen werden bestimmte Personenkreise in einer Bevölkerung bezeichnet, die als Wirt begünstigende Faktoren für die Einnistung und Vermehrung von Mikroorganismen im menschlichen Organismus besitzen. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber einem Agens ist in bestimmten Bevölkerungsgruppen reduziert. Wirtsspezifische Faktoren, die die klinische Entwicklung und Schwere des Verlaufs einer Infektionskrankheit beeinflussen, sind (BECK & SCHMIDT, 1994; GERBA et al., 1996a):

- Alter (die Krankheiten verlaufen im Säuglings-, jungen Kindes- sowie im höheren Lebensalter meistens schwerer),
- Alkoholismus,
- Grunderkrankungen (Diabetes, Krebserkrankungen, Verbrennungen),
- Doppelinfektionen (Infektion durch mehr als einen Erreger),
- Ernährungszustand,
- Antikörpermangel-Syndrom, Immunschwäche (Beispiel AIDS).

Für jeden Infektionserreger ist es daher notwendig die spezifischen Eigenschaften zu formulieren und deren Gefährdungspotenzial auf die menschliche Gesundheit einzuschätzen. „Hohe Bedeutung kommt dabei solchen Krankheitserregern zu, die das Rohwasser verunreinigen und zentral eingeschwemmt werden, eine hohe Tenazität aufweisen, die Aufbereitung durchbrechen können, durch Desinfektionsmittel nicht inaktiviert werden, durch die klassischen Indikatoren für die Überwachung der Qualität des Trinkwassers nicht zu erfassen sind, eine niedrige Infektionsdosis aufweisen und unabhängig von der Disposition der Bevölkerung zu Erkrankungen führen können, die nicht ursächlich zu therapieren sind“ (EXNER, 1997, 217/218).

3.2.2 Dosis-Wirkungsbeziehung

Magen-Darm-Pathogene verursachen verschiedene Effekte im Verdauungstrakt, die sowohl akute Durchfallerkrankungen als auch chronische Erkrankungen umfassen. Eine Infektion tritt auf, wenn der Erreger durch Ingestion aufgenommen wurde und nach erfolgreicher Passage durch den Magen eine geeignete Stelle zur Einnistung gefunden hat. Das Stadium der Dauer zwischen dem Zeitpunkt der Ingestion mit Infektion und dem Auftreten der ersten Symptome (Inkubationszeit) wird als Grundlage zur Entwicklung von mathematischen Modellen herangezogen (TEUNIS et al., 1999). Ziel ist, über die mathematischen Modelle die Infektionsdosis für einzelne Erreger zu ermitteln (HAAS et al., 1999; HAAS et al., 1997).

Dose-Response Modelle für verschiedene Enteritis-Erreger wurden durch Tests an freiwilligen, gesunden Probanden und Tieren entwickelt (TEUNIS et al., 1999). Den Testpersonen wurden kontrolliert verschiedene Dosen des jeweiligen Gastroenteritis-Erregers verabreicht. In definierten Abständen wurden Blut- und Stuhlproben auf die Infektionswirkung untersucht. Zur Unterscheidung zwischen Infektion und Infektionskrankheit werden i. d. R. folgende Definitionen zugrunde gelegt (TEUNIS & HAVELAAR, 1999):

- eine Infektion besteht, wenn Krankheitserreger im Stuhl nachgewiesen werden können;
- eine Infektionskrankheit besteht, wenn Durchfälle auftreten.

Die statistische Auswertung der Experimente erfolgt meistens mit den in diesem Zusammenhang bekanntesten mathematischen Modellen, dem "Beta-Poisson Modell", und einer einfachen Exponentialfunktion, deren Anwendung in einigen Publikationen beschrieben wurden (CRABTREE et al., 1997; HAAS et al., 1999; HAAS et al., 1997; MEDEMA et al., 1996; REGLI et al., 1991; TEUNIS et al., 1999).

Für das „Beta-Poisson Modell“ gilt folgende Formel:

$$P_{\text{inf}} = 1 - \left(1 + \frac{N}{\beta}\right)^{-\alpha}$$

wobei P_{inf} = Wahrscheinlichkeit der Infektion

N = Anzahl der oral aufgenommenen Mikroorganismen

α, β = die dose-response-Parameter, bestimmt durch die Infektiösität der Erreger

Für die einfache Exponentialfunktion gilt:

$$P_{\text{inf}} = 1 - e^{-rN}$$

wobei r = Konstante der Infektions-Wahrscheinlichkeit (für alle Erreger gleich große Wahrscheinlichkeit)

Ergebnisse der Dose-Response Analyse stehen für verschiedene wasserübertragbaren Enteritis-Erreger bereits zur Verfügung und stehen zur quantitativen Risikoeinschätzung zur Verfügung:

- Cholera (HAAS et al., 1999)
- *Campylobacter* spp. (HAAS et al., 1999; MEDEMA et al., 1996)
- Rotavirus (HAAS et al., 1999), Gerba et al. 1996)
- *Salmonella* und *Shigella* (HAAS et al., 1999; TEUNIS et al., 1999)
- Adenoviren (CRABTREE et al., 1997)
- *Enterohämorrhagische E. coli* O157:H7 (EHEC) (HAAS et al., 1999)
- *Giardia lamblia* (REGLI et al., 1991; TEUNIS et al., 1997)
- *Cryptosporidium parvum* (TEUNIS et al., 1997; TEUNIS et al., 1999)

3.2.3 Expositionsbewertung

Ein wichtiges Instrument zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials eines pathogenen Agens ist die Expositionsbestimmung des Menschen gegenüber dem Krankheitserreger. Die Exposition ist definiert als die Anzahl der Mikroorganismen, die ein Individuum täglich mit dem Trinkwasser konsumiert (GALE, 1996). Individuelle Trinkwassergewohnheiten stehen damit in direktem Zusammenhang mit dem Infektionsrisiko.

Die Aufnahme von Trinkwasser in den Verdauungstrakt geschieht nicht nur über das Trinken von Leitungswasser, sondern auch durch Eiswürfel in Getränken, Zähneputzen, Verdünnung von Säften, Waschen von Obst und Gemüse, Verschlucken beim Baden und Duschen oder bei der Tabletteneinnahme (SHIMOKURA et al., 1998).

In amerikanischen und kanadischen Studien wird in der Regel von einem Trinkwasserkonsum von 2 Litern pro Person und Tag ausgegangen (HAAS et al., 1999; PAYMENT et al., 1991c; PAYMENT et al., 1997b). Die Exposition durch Verschlucken beim Baden in Freizeitgewässern wird mit etwa 100 ml/Tag angegeben, wobei hier nur wenige Studien zur Verfügung stehen (HAAS & EISENBERG, 2001).

Nach GALE (1996) werden durch Abkochen die meisten wasserübertragbaren Krankheitserreger inaktiviert. Er kritisiert, dass viele bisher durchgeführte Untersuchungen zum Trinkwasserkonsum nicht explizit zwischen dem Konsum von abgekochtem und nicht abgekochtem Wasser unterscheiden. Dies führe zu einer Überschätzung des Gefährdungspotenzials (GALE, 1996).

3.2.4 Die Risikocharakterisierung

Die Risikocharakterisierung verbindet die Ergebnisse der Expositionsermittlung und die Dose-Response Analyse zu einer qualitativen und/oder quantitativen Einschätzung der Gesundheitsgefährdung einer Bevölkerung bezogen auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Infektionskrankheit (HAAS et al., 1999; HAAS et al., 1997).

Die Kalkulation eines Infektionsrisikos durch kontaminiertes Trinkwasser erfordert quantitative Kenntnisse über die wichtigsten Einflussfaktoren:

- die Konzentration der Krankheitserreger im unbehandelten Rohwasser, das zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird,
- die Wiederfindungsrate der labordiagnostischen Nachweismethode,
- die (Über-) Lebensfähigkeit der entdeckten Krankheitserreger,
- die Leistung des Trinkwasser-Aufbereitungsprozesses bezogen auf die Reduktion von Mikroorganismen und
- der tägliche Konsum von unabgekochtem Trinkwasser.

Über mathematische Modelle wird versucht, alle diese Faktoren zur Berechnung eines täglichen, jährlichen oder lebenszeitlichen Infektionsrisikos einer Bevölkerung zu ermitteln (TEUNIS & HAVELAAR 1999). Häufig wird mit Monte Carlo Analysen die Verteilung der Ergebnisse der Exposition und Dose-Response Beziehung simuliert und graphisch dargestellt. Diese Methode wird gewählt, um einigen Unsicherheiten und Variabilitäten des Modells Rechnung zu tragen (HAAS & EISENBERG, 2001).

3.3 Der Trinkwasserkonsum im Rheinisch-Bergischen Kreis

Die Erhebung des Trinkwasserkonsumverhaltens in Verbindung epidemiologischer Studien zu trinkwasserbürtigen Erkrankungen wurde international bereits in vielen Studien vorgestellt. Die Durchführung der Evaluation des tatsächlichen, individuellen Trinkwasserverbrauchs basiert dabei häufig auf empirischen Methoden mittels Fragebogenerhebung (PAYMENT & HUNTER, 2001; PAYMENT et al., 1991b; PAYMENT et al., 1991c; PAYMENT et al., 1997b; SHIMOKURA et al., 1998). Innerhalb der in Kapitel 1 zum Forschungsstand vorgestellten Interventionsstudie durch Payment et al. (1991) wurde neben den persönlichen Interviews zum Trinkwasserkonsum ein „Trinkwassergewohnheiten-Tagebuch“ in den Haushalten eingeführt. Über mehrere Tage hinweg führten die Familien Buch über ihren jeweiligen individuellen „kalten“ und „heißen“ Trinkwasserkonsum. Ebenfalls über standardisierte Tagebücher ermittelten Shikomura et al. (1998) neben dem Konsum von unabgekochtem Trinkwasser auch den Verbrauch von Trinkwasser zum Baden, Duschen, Waschen und Kochen.

In Deutschland wurden bisher nur wenige Studien zur Ermittlung des individuellen Trinkwasserverbrauchs durchgeführt. Meistens handelte es sich dabei um ernährungswissenschaftliche oder marktwirtschaftliche Studien, die den Verbrauch aller Arten von Getränken untersuchten (GFK, 2001; HESEKER, 2001; HÜHN, 1993; WÜSTEFELD-WÜRFEL, 1999). Wissenschaftliche Studien über die Bedeutung der Wassersprudler im Zusammenhang mit dem möglicherweise dadurch steigenden Leitungswasserkonsum und dessen Folgen wurden bisher nicht publiziert.

Um einen Überblick über die Trinkwasserkonsumgewohnheiten im Untersuchungsgebiet des Rheinisch-Bergischen Kreises zu erhalten und damit eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch mikrobiell kontaminiertes Trinkwasser abschätzen zu können, wurde eine empirische Studie mittels telefonischer Befragung durchgeführt.

3.3.1 Methodik der empirischen Studie zum Trinkwasserkonsumverhalten

Wie bereits oben erwähnt, wurde in verschiedenen Studien zum individuellen Trinkwasserkonsum die persönliche Befragungen und die Führung von Tagebüchern in Haushalten erfolgreich eingesetzt. Deshalb wurde auch für die vorliegende Arbeit eine Fragebogenerhebung in der Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises als sinnvoll erachtet. Als Technik der Datenerhebung wurde eine telefonische Befragung gewählt, damit der finanzielle und zeitliche Aufwand überschaubar blieb. Nach Schnell et al. (1999) werden Telefoninterviews als geeignete Datenerhebungsinstrumente für allgemeine Bevölkerungsfragen akzeptiert und häufig von Marktforschungsinstituten verwendet (SCHNELL et al., 1999).

3.3.1.1 Entwicklung des Fragebogens

Mit dem für die Studie entwickelten Fragebogen soll ein Überblick über das Trinkwasserkonsumverhalten unter besonderer Berücksichtigung der Wassersprudlerverwendung in den Haushalten gewonnen werden. Zur Expositionsermittlung waren besonders Angaben zum Konsum von abgekochtem und unabgekochtem Leitungswasser von Interesse. Nach SHIMOKURA et al. (1996) werden durch Abkochen die meisten wasserübertragbaren Krankheitserreger inaktiviert. Deshalb ist die Abschätzung der Ingestion von unabgekochtem Trinkwasser für die Modellbildung eines „microbiological risk assessments (MRA)“ grundlegend.

Die Fragebogenkonzeption stützt sich auf die speziellen Anforderungen eines Telefoninterviews. Da die Kommunikation rein akustisch erfolgt und keine visuellen Hilfsmittel eingesetzt oder Umgebungseinflüsse bei den Befragten abgeschätzt werden können, muss das Interview sowohl für den Interviewer als auch für den Befragten leicht zu handhaben sein (SCHNELL et al., 1999).

Der Fragebogen wird deshalb möglichst kurz gehalten. Mit einem Einleitungstext soll das Interesse des Angerufenen geweckt werden. Die für die Untersuchung wichtigsten Erhebungsvariablen umfassen zunächst das Wissen um die eigene Wasserversorgung: Inwieweit sind die Einwohner/Innen darüber informiert, ob sie Grund- oder Talsperrenwasser erhalten und welches Wasserversorgungsunternehmen für sie zuständig ist.

Der anschließende Fragenkomplex enthält die Angaben zur Verwendung des Trinkwassers als Getränk, pur oder zum Verdünnen von Säften, zum Kaffee- oder Teekochen, Zähneputzen, Salat waschen und Tabletteneinnahme. Darauf folgt die Frage nach der Verwendung von Wassersprudlern in den Haushalten.

Anschließend wird die Menge des getrunkenen Leitungswassers, aufgeteilt nach abgekochtem und nicht abgekochtem Wasser erhoben.

Zum Schluss werden einige persönliche Daten, wie Größe des Haushalts, Alter und Geschlecht abgefragt.

Der Trinkwasserverbrauch für andere Zwecke, z. B. Waschen, Duschen, Geschirrspüler, Toilettenspülung, Reinigungsarbeiten u. ä. waren vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung nicht von besonderem Interesse. Auch der Konsum von anderen Getränkergattungen (Saft, Alkohol, Milch) wurde nicht thematisiert. Nach dem Mineral-

wasserkonsum wurde jedoch gefragt, um den Stellenwert der Alternative gegenüber Leitungswasser abzuschätzen.

Das gesamte Interview wurde auf die Dauer von drei Minuten ausgelegt. Der konzipierte Fragebogen wurde in einem Pretest geprüft und einige Mängel korrigiert. Details des Fragebogens können dem Anhang entnommen werden.

3.3.1.2 Ermittlung des Stichprobenumfangs

Die Erhebung soll einen Überblick über das Trinkwasserkonsumverhalten im Untersuchungsgebiet geben. Die Umfrage zielt auf den individuellen Verbrauch des tatsächlich getrunkenen Leitungswassers der Einwohner des Rheinisch-Bergischen Kreises ab.

Aus der Grundgesamtheit „Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises“ wurde eine einfache Zufallsauswahl getroffen. Die notwendige Stichprobengröße wurde über die Standardabweichung mit vorgegebener Genauigkeit durch folgende Formel ermittelt (aus: SACHS, 1997):

$$n_s \approx 1 + 0,5 \left(\frac{z_\alpha}{d} \right)^2$$

$$\text{mit } d = (s - \sigma) / \sigma$$

Zur Schätzung einer Standardabweichung mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95% ($\alpha = 0,05$) und einer Genauigkeit von $d=0,1$ ergibt sich ein Stichprobenumfang von 193.

Für die empirische Studie wurde ein Stichprobenumfang von 195 Fragebögen als ausreichend angesehen. Der Umfang der Stichprobe ermöglicht eine Schätzung der Standardabweichung vom Mittelwert der normalverteilten Grundgesamtheit mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05, wobei der relative Fehler der Standardabweichung $\pm 0,1$ beträgt.

Bei Zufallsstichproben entscheidet ein Zufallsprozess über die Aufnahme des Elements in die Stichprobe. Für das telefonische Interview wurde über ein digitales Telefonbuch eine Stichprobe gezogen, indem jede 1000ste Adresse in die Stichprobe fiel. Sollte der/die Angerufene sich nicht melden, wurde die nachfolgende Nummer gewählt. Das Interview sollte mit der Person durchgeführt werden, die den Anruf entgegen nähme.

Die Zusammensetzung der Stichprobe ist zum einen abhängig vom Anschlussgrad ans Telefonnetz und der Eintragung ins Telefonbuch und andererseits von der Mobilität der Bevölkerung. Der Anschlussgrad an das Telefonnetz in den alten Bundesländern ist mit 97% bis 100% als so hoch anzusehen (SCHNELL et al., 1999), dass angenommen werden kann, dass (fast) jede erwachsenen Person im Rheinisch-Bergischen Kreis die Chance hatte, an der Studie teilzunehmen.

Die Mobilität ist sehr stark abhängig vom Alter, der Haushaltsgröße und der Berufstätigkeit. Diesem Aspekt muss große Bedeutung beigemessen werden. Um das größtmögliche Spektrum der Bevölkerungsstruktur zu erfassen, wurde die Befragung abends zwischen 18:00 Uhr und 19:30 Uhr durchgeführt, unter der Annahme, dass zu dieser Zeit die meisten Menschen Zuhause anzutreffen sind.

In den Zeitraum der Befragung fielen sowohl die Sommermonate 2000 als auch die Wintermonate Januar, Februar und März 2001, um die möglicherweise jahreszeitlich bedingte Variation des Leitungswasserkonsums vor dem Hintergrund der Durstlöcherfunktion im Sommer zu berücksichtigen.

Zur Minimierung des Erhebungsfehlers durch die Interviewer wurde die telefonische Befragung lediglich durch zwei geschulte Personen durchgeführt.

3.3.1.3 Methoden zu Auswertung der Umfrage

Die durch die Umfrage erhobenen Daten zum Trinkwasserkonsum im Rheinisch-Bergischen Kreis wurden in einer Datenbank (Access®) organisiert. Durch Abfragen zu den verschiedenen Variablen wurden die Ergebnisse in Häufigkeitstabellen dargestellt.

Als besonders wichtige Variablen wurden dabei gemäß der Aufgabenstellung

- Menge des Leitungswasserkonsums pro Tag mit Tee und Kaffee in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße und Verwendung von Wassersprudlern
- Menge des Leitungswasserkonsums pro Tag ohne Tee und Kaffee in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße und Verwendung von Wassersprudlern

analysiert.

Mit dem χ^2 - Test nach Pearson (BAHRENBURG et al. 1990) sollen die durch die Häufigkeitstabellen gewonnenen Zusammenhänge statistisch auf Signifikanz geprüft werden. Für nominalskalierte Variablen X und Y kann für eine beliebige Ausprägung (i,j) die theoretisch zu erwartenden Häufigkeit TH_{ij} berechnet werden. Die Verteilung der TH_{ij} wird dann mit der empirischen beobachteten Verteilung von H_{ij} verglichen durch folgende Prüfgröße:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(H_{ij} - TH_{ij})^2}{TH_{ij}}$$

(r und s sind die verschiedenen Ausprägungen von X und Y)

3.4 Ergebnisse der Fragebogenerhebung im Rheinisch-Bergischen Kreis

3.4.1 Allgemeine Betrachtung

Insgesamt standen 195 Fragebögen zur Auswertung zur Verfügung, von denen nur in einem Fall keine Angaben zu Haushaltsgröße und Alter gemacht wurden. Bei der telefonischen Befragung wurden 108 weibliche und 87 männliche Teilnehmer/Innen erreicht, die dem Interview zustimmten. Der jüngste Teilnehmer war ein 14-jähriger Schüler und der Älteste ein 88-jähriger Pensionär.

Die Ergebnisdarstellung der telefonischen Erhebung in den nächsten Kapiteln folgt nicht der Reihenfolge der im Interview abgefragten Themenkomplexe. Der Aufbau des Befragungsbogens wurde unter den speziellen Gesichtspunkten einer Telefonerhebung erstellt. Für die Auswertung ist es sinnvoll, die soziodemographischen Charakteristika der Stichprobe voranzustellen, da vor deren Hintergrund die meisten Items analysiert werden. Daran schließt sich die Beurteilung der allgemeinen Fragen zur Wasserversorgung an.

Der Hauptkern der empirischen Untersuchung, die Ergebnisse zum Trinkwasserkonsum, werden detailliert in Kapitel 3.4.2 beschrieben.

3.4.1.1 Soziodemographische Charakteristika der Stichprobenpopulation

Die Klassifikationsgrößen wie Geschlecht und Altersgruppe ermöglichen die Aufgliederung und die Überprüfung der erhobenen Daten auf Konsistenz (SACHS, 1990). Daher soll zunächst die Stichprobenszusammensetzung im Zusammenhang mit den demographischen Charakteristika der Gesamtpopulation beleuchtet werden.

Da die Fragebogenerhebung per Telefoninterview durchgeführt wurde und somit kaum Kinder oder wenige der sehr mobilen Bevölkerungsgruppen zu erreichen waren, muss beim Vergleich der Bevölkerungszahlen nach Geschlecht und Altersklassen zwischen der Gesamtbevölkerung und der Studienpopulation mit einer Verschiebung gerechnet werden.

Tabelle 10: Demographische Merkmale der Bevölkerung

Bevölkerungszahlen nach Altersklassen und Geschlecht (Stand 31.12.1999)						
Alters- klassen	gesamt	In %	Weiblich (w) absolut	% Anteil an Altersklasse	Männlich (m) absolut	% Anteil an Altersklasse
<25 Jahre	72.806	26	35.475	49	37.331	51
25-35 Jahre	37.685	14	19.014	50	18.671	50
36-45 Jahre	45.103	16	22.444	50	22.659	50
46-55 Jahre	34.790	13	17.821	51	16.969	49
56-65 Jahre	40.325	15	20.478	51	19.847	49
>65 Jahre	45.003	16	26.712	57	18.291	43
Gesamt	275.712		141.944		133.768	

Quelle: Kreisverwaltung des Rheinisch-Bergischen Kreises

Der Vergleich zwischen der Alters- und Geschlechtsstruktur von Stichprobe und Gesamtbevölkerung zeigt, dass die unter 25jährigen in der Stichprobe unterrepräsentiert sind (9%- Anteil der Stichprobe, 26%-Anteil der Gesamtbevölkerung, Tabellen 10 und 11). Der geringe Anteil dieser Altersgruppe lässt sich im Wesentlichen dadurch erklären, dass in diese Klasse auch die unter 18-Jährigen fallen. Bei Planung der Studie wurde festgelegt, dass die Konsumgewohnheiten von Kindern nicht im Detail erfasst werden sollten, da von Seiten der Kinder selbst als auch von Seiten der diesbezüglich befragten Erwachsenen keine genauen Angaben zum Trinkwasserkonsum zu erwarten waren. Nur über die Befragung der Angerufenen nach Haushaltsgröße und Anzahl der Kinder <18 Jahre können Rückschlüsse auf das Trinkwasserkonsumverhalten in der Familie ermöglichen.

Vergleicht man die Altersverteilung der Befragten mit der des gesamten Rheinisch-Bergischen Kreises, kann für die über 65-Jährigen festgestellt werden, dass sie in der Befragung um 4% stärker vertreten sind (16%-Anteil in der Gesamtpopulation, 20%-Anteil in der Anzahl der Befragten, Tabelle 10 und 11). Der Anteil der 36 bis 45-Jährigen an der

Gesamtbevölkerung beträgt 16%, während in der Stichprobe 28% auf diese Altersgruppe fällt. Es beteiligten sich in dieser Altersgruppe mehr Frauen (67%) als Männer (33%) an der Befragung (Tabelle 11). Diese Tatsache erklärt sich möglicherweise dadurch, dass im Befragungszeitraum ältere Personen sowie Frauen mit Kindern aufgrund eingeschränkter Mobilität häufiger telefonisch zu erreichen waren als jüngere Berufstätige.

Das Alter der Befragten verteilt sich auf folgende Klassen (Tabelle 11):

Tabelle 11: Anzahl der Befragten nach Geschlecht und Altersklasse

Altersklassen	Anzahl der Befragten pro Altersklasse					
	gesamt	In %	Weiblich (w) absolut	% Anteil an Altersklasse (w)	% Anteil an Altersklasse (m)	Männlich (m) absolut
<25 Jahre	18	9	12	66	34	6
25-35 Jahre	31	16	17	54	55	14
36-45 Jahre	55	28	37	67	33	18
46-55 Jahre	20	10	8	40	60	12
56-65 Jahre	33	17	12	36	64	21
>65 Jahre	38	19	22	59	41	16
Gesamt	195	99	108			87

Um statistisch zu prüfen, ob die gezogene Stichprobe repräsentativ für die Grundgesamtheit ist, wird der χ^2 - Anpassungstest durchgeführt. Dabei werden theoretisch zu erwartende, absolute Häufigkeiten mit beobachteten Häufigkeiten in Beziehung gesetzt (BAHRENBERG et al. 1990). Im vorliegenden Fall steht als Variablen zur Prüfung der Repräsentanz die Altersverteilung gesamt und nach Geschlecht differenziert sowohl für die Grundgesamtheit als auch für die Stichprobe zur Verfügung (Tabelle 10 und 11). Da, wie bereits erwähnt, die unter 18-Jährigen nicht befragt wurden, wird bei der Berechnung die erste Altersklasse (<25 Jahre) weggelassen.

Die Berechnung ergab signifikante Werte für die Altersverteilung gesamt ($p < 0,05$) und für die Altersklassen der weiblichen Bevölkerung ($p < 0,001$). Die in der Stichprobe beobachteten Werte zeigen eine hohe Anpassung an die aus der Grundgesamtheit ermittelten Erwartungswerte mit p-Werten $< 0,001$. Für die Männer konnte jedoch kein signifikanter Wert errechnet werden. Dieses Ergebnis ist auf die geringere Stichprobenzahl aus der männlichen Bevölkerung zurückzuführen. Sie wurden telefonisch seltener erreicht als die Frauen.

Bezogen auf die Gesamtbevölkerung ist die Stichprobe jedoch repräsentativ und Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit sind zulässig.

Von den ausgewerteten 195 Bögen fallen 30 auf Einpersonen-Haushalte, 74 auf Zweipersonen-Haushalte und 89 auf Haushalte mit 3 und mehr Mitgliedern (Tabelle 12). Bei den Haushalten mit mehr als 2 Personen handelt es sich zum größten Teil um Familien mit einem oder mehreren Kindern unter 18 Jahren. Ein kleinerer Teil bezieht sich auf Haushalte mit mehr als zwei erwachsenen Mitgliedern. Die in der Befragung am

stärksten vertretene Altersklasse der 36 bis 45-Jährigen umfasst zu 46% 4-Personenhaushalte (Tabelle 12). Von diesen vier Familienmitgliedern sind in 94% der Fälle zwei Kinder unter 18 Jahren.

Der 50-Prozent-Anteil der 4-Personenhaushalte bei den unter 25-Jährigen kommt zustande, weil die Befragten die jüngeren Vertreter/Innen der mehrköpfigen Familien repräsentierten.

Tabelle 12: Haushaltsgröße nach Altersklassen

Haushaltsgröße	Anzahl der Befragten pro Haushaltsgröße und Altersklassen*											
	< 25 Jahre	In %	25-35 Jahre	In %	36-45 Jahre	In %	46-55 Jahre	In %	56-65 Jahre	In %	>65 Jahre	In %
1 Pers.	2	11	6	19	6	11	3	15	4	12	10	27
2 Pers	6	33	12	39	8	15	7	35	21	63	19	54
3 Pers	0	0	5	16	10	18	6	30	8	24	6	16
4 Pers	9	50	4	13	25	46	1	5	0	0	0	0
5 Pers	1	5	4	13	6	11	1	5	0	0	1	3
6 Pers	0	0	0	0	0	0	2	10	0	0	0	0
Gesamt	18	100	31	100	55	100	20	100	33	100	37	100

* einmal keine Angabe zu Haushaltsgröße und Alter

Ein- und Zweipersonen-Haushalte finden sich zum größten Teil bei den 56 bis 65- (63%) und über 65-Jährigen (54%) sowie auch bei den jüngeren Befragten im Alter von 25 bis 35 Jahren (39%).

3.4.1.2 Ergebnisse zur Wasserversorgung

Der zu Beginn des Interviews abgefragte Themenkomplex zur Wasserversorgung soll darlegen, inwieweit sich die Bevölkerung bewusst mit dem Thema der Trinkwasserversorgung auseinandersetzt.

Etwa die Hälfte der Befragten (99 Personen) konnten richtige Angaben zu ihrem Trinkwasserversorgungsunternehmen machen, während die andere Hälfte (96 Personen) keine oder falsche Aussagen lieferten. Die Herkunft ihres Trinkwassers (Grundwasser, Talsperrenwasser, Quellwasser) war 63% der Teilnehmer/Innen nicht bekannt oder beruhten auf Vermutungen. Bei Anschluss an kleinere Wasserversorgungsunternehmen jedoch, z. B. an den Wasserverband Witzhelden, den Wasserversorgungsverband Bremersheide oder den Wasserbeschaffungsverband Bechen waren die Angaben korrekt. Auch das Wasserversorgungsunternehmen „BELKAW“, das die Bevölkerung in Bergisch Gladbach und Bereichen von Odenthal beliefert, war bei den Befragten in den meisten Fällen bekannt. Über die Herkunft des Wassers waren trotzdem etwa 50% falsch bzw. nicht informiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das Dargebot von hygienisch einwandfreiem, sauberem Trinkwasser von der Bevölkerung als selbstverständlich angesehen wird. Die wenigsten sind jemals in Kontakt zu ihren jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen getreten.

Der durchschnittliche Anschlussgrad der Bevölkerung an das öffentliche Versorgungsnetz des Rheinisch-Bergischen Kreises liegt um 99%. Diese Situation wird auch durch die Befragung deutlich, in der fast 100% der Haushalte an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen sind. Bei der Frage nach dem Anschluss an private Wasserversorgungen gaben nur 2 Personen an, eine private Trinkwasserversorgung zu betreiben. Ein dritter Haushalt verfügt zusätzlich zu der öffentlichen Wasserversorgung über einen privaten Trinkwasserbrunnen, der jedoch nur noch zum Bewässern für Außenanlagen verwendet wird.

3.4.2 Ergebnisse des Trinkwasserkonsumverhaltens

3.4.2.1 Leitungswasser versus Mineralwasser

In Punkt 9 bis 11 des Fragebogens (s. Anhang) wurde nach der Präferenz der Probanden für Leitungswasser oder Mineralwasser gefragt. Die Gründe für die Präferenz der einen Wassergattung gegenüber der anderen Wassergattung konnte im Fragebogen nach den Kategorien: Leitungswasser (LTW) bzw. Mineralwasser schmeckt besser, ist gesünder, ist sauberer, ist bequemer zu besorgen und sonstiges angegeben werden. Mehrfachnennungen waren möglich.

Von den 195 Befragten trinken 114 lieber Mineralwasser als Leitungswasser, 56 bevorzugen Leitungswasser und noch einmal 25 geben an, dass sie weder das eine noch das andere bevorzugen.

Von den 114 Mineralwassertrinkern geben 74 Personen an, dass Mineralwasser aufgrund der Kohlensäure besser schmeckt. 26 Personen halten Mineralwasser für gesünder als Leitungswasser, hauptsächlich aufgrund der enthaltenen Mineralien. Für sauberer als Leitungswasser halten jedoch nur 2 Probanden das Mineralwasser, von denen eine es auch gleichzeitig für gesünder und wohlschmeckender hält. Sonstige Gründe zum bevorzugten Genuss von Mineralwasser sind „Macht der Gewohnheit“ und Bequemlichkeit oder es liegt kein bestimmter Grund vor. Ein Proband gibt an, dass er aufgrund von Hormonen im Leitungswasser so gut wie gar kein Trinkwasser aus der Leitung zu sich nimmt, sondern nur Mineralwasser oder andere Getränke konsumiert.

29% von 195 Befragten trinken lieber Leitungswasser. Nach dem Grund befragt, geben 19 von 56 (32%) an, dass es ihnen besser schmeckt als Mineralwasser. 20% finden es außerdem gesünder. Für 29% der Leitungswassertrinker ist der wichtigste Grund die Bequemlichkeit bei der Besorgung. Die „Schlepperei“ der Mineralwasserkisten erledigt sich durch die Verwendung von Leitungswasser. 11% halten außerdem die Nutzung von Leitungswasser für preisgünstiger als den Kauf von Mineralwasser.

Beim Vergleich der geschlechtsspezifischen Verhaltensweisen beim Konsum von Trinkwasser (Mineralwasser oder Leitungswasser) ist festzustellen, dass von den 56 Leitungswassertrinkern 57% auf Frauen entfallen. 45% der Frauen in der Altersklasse von 36 bis 45 Jahren bevorzugen Leitungswasser gegenüber Mineralwasser und stellen damit den größten Anteil der Konsumenten von LTW dar. Bei den 43% Männern ist die Altersklasse der 25 bis 35-Jährigen am stärksten vertreten. Von den 38 Befragten über 65 Jahre gibt es keinen männlichen Probanden, der Leitungswasser bevorzugt trinkt. Auch die Frauen in dieser Altersgruppe trinken zu 98% lieber Mineralwasser (Tabelle 13).

Von 114 Personen, die angaben Mineralwasser zu bevorzugen, waren 62 Frauen und 52 Männer. Auch hier tritt ein geschlechtsspezifischer Unterschied im Konsum-

verhalten der unterschiedlichen Altersgruppen auf. Frauen der Altersklasse 36 -45 Jahre sind in der Mineralwasserkategorie mit 31% vertreten. Über 65-jährige Frauen stellen 24% der Mineralwassertrinkerinnen. Anders sieht es bei den Männern aus. Von insgesamt 87 befragten männlichen Probanden stellen die über 55-Jährigen mit 52% den größten Anteil der Mineralwasserkonsumenten dar, wobei die Kategorie der über 65-Jährigen mit 21% geringer vertreten ist als die Frauen dieser Altersklasse. In der Altersklasse der 36 bis 45-Jährigen sind nur 15% der Männer vertreten; das ist die Hälfte des Frauenanteils (Tabelle 13).

Tabelle 13: Anteil der Leitungswasser- bzw. Mineralwasserkonsumenten der Stichprobe

Altersklassen	Präferenz für Leitungswasser					Präferenz für Mineralwasser				
	w	In %	m	In %	Gesamt absolut	w	In %	m	In %	Gesamt absolut
<25 Jahre	3	10	3	12	6	9	14	2	4	11
25-35 Jahre	5	16	5	21	10	8	13	9	17	17
36-45 Jahre	14	45	7	30	21	19	31	8	15	27
46-55 Jahre	1	3	5	21	6	5	8	6	12	11
56-65 Jahre	4	13	3	13	7	6	10	16	31	22
>65 Jahre	4	13	1	3	5	15	24	11	21	26
Gesamt	31	100	19	100	55*	62	100	52	100	114

*einmal keine Angabe zu Geschlecht

Die Ergebnisse der Präferenzbefragung wurde ohne Berücksichtigung der dritten Möglichkeit, nämlich die Gruppe der Personen die sowohl Mineralwasser als auch Leitungswasser trinken dargestellt. 25 Befragte gaben an, keine besonderen Vorlieben für die eine oder andere Wassergattung entwickelt zu haben bzw. es nicht zu wissen.

3.4.2.2 Art der Trinkwassernutzung

Die unter Punkt 5 des Fragebogen (Annex III) ermittelte Nutzung des Leitungswassers als Trinkwasser bezieht sich auf die Art des Konsums, der sich im Wesentlichen aus der Aufrechterhaltung des körpereigenen Wasserhaushalts ergibt. Zur Verdeutlichung der verschiedenen Möglichkeiten der Trinkwasseringestion wurden die Teilnehmer/Innen gefragt, ob sie das Leitungswasser pur aus der Leitung trinken, zum Verdünnen von Säften, zum Salat- bzw. Obstwaschen, Zähneputzen oder zur Medikamenteneinnahme nutzen und ob sie Tee oder Kaffee damit zubereiten.

Aus den 195 ausgewerteten Bögen konnte entnommen werden, dass 111 Personen Leitungswasser häufig pur konsumieren, 84 dagegen selten bis gar kein Leitungswasser trinken. Die Nutzung zur Verdünnung von Säften wurde von 45% der Befragten angegeben. Den höchsten Stellenwert im Verbrauch von LTW hat erwartungsgemäß die Zubereitung von Tee (189 Probanden) und Kaffee (191 der Probanden). Die tägliche Nutzung des LTW zum Salat- und Obstwaschen sowie zum Zähneputzen ergibt nahezu 100%. Auch dieses Ergebnis war zu erwarten.

3.4.2.3 Verbreitung der Wassersprudler in der Stichprobe

Die Vermarktung und der Absatz von Wassersprudlern in privaten Haushalten steigen ständig. Deshalb sollte dieser Einfluss auf den Leitungswasserkonsum im Besonderen untersucht werden.

Im Rheinisch-Bergischen Kreis scheinen die Aufbereitungsgeräte weit verbreitet zu sein. 66 der 195 befragten Haushalte setzen mehr oder weniger häufig Wassersprudler zur Aufbereitung des Leitungswassers ein. Das sind 34% der Haushalte der Stichprobe. Die Tabelle 14 zeigt die Verwendung von Wassersprudlern in Abhängigkeit der Haushaltsgröße und ausgewählter Altersgruppen.

Tabelle 14: Einsatz von Wassersprudlern nach Haushaltsgröße und Alterklassen

Haushaltsgröße	Einsatz von Wassersprudlern nach Altersklasse								
	Anzahl der Sprudler	In %	<36 Jahre	In %	36-55 Jahre	In %	> 55 Jahre	In %	
1 Pers	7	11	1	4	4	11	2	29	
2 Pers	21	32	11	50	5	14	5	71	
3 Pers	7	11	2	9	5	14	0	0	
4 Pers	20	30	5	23	15	42	0	0	
5 Pers	9	14	3	14	6	17	0	0	
6 Pers	1*	2	0	0	1	2	0	0	
Gesamt	66	100	22	100	36	100	7	100	Summe 65**

* wird nicht mehr genutzt ** einmal keine Angaben zu Alter

Der Einsatz von Wassersprudlern zeigt zwei Schwerpunkte in Abhängigkeit der Haushaltsgröße. 2-Personenhaushalte sind mit 32% und 4-Personenhaushalten mit 30% der Fälle vertreten. Im Vergleich mit den Altersklassen der 2-Personenhaushalte werden ebenfalls Unterschiede deutlich. Besonders die jungen Erwachsenen verwenden Wassersprudler zur Trinkwasserherstellung (50% in der Altersklasse der unter 36-Jährigen). Bei den über 55-Jährigen werden sehr selten die Geräte zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt in der Verteilung der Geräte tritt in der Haushaltsgröße von 4-Personen auf. Der größte Anteil fällt mit 42% auf die Altersklasse der 36- bis 55-Jährigen.

Ungeachtet der Haushaltsgröße setzen die 36 bis 55-Jährigen am häufigsten Sprudlergeräte ein.

3.4.2.4 Ergebnisse der Untersuchung auf Leitungswasserkonsum

Tabelle 15: Leitungswasserkonsum

Konsummenge in Liter pro Tag (mTK)*	Anzahl der Personen	In %
0,15	4	2
0,30	9	5
0,50	24	12
1,00	59	30
1,50	29	15
2,00	37	19
2,50	13	7
3,00	11	6
3,5	5	2
>3,5	4	2
Gesamt	195	100

*mTK= mit Tee und Kaffee

Über die Themenkomplexe „Nutzung des LTW als Trinkwasser“ sowie die Frage nach dem Einsatz von Wassersprudlern führt zur Evaluation des insgesamt konsumierten Leitungswassers pro Tag. Dabei wurden die Werte getrennt nach unabgekochtem bzw. abgekochtem Wasser erhoben. Die Frage „Wie viel Leitungswasser konsumieren Sie Ihrer Meinung nach pro Tag incl. Tee, Kaffee, verdünnte Säfte usw.“ und „Wie viel Leitungswasser trinken Sie Ihrer Meinung nach ohne Kaffee oder Tee, also unabgekochtes Leitungswasser?“ stellt sicherlich die anspruchsvollste Frage des Interviews dar, die von den wenigsten ad hoc beantwortet werden konnte. Zur besseren Vorstellung von den getrunkenen Mengen wurden einige Alternativen vorgegeben. Bei den Mengenvorschlägen wurde zugrunde gelegt, dass eine gefüllte Tasse ca. 150 ml Flüssigkeit enthält, 3-4 Tassen entsprechen somit etwa einem halben Liter. Mit diesen Maßen konnten die Befragten ihren Trinkwasserkonsum besser abschätzen. Mengen über einem halben Liter wurden als 1L, 1,5L, 2L, 2,5L und höher vorgegeben.

Es bestand jedoch die Möglichkeit, eigene genauere Werte, falls vorhanden, oder ein Intervall anzugeben. Eine weitergehende Differenzierung der Trinkwassermengenangaben ist nicht sinnvoll. Von den meisten Befragten wurde eine der vorgegebenen Mengenangaben gewählt. Nur einige (ca. 10%) schätzten ihren Trinkwasserkonsum genauer ab. Die Angaben wurden für die tabellarische Auswertung auf- bzw. abgerundet. Für die Mittelwertberechnungen jedoch konnten sie mit einbezogen werden.

Im Durchschnitt trinken die Probanden der Stichprobe 1,5 Liter Trinkwasser pro Tag mit Tee und Kaffee und sonstigen Nutzungen. Die Maximalwerte liegen bei ca. 5L pro Tag. In einem Fall trat ein Konsum von 6,5L auf, der nur unter Vorbehalt akzeptiert werden kann.

Da nicht davon auszugehen ist, dass jemand kein Trinkwasser am Tag aufnimmt, wird als Minimalwert 0,15 Liter (entsprechen einer Tasse) zugrunde gelegt. Dies gilt sowohl für die Kategorie „mit Tee und Kaffee“ (mTK) als auch für die Kategorie „ohne Tee und Kaffee“ (oTK).

Tabelle 15 stellt die Ergebnisse der insgesamt erhobenen Trinkwassermengen dar, dass heißt, sowohl die pur als auch die im abgekochten Zustand konsumierten Mengen. 30% der Personen geben an, dass sie ca. 1L Wasser am Tag trinken. In der Kategorie 0,5L bis 1L liegen 42% und zwischen 1,5L bis 2L LTW (mTK) 34% der Befragten. 9 Personen trinken bis 3,5 und mehr Liter am Tag. Die kleinsten Trinkwassermengen zwischen 0,15L und 0,3L wird nur von 2% der Stichprobe angegeben.

Tabelle 16 und 17 werten die Konsummengen getrennt nach Geschlecht und im Zusammenhang mit den Altersklassen aus.

34% der Frauen trinken etwa 1L LTW (mTK) pro Tag und 20% um 2L. Bei den Männern konsumieren ca. 26% 1L und weitere 21% bis zu 1,5L. 63% der Männer und 64% der Frauen lagen in den Kategorien 1L, 1,5L und 2L (Tabelle 16 u. 17). Bezogen auf die Konsumkategorien 0,5L und 1L sowie 1,5L und 2L trinken 44% bzw. 30% der Frauen und 36% bzw. 37% Männer LTW (mTK) dieser Kategorien. Demnach nehmen Männer höhere Leitungswassermengen zu sich als Frauen.

Die Kategorie 1L ist in allen Altersklassen der Frauen die am häufigsten angegebene Trinkwassermenge mit dem höchsten Wert bei den über 55-Jährigen (40%). Die vier Personen, die vermerkten, über 3,5L Wasser am Tag zu trinken (Tabelle 16) sind Frauen. Jeweils zwei von ihnen gehören zu den Altersklassen 36-55 Jahre und über 55 Jahre. Eine der Befragten gab als Grund an, dass sie gegen Mineralwasser allergisch sei, eine weitere Frau begründete den Konsum mit ihrer Stilltätigkeit, bei der viel Flüssigkeit zugeführt werden soll. Ein Grund war außerdem, dass viel trinken gesund sei.

Tabelle 16: Leitungswasserkonsum (mTK) der Frauen nach Alter

Liter pro Tag (mTK)*	Konsummenge nach Geschlecht und Alter**							
	Weiblich	In %	<36 Jahre	In %	36-55 Jahre	In %	>55 Jahre	In %
0,15	2	2	1	3	1	2	0	0
0,30	6	6	2	7	2	5	2	6
0,50	11	10	5	17	5	11	1	3
1,00	36	34	9	31	13	30	13	40
1,50	11	10	4	15	5	11	2	6
2,00	22	20	7	24	6	14	9	27
2,50	6	5	1	3	3	6	2	6
3,00	5	5	0	0	5	11	0	0
3,50	4	4	0	0	2	5	2	6
>3,50	4	4	0	0	2	5	2	6
Gesamt	107	100	29	100	44	100	33	100

*mit Tee und Kaffee

**einmal keine Angabe Alter

Tabelle 17: Leitungswasserkonsum (mTK) der Männer nach Alter

Konsummenge in Liter pro Tag (mTK)*	Konsummenge nach Geschlecht und Alter							
	männlich	In %	<36 Jahre	In %	36-55 Jahre	In %	>55 Jahre	In %
0,15	2	2	1	4	1	3	0	0
0,30	3	3	0	0	1	3	2	6
0,50	13	15	3	13	3	10	7	21
1,00	23	26	6	26	5	17	12	35
1,50	18	21	6	26	5	17	7	21
2,00	14	16	3	13	9	30	2	6
2,50	7	8	3	13	2	6	2	6
3,00	6	7	1	3	3	10	2	6
3,50	1	1	0	0	1	3	0	0
>3,50	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	87	99	23	100	30	100	34	101

*mit Tee und Kaffee

52% der Männer unter 36 Jahren trinken 1L bis 1,5L LTW pro Tag incl. Tee und Kaffee, verdünnte Säfte u. s. w. Männer über 55 Jahren stellen die größte Gruppe der 0,5 bis 1,5 Liter-Konsumenten (21% bzw. 35% bzw. 21%=77%). Damit trinken die Männer der Stichprobe im Alter von über 55 Jahren insgesamt am wenigsten. Die Kategorie „2L“ wird am häufigsten von 30% der Männer zwischen 36 und 55 Jahren angegeben, bei den Frauen sind dies die über 55-Jährigen mit 24%.

Die Auswertung der Erhebung des Trinkwasserkonsums mit der Berufstätigkeit ist vor dem Hintergrund interessant, dass durch die Mobilität eines hohen Anteils der Bevölkerung (s. Kapitel 2) die Exposition gegenüber der Beschaffenheit des Trinkwassers im Rheinisch-Bergischen Kreis durch die Auswirkung von Leitungswässern anderer Herkunft überlagert wird. Im Zusammenhang mit dem Auftreten von Durchfallerkrankungen im Untersuchungsgebiet ist daher die Mobilität als Confounder (s. Kapitel 5) anzusehen.

Das allgemeine Risiko der Aufnahme von Krankheitserregern über das Trinkwasser stellt aber für die Individuen dadurch keine Änderung dar, da die Menge des getrunkenen Leitungswassers für die Infektionsdosis ausschlaggebend ist. Die Differenzierung in die Herkunft der Trinkwässer und der Anteil dieser Wässer am individuellen Gesamtkonsum kann auf dieser Ebene nicht durchgeführt werden.

Die Auswertung des Trinkwasserkonsums in Zusammenhang mit der Berufstätigkeit wird nicht geschlechtsspezifisch durchgeführt, da nur die möglichen Einwirkungen von Trinkwässern unterschiedlicher Herkunft auf die individuelle Exposition verdeutlicht werden soll (Tabelle 18).

Tabelle 18: Trinkwasserkonsum (mTK) und Berufstätigkeit

Konsummenge in Liter pro Tag (mTK)*	Anzahl der Berufstätigen, die den RBK verlassen							
	Nicht Berufs- tätige	In %	Berufs- tätige	In %	Berufstätige, die RBK verlassen	In %	Berufstätige, die den RBK nicht verlassen	In %
0,15	0	0	4	4	2	4	2	4
0,30	4	5	5	5	1	2	4	7
0,50	10	12	14	13	6	11	8	15
1,00	30	35	29	26	14	25	15	27
1,50	10	12	19	17	13	24	6	11
2,00	17	20	20	18	10	18	10	18
2,50	5	6	8	7	5	10	3	5
3,00	4	5	7	6	3	4	4	7
3,50	2	2	3	3	1	2	2	4
>3,50	3	3	1	1	0	0	1	2
Gesamt	85	100	110	100	55	100	55	100

*= mit Tee und Kaffee

Von den Probanden der Stichprobe sind 110 Personen berufstätig und 85 nicht berufstätig. Zu den berufstätigen Befragten wurden auch die Studenten gezählt, da sie zu den Hochschulen pendeln müssen. Von den 110 Berufstätigen verlassen 55, also genau 50%, das Kreisgebiet, während genauso viele den Rheinisch-Bergischen Kreis für ihren Beruf nicht verlassen.

35% der Nichtberufstätigen geben an, das sie ca. 1L LTW (mTK) pro Tag trinken. 2L werden von 20% der Nichtberufstätigen getrunken und 12% konsumieren 1,5L. Dies ergibt insgesamt 67%. Bei den Berufstätigen verteilen sich die durchschnittlichen Konsummengen wie folgt: 26% trinken etwa 1L, 17% 1,5L und 18% 2L pro Tag. Die Summe beträgt 61%. Daraus kann geschlossen werden, dass die Berufstätigen der Studienpopulation etwas weniger Leitungswasser als die Nichtberufstätigen trinken.

Die Auswertung der Konsummengen ergab, dass die Beschäftigten, die das Kreisgebiet verlassen, mehr Leitungswasser trinken. Zusammengerechnet für die Kategorien 1-2 Liter ergeben sich 67% der Berufstätigen, die das Kreisgebiet verlassen und 56% für im Rheinisch-Bergischen Kreis Beschäftigten.

Die Trinkwassermenge in den Kategorien $\geq 2L$ beträgt bei den Berufstätigen im RBK insgesamt 36%, bei den außerhalb des Kreisgebiets beschäftigten Personen nur 2% weniger. Die geringsten Mengen LTW (mTK) (0,15 bis 0,3 Liter) werden von den innerhalb des RBK Beschäftigten getrunken (11%).

Die Nichtberufstätigen zusammen mit den Berufstätigen, die das Kreisgebiet nicht für ihre Beschäftigung verlassen, stellen dennoch insgesamt mit 72% die größte Fraktion der dauerhaft dem Trinkwasser exponierten Bevölkerung dar.

3.4.2.5 Ergebnisse des Konsums von unabgekochtem Leitungswasser

Die Erhebung der individuellen getrunkenen Menge von unabgekochtem Leitungswasser der Stichprobenpopulation pro Tag ist für die Studie ein wichtiges Kriterium zur Charakterisierung des Infektionsrisikos. Deshalb steht dieser Themenkomplex in der weiteren Auswertung der Stichprobenerhebung im Mittelpunkt.

Tabelle 19: Leitungswasserkonsum (oTK)

Konsummenge in Liter pro Tag (oTK)*	Anzahl der Personen	In %
0,15	83	43
0,30	22	11
0,50	35	18
1,00	25	13
1,50	18	9
2,00	7	4
2,50	1	0
3,00	4	2
3,50	0	0
>3,50	0	0
Gesamt	195	100

Die Abschätzung der Konsummenge Leitungswasser „ohne Tee und Kaffee“ (oTK), also das nicht abgekochte Wasser, ergibt erwartungsgemäß einen niedrigeren Wert als der gesamte ermittelte Trinkwasserkonsum. Im Durchschnitt nehmen die Probanden 0,5L LTW (oTK) pro Tag zu sich. 43% der Probanden nehmen nur 0,15L LTW (oTK) zu sich, was in etwa einer Tasse entspricht. Immerhin geben 18% der Befragten an, dass sie täglich um 0,5L trinken. Auf die Kategorien 1L bis 2L entfallen sogar insgesamt 26% der Stichprobe.

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes ergibt einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Konsummenge. Die Frauen der Stichprobe trinken im Durchschnitt 0,6L unabgekochtes Leitungswasser pro Tag, die Männer konsumieren dagegen etwa ca. 0,5L. Jedoch muss bedacht werden, dass 4 Frauen einen weit über dem Durchschnitt liegenden LTW-Konsum (oTK) von 3L haben (Tabelle 20). Werden bei der Berechnung des Durchschnitts diese 4 Werte weggelassen, liegt der mittlere tägliche Konsum der Frauen ebenfalls bei 0,5L. Die folgenden Tabellen analysieren das geschlechtsspezifische Konsumverhalten (Tabelle 20 und 21).

Die Berechnung des arithmetischen Mittelwertes ergibt einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der

Tabelle 20: Leitungswasserkonsum (oTK) der Frauen nach Alter

Liter pro Tag (oTK)*	Konsummenge nach Geschlecht und Alter**							
	Weiblich	In %	<36 Jahre	In %	36-55 Jahre	In %	>55 Jahre	In %
0,15	49	46	13	45	20	45	16	47
0,30	8	7	0	0	5	11	3	9
0,50	17	16	6	21	5	11	6	18
1,00	14	13	7	24	4	9	3	9
1,50	12	11	2	7	6	14	4	12
2,00	3	3	1	3	2	5	0	0
2,50	0	0	0	0	0	0	0	0
3,00	4	4	0	0	2	5	2	6
3,50	0	0	0	0	0	0	0	0
>3,50	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	107	100	29	100	44	100	34	101

*ohne Tee und Kaffee **einmal keine Angabe Alter

Tabelle 21: Leitungswasserkonsum (oTK) der Männer nach Alter

Konsummenge in Liter pro Tag (oTK)*	Konsummenge nach Geschlecht und Alter							
	männlich	In %	<36 Jahre	In %	36-55 Jahre	In %	>55 Jahre	In %
0,15	34	39	6	30	9	30	19	51
0,30	14	16	1	5	5	17	8	22
0,50	18	21	7	35	7	23	4	11
1,00	11	13	3	15	5	17	3	8
1,50	6	6	3	15	1	3	2	5
2,00	4	5	0	0	3	10	1	3
2,50	0	0	0	0	0	0	0	0
3,00	0	0	0	0	0	0	0	0
3,50	0	0	0	0	0	0	0	0
>3,50	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	87	100	20	100	30	100	37	100

*ohne Tee und Kaffee

Nach Abzug von abgekochtem LTW in Form von Tee und Kaffee geben 46% der Frauen und 39% der Männer die geringste Konsummenge von 0,15L und darunter an. 40% der Frauen trinken 0,5L bis 1,5L pro Tag. Männer sind in dieser Kategorie mit 39% vertreten. Verglichen mit dem Alter ergibt sich die geringste getrunkene Menge bei den Männern über 55 Jahre mit 51%, jedoch dicht gefolgt von den Frauen derselben Altersklasse (47%). In den Kategorien von 1L bis 2L sind 27% der Männer und 24% der Frauen vertreten. In der Altersklasse der 36 bis 55-jährigen Männer trinken immerhin noch 10%

etwa 2L pro Tag. Auf Frauen entfallen in dieser Kategorie nur 3%. Damit zeichnet sich ab, dass Frauen tendenziell weniger LTW (oTK) trinken als Männer.

Die Auswertung bezogen auf die Anzahl der Berufstätigen, die den Rheinisch-Bergischen Kreis verlassen liefert folgende Ergebnisse:

Tabelle 22: Leitungswasserkonsum (oTK) nach Berufstätigkeit

Konsummenge in Liter pro Tag (oTK)*	Anzahl der Berufstätigen, die den RBK verlassen							
	Nicht -Berufstätige	In %	Berufstätige	In %	Berufstätige, die RBK verlassen	In %	Berufstätige, die den RBK nicht verlassen	In %
0,15	44	52	39	35	14	25	25	45
0,30	8	9	14	13	9	16	5	9
0,50	14	16	21	19	12	22	9	16
1,00	7	8	18	16	11	20	7	14
1,50	7	8	11	10	6	11	5	9
2,00	2	3	5	5	2	4	3	5
2,50	0	0	1	1	1	2	0	0
3,00	3	4	1	1	0	0	1	2
Gesamt	85	100	110	100	55	100	55	100

52% der Nichtberufstätigen geben an, das sie etwa 0,15L LTW (mTK) pro Tag trinken. 0,5L werden von 16% der Nichtberufstätigen getrunken und 16% konsumieren 1,1-1,5L. Bei den Berufstätigen verteilen sich die durchschnittlichen Konsummengen wie folgt: 22% trinken etwa 0,5L, 20% 1,0L und 11% 1,5L pro Tag. 45% der Berufstätigen, die den RBK nicht verlassen, trinken 0,15L LTW (oTK) pro Tag. Diesen Angaben zufolge trinken Berufstätige Pendler mehr LTW (oTK) als Nichtberufstätige und Berufstätige, die den RBK nicht verlassen.

Tabelle 23: Besitz von Wassersprudlern nach Haushaltsgröße

Haushaltsgröße	Besitz von Wassersprudlern					
	Gesamt	%	ja	%	nein	%
1	30	15	7	11	23	18
2	75	38	21	32	54	42
3	35	18	7	11	28	21
4	39	20	20	30	19	15
5	13	7	9	14	4	3
6	2	1	1	2	1	1
k. A.	1	1	1	2	0	0
Gesamt	195	100	66	100	129	100

In 66 Haushalten der Stichprobe werden Wassersprudler zur Zubereitung von kohlesäurehaltigem Leitungswasser verwendet (s. Kapitel 3.4.2.3, Tab 14). 67 der Befragten gehören zu der in Tabelle 13 ermittelten Kategorien derjenigen, die lieber Leitungswasser trinken, oder die weder das eine noch das andere Wasser bevorzugen. In

34% der Fälle werden die Wassersprudler seit einem Jahr und in 32% der Fälle seit 1,5 bis 2 Jahre verwendet. Etwa 21% der WassersprudlerbesitzerInnen geben an, dass sie die Geräte schon über 3 Jahre nutzen. In zwei Fällen wurde der Wassersprudler nur kurzfristig eingesetzt und wieder aus dem Betrieb genommen.

In den 1-Personenhaushalten scheinen Wassersprudler (7 Sprudler) keine große Bedeutung zu haben. Am häufigsten kommen die Sodamaschinen in 2- und 4- Personenhaushalten mit 21 bzw. 20 Geräten zum Einsatz (Tabelle 24).

Tabelle 24: Leitungswasserkonsum LTW (oTK) und Bedeutung der Wassersprudler

Konsummenge in Liter pro Tag (oTK)*	Konsummenge (oTK) bezogen auf die Anzahl der Wassersprudler und Haushaltsgröße**							
	Anzahl der Sprudler	In %	1 Pers.	2 Pers.	3 Pers.	4 Pers.	5 Pers.	6 Pers.
0,15	9	14	0	5	1	2	0	1
0,30	7	10	1	2	2	2	0	0
0,50	14	21	0	4	1	5	4	0
1,00	17	26	1	5	1	6	3	0
1,50	10	15	2	2	2	2	2	0
2,00	5	8	1	2	0	2	0	0
2,50	1	2	1	0	0	0	0	0
3,00	3	4	1	1	0	1	0	0
Gesamt	66	100	7	21	7	20	9	1

*ohne Tee und Kaffee **einmal keine Angabe zu Haushaltsgröße

In 13 der 4-Personenhaushalte wird täglich zwischen 0,5L bis 1,5L unabgekochtes Leitungswasser getrunken. Die gleiche Menge wird von 11 Personen in 2 Personenhaushalten angegeben. Der Besitz von Wassersprudlern ist auch in 9 der 5-köpfigen Familien von Bedeutung, auch hier liegt die durchschnittlich getrunkene Menge Leitungswasser (oTK) zwischen 0,5L bis 1L. In den Haushalten, die Wassersprudler verwenden, beträgt der Leitungswasserkonsum nur in 9 Fällen um 0,15L pro Tag (s. Tabelle 24).

3.4.2.6 Ergebnisse des χ^2 -Tests

Zur statistischen Bewertung, wie sich der steigende Einsatz von Wassersprudlern in privaten Haushalten auf den Konsum von Leitungswasser auswirkt, und ob sich daraus besondere Risikogruppen ableiten lassen, wurde mit dem χ^2 -Test nach Pearson untersucht, ob zwischen den absoluten Häufigkeitsverteilungen von zwei oder mehr unabhängigen Stichproben statistisch signifikante Unterschiede bestehen. Die eigenen Ergebnisse werden gegen folgende Null-Hypothesen geprüft:

- der Leitungswasserkonsum (mTK) bezogen auf das Geschlecht ist gleichverteilt
- der Leitungswasserkonsum (oTK) bezogen auf das Geschlecht ist gleichverteilt
- der Leitungswasserkonsum (mTK) bezogen auf das Alter ist gleichverteilt
- der Leitungswasserkonsum (oTK) bezogen auf das Alter ist gleichverteilt

- der Leitungswasserkonsum (mTK) bezogen auf die Haushaltsgröße ist gleichverteilt
- der Einsatz von Wassersprudlern bezogen auf die Haushaltsgröße ist gleichverteilt
- der Einsatz von Wassersprudlern bezogen auf die Altersklassen ist gleichverteilt
- der Einsatz von Wassersprudlern bezogen auf die Konsummenge von LTW ist gleichverteilt

Für die Verteilung des Trinkwasserkonsums, sowohl von LTW (mTK) und LTW (oTK), ist zwischen Frauen und Männern kein signifikanter Unterschied zu erkennen ($p=0,3111$, Tabelle 25). Männer und Frauen haben also ein ähnliches Trinkverhalten. Dies gilt für beide Kategorien des Leitungswasserkonsums (LTW (mTK) und LTW (oTK)).

Bei der Interpretation ist zu beachten, dass für einige Klassen der Konsummenge zu kleine Zell-Erwartungshäufigkeiten auftraten. Daher mussten für LTW (mTK) und LTW (oTK) die Randklassen unterschiedlich zusammengefasst werden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Ergebnisse des χ^2 -Test von LTW-Konsum und Geschlecht

	Geschlecht		χ^2 -Test	Freiheitsgrade
	W	M		
Konsummengen LTW(mTK)				
<=0,3	8	5	p=0,3111*	5
>0,3-0,5	11	13		
>0,5-1,0	36	23		
>1,0-1,5	11	18		
>1,5-2,0	22	14		
>2,0	19	14		
Konsummengen LTW(oTK)				
<=0,15	49	34	p=0,3524*	5
>0,15-0,30	8	14		
>0,3-0,5	17	18		
>0,5-1,0	14	11		
>1,0-1,5	12	6		
>1,5	7	4		

*nicht signifikant

Auch zwischen den Konsummengenkategorien LTW (mTK) bzw. LTW (oTK) und den Altersklassen errechneten sich keine signifikanten p-Werte (Tabelle 26). Das heißt, dass die Menge des Leitungswasserkonsums pro Tag bezogen auf die Altersklassen weitestgehend unabhängig ist (Tabelle 26). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass in der vorliegenden Fragebogenerhebung die Alterklasse der < 18-Jährigen unterrepräsentiert ist. Deshalb kann für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahre keine Aussage getroffen werden.

Tabelle 26: Ergebnisse des χ^2 -Test von LTW-Konsum und Alter

	Alter			χ^2 -Test	Freiheitsgrade
	<36 Jahre	36-55 Jahre	>55 Jahre		
Konsummengen LTW mTK					
<=0,5	12	13	12	P=0.4478*	8
>0,5-1,0	15	18	25		
>1,0-1,5	10	10	9		
>1,5-2,0	10	15	11		
>2,0	5	18	10		
Konsummengen LTW oTK					
<=0,5	33	51	56	P=0.2636*	4
>0,5-1,0	10	9	6		
>1,0	6	14	9		

*nicht signifikant

Bei der Berechnung des χ^2 -Test für Konsummengen und Haushaltsgröße ergibt sich ein signifikanter p-Wert. Die Verteilung der beiden Merkmale ist also als heterogen zu betrachten. Es kann damit angenommen werden, dass die Konsummenge von der Haushaltsgröße beeinflusst wird. Die Berechnung wurde nur für den gesamten Konsum von Trinkwasser pro Tag durchgeführt. Die Ermittlung eines p-Wertes für die Konsummenge LTW oTK und Haushaltsgröße war nicht sinnvoll, da in über 70% der Fälle zu kleine Erwartungshäufigkeiten in den Zellen auftraten.

Tabelle 27: Ergebnisse des χ^2 -Test zu LTW-Konsum und Haushaltsgröße

	Haushaltsgröße					χ^2 -Test	Freiheitsgrade
	1	2	3	4	5 u. 6		
Konsummengen LTW mTK							
<=0,5	6	13	9	9	0	p=0.0156* (4 Zellen EH** <5)	16
>0,5-1,0	5	34	5	9	9		
>1,0-1,5	5	9	6	5	4		
>1,5-2,0	7	11	10	4	4		
>2,0	7	8	5	12	1		

* signifikant auf 5%-Niveau, **EH= Erwartungshäufigkeit

Von besonderem Interesse war die Verteilung der Wassersprudler in Zusammenhang mit der Verteilung von Haushaltsgröße, Alter und Konsummenge (Tabelle 27).

Es errechneten sich für diese Merkmale jeweils signifikante p-Werte. Mit $p < 0.011$ zeigt sich statistisch, dass der Einsatz von Wassersprudlern nicht gleichverteilt mit der Haushaltsgröße ist. In Bezug auf die Alterklassen tritt eine hochsignifikante unterschiedliche Verteilung des Einsatzes von Wassersprudlern auf. Die absolute Häufigkeit von 65 Nein-Beantwortungen der über 55-Jährigen gegenüber 7 Ja-Antworten in derselben Altersklasse indiziert die Heterogenität der Verteilungen (Tabelle 27).

Die Berechnung des Mehrfelder- χ^2 -Tests zeigt bezogen auf die Konsummenge LTW (mTK) und dem Einsatz von Wassersprudlern „ja oder nein“ eine signifikante Heterogenität ($p=0,0015$, Tabelle 28). Es gibt also Unterschiede zwischen der Verteilung der Konsummenge bei Personen mit Wassersprudlern und der Verteilung der Konsummenge bei Personen ohne Wassersprudler (Tabelle 28). Die Konsummenge umfasst die getrunkene Menge Leitungswasser insgesamt.

Tabelle 28: Ergebnisse des χ^2 -Test zum Wassersprudlereinsatz

	Wassersprudler		χ^2 -Test	Freiheitsgrade
	ja	nein		
Haushaltsgröße				
1	7	23	p=0.0011* (1 Zelle EH** = 4,3)	4
2	21	54		
3	7	28		
4	20	19		
5 und 6	9	4		
Alter				
<36 Jahre	22	27	p=0.0000	2
36-55 Jahre	36	37		
>55 Jahre	7	65		
Konsummenge LTW-gesamt (mTK)				
<=0,3	1	12	p=0.0015* (1 Zelle EH = 4.4)	5
>0,3-0,5	5	19		
>0,5-1,0	15	44		
>1,0-1,5	8	21		
>1,5-2,0	20	17		
>2,0	17	16		

* signifikant auf 1%-Niveau, **EH= Erwartungshäufigkeit

Zusätzlich wurde eine einfache lineare Korrelation (nach PEARSON) zur Untersuchung durchgeführt, ob der Einsatz von Wassersprudlern zu steigendem Trinkwasserkonsum führt (Tabelle 29).

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient r ergibt einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen Trinkwasserkonsum (LTW mTK) und dem Einsatz von Wassersprudlern. Dies bedeutet, dass mit steigendem Trinkwasserkonsum der Anteil der Wassersprudler zunimmt. Dagegen steht das Nichtvorhandensein von Wassersprudlern nicht mit der konsumierten Trinkwassermenge in Abhängigkeit. Die Koeffizienten liegen nahe bei Null, die Werte sind jedoch nicht signifikant.

Tabelle 29: Korrelation zwischen Trinkwasserkonsum und Wassersprudlereinsatz

		Wassersprudler Anteile in %	
		ja	nein
Konsummenge LTW- gesamt (mTK)			
<=0,3	1	2	9
>0,3-0,5	2	8	15
>0,5-1,0	3	23	34
>1,0-1,5	4	12	16
>1,5-2,0	5	30	13
>2,0	6	26	12
		r=0.846 (p<0.01)*	r=-0.0421 (p=0.4596)

*signifikant auf 1%-Niveau

3.4.2.7 Die Ableitung von Risikogruppen

Wirtsspezifische Faktoren, die die klinische Entwicklung und Schwere des Verlaufs einer Infektionskrankheit beeinflussen, sind, wie bereits in Kapitel 3.2.1.1 aufgeführt, das Alter, Krankheiten wie Alkoholismus, Diabetes und Krebserkrankungen, Verbrennungen, Doppelinfectionen (Infektion durch mehr als einen Erreger), Ernährungszustand und Immunschwäche.

Im Rahmen der empirischen Studie wurden nur Angaben zum Alter erhoben, da die anderen oben erwähnten Risikofaktoren nicht über eine Telefonumfrage zu ermitteln waren. Aus den Angaben zum Alter und der Haushaltsgröße können jedoch altersspezifische Risikogruppen vor dem Hintergrund des Trinkwasserkonsumverhaltens untersucht werden.

Unterschiede im Konsumverhalten zwischen den Geschlechtern konnten in der vorliegenden empirischen Studie nicht festgestellt werden. Jedoch spielte das Alter eine Rolle. Die Tabellen 20 und 21 zeigen, dass besonders alte Menschen wenig unbehandeltes Leitungswasser trinken. In der Altersgruppe der über 55-Jährigen gab es nur 7 Probanden, die über einen Wassersprudler verfügten (Tabelle 28). 27% der Frauen und 33% der Männer gaben an, dass sie 0,3L bis 0,5L Leitungswasser pro Tag trinken würden. Damit scheint die Exposition gegenüber möglichen Krankheitserregern im Trinkwasser bei Älteren geringer als in den Altersgruppen zwischen 18 bis 65 Jahren.

Mit der telefonischen Erhebung konnte der Trinkwasserkonsum von Kindern nicht detailliert untersucht werden. Über die Haushaltsgröße und Angabe der Anzahl von Kindern und Jugendlichen im Alter unter 18 Jahren wurde versucht, die Exposition von Kindern abzuschätzen. In 32% der 4-Personenhaushalte aus der untersuchten Stichprobe werden Wassersprudler zur Aufbereitung von Leitungswasser genutzt. In diesen 4-köpfigen Familien waren in 94% der Fälle 2 Kinder unter 18 Jahre. Wie in Kapitel 3.4.2.6 durch die Korrelationsberechnung bewiesen, besteht ein statistisch signifikanter

Zusammenhang zwischen der Verwendung von Wassersprudlern und der Zunahme des Leitungswasserkonsums.

Durch diese Feststellung kann angenommen werden, dass in den 4- und mehr-Personenhaushalten mit Wassersprudlern für Kinder eine höhere Exposition gegenüber möglichen Trinkwasserkontaminationen besteht als in Familien ohne diese Geräte.

Aus der empirischen Studie lässt sich ableiten, dass alte Menschen eine geringere Exposition aufweisen als alle anderen Altersgruppen und somit das Infektionsrisiko durch ggf. kontaminiertes Trinkwasser zu erkranken, relativ niedrig ist. Für Kinder kann jedoch angenommen werden, dass sie im Durchschnitt eine höhere Exposition als Erwachsene haben.

3.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Trinkwasserkonsum

Die für die Studie wichtigsten Ergebnisse aus der Fragebogenerhebung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es wurde festgestellt, dass die Stichprobe statistisch signifikant die Grundgesamtheit repräsentiert.
- Über 50% der Befragten können keine Angaben zu Trinkwasserversorgungsunternehmen oder zur Herkunft des Trinkwassers geben.
- 58% der Probanden trinken bevorzugt Mineralwasser gegenüber Leitungswasser, zum überwiegenden Teil aufgrund der Kohlensäure.
- 42% der Befragten trinken zwischen 0,5L bis 1L pro Tag LTW mit Tee u. Kaffee, 34% zwischen 1,5L bis 2L. Im Durchschnitt werden 1,5L pro Tag LTW (mTK) getrunken.
- Die Kategorie 2L LTW (mTK) wird von 30% der Männer und 14% der Frauen zwischen 36 und 55 Jahren angegeben. Damit scheinen Männer mehr LTW (mTK) zu trinken als Frauen. Statistisch lässt sich dies jedoch nicht signifikant bestätigen.
- 43% der Probanden trinken 0,15L unabgekochtes LTW, 18% um 0,5L, 22% zwischen 1L und 1,5L pro Tag. Im Durchschnitt werden 0,58 L LTW (oTK) getrunken.
- Die Kategorie > 1,5L LTW (oTK) wird von 10% der Männer und 3% der Frauen zwischen 36-55 Jahren angegeben. Damit scheinen Männer auch mehr LTW (oTK) zu trinken als Frauen. Statistisch lässt sich dies jedoch ebenfalls nicht signifikant bestätigen.
- Die Nichtberufstätigen zusammen mit den Berufstätigen, die das Kreisgebiet nicht für ihre Beschäftigung verlassen, stellen 72% der Stichprobe. Der größte Teil der Stichprobe konsumiert demzufolge hauptsächlich Trinkwasser im Kreisgebiet.
- 34% der befragten Haushalte verwenden Wassersprudler.
- der Einsatz von Wassersprudlern ist abhängig von der Haushaltsgröße (30% in 4-Personenhaushalten, in 94% der Fälle mit 2 Kindern <18 Jahren).
- Statistisch bestehen signifikante Unterschiede in den Verteilungen des Wassersprudlereinsatzes bezogen auf die Haushaltsgröße, das Alter und die Trinkwassermengen (LTW mTK).
- Es besteht ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Anteil der Personen, die Wassersprudler einsetzen und der getrunkenen Leitungswassermenge (mTK).

- Kinder konnten als Risikogruppe abgeleitet werden. Der steigende Einsatz von Wassersprudlern in kinderreichen Familien führt zu einer höheren Exposition im Vergleich zu den Erwachsenen.

3.5 Risikocharakterisierung wasserübertragbarer Krankheitserreger

Aus den ermittelten Ergebnissen soll nun das Risiko der Bevölkerung, an einer trinkwasserbedingten Gastroenteritis zu erkranken, charakterisiert und bewertet werden. Dafür ist es zum einen notwendig die verursachenden Krankheitserreger zu identifizieren und zum anderen die Epidemiologie und Ökologie der Pathogene aufzuzeigen. Dieser Prozess der „Hazard Identification“, (Kapitel 3.2.1.) soll mit den Kenntnissen aus Dose-Response Analysen (Kapitel 3.2.2) sowie den neu erworbenen Kenntnissen der Trinkwasserexposition zu einer Charakterisierung des Infektionsrisikos der Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises zusammengeführt werden.

Dieser Prozess wird für jeden trinkwasserübertragbaren Krankheitserreger einzeln durchgeführt, da für die Erreger unterschiedliche Eigenschaften und Bedingungen zu berücksichtigen sind. Es wird eine Bewertung vor dem Hintergrund der in der Fachliteratur beschriebenen erregerspezifischen QMRA vorgenommen.

Das Spektrum der wasserübertragbaren Krankheitserreger wurde bereits in Kapitel 1.1 thematisiert. Alle im Folgenden beschriebenen Pathogene wurden und werden in Deutschland als Infektionserreger nachgewiesen und sind zum größten Teil meldepflichtig (RKI, 2000b; RKI, 2000e; RKI, 2000f; RKI, 2001; RKI, 2002). Sie haben somit auch für den Rheinisch-Bergischen Kreis große Bedeutung.

3.5.1 Trinkwasserassoziierte Bakterien

3.5.1.1 Campylobacter

Die Campylobacteriosis ist eine weltweit auftretende Zoonose und bezieht sich auf eine Gruppe von Darminfektionen, die auf gram-negative Bakterien der Gattung *Campylobacter* zurückzuführen sind. *Campylobacter* sind Bakterien, die nur unter mikroaerophilen Bedingungen wachsen. Es existieren mehrere Spezies, von denen vor allem *C. jejuni* und *C. coli* als Verursacher von Gastroenteritiden humanpathogene Bedeutung haben. Der erste Nachweis im Stuhl von Durchfallerkrankten gelang 1972. Es ist heute eine der häufigsten Ursache gastrointestinaler Infektionen in den industrialisierten Ländern. In England, Schweden und Deutschland übersteigen die gemeldeten Campylobacteriosis-Fälle die Anzahl der gemeldeten Salmonellen-Infektionen. Die Erreger verursachen 5% bis 14% der weltweit auftretenden Durchfallerkrankungen (BLASER, 1995; CHIN, 2000; MEDEMA et al., 1996; RKI, 2000f).

Eine akute Campylobacter-Enteritis ist charakterisiert durch Durchfall, Bauchkrämpfe, Fieber, Schwindel und Erbrechen. Die Zeit von einer Infektion bis zum Auftreten der ersten Symptome dauert etwa 2-5 Tage. In manchen Fällen wurde eine Inkubationszeit von bis zu 10 Tagen beobachtet. Die Dauer der Erkrankung liegt zwischen wenigen Tagen und mehreren Wochen. Viele Infektionen verlaufen ohne Symptomatik (CHIN, 2000).

MEDEMA et. al. (1996) und ROSE & GERBA (1991) quantifizierten die Wahrscheinlichkeit, an einer Infektion durch eine einzige *Campylobacter*-Zelle zu erkranken, mit $1,8 \times 10^{-2}$ bzw. 7×10^{-4} (MEDEMA et al., 1996; ROSE & GERBA, 1991). Die Variationsbreite der Infektionsdosis reicht demnach von gering bis moderat (WHO, 1996). Die differierenden Ergebnisse können auf die unterschiedliche Virulenz der untersuchten Erreger-Stämme zurückgeführt werden.

Campylobacter spp. sind in der Umwelt häufig anzutreffende Organismen, wobei das Haupterregerreservoir wildlebende Vögel und Geflügel darstellen. Auch der Darm von Schlacht- und Haustieren kann besiedelt sein. Wichtige Infektionsquellen von *Campylobacter spp.* sind daher Rohmilch und Geflügelfleisch (FEUERPFIL et al., 1997). Durch die Ausscheidung der Bakterien mit menschlichen oder tierischen Fäzes sowie durch Siedlungsabwässer können insbesondere Oberflächengewässer kontaminiert werden. In der aquatischen Umwelt können die Bakterien bei ca. 4°C einige Monate überleben. In einem kalten Grundwasserspeicher konnte eine Überlebensfähigkeit von mehreren Wochen gefunden werden (SZEWZYK et al., 2000).

Die Übertragung kann direkt auf fäkal-oralem Weg oder indirekt über kontaminierte Nahrungsmittel und Trinkwasser erfolgen. Eine direkte Übertragung kann z. B. über Kontakt zu infizierten Personen, häufig Kinder und Haustieren erfolgen. Ein häufiger indirekter Übertragungsweg ist der Verzehr von nicht durcherhitztem Geflügel- und Schweinefleisch (CHIN, 2000).

In Oberflächengewässern sind *Campylobacter* häufig nachweisbar. In einer Studie zur mikrobiellen Belastung von Trinkwassertalsperren-Zuläufen in unterschiedlichen Einzugsgebieten konnten in einem landwirtschaftlich stark genutzten Gebiet in 36% der Fließgewässerproben *Campylobacter* nachgewiesen werden (KISTEMANN et al., 1998).

Das Verhalten von *Campylobacter* während der Trinkwasseraufbereitung wurde durch FEUERPFIL et al. (1997) analysiert. *Campylobacter* konnte zum Teil auch noch nach allgemein gut wirksamen Aufbereitungstechnologien (Flockungsfiltration) nachgewiesen werden. *Campylobacter* gelten als sehr chloempfindlich und werden bei der Trinkwasseraufbereitung durch Desinfektion i. a. inaktiviert (LUND, 1996).

Dennoch gilt Trinkwasser als häufige Infektionsquelle. Der erste dokumentierte trinkwasserbürtige *Campylobacteriose*-Ausbruch trat 1978 in Bennington, Vermont, auf. 3000 Personen erkrankten an Durchfall. Ursache war durch Fehleinleitungen aus Abwassersystemen kontaminiertes Oberflächenwasser, dass ohne Filtration nur durch Chlordesinfektion aufbereitet wurde (HUNTER, 1997). Pebody et al. (1997) berichteten für den Zeitraum 1992 bis 1994 von 21 *Campylobacter*-Ausbrüchen in England und Wales. In sechs Ausbrüchen konnte als Infektionsquelle Trinkwasser nachgewiesen werden. Dabei wurden private Wasserversorgungen und nicht ausreichend chlordesinfiziertes Trinkwasser als Infektionsquelle identifiziert (PEBODY et al., 1997). In Schweden wurden zwischen 1980 und 1995 11 wasserbürtige Krankheitsausbrüche registriert, wovon bei drei größeren Ausbrüchen 1.000 bis 3.000 Menschen erkrankten. Sowohl Trinkwasser aus Grundwasser als auch aus Oberflächenspeichern war fäkal kontaminiert und erreichte aufgrund mangelhafter Aufbereitung das Leitungswasser (ANDERSSON et al., 1997).

3.5.1.2 Yersinien

Bereits 1939 wurden Yersinien als humanpathogene Erreger nachgewiesen. Ihre lebensmittel- bzw. trinkwasserübertragbare Bedeutung wurde erst Mitte der 1970iger Jahre erkannt (DOYLE, 1990).

Die Gattung *Yersinia* zählt zu den gram-negativen Enterobakterien, denen etwa 11 Spezies zugeordnet werden (FEUERPFIL et al., 1997). Die meisten *Yersinia*-Stämme sind nicht humanpathogen. Als Erreger von akuten Darminfektionen werden hauptsächlich die Spezies *Yersinia enterocolitica* und *Yersinia pseudotuberculosis* diskutiert. Das Krankheitsbild wird als Yersiniose bezeichnet und gilt derzeit nach Salmonellose und Campylobacteriose als dritthäufigste bakterielle Darminfektion (CHIN, 2000; FEUERPFIL et al., 1997). *Y. enterocolitica* tritt selten als tropische Erkrankung auf, die meisten Fälle werden aus europäischen Ländern, Kanada und den USA gemeldet.

Die Bakterien gelangen durch Ingestion in den Magen-Darm-Trakt, wo sie Ulzerationen im Dünndarm verursachen. Als Symptome der Yersiniose treten Durchfälle (in 80% der Fälle), abdominale Beschwerden, Fieber und Erbrechen auf. Die Zeit zwischen Infektion und Ausbruch von Symptomen dauert bei beiden Spezies im Durchschnitt 2 bis 7 Tage. Die Infektionsdosis wird auf 10⁹ Organismen geschätzt, sie ist jedoch bis heute nicht genau bekannt (BUTLER, 1995; WHO, 1996). Die Erreger sind weltweit verbreitet.

Die Übertragung erfolgt in erster Linie über kontaminierte Lebensmittel und Wasser. Aber auch über direkten Kontakt kann die Infektion von Mensch zu Mensch oder Tier zu Mensch übertragen werden. *Y. enterocolitica* und *Y. pseudotuberculosis* sind häufig lebensmittelbedingte Durchfallerkrankungen, die vor allem bei Kindern durch den Konsum von Rohmilch oder nicht durcherhitztem Fleisch ausgelöst werden (CHIN, 2000).

Haupterregerreservoir ist der Verdauungstrakt warmblütiger Wild- und Nutztiere sowie der Menschen. Durch Ausscheidung gelangen sie in die Umwelt und können Abwasser, Oberflächengewässer, Boden und Pflanzen kontaminieren. Verschiedene Serotypen von *Y. enterocolitica* (O3, O8 und O9) konnten in Abwässern und verschmutzten Oberflächengewässern nachgewiesen werden. Sie haben die Fähigkeit, bei niedrigen Temperaturen zu überleben. Bis zu 18 Monaten können sie bei 4°C in aquatischer Umgebung überdauern. Die lange Überlebenszeit erschwert die Auffindung von Eintragungspfadern der Erreger in die Gewässer (HUNTER, 1997; SZEWZYK et al., 2000).

In einer Studie zur mikrobiellen Belastung von Trinkwassertalsperren-Zuläufen in unterschiedlichen Einzugsgebieten konnten in einem landwirtschaftlich stark genutzten Gebiet in 54% der Fließgewässerproben Yersinien nachgewiesen werden (KISTEMANN et al., 1998). In einer Studie zum *Yersinia*-Vorkommen im Rohwasser und Verhalten in der Trinkwasseraufbereitung (FEUERPFIL et al., 1997) konnte festgestellt werden, dass die Erreger häufiger im Wasserwerk als im Rohwasser gefunden wurden. Es wurde vermutet, dass *Yersinia*-Arten ökologische Nischen, z. B. Filtersysteme, besiedeln.

LUND (1996) konnte in einer Untersuchung nachweisen, dass *Y. enterocolitica* resistenter als *E. coli* gegenüber Chlordesinfektion ist. Die Erreger können bis in das Leitungsnetz durchbrechen und finden Möglichkeiten zur Vermehrung (LUND, 1996).

Die erste durch Trinkwasser übertragene Yersiniose-Epidemie wurde 1974 in Eden/Montana beschrieben. Die Wasserversorgung eines Skiortes erfolgte aus einem nicht ausreichend desinfizierten und gefilterten Brunnen, so dass zahlreiche Gäste und

Einwohner an einer Gastroenteritis, verursacht durch *Y. enterocolitica*, erkrankten (HUNTER, 1997).

Insgesamt gibt es nur wenig gut dokumentierte Yersiniose-Ausbrüche. Die epidemiologische Signifikanz der einzelnen Yersinia-Stämme ist bisher nicht völlig geklärt (SZEWZYK et al., 2000; WHO, 1996).

3.5.1.3 Darmpathogene *Escherichia coli*-Stämme

Escherichia coli (*E. coli*) aus der Familie der Enterobacteriaceae gehören zur normalen Darmflora von Menschen und warmblütigen Tieren und treten dort in Zahlen zwischen 10^8 und 10^9 Bakterien auf. Da sie in allen Fäkalien in hoher Zahl vorkommen werden *E. coli* bei der Trinkwasserüberwachung als Indikator für fäkale Verunreinigungen eingesetzt (GLEESON & GRAY, 1997).

Im Gegensatz zu den harmlosen *E. coli* sind Variationen der Spezies von humanpathogener Bedeutung. Zu diesen humanpathogenen *Escherichia coli*-Stämmen zählen EHEC (enterohämorrhagische *E. coli*), EIEC (enteroinvasive *E. coli*), ETEC (enterotoxische *E. coli*) und EPEC (enteropathogene *E. coli*), von denen die EHEC gegenwärtig die bedeutsamsten der Erregergruppe sind. Sie verursachen ernsthafte, blutige Diarrhöen (MEAD & GRIFFIN, 1998).

EHEC gehören zum Serotyp O157:H7. Er wurde 1982 während zwei Ausbrüchen blutiger Kolitis zum ersten Mal als humanpathogene *E. coli* erkannt (MEAD & GRIFFIN, 1998). 1983 berichteten KARMALI et al. einen Zusammenhang zwischen einer Infektion mit EHEC und dem Auftreten eines hämolytisch urämisches Syndroms. Dieser als HUS bezeichnete Symptomenkomplex umfasst u. a. blutige Durchfälle, akutes Nierenversagen und Anämie, besonders bei Kindern.

Die Virulenz des Bakteriums wird durch seine Fähigkeit zur Toxinbildung charakterisiert. Die Infektionsdosis ist niedrig. Nach Aufnahme von $>10^2$ EHEC heften sich die Bakterien an die Epithelzellen des Dickdarmes, wo sie nachfolgend die Shiga-like-Toxin bezeichneten Toxine bilden. In 80% der Erkrankungen kommt es zu wässrigen Durchfällen und nur in 20% der Fälle kommt es zur Ausbildung der blutigen Durchfälle mit dem Symptomenkomplex des HUS (DOYLE, 1990; MEAD & GRIFFIN, 1998; RKI, 1996a).

Das Haupterregerreservoir der Bakterien bilden Rinderfarmen, aber auch Schafe, Ziegen, Rotwild, Pferde, Hunde, Vögel und Fliegen werden als Erregerreservoir diskutiert. Die Bakterien können in Gülle, Mist und Wassertränken überleben. Die Erreger werden vor allem durch Nahrungsmittel (z. B. Rohmilch) und Trinkwasser übertragen. Über direkten Kontakt zu infizierten Tieren oder Menschen kann auch eine Übertragung von Person zu Person stattfinden. Kleinkinder und alte Menschen haben ein hohes Erkrankungsrisiko (DOYLE, 1990).

EHEC-Infektionen werden weltweit aus über 30 Ländern berichtet. Sie gelten heute in einigen Ländern bereits nach Salmonellen und Campylobacter als dritthäufigster Verursacher bakterieller Darminfektionen. Die jährlichen Inzidenzraten betragen z. B. in Kanada, den USA und in einigen Regionen Schottlands etwa 8 pro 100.000 Einwohnern (MEAD & GRIFFIN, 1998).

Trink- und Badewasser stehen ebenfalls mit EHEC-Infektionen im Zusammenhang. Der erste dokumentierte trinkwasserbürtige EHEC-Ausbruch trat in Missouri/USA in Burdine Township auf. Ein durch Abwasser kontaminiertes öffentliches Trinkwassernetz konnte als Ursache nachgewiesen werden.

In einer Fall-Kontrollstudie, die in den USA durchgeführt wurde, konnte sowohl Trinkwasser, in diesem Fall quellwasserbürtiges Trinkwasser, als auch das Schwimmen in Seen und Teichen als Risikofaktoren für eine EHEC-Infektion identifiziert werden (SLUTSKER et al., 1998). Ein epidemischer Ausbruch von *Escherichia coli* O157:H7-Infektionen konnte 1990 in Tarves (Großbritannien) auf den Konsum von Trinkwasser zurückgeführt werden, dass aus einem kontaminierten Oberflächenreservoir stammte. Wasserbedingte Infektionen und Ausbrüche von EHEC Infektionen sind meistens auf nicht chloriertes Trink- und Badewasser zurückzuführen (MEAD & GRIFFIN, 1998).

3.5.2 Wasserassoziierte Viruserkrankungen

Virale Gastroenteritiden sind eine häufige Ursache von Krankheit und Tod weltweit. Etwa 3 bis 5 Millionen Menschen sterben jährlich in Asien, Afrika und Lateinamerika als Folge viraler Magendarminfektionen. Zu den wasserübertragbaren Viren zählen Hepatitis A, Rotaviren, Adenoviren, Caliciviren (Norwalk-like-Viren), Astroviren und Polioviren. Große trinkwasserbürtige Krankheitsausbrüche aufgrund von Viren treten meistens im Zusammenhang mit massiven Verschmutzungen des Rohwassers durch Siedlungsabwässer auf, bei der die herkömmlichen Trinkwasseraufbereitungsmethoden versagen (GLEESON & GRAY, 1997).

3.5.2.1 Rotaviren

Unter den wasserbürtigen Virus-Gastroenteritiden haben Rotaviren die höchste Infektiosität. 1973 wurden sie als humanpathogene Erreger identifiziert. Sowohl in entwickelten als auch in den sich entwickelnden Ländern sind vor allem Kinder betroffen. Es wird geschätzt, dass 90% aller Kinder bis zum Ende ihres dritten Lebensjahres eine Rotavirus-Infektion durchgemacht haben (CUBITT, 1991; HUNTER, 1997; OFFIT & CLARK, 1995).

Aufgrund der Morphologie, der chemischen Zusammensetzung und des Replikationsverhaltens gehören die Rotaviren zur Gattung der Reoviridae. Die Darmviren werden serologisch in sechs Untergruppen unterteilt, von denen drei Gruppen (Gruppe A, B und C) sowohl Menschen als auch Tiere infizieren. Die Gruppe A der Rotaviren verursacht vor allem bei Kleinkindern gastrointestinale Infektionen, während Gruppe B häufiger bei Erwachsenen beobachtet wird (GERBA et al., 1996b).

Nach der Ingestion kolonisieren die Rotaviren in den Epithelzellen des Dünndarms und lösen Durchfälle aus. In einer Studie mit freiwilligen, gesunden Probanden wurde eine Erkrankungswahrscheinlichkeit durch einen Organismus von $3,1 \times 10^{-1}$ ermittelt. Die Dosis für eine einprozentige Wahrscheinlichkeit einer Infektion in der Bevölkerung wurde mit 0,03 Organismen berechnet, was eine hohe Infektiosität des Erregers indiziert (ROSE & GERBA, 1991). In einer Studie zur Gesundheitsgefährdung durch Badewasser wurden Konzentrationen von Rotaviren zwischen 0,24 bis 29 Organismen pro Liter Wasser mit einer beobachteten Erkrankungswahrscheinlichkeit von 10^{-1} bis 10^{-2} bei nur einmaligem Baden gefunden (GERBA et al., 1996b).

Die Inkubationszeit beträgt ca. 24 Stunden. Die Krankheit tritt sehr abrupt mit Fieber, massiven Durchfällen und Erbrechen auf und dauert 5-8 Tage. Bei Kindern und alten Menschen kann es durch Dehydratation zu ernsthaften Komplikationen bis hin zum Tod führen. Während einer Rotaviren-Gastroenteritis werden bis zu 10^{10} infektiöse Partikel per Gramm Stuhl ausgeschieden. Nach Abklingen der Symptome können noch bis zu 4

Wochen Erreger ausgeschieden werden. Erwachsene entwickeln häufig ein schwächeres oder asymptomatisches klinisches Erscheinungsbild (OFFIT & CLARK, 1995).

Die Übertragung erfolgt hauptsächlich über Ingestion der Viren in den Magen-Darm-Trakt. In Einzelfällen wird auch die Aufnahme über die Atemwege nicht ausgeschlossen. Die üblichen Infektionswege finden durch direkten, fäkal-oralen Weg und durch Kontakt zu kontaminierten Oberflächen, z. B. im Umfeld von Kindern, statt. Für die Epidemiologie der Krankheit ist charakteristisch, dass sie jahreszeitenabhängig auftritt. Die höchste Infektionsrate findet sich in den gemäßigten Breiten im Winter und frühen Frühjahr (GERBA et al., 1996b).

Das Vorkommen der Erreger in der Umwelt reflektiert das Auftreten und die Verbreitung fäkaler Verunreinigungen durch den Menschen. Rotaviren treten vor allem in Abwässern, aber auch in Fließgewässern auf (HUNTER, 1997). 1981 wurden zum ersten Mal Rotaviren in Abwässern identifiziert. Die Konzentration der Krankheitserreger in unbehandelten Siedlungsabwässern wird von 100 bis zu 90.700 Partikel pro 1 Liter angegeben. In Oberflächengewässern können Rotaviren mit durchschnittlichen Konzentrationen von 0,66 bis 29 pro 1 Liter weltweit nachgewiesen werden. Als Kontaminationsquelle gelten hauptsächlich Abwassereinträge. In Badegewässern stellen auch infizierte Schwimmer/innen mögliche Infektionsquellen dar. Wie die meisten Darmviren (z. B. Polioviren) überleben Rotaviren, abhängig von den Umweltbedingungen, Tage bis Wochen im Wasser. Im Trinkwasser konnte eine Überlebensfähigkeit von mehr als 64 Tagen nachgewiesen werden (GERBA et al., 1996b).

GERBA et al. (1996) berichten für den Zeitraum 1977 bis 1989 über neun dokumentierte Rotavirus-bedingte Ausbrüche, die auf fäkal kontaminiertes Trinkwasser und auf ungenügende Aufbereitung zurückzuführen waren. Charakteristisch für Rotavirus-Erkrankungen ist die hohe „Attack Rate“ bei Erwachsenen. Bei einem Ausbruch in Vail, Californien, lag die Attack Rate bei 43,8%. Dabei fand man einen direkten Zusammenhang zwischen der Menge des getrunkenen Wassers und der Infektionsrate.

3.5.2.2 Norwalk-Viren und Norwalk-like-Viren

Neben den Rotaviren sind Norwalk und Norwalk-like Viren eine häufige Ursache viraler Gastroenteritiden. Norwalk-Viren gehören zu der Familie der Caliciviridae. Eine Anzahl weiterer Norwalk-like Viren wurden nachgewiesen, die als „small round-structured viruses“ (SRSV) beschrieben werden. Human-pathogene Caliciviren (inclusive Norwalk und Norwalk-like Viren) sind weltweit verbreitete Erreger, die in allen Altersgruppen Krankheiten verursachen.

Die Inkubationszeit einer Norwalk-Gastroenteritis variiert zwischen wenigen Stunden und einem Tag. Die Erkrankung beginnt häufig abrupt mit Erbrechen und Durchfällen und dauert etwa zwei Tage. Erbrechen ist in diesem Fall das Leitsymptom. Im Allgemeinen verläuft die Gastroenteritis selbstlimitierend ohne spezielle Behandlung (HUNTER, 1997).

Die Übertragung findet vorwiegend fäkal-oral statt. Luftgetragene Infektionen sind jedoch ebenfalls bekannt. Bisher ist als Reservoir des Erregers nur der menschliche Organismus bekannt. Viele Ausbrüche wurden im Zusammenhang mit verseuchten Lebensmitteln, Muscheln und Trinkwasser beschrieben. Aufgrund der hohen Infektiosität des Virus ist auch die direkte Übertragung von Mensch zu Mensch von großer Bedeutung.

Eine Minimaldosis von 10 bis 100 Partikeln wird als ausreichend angesehen, hohe Infektionsraten zu verursachen, insbesondere in überfüllten Einrichtungen (RKI 1998).

Innerhalb einer Studie zur Auffindung von SRSV in Wasser und Umweltmaterialien konnten in küstennahen Badegewässern, die durch Siedlungsabwässer verschmutzt waren, Norwalk und Norwalk-like-Viren nachgewiesen werden (WYN-JONES et al., 2000).

Der erste trinkwasserbürtige Ausbruch wurde 1974 in einer Grundschule in Washington/USA dokumentiert. Die Trinkwasserversorgung der Schule beruhte auf einer Quelfassung, deren Wasser in einen Tank gepumpt wurde. Durch den Rückfluss eines fäkal-kontaminierten Untergrund-Drains erreichte verschmutztes Wasser das Reservoir. Fäkal-verschmutzte Schwimmbäder sind ebenso eine häufige Ursache des epidemischen Auftretens von Norwalk und Norwalk-like-Virus-Gastroenteritiden (HUNTER, 1997).

3.5.2.3 Adenoviren

Adenoviren stehen mit zahlreichen Krankheiten bei Menschen in Verbindung. Es existieren 48 verschiedene serologische Typen, die Infektionen der Augen und der Atemwege, Lungenentzündung, akute und chronische Appendizitis sowie Gastroenteritiden verursachen. Die Serotypen 40 und 41 lösen akute Durchfallerkrankungen bei Menschen aus.

Adenoviren werden nach den Rotaviren als zweithäufigste virale Ursache der Durchfallerkrankungen bei Kindern betrachtet. 4% bis 12% der Diarrhöen bei Säuglingen und Kindern unter 4 Jahren werden durch das Virus ausgelöst. Im Alter von 10 Jahren haben die meisten Kinder eine Adenovirus-Infektion durchlaufen. Die Erkrankung verläuft in der Regel selbstlimitierend mit einer Inkubationszeit zwischen 4 und 24 Tagen. Die Krankheit dauert durchschnittlich 10 Tage, in denen Diarrhöe und respiratorische Symptome, selten Fieber, Erbrechen und Dehydratation auftreten. Lebensbedrohliche Verläufe treten bei immungeschwächten Personen auf (CRABTREE et al., 1997; HUNTER, 1997).

Adenovirus-Infektionen sind weltweit verbreitet. Der Mensch stellt das einzige Reservoir der humanpathogenen Adenovirus-Stämme. Die Übertragung der Serotypen 40 und 41 erfolgt von Mensch zu Mensch durch Schmierinfektion, Inhalation von kontaminierten Aerosolen sowie über Lebensmittel und Trinkwasser. Akut Infizierte scheiden die Viren mit Speichel, Urin und Stuhl aus (GLEESON & GRAY, 1997).

Das tägliche Risiko einer Infektion wird mit $8,31 \times 10^{-3}$ und das Risiko zu erkranken mit $4,15 \times 10^{-3}$ angegeben, wenn ein infektiöses Agens in 100 Liter Wasser auftritt (CRABTREE et al., 1997).

Die Erreger lassen sich wie die Rotaviren überall in der Umwelt nachweisen, wo menschliche Fäkalien oder Abwässer auftreten. Die meisten wasserbedingten Adenovirus-Infektionen sind im Zusammenhang mit kontaminierten Schwimmbädern zu sehen und betreffen Augen- und Racheninfektionen. Die direkte Übertragung von Mensch zu Mensch z. B. in Umkleieräumen und Duschen ist nach (BLOCK & SCHWARTZBROD, 1989) (1989) der bedeutendste Faktor für eine Infektionsübertragung.

Nach CRABTREE et al. (1997) ist der mikrobiologische Nachweis von Adenoviren technisch immer noch sehr schwierig, so dass viele Infektionen unentdeckt bleiben.

3.5.3 Wasserassoziierte Parasiten

3.5.3.1 *Cryptosporidium parvum*

Cryptosporidien sind protozoische Parasiten der Unterklasse Coccidia. Vier verschiedene Spezies der Gattung *Cryptosporidium* sind derzeit bekannt, von denen in erster Linie *C. parvum* medizinische Bedeutung hat. Der Parasit ist seit 1976 als humanpathogener Parasit bekannt. Vor 1982 wurde jedoch nur selten von Erkrankungsfällen berichtet. In den 1980er Jahren stieg die Cryptosporidiosis-Erkrankungsrate kontinuierlich an und wurde vor allem bei AIDS-Patienten nachgewiesen (JURANEK et al., 1995).

Der einzellige Darmparasit (Oocysten), der schwere Durchfallerkrankungen verursachen kann, gelangt oral in den Magen-Darm-Trakt. Der Lebenszyklus des Parasiten verläuft vollständig in einem Wirtsorganismus. Nach Aufnahme der infektiösen Oocysten treten nach etwa 7 Tagen die ersten Symptome auf. Es wurden auch Inkubationszeiten von 5 bis 28 Tagen beobachtet. Häufig verläuft die Erkrankung unentdeckt, wobei der Infizierte eine Infektionsquelle für andere Personen ist. Durchfälle, Bauchschmerzen, Schwindel und Fieber sind charakteristische Zeichen der Krankheit. Die Dauer und Schwere der Erkrankung ist sehr stark abhängig von der Immunabwehr des infizierten Organismus. Bei AIDS-Patienten kann die Cryptosporidiose chronisch verlaufen und zum Tod führen (HAAS et al., 1999).

Die Übertragung kann direkt (zu Hause, in Kindergärten, Altenheimen u.ä.) oder indirekt über Badegewässer, Lebensmittel und Trinkwasser stattfinden. Die Infektionsdosis wird als sehr niedrig eingeschätzt. Theoretisch kann eine lebensfähige Oocyste eine Infektion verursachen. In einer Studie mit gesunden, erwachsenen Probanden ergab eine Infektionsdosis von 30 Oocysten eine Infektionsrate von 20%. Über ein Dose-Response Modell ermittelten HAAS et al. (1996) eine Infektionswahrscheinlichkeit von 0,00467 (HAAS et al., 1996).

In jüngster Zeit wurden unterschiedliche Isolate von *Cryptosporidium parvum* identifiziert, deren Pathogenität unterschiedlich ausgeprägt ist. In Versuchen mit Freiwilligen konnte ermittelt werden, dass die Infektionsdosis für *C. parvum* zwischen unter 10 Oocysten und über 1.500 Oocysten liegen kann. Das potenzielle Gesundheitsrisiko ist daher schwierig zu bestimmen und erschwert die Ermittlung von „akzeptablen“ Konzentrationen im Trinkwasser (FAIRLEY et al., 1999).

In einigen Studien zu Cryptosporidiose bei Kindern wurde festgestellt, dass der Magen-Darmtrakt bei Kleinkindern nicht anfälliger gegenüber *C. parvum* ist als bei Erwachsenen. Bei Kindern unter 5 Jahren verliefen die meisten Fälle asymptomatisch. Es wird vermutet, dass nur eine geringfügig höhere Wahrscheinlichkeit einer Infektion gegenüber Erwachsenen besteht (TEUNIS & HAVELAAR, 1999).

Die infektiösen Oocysten stammen von infiziertem Fäzes von Mensch und Warmblütern. Etwa 40 Säugetierarten sind als Erregerreservoir bekannt, zu denen Haus- und Nutztiere zählen (Rinder, Schweine, Hunde, Katzen) sowie Wildtiere. Insbesondere Kälber stellen ein wichtiges Infektionsreservoir dar. Sie können bis zu 7×10^6 Oocysten per Gramm Kot ausscheiden. Mit Siedlungsabwässern und Abschwemmung landwirtschaftlich genutzter Gebiete gelangen die Oocysten in die Oberflächengewässer, wo sie Wochen und Monate überdauern können. Sowohl in unbehandeltem als auch in

behandeltem Abwasser sind Cryptosporidien nachweisbar. In Grundwasser sind die Parasiten selten zu finden. Nach neueren Studien lassen sich in etwa 65% bis 97% der Oberflächengewässer die Erreger nachweisen (JURANEK et al., 1995; KARANIS & SEITZ, 1996; KISTEMANN et al., 1998; TEUNIS et al., 1997).

Trinkwasser, das aus mit menschlichen oder tierischen Fäkalien verunreinigtem Oberflächenwasser gewonnen wurde, stellt einen wesentlichen Übertragungsweg dar. Die im Rohwasser nachgewiesenen Cryptosporidien können bei herkömmlichen Aufbereitungsmethoden häufig im Trinkwasser wieder gefunden werden. Die gesetzlich vorgeschriebenen Aufbereitungsstandards für Trinkwasser reichen oftmals nicht aus, das Übertragungsrisiko zu minimieren, da sich Cryptosporidien durch eine hohe Tenazität, eine niedrige Infektionsdosis und eine hohe Desinfektionsmittelresistenz auszeichnen (EXNER & GORNIK, 1991).

Aufgrund der Signifikanz des Erregers für die menschliche Gesundheit wurde in Großbritannien ein Gesetz erlassen, welches die tägliche Überwachung von *C. parvum* vorschreibt. Es wurde ein Maximalwert von 10 Oozysten pro 100 Liter Trinkwasser festgelegt. Außerdem gibt es zusätzliche Auflagen für Trinkwasseraufbereitungsanlagen, die keine Membranfiltration durchführen. Die Abgabe von Trinkwasser mit >10 Oocysten/100L stellt eine Straftat dar (FAIRLEY et al., 1999).

Die Bedeutung als trinkwasserübertragbarer Parasit wird durch die Dokumentation zahlreicher wasserbedingter Ausbrüche bestätigt. In Großbritannien und in den USA ereigneten sich 1983 und 1984 die ersten dokumentierten trinkwasserbedingten Krankheitsausbrüche. Bis 1995 kam es in diesen beiden Ländern zu insgesamt 17 erfassten Epidemien mit teilweise sehr hohen Erkrankungszahlen. Der größte bisher festgestellte Ausbruch fand 1993 in Milwaukee statt, bei dem ca. 400.000 Menschen erkrankten (KRAMER et al., 2001; MACKENZIE et al., 1994).

3.5.3.2 *Giardia lamblia*

Die Gattung *Giardia* ist den protozoischen Flagellaten zu zuordnen, wobei als einzige Spezies *Giardia lamblia* neben vielen Säugetierarten auch bei Menschen im Dünndarmbereich angesiedelt ist. Der Parasit gilt als häufigste parasitäre Ursache für Durchfallerkrankungen und als weltweit häufigster Darmparasit beim Menschen.

Der Parasit wurde 1960 als humanpathogen erkannt. Eine Infektion tritt nach Ingestion der Zysten und deren Kolonisation als Trophozoiten im Dünndarm auf. Die Parasiten sind fakultativ pathogen, d. h. es kann auch zu einer symptomlosen Passage durch den Darm kommen. Akute und chronische Verläufe von Giardiasis-Fällen sind häufig. Die Inkubationszeit liegt zwischen 3 bis 19 Tagen. Das Auftreten der Symptome variiert zwischen 1 bis 75 Tage. Leitsymptome der Giardiasis sind Durchfall, Schwäche, Gewichtsabnahme und Bauchschmerzen. In der Regel heilt sie unbehandelt nach 2-4 Wochen ab (GLEESON & GRAY, 1997; MANDELL et al., 1995; RIVM, 2000).

Die Infektionsdosis ist sehr gering. Es wird vermutet, dass schon die Aufnahme von 3-10 Zysten eine Infektion auslösen kann. Im Mittel liegt die individuelle Infektionswahrscheinlichkeit mit *Giardia lamblia* für gesunde Erwachsene bei etwa 5×10^{-4} (ROSE & BOTZENHART, 1990). Die Infektionsdosis von *C. parvum* scheint damit 5-mal geringer zu sein als für *G. lamblia*. Aufgrund der Tatsache, dass *G. lamblia* in der Umwelt häufiger und weiter verbreitet ist als *C. parvum*, ist die individuelle Infektionswahrscheinlichkeit nur

geringfügig niedriger (TEUNIS et al., 1997). Die Prävalenz der Giardia-Infektionen liegt in den entwickelten Ländern zwischen 2% und 7% (KARANIS & SEITZ, 1996).

Der Verbreitung von Giardia dienen Zysten als widerstandsfähige Dauerform der Geißeltierchen. Die Zysten werden mit dem infizierten Fäzes ausgeschieden. Etwa 40 verschiedene Tierarten sind bisher als Wirtstiere bekannt, zu denen Meerschweinchen, Hunde, Biber, Rotwild und Schafe zählen. Die Parasiten gelangen über die Einleitung von Siedlungsabwässern und durch Einträge aus der Landwirtschaft und Tierhaltung in die Oberflächengewässer. Aber auch wildlebende Tiere in Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren (Biber, Bismarcken, Rotwild) belasten die Zuflüsse mit mikrobiologischen Organismen (KISTEMANN et al., 1998; SCHLEUPEN, 1996).

Die Dauerstadien können lange Perioden in der aquatischen Umwelt überleben, ohne ihre Infektiosität zu verlieren. Die Übertragung erfolgt direkt fäkal-oral oder über den Verzehr von kontaminierten Lebensmitteln und Trinkwasser (GIBSON et al., 1998; ROSE & BOTZENHART, 1990).

Für die Übertragung von Giardien spielt Wasser eine wesentliche Rolle. Wie *Cryptosporidium parvum* zeichnet sich *Giardia lamblia* durch eine hohe Chlorresistenz und Tenazität aus. Die meisten Krankheitsausbrüche sind daher auf unzureichende Desinfektion und mangelnde Filtration bei der Trinkwasseraufbereitung zurückzuführen.

Der erste trinkwasserbürtige Giardiasis-Ausbruch wurde in Aspen/Colorado 1965-1966 dokumentiert. 11% von 1000 Skifahrern/Innen erkrankten aufgrund verseuchten Trinkwassers. Heute werden in den USA 60% aller Giardiasis-Fälle auf den Kontakt mit kontaminiertem Wasser zurückgeführt (ROSE & BOTZENHART, 1990).

3.6 Bewertung des Infektionsrisikos im Rheinisch-Bergischen Kreis

Zur Abschätzung der Gesundheitsgefährdungen durch verunreinigtes Trinkwassers wurde auf Basis von Ergebnissen des QRMA für einige wasserbürtige Infektionserreger das Infektionsrisiko dargestellt. Aufgrund der Ergebnisse aus der Umfrage, die einen steigenden Trinkwasserkonsum zeigen, besteht auch für die Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises prinzipiell ein Risikopotenzial, an GI zu erkranken.

Zwar minimiert eine adäquate Trinkwasseraufbereitung das Infektionsrisiko beträchtlich, jedoch muss mit der Möglichkeit eines Störfalls in der Trinkwasserversorgung aufgrund von Pathogenen im Trinkwasser immer gerechnet werden (GALE 1996). Die meisten in der Literatur bekannt gewordenen trinkwasserbedingten Ausbrüche sind in Zusammenhang mit Störfällen während der Trinkwasseraufbereitung und durch Fehleinleitung von Abwasser berichtet worden (HUNTER 1997).

Die Ergebnisse aus der Umfrage zeigen die Exposition der Bevölkerung gegenüber Trinkwasser aus dem Wasserhahn. Alle Bürger nehmen mehr oder weniger täglich Leitungswasser in abgekochtem und unabgekochtem Zustand zu sich. In bestimmten Bevölkerungsgruppen des Rheinisch-Bergischen-Kreises ist jedoch der Trinkwasserkonsum in Abhängigkeit von der Verwendung von Wassersprudlern in den letzten Jahren beträchtlich gestiegen. Mit steigender Exposition muss auch mit einem steigenden Infektionsrisiko gerechnet werden.

Das individuelle Infektionsrisiko lässt sich jedoch nur in eingeschränktem Maße bestimmen. Nicht nur die Wirtsorganismen sind unterschiedlich anfällig gegenüber der Einnistung von Krankheitserregern im Magen-Darm-Trakt, auch die unterschiedlichen Stämme und Serotypen eines Pathogens können in ihren Virulenzeigenschaften sehr unterschiedlich sein und entziehen sich damit genaueren Dose-Response-Analysen, die als Grundlagen zur Risikocharakterisierung herangezogen werden (FAIRLEY et al., 1999).

Untersuchungen über Exposition und Dose-Response bei Kindern stehen für trinkwasserübertragbare Krankheitserreger bisher nicht zur Verfügung. Die Ermittlung von Gesundheitsrisiken legen daher die Erfahrungen und Ergebnisse bei Erwachsenen zugrunde. Bei Risikoeinschätzungen wird davon ausgegangen, dass Kinder in etwa die gleiche Menge unabgekochtes Trinkwasser pro Tag trinken wie Erwachsene. Dies könnte nach TEUNIS & HAVELAAR (1999) den „worst-case“ darstellen.

In vielen Studien zur Abschätzung von Risiken in Trinkwasser wurde das Gesundheitsrisiko verschiedener Pathogene für den gesamten Trinkwasserkonsum kalkuliert. Dadurch wird nach SHIMOKURA (1998) das Infektionsrisiko überschätzt, da der Anteil der Krankheitserreger, die durch das Abkochen inaktiviert werden, nicht einkalkuliert ist. Auf der anderen Seite werden bei Zubereiten von Tee und Kaffee mit einer Kaffeemaschine häufig keine Temperaturen um den Siedepunkt erreicht, so das angenommen werden kann, dass bei dieser Zubereitungsform nicht alle Keime inaktiviert oder abgetötet werden.

Es ist davon auszugehen, dass eine 100% effiziente Trinkwasseraufbereitung nicht existiert, so das jederzeit mit Krankheitserregern im Versorgungsnetz gerechnet werden muss (GALE, 1996). Ebenso wird in Studien zur quantitativen Ermittlung von Risiken von einer gleichmäßigen Verteilung der Krankheitserreger im Roh- und Trinkwasser ausgegangen. Aufgrund besonderer Ereignisse in den Einzugsgebieten von Rohwasserentnahmestellen, wie z. B. Starkniederschläge, oder Mängeln bei der Trinkwasseraufbereitung kann es zu einem plötzlichen Anstieg der Konzentration von Krankheitserregern kommen. Da manche der wasserübertragbaren Pathogene eine sehr niedrige Infektionsdosis haben, wie z. B. Cryptosporidien oder Giardien, reichen dann wenige Schlucke kontaminierten Wassers zur Auslösung einer Infektion aus (GALE, 1996; HAAS & ROSE, 1995; KISTEMANN et al., 2002a; KISTEMANN et al., 1998).

Die Risikocharakterisierung für den Rheinisch-Bergischen Kreis entspricht daher den in zahlreichen Publikationen dargestellten Erfahrungen und Ergebnissen aus Studien zum Infektionsrisiko einzelner wasserbürtiger Pathogene.

4 Aufbau eines fachgeographischen Informationssystems zur Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen im RBK

4.1 Die Surveillance von Infektionskrankheiten in Deutschland

Im Zuge der Umorganisation des Robert Koch Instituts 1994 zu einem Bundesinstitut für Infektionskrankheiten und nicht übertragbare Krankheiten wurde der Fachbereich Infektionsepidemiologie eingerichtet. Als zentrale Aufgabe des Fachbereichs wurde der Aufbau eines infektionsepidemiologischen Surveillance-Systems für Deutschland formuliert. Das Ziel war, eine Grundlage zu schaffen, auf deren Basis effektive Bekämpfungsstrategien und -maßnahmen entwickelt und die Evaluierung von Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden können.

Laut RKI begann in Deutschland erst mit diesen Bestrebungen die Entwicklung einer aussagekräftigen infektionsepidemiologischen Surveillance. Das RKI bezeichnete die Situation der Infektionserfassung in Deutschland zum Zeitpunkt der Umorganisation der zuständigen Behörden als „relativ desolat“ (RKI, 1996a, 3). In den folgenden Jahren wurden Konzepte entwickelt, die in die Novellierung des Bundesseuchengesetzes (BSeuchG) einfließen.

Die Surveillance wurde im steigenden Bewusstsein des auch in Deutschland steten Gefährdungspotenzials übertragbarer Krankheiten reorganisiert. Folgende Risikofaktoren wurden dabei besonders berücksichtigt (RKI 2001a):

- Hohes Reiseaufkommen (privat/geschäftlich) in/aus Gebieten mit endemischen Risiken und damit die Zunahme importierter Infektionskrankheiten,
- armutskorrelierte Infektionskrankheiten aufgrund der Zunahme von Armut und sozio-ökonomischer Ausgrenzung,
- Entwicklung antibiotischer Resistenzen,
- Infektionskrankheiten treten akut auf und können ebenso schnell wieder verschwinden, das Vorsorgesystem muss deshalb auf die epidemische Schnelllebigkeit ausgerichtet werden.

Mit der Einführung des Gesetzes zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz IfSG) im Januar 2001, welches das BSeuchG ablöste, wurde das Surveillance-System für meldepflichtige Krankheiten in Deutschland auf eine neue gesetzliche Basis gestellt (RKI 2000a). Die charakteristischen Merkmale des neuen Gesetzes lassen sich im Wesentlichen durch sechs verschiedene Bausteine zusammenfassen.

Der erste Baustein umfasst die Meldung von bestimmten Krankheiten gemäß §6 des IfSG. Innerhalb von 24 Stunden hat ein behandelnder Arzt (oder eine andere meldepflichtige Person) einen Krankheitsverdacht oder nachgewiesenen Fall an das zuständige Gesundheitsamt zu melden. Innerhalb von drei Werktagen muss der Fall durch das Gesundheitsamt an die zuständige oberste Landesbehörde weitergeleitet werden. Innerhalb einer Woche geben die Landesbehörden die Meldungen und Analysen an das RKI weiter.

Die zweite Meldeschiene startet bei den nachweisführenden Labors. Etwa 50 Krankheiten sind nach Erregernachweis meldepflichtig. Die Labors sind dazu verpflichtet, die nachgewiesenen Erreger dem zuständigen Gesundheitsamt zu melden. Die Daten werden wiederum über die Landesbehörden an das RKI weitergeleitet.

Der dritte Surveillance-Baustein basiert auf §7 Abs. 3. Dies betrifft Krankheiten, die nicht namentlich registriert werden. Das nachweisführende Labor meldet z. B. einen HIV-Fall direkt an das RKI. Die Meldung muss innerhalb von zwei Wochen erfolgen.

Eine vierte wichtige Surveillance-Komponente ist die Durchführung von Sentinelerhebungen gemäß §13 des IfSG. Dabei handelt es sich um ein aktives Erhebungsverfahren, das jeweils eine nach epidemiologischen Gesichtspunkten qualifizierte Auswahl von freiwilligen TeilnehmerInnen beinhaltet. Die TeilnehmerInnen berichten über eine Auswahl nachweispflichtiger Krankheiten im Rahmen ihrer normalen Tätigkeit direkt an das RKI. Durch die kurzen Wege können schneller Interventionsmaßnahmen eingeleitet werden.

Die Erhebung des Impfstatus von Schulanfängern ist der fünfte Surveillance-Baustein. Nach § 34 Abs. 11 ist im Rahmen der Schuleingangsuntersuchungen der Impfstatus der Kinder zu erfassen und in anonymisierter Form über die obersten Landesbehörden an das RKI zu senden.

Die sechste Surveillance-Komponente bezieht sich auf die Schaffung eines EU-Netzwerkes. Die EU-Mitgliedsstaaten sind dazu verpflichtet, an europaweiten Surveillance-Netzwerken teilzunehmen und über Maßnahmen zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten in den Mitgliedsstaaten zu berichten. Die Entwicklung eines EU-weiten Frühwarnsystems zur Erkennung von epidemiologischen Besonderheiten steht noch am Anfang (RKI, 2000c). Darüber hinaus wird Deutschland auch in globale Netzwerke eingebunden, die v. a. von Seiten der WHO angestrebt werden (Abbildung 2).

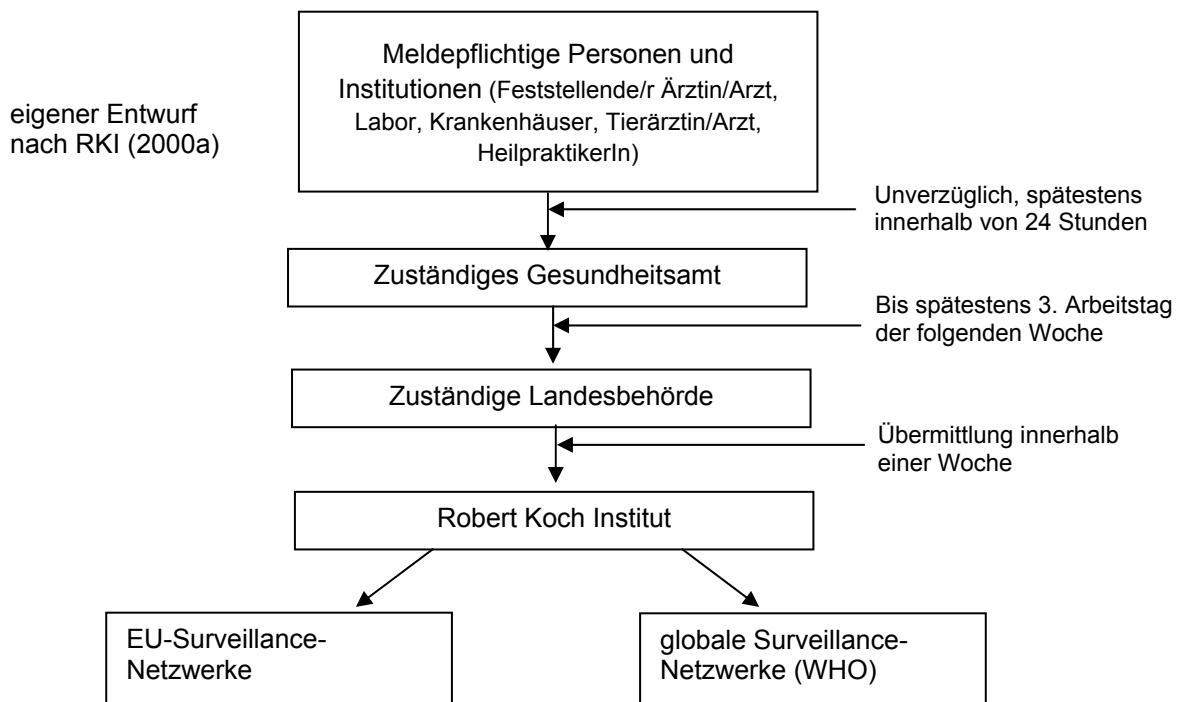


Abbildung 2: Meldeschema des neuen IfSG

4.2 Die Situation der Überwachung trinkwasserbürtiger Infektionskrankheiten in Deutschland

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden in Deutschland seit mehr als 20 Jahren keine trink- oder badewasserbedingten Ausbrüche dokumentiert. Dies steht in einem krassem Gegensatz zu immer wieder gemeldeten Ausbrüchen aus Ländern mit ähnlichen Standards in der Trinkwasserversorgung: England und Wales (PEBODY et al., 1997), Schweden (ANDERSSON, 1991), Dänemark, (LAURSEN et al., 1994), USA (BARWICK et al., 2000; LEVY et al., 1998), Kanada (PAYMENT & HUNTER, 2001). In diesen Ländern ist die Surveillance wasserbedingter Erkrankungsfälle gesetzlich vorgeschrieben. Die Basis solcher Überwachungssysteme ist die assoziierte Auswertung epidemiologischer Daten mit Daten zur Trink- bzw. Badewasserqualität (FURTADO et al., 1998; TILLET et al., 1998).

In Deutschland gibt es derzeit keine gesetzlichen Vorgaben und verbindlichen Regelungen zur Erfassung trinkwasserbedingter Infektionen (EXNER et al., 2001). Jedoch obliegt die Surveillance meldepflichtiger Infektionskrankheiten als auch die Überwachung der Trinkwasserqualität den Unteren und Oberen Gesundheitsbehörden (BALES & BAUMANN, 2001).

Es ist bekannt, dass gastrointestinale Infektionen durchaus trinkwasserbedingt auftreten können. Von Seiten der Überwachungsbehörden in Deutschland wird dieser Tatsache jedoch kaum Beachtung geschenkt. Im Zusammenhang mit der Erfassung der übrigen Formen der Enteritis infectiosa weist das RKI nur auf folgende epidemiologischen Besonderheiten hin: „Die übrigen Formen der Enteritis infectiosa sind Erkrankungen, die überwiegend Kinder betreffen. Sie werden von einer Vielzahl unterschiedlicher Erreger verursacht, von denen einige (.....) vorwiegend durch Lebensmittel, einige aber auch (....) direkt von Mensch zu Mensch übertragen werden können. Je nach Übertragungsmechanismus sind unterschiedliche Präventiv- und Bekämpfungsmaßnahmen notwendig.“ (RKI, 2000f, 185). Lediglich für die Überwachung von Rotaviren-Infektionen wird daraufhin gewiesen, dass sie auch durch „kontaminiertes Wasser“ übertragen werden können (RKI, 2000f, 186).

Diese Sichtweise führt dazu, dass die räumliche und zeitliche Häufung gastrointestinaler Infektionen nicht im Zusammenhang mit Trinkwasser wahrgenommen wird und eine Auswertung epidemiologischer Daten im Vergleich zu Ergebnissen aus der Trinkwasserüberwachung selten vorgenommen wird.

Ein Informationsverlust tritt bereits bei den niedergelassenen Ärzten auf, die häufig nicht ausreichend über die Möglichkeit trinkwasserübertragbarer Krankheiten informiert sind. Auch ist es schwierig Häufungen festzustellen, da Patienten in unterschiedlichen Bezirken ärztliche Hilfe suchen. Sollten also an einem bestimmten Ort und in einer bestimmten Zeit mehrere Patienten an Durchfall erkranken, so bleibt dies i. d. R. unerkannt.

Die Weiterleitung einer erfassten Infektion durch die lokalen Gesundheitsbehörden erfolgt je nach Falldefinition an die übergeordneten Behörden. Jedoch ist eine Rückmeldung von dieser Seite nicht vorgesehen (RKI, 2000d), so dass für die Verantwortlichen auf lokaler Ebene regionale Auffälligkeiten schwer zu erkennen und zu beurteilen sind.

Für die Überwachung von trinkwasserbürtigen Infektionskrankheiten ist eine enge Zusammenarbeit von Gesundheitsämtern, Umweltämtern und WVU vonnöten. Um einen mikrobiologischen Zusammenhang nachweisen zu können, müssen alle Untersuchungen möglichst zeitnah durchgeführt werden. Deshalb ist es sinnvoll, interdisziplinäre Teams zu gründen, die im Falle von Störfällen unverzüglich ermitteln können. In Deutschland gibt es bislang keine interdisziplinären Fachgruppen für feldepidemiologische Untersuchungen, wie sie beispielsweise in Schweden und den USA etabliert wurden (ANDERSSON & BOHAN, 2001).

Die Surveillance trinkwasserbürtiger GI in Deutschland ist gegenwärtig defizitär, da keine klaren und verantwortlichen Untersuchungsstrukturen vorhanden sind. Ohne systematische Erfassung kann eine Bewertung der epidemiologischen Situation trink- und badewasserbedingter Erkrankungen nicht vorgenommen werden. Deshalb besteht gerade in Deutschland diesbezüglich einiger Forschungsbedarf (EXNER et al., 2001).

4.3 GIS-Anwendung in der Trinkwasserepidemiologie

Im Ressourcenmanagement von Trinkwasser und in der Überwachung der Trinkwasserversorgungsstrukturen sind GIS-Anwendungen häufig anzutreffen (ERDOGAN, 2000; NWW, 1999; SWEENEY, 1998; SWEENEY, 1999).

North West Water (NWW), eines der größten Wasserversorgungsunternehmen in England und Wales, setzt GIS neben der Überwachung des Leitungsnetzes und dem Management des Einzugsgebietes auch für Untersuchungen von Störfällen und Krankheitsausbrüchen ein. Auf Grundlage eines GIS wurde ein „Event Based Reasoning System“ entwickelt, welches einen Störfall feststellt, wenn eine bestimmte Anzahl von Beschwerden aus einer Versorgungseinheit in einem festgelegten Zeitraum überschritten wird (NWW, 1999).

ARAL & MASLIA (1996) demonstrieren den sinnvollen Einsatz eines GIS zur Analyse der Bevölkerungs-Exposition gegenüber einer Trinkwasserkontamination mit leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen. Die Belastung wurde in einem Grundwasserspeicher festgestellt, der durch 9 Brunnen erschlossen war. Die leichtflüchtigen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen wurden über das Rohrleitungsnetz in der Untersuchungsregion verteilt. Mit verschiedenen GIS-Werkzeugen konnten die Ausdehnung der Kontamination und die exponierte Bevölkerung lokalisiert werden. Verschiedene Szenarios wurden entwickelt, die unterschiedliche hydraulische Bedingungen im Leitungsnetz sowie Modelle der Ausbreitung von chemischen Belastungen simulierten (ARAL & MASLIA, 1996).

NUCKOLS et al. (1995) führten eine epidemiologische Studie innerhalb zweier verschiedener Bevölkerungsgruppen durch, welche von zwei unterschiedlichen öffentlichen Wasserversorgungssystemen versorgt werden. Die GIS-Technologie wurde eingesetzt, um demographische sowie Gesundheitsdaten in einem System zu analysieren. Grundlage der räumlichen Analyse, die den Vergleich von Geburtsgewicht und Rückständen aus der Trinkwasserchlorung (Trihalomethan) im Leitungswasser zum Ziel hatte, ist die Straßen-Adress-Geocodierung der Häuser von Lebendgeburten. Das Programm, das die Geocodierung vornahm, wurde vom US Census Büro unter dem Namen "TIGER" (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing Resolution) zur Verfügung gestellt. Auch die demographischen Informationen wurden auf

"census block"-Ebene über das TIGER-System in das GIS-Projekt integriert. Mit statistischen Tests wurde gezeigt, dass zwischen niedrigem Geburtsgewicht und der Konzentration Anteil von Trihalomethan kein signifikanter Zusammenhang besteht, dass aber gechlortes Leitungswasser in starkem Zusammenhang mit dem Anteil von Frühgeburten steht. Nach Meinung der Autoren sind Geographische Informationssysteme "extremely useful in providing the refinements of exposed population for the epidemiological analysis" (NUCKOLS et al., 1995, 120).

Die vorgestellten trinkwasserepidemiologischen Studien beziehen sich auf die Untersuchung chemischer Parameter. Es konnte bereits aufgezeigt werden (s. Kapitel 1.4), dass GIS in der Epidemiologie von Infektionskrankheiten bereits eine wichtige Rolle spielen. Es ist folgerichtig, dass GIS-Techniken ebenso für die Einschätzung von Gesundheitsrisiken durch mikrobiell verunreinigtes Trinkwasser sinnvoll einsetzbar sind (DANGENDORF et al., 2002).

Eine Studie über den Einsatz Geographischer Informationssysteme zur Surveillance trinkwasserbedingter Erkrankungen wurde bisher nicht publiziert. CRONER et al. (1996) geht jedoch davon aus, dass GIS zukünftig einen tiefgreifenderen Einfluss auf Strategien im Public Health-Bereich haben werden, vor allem in der Surveillance, im Risk Assessment sowie in der Kontrolle und Prävention von Krankheiten (CRONER et al., 1996).

Die Anforderungen an eine effektive trinkwasserepidemiologische Surveillance ergeben sich zum einen aus den Zielen und Aufgaben der Surveillance und zum anderen aus den ökologischen und epidemiologischen Gegebenheiten der trinkwasserbürtigen Erkrankungen (HUNTER, 1997).

4.4 Anforderungen an ein Surveillance-System für trinkwasserbedingte Infektionskrankheiten

In einem Surveillance-System sind verschiedene Instrumente zur Datenerhebung und -analyse zu beachten. Die Datenerhebung kann über routinemäßig erfasste Prozess- und Meldedaten, Register, Sentinels, Surveys und Analysen der aufsuchenden Epidemiologie erfolgen (RKI, 1996b).

Unter einem Surveillance-System muss ein Netzwerk zwischen Experten aus dem Gesundheitswesen auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene für den Datenaustausch verstanden werden, welches die Kooperationsbereitschaft aller zuständigen Personen, Institutionen und Behörden voraussetzt.

Das Überwachungssystem sollte folgende Aspekte beinhalten (RKI, 1996b):

- Die Bestimmung der Häufigkeit von Infektionskrankheiten.
- Die Erkennung der Verbreitungswege.
- Die Beschreibung der gefährdeten Populationen.
- Die Untersuchung der Eigenschaften der Erreger (z. B. Virulenz, Resistenzen).
- Die Entdeckung von Ausbrüchen.
- Die Untersuchung der Populationsimmunität.
- Die fortlaufende zeitnahe Aufbereitung der Informationen und Berichterstattung.

Surveillance-Systeme müssen flexibel sein, um neuen Fragestellungen angepasst werden zu können, z. B. beim Auftreten neuer Infektionserreger. Auch die Akzeptanz des Modells bei den am Meldeprozess Beteiligten (Ärzte, Labors, Gesundheitsaufseher usw.) spielt eine wichtige Rolle. Um eine hohe Akzeptanz zu erreichen, sollte die Handhabung des Systems möglichst einfach und transparent gehalten werden. Das gilt sowohl für die Bearbeitung und Weiterleitung der Erfassungsbögen als auch für die verwendeten Software-Pakete (BUEHLER, 1998).

Surveillance-Systeme werden darüber hinaus nach ihrer Sensitivität, Repräsentanz, Zeitnähe und dem Aussagewert bewertet. Unter Sensitivität wird die Eignung eines Systems verstanden, den größtmöglichen Anteil der auftretenden Erkrankungsfälle zu erfassen. Eine Sensitivität von unter 50% bis 80% zeigt geringen Nutzen des Systems (EXNER, 1997). Eine repräsentative Surveillance setzt Kenntnisse über die betrachtete Bevölkerung (Altersstruktur), Charakteristika der geographischen Lage und des sozioökonomischen Status voraus.

Die Zeitnähe bezieht sich auf den gesamten Datenfluss beginnend bei der Erhebung der Informationen auf lokaler Ebene bis hin zur Weiterleitung an übergeordnete Behörden oder andere Institutionen. Die zeitnahe Erfassung ist besonders bei Infektionskrankheiten mit hoher Gesundheitsgefährdung notwendig, um möglichst schnell geeignete Bekämpfungsmaßnahmen einleiten zu können. Der Aussagewert eines Surveillance-Systems bezeichnet den Anteil der erfassten Patienten, die tatsächlich an einer Infektion erkrankt sind (BUEHLER, 1998; EXNER, 1997).

Eine letzte wichtige Anforderung an Erfassungssysteme ist der Datenschutz (EXNER, 1997).

Die Surveillance der trinkwasserbedingten Infektionskrankheiten unterscheidet sich zu den herkömmlichen Surveillance-Systemen im Wesentlichen durch die Integration von Daten aus der Trinkwasserversorgung in die Infektionssurveillance. Die Erfassung epidemiologischer Daten sowie Daten zur Trinkwasserqualität und Herkunft des Wassers in **einem** System bildet das Kernstück der Surveillance trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten (STI).

Durch die thematische Erweiterung, erweitert sich auch das Spektrum der beteiligten Personen und Institutionen. Sowohl Gesundheitsbehörden, Labors, Krankenhäuser und Arztpraxen als auch Umweltbehörden, Wasserversorgungsunternehmen und Wasserwerke sind in den Erfassungs- und Meldeprozess involviert. Zahlreiche, heterogene Datensätze müssen erhoben, zusammengeführt und analysiert werden. Dies stellt eine große logistische und personelle Herausforderung an das System (DANGENDORF et al., 2002). Die Intention einer STI kann zusammengefasst werden als die systematische Sammlung von Informationen über die trinkwasserepidemiologische Situation in einer Bevölkerung zur Auffindung, Kontrolle und Prävention solcher Erkrankungen. Ein STI muss Informationen zu folgenden Punkten liefern können (erweitert nach IAMFES 1996):

- a) zur Erkennung von Trends in der Inzidenz trinkwasserbedingter Infektionserkrankungen,
- b) zur Erkennung von Risikofaktoren in der Trinkwasserversorgung,
- c) zu Charakteristika der Epidemiologie trinkwasserbürtiger Erkrankungen,
- d) zu Charakteristika der Trinkwasserversorgungsstruktur,

- e) zur Sammlung und Weiterleitung von Informationen von und zu verantwortlichen Personen und Institutionen,
- f) zur Entwicklung von Kontroll- und Strategiemaßnahmen, Störfall-Management und
- g) zu Ergebnissen von Ausbruchsuntersuchungen.

Am Beginn der Konzeptionierung eines STI steht die Identifizierung der notwendigen Datenbasen. Wie bereits erwähnt, werden gastrointestinale Infektionen (GI) häufig als Indikatorkrankheiten für Trinkwasserkontaminationen herangezogen (s. Kapitel 1.2) (ELKANA et al., 1996; IAMFES, 1996; PAYMENT et al., 1991a; PAYMENT et al., 1997b; SINCLAIR & FAIRLEY, 2000; ZMIROU et al., 1987).

Hierbei muss durch genaue Falldefinitionen eine eindeutige Erfassung bestimmter GI ermöglicht werden. Es gibt Ansätze, sich auf eine bestimmte Indikatorkrankheit, z. B. Cryptosporidiosis, zu beschränken. Das Erregerspektrum der GI ist jedoch sehr groß, so dass weitere Pathogene im Sinne der Sensitivität, Repräsentanz und des Aussagewerts berücksichtigt werden sollten (BALLESTER & SUNYER, 2000). Hinsichtlich der Transparenz ist es sinnvoll nach dem Minimalprinzip zu handeln. Eine angemessene Surveillance richtet sich nach den speziellen Erfordernissen der zu überwachenden Bevölkerung und örtlichen Gegebenheiten.

Eine möglichst zeitnahe Erfassung von gastrointestinalen Infektionen in Assoziation mit Überwachungsdaten aus der Trinkwasserversorgung dient der frühzeitigen Auffindung von Epidemien. Die Interpretation der Daten führt gegebenenfalls zu einer Ausbruchsuntersuchung, um den Infektionsherd zu identifizieren und zu beseitigen. Die Ergebnisse der Ausbruchsuntersuchungen müssen in Berichten dokumentiert und an die im Prozess beteiligten Unternehmen und Behörden weitergeleitet werden.

Zu den gesetzlich vorgeschriebenen Melde- und Prozessdaten sind weitere Datenquellen zu berücksichtigen. Dies bezieht sich sowohl auf die epidemiologische Datenbasis als auch auf Daten der Trinkwasserversorgungsstruktur. Das Eintreffen von Konsumentenbeschwerden bezüglich Trinkwasser bei den Wasserversorgungsunternehmen oder bei den Gesundheitsbehörden stellt eine wichtige Informationsquelle dar (IAMFES, 1996). Aber auch erhöhte Verkaufszahlen von Medikamenten in Apotheken gegen Durchfall können auf epidemische Ereignisse hinweisen (BEAUDEAU et al., 1999).

4.5 Die Konzeption einer GIS-gestützten Surveillance auf lokaler Ebene

Da in Deutschland keine rechtsverbindliche Auflage zur Surveillance trinkwasserbedingter Erkrankungen vorliegt, können zur Beurteilung der epidemiologischen Situation nur retrospektive Daten aus verschiedenen Quellen erhoben und analysiert werden. Die zur Verfügung stehenden Datensätze aus der Infektionssurveillance oder aus anderen Quellen müssen auf ihre Relevanz und Tauglichkeit für ein STI geprüft werden. Dies gilt ebenso für die Daten zur Trinkwasserversorgung. Die Verknüpfung der heterogenen Datenmengen mit geographischen Objekten bildet die Basis für ein aufgabenspezifisches Geographisches Informationssystem.

Gemäß der Aufgabenstellung der Arbeit (s. Kapitel 1.3) wird in den folgenden Kapiteln ein Konzept zur Etablierung einer leistungsfähigen, erweiterbaren Datenbank im

Rahmen eines Geographischen Informationssystems (GIS) für ein STI mit raumbezogenen Analysemöglichkeiten entwickelt. Aufgrund der Komplexität eines solchen Systems, werden die verschiedenen Entwicklungsschritte auf lokaler Ebene aufgezeigt. Das Untersuchungsgebiet des Rheinisch-Bergischen Kreises bietet mit einer Einwohnerzahl von ca. 280.000 einen überschaubaren Raum, in welchem verschiedene Wasserversorgungsstrukturen bestehen.

Die konzeptionelle Grundlage zur Entwicklung einer GIS-gestützten Surveillance beginnt bei den folgenden drei Fragen:

1. Welches sind die wichtigsten trinkwasserbürtigen Krankheiten, die erfasst werden sollten?
2. Welche Daten zur Wasserversorgungsstruktur sind notwendig, um Gesundheitsrisiken einschätzen zu können und
3. wie können beide Datengrundlagen in eine systematische Erfassung integriert werden?

Örtliche Gegebenheiten, vorhandene Erfassungsstrukturen, gesetzliche Regelungen sowie Ausstattung der Gesundheitsbehörden und Wasserversorgungsunternehmen beeinflussen wesentlich die Auswahl der relevanten Datenbasen für die Entwicklung der Surveillance.

Für die vorliegende Studie war die Unterstützung der Unteren Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreises durch die Bereitstellung von Daten aus der Überwachung meldepflichtiger Krankheiten und aus der gesetzlichen Überwachung des Trinkwassers ausschlaggebend für die Datengrundlage eines lokalen Erfassungssystems für wasserbedingte gastrointestinale Infektionen.

Im Verlauf der Studie wurden weitere Datenbestände erschlossen und auf ihre Tauglichkeit für die STI, das heißt auf Vollständigkeit, Aktualität, räumliche Auflösung und die Möglichkeit der Integration in ein fachspezifisches GI-System geprüft und bewertet. Dabei stellt die räumliche Auflösung der Datengrundlage ein entscheidendes Kriterium für die Nutzungsmöglichkeiten der Daten in einem GIS dar.

4.5.1 Auswahl der epidemiologischen Datengrundlage

Der erste Schritt zur Entwicklung eines GIS-Projekts ist die Erhebung der relevanten Datenbasis. Mit Hinblick auf ein Surveillance-System für trinkwasserbedingte gastrointestinale Infektionen bedeutet dies die Evaluierung der epidemiologischen Datengrundlage sowie der Daten zur Wasserversorgung im Untersuchungsgebiet.

Die Erhebung der epidemiologischen Datengrundlage bezieht sich auf die in Kapitel 3 ausführlich beschriebenen trinkwasserassoziierten Krankheitserreger.

Viele dieser Krankheitserreger haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Diese neu- bzw. wieder entdeckten Infektionserreger treten nicht nur in verstärktem Maße in den sich entwickelnden Ländern auf sondern auch in den hoch entwickelten, technisierten Ländern. Deshalb können gastrointestinale Infektionen (GI) auch in unseren Breitengraden als Indikatoren für möglicherweise fäkal kontaminiertes Trink- oder Badewasser herangezogen werden (BALLESTER & SUNYER, 2000; ELKANA et al., 1996; PAYMENT et al., 1991b; PAYMENT et al., 1997b; ZMIROU et al., 1987).

4.5.1.1 Die amtliche Datengrundlage der Unteren Gesundheitsbehörde

Gastrointestinale Infektionen werden aus diesem Grunde für die Untersuchung der trinkwasserepidemiologischen Situation im Rheinisch-Bergischen Kreis als Indikator-krankheit herangezogen. Da, wie bereits erwähnt, in Deutschland keine gesetzlich vorgeschriebene Surveillance trinkwasserbedingter Infektionserkrankungen existiert, können nur die meldepflichtigen Krankheitserreger aus der gesetzlichen Infektions-surveillance ausgewertet werden. Dies bedeutet, dass auf einen retrospektiven Datensatz zurückgegriffen werden muss.

Die von der Unteren Gesundheitsbehörde (UGB) des Rheinisch-Bergischen Kreises zur Verfügung gestellten Register umfassen den Zeitraum 1988 bis 1999. Die gesetzliche Meldepflicht von Infektionskrankheiten über diesen Zeitraum unterlag dem Bundesseuchengesetz (BSeuchG, in der letzten Fassung von 1990). Im Juli 2000 wurde das neue Infektionsschutzgesetz (IfSG) veröffentlicht, welches im Januar 2001 das Bundesseuchengesetz offiziell ablöste. In der Fassung des BSeuchG war in § 3 festgelegt, dass alle bekannt werdenden Gastroenteritiden dem zuständigen Gesundheitsamt zu melden sind. Das neue Infektionsschutzgesetz sieht dagegen nur die Meldung bei labordiagnostischem Erregernachweis und/oder epidemiologischen Ereignissen vor (RKI, 2000a; RKI, 2000b).

Dadurch unterscheiden sich die Meldedaten voneinander. Da bei Beginn der Studie im Jahr 1998 noch das BSeuchG in Kraft war und eine retrospektive Datensammlung ab 1988 vorgenommen wurde, endet die Erfassung der amtlichen Statistik für die vorliegende Arbeit am 31.12.1999.

Als epidemiologische Datengrundlage wurden all jene Krankheitserreger aufgenommen, die akute gastrointestinale Infektionen auslösen können, mit Ausnahme von Salmonellen, Shigellen und Choleravibrionen. Da die Übertragung dieser klassischen Seuchenerreger mit dem Trinkwasser in Deutschland weitgehend ausgeschlossen werden kann, wurden als Indikatoren die Enteritis infectiosa-Fälle „übrige Formen“ erhoben. Nach § 3 des Bundesseuchengesetzes werden als „übrige Formen der Enteritis infectiosa“ all jene akuten Darminfektionen bezeichnet, die nicht durch *Vibrio cholerae*, *Shigella* oder *Salmonella* verursacht werden. Diese zusammenfassende Beschreibung verschiedenster Darminfektionen wurde zur Durchführung eines vereinfachten Meldesystems beschlossen (RKI, 1998a). Zu den Erregern der „übrigen Formen der Enteritis infectiosa“ zählen insbesondere *Campylobacter spp.*, *Yersinia spp.*, enterohämorrhagische *Escherichia coli* (EHEC), Rotaviren, Norwalk-Viren und Adenoviren.

Die epidemiologischen Daten zum Auftreten von Magen-Darminfektionen über den Zeitraum von 12 Jahren konnten dem handschriftlich geführten Melderegister bei der Unteren Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreises entnommen werden. Die erfassten Meldebögen geben Auskunft über Erreger, Meldedatum, Alter, Geschlecht, Erkrankungsort sowie mögliche Infektionsquellen, wobei hier vor allem nach dem Verzehr von Lebensmitteln gefragt wurde. Außerdem wird im Zuge der meist telefonischen Ermittlung durch die Gesundheitsaufseher/in nach dem Anschluss an öffentliche Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung gefragt. Die Daten wurden tabellarisch in eine EDV-Datenbank übertragen. Die räumliche Auflösung der erhobenen Daten steht bis auf Adressenebene zur Verfügung.

Da trotz der bestehenden Meldepflicht von Gastroenteritiden nur eine geringe Anzahl der tatsächlichen Fälle aus den verschiedensten Gründen zur Meldung kommen, empfiehlt es sich, weitere Datenquellen in die Untersuchung mit einzubeziehen (IAMFES, 1996).

4.5.1.2 Krankschreibungsstatistik der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK) Rheinland

Nach GREINER et al. (2000) liefern Krankschreibungsstatistiken von Krankenkassen geeignete Daten für die infektionsepidemiologische Überwachung. Auch die Krankenkassen selbst nutzen ihre Statistiken zur Erstellung von Gesundheitsatlanten (AOK 1992). Aus diesem Grund wurde angestrebt, eine solche Datenquelle für den Rheinisch-Bergischen Kreis zu erschließen.

Die Regionaldirektion der Allgemeinen Ortskrankenkasse für den Rheinisch-Bergischen Kreis stellte für die Studie Datensätze über Krankmeldungen der versicherungspflichtigen Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen zur Verfügung. Für die epidemiologische Untersuchung werden Daten zu Krankschreibungen der rund 60.000 AOK-Mitglieder aufgrund von Durchfallerkrankungen für die Jahre 1991-1998 abgefragt. Diagnosen, Tag der Arbeitsunfähigkeitsbescheinigung, Anzahl der krankgeschriebenen Tage sowie die Postleitzahl der Versicherten stehen als Abfragekriterien im Vordergrund.

Bei der Erhebung der Daten mussten folgende methodische Hinweise beachtet werden: Die attestierten Diagnosen, die von den krankschreibenden Ärzten an die Krankenkasse übermittelt werden, kodiert die AOK mit Hilfe des dreistelligen ICD-Schlüssels „Internationale Klassifikation der Krankheiten“ 9. Revision von 1979. Etwa 97 % der registrierten Diagnosen für Arbeitsunfähigkeitsbescheinigungen wurden als „009“ ICD-Codes verschlüsselt. Die Nummer „009“ bedeutet in der Internationalen Klassifikation „mangelhaft bezeichnete Infektionen des Verdauungstraktes“ (AOK-Gesundheitsatlas 1992). Die restlichen Fälle wurden unter den ICD-Codes 003 (Salmonellen-Infektionen), 004 (Shigellen-Infektionen), 005 (andere bakterielle Lebensmittelvergiftungen), 006 (Amöbenruhr), 007 (protozoische Infektionen des Magen-Darmtrakts) und 008 (intestinale Infektionen durch andere Erreger, wie *Escherichia coli*-Stämme, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*, Clostridien, Rotavirus, Adenovirus sowie andere bakterielle und virale Organismen) geführt. Zwar liefert der ICD-Code für jede Erregerart einen detaillierten 4- bis 5-stelligen Schlüssel, in der Datenbank der AOK werden jedoch nur die dreistelligen, übergeordneten Verschlüsselungscodes geführt. Deshalb ist die genaue Häufigkeit der einzelnen Erregerarten als Krankheitsursache nicht zu ermitteln.

Aufgrund des Datenschutzes wurden die Statistiken in anonymisierter Form, d. h. ohne Namen und Adressen, elektronisch übermittelt. Die zur Verfügung stehende räumliche Auflösung orientiert sich an den AOK-Geschäftsstellenbezirken im Rheinisch-Bergischen Kreis.

4.5.1.3 Laborstatistiken

Im Gegensatz zu den Daten der Unteren Gesundheitsbehörde liegen die Arbeitsunfähigkeitsmeldungen der AOK Rhein-Berg in digitaler Form vor. Diese sind jedoch aufgrund der sehr starken Anonymisierung und eines sehr undifferenzierten Diagnoseschlüssels nicht für detailliertere räumliche Analysen geeignet.

Deshalb war es von Interesse eine dritte Datenbasis zu untersuchen, die möglichst viele Informationen zum Erregerspektrum, Meldedatum, Meldeort und Wohnung des Patienten liefert und möglichst ohne großen Zeitaufwand in den Gesamtdatenbestand des aufzubauenden GIS-Projektes integriert werden könnte.

Als dritte Datenbasis wurde auf Laborstatistiken zurückgegriffen. Die Meldepflicht, die sowohl im alten BSeuchG als auch im neuen IfSG für medizinische Labors gesetzlich vorgeschrieben ist, schafft daher eine ähnliche Datengrundlage, wie die Daten bei den Gesundheitsämtern. Aus diesem Grund werden medizinische Labore häufig in die Surveillance für Infektionskrankheiten eingebunden. Vor allem in Sentinel-Studien werden Labore genutzt, um Informationen über die landesweit nachgewiesenen Krankheitserreger zu erhalten (EXNER, 1997; FURTADO et al., 1998; TILLET et al., 1998).

Die von niedergelassenen ÄrztInnen und Gesundheitsbehörden eingereichten Blut- oder Stuhlproben werden nach Testung auf bestimmte Erreger zurück an die zuständigen Behörden gemeldet. Bei der Erhebung der epidemiologischen Datengrundlage bei der Unteren Gesundheitsbehörde konnte aus den Registern Angaben zu den nachweisführenden Labors entnommen werden. Aufgrund der Tatsache, dass im Rheinisch-Bergischen Kreis verschiedene Labors tätig sind, müssten zur vollständigen Datenerhebung alle Labore kontaktiert werden, die über einen bestimmten Zeitraum an die Untere Gesundheitsbehörde gemeldet haben.

Da die Hauptaufgabe war, die Tauglichkeit von Labordatensätzen für die Nutzung in einem GIS-gestützten Surveillance-System zu prüfen, wurde das mit Abstand häufigst nachweisführende Labor ausgewählt (46%), um die Tauglichkeit von Labordatensätzen zu prüfen. Mit 46% aller gemeldeten Testergebnisse zu Enteritis infectiosa „übrige Formen“ an die UGB traf dies auf das Labor Dr. Lembke & Co in Köln zu. Zur Vergleichbarkeit der Labordaten mit den Daten des Gesundheitsamtes sollten nur diejenigen Datensätze aufgenommen werden, die die Krankheitserreger der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ enthielten. Da die Datenbankstruktur des Labors seit 1997 einem neuen System angepasst wird, lassen sich erst ab 1999 Datenbankabfragen nach den gestellten Anforderungen realisieren (pers. Mitteilung Frau Dr. Britt Hornei (2000), Labor Dr. Lemphrid & Co, Köln).

Die Einführung des IfSG betrifft insbesondere die nachweisführenden Labors. Aufgrund der Reduzierung meldepflichtiger Krankheitserreger muss davon ausgegangen werden, dass seit Mitte des Jahres 2000 (Einführung des IfSG, gesetzlich vorgeschrieben ab Januar 2001) weniger nachgewiesene Krankheitserreger an die zuständigen Gesundheitsbehörden weitergeleitet wurden. Deshalb schien es sinnvoll, für die vorliegende Untersuchung nur das Jahr 1999 zu berücksichtigen.

4.5.2 Methodik der Integration der epidemiologische Datensätze in das GIS

4.5.2.1 Integration der amtlichen Datenbasis

Die Daten der Unteren Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreises wurden nicht namentlich, jedoch bis auf Adressenebene zur Verfügung gestellt.

Um die bis auf Adressenebene erhobenen Daten in ihrer hohen Originalauflösung zu erhalten, wurden die Daten nicht auf bestimmte Flächeneinheiten aggregiert, sondern als lagetreue Koordinatenpunkte dargestellt und analysiert. Voraussetzung dafür ist die Verknüpfung der epidemiologischen Daten mit Geometriedaten.

Für den Rheinisch-Bergischen Kreis stellte das zuständige Liegenschaftsamt die digitalen Gebäudekoordinaten als Hoch- und Rechtswerte zur Verfügung. Über die kodierte Straßenliste des Rheinisch-Bergischen Kreises konnte dann für die Adressen der Patienten ein Gebäudeschlüssel ermittelt werden. Im letzten Schritt wurden über den Gebäudeschlüssel die Koordinatenangaben als Punktdaten im Geographischen Informationssystem (ArcView®) eingelesen und angezeigt.

Da noch nicht alle Gebäude des Rheinisch-Bergischen Kreises in digitaler Form vorlagen, fehlten zu einigen Adressen die Gebäudeschlüssel. Da der Gebäudeschlüssel ständig aktualisiert wird, wurde für das Jahr 2001 die neuste Version angefordert und weitere fehlende Koordinaten ergänzt. Besonders im ländlichen Raum fehlten dennoch einige Gebäudeschlüssel.

Eine zusätzliche, jedoch relativ zeitintensive Methode, bestand in der Durchsicht des Liegenschaftskataster bezüglich der Flurnamen, die zwar nicht gebäudegenau, aber grundstücksgetreu fehlende Hoch- und Rechtswerte lieferte. Bis auf 70 Adressen konnten so alle Patientenkoordinaten bestimmt werden.

Um möglichst alle Adressen als Punktdaten visualisieren zu können, wurden über die „Post Direkt“ in Bonn via Internet für den restlichen Datensatz Koordinaten bis auf Hausnummernebene angefordert. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass einige der Datensätze der Post Direkt ungenaue Angaben lieferten. Nicht zu allen Hausnummern standen Koordinaten zur Verfügung, in diesem Fall liefert das Unternehmen die Mittelpunktcoordinate der jeweiligen Straße.

Dennoch war es mit den vier verschiedenen Methoden möglich bis auf acht Adressen alle Patientenangaben zu verorten. Bei den fehlenden Angaben handelt es sich um falsche Adressenangaben (nicht vorhandene Hausnummern oder nicht existierende Straßennamen) sowie um einen Obdachlosen.

Der amtliche Datensatz erlaubte weitere Integrationsmöglichkeiten. Durch die Möglichkeit der Aggregation auf Gemeinde-, Gemeindeteil- und Postleitzahlebene können die Fallzahlen in verschiedenen räumlichen Auflösungen bearbeitet werden. Die digitalen Kartengrundlagen stellte das Liegenschaftsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises zur Verfügung.

4.5.2.2 Integration der AOK Rhein-Berg Statistiken

Aufgrund der Anonymisierung der übermittelten Krankschreibungsstatistiken konnte nur über Aggregation der Fallzahlen auf die Geschäftsstellen-Ebene der AOK Rhein-Berg die Daten in das GIS-Projekt integriert werden. Die Geschäftsstellenbezirke

folgen weitgehend den Postleitzahlräumen. Der Rheinisch-Bergische Kreis ist in 12 Postleitzahlgebiete eingeteilt, die bis auf die Stadt Bergisch Gladbach den Gemeindegrenzen entsprechen. Die Kartengrundlage wurde, wie bereits oben erwähnt, durch das Liegenschaftsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises zu Verfügung gestellt.

Die Aggregation der Daten war jedoch nicht unproblematisch, da der Zuständigkeitsbereich der Geschäftsstellen nicht vollständig den Postleitzahlräumen entspricht. Im Kreisgebiet existieren nur 10 eigenständige Betreuungsbezirke der AOK Rhein-Berg. Für die Gemeinde Odenthal mit der PLZ 51519 und den Postleitzahlraum 51467 der Stadt Bergisch Gladbach konnten keine statistischen Angaben zu Durchfallerkrankungen ermittelt werden. Nach Angaben der AOK-Regionaldirektion Rhein-Berg liegen diese Gebiete im Zuständigkeitsbereich des Postleitzahlraums 51465. (Bergisch Gladbach). Ärztliche Atteste aus der Bevölkerung dieser drei räumlichen Einheiten werden in einem einzigen Register geführt.

4.5.2.3 Integration der Labor-Statistiken

Bei der Integration der Labor-Statistiken, die wie die amtlichen Register bis auf Adressenebene zur Verfügung standen, konnten über die Geokodierung die Patientenangaben punktgenau dargestellt werden. Die Methode wurde bereits in Kapitel 4.5.1.4 für die Integration der amtlichen Datenbasis angewendet.

4.5.3 Auswahl der Datengrundlage zur Trinkwasserversorgungsstruktur

4.5.3.1 Bestandteile der Trinkwasserversorgungsstruktur

In DIN 4046 (September 1983, Wasserversorgung, Begriffe-Technische Regeln des DVGW) sind die wesentlichen Fachbegriffe und Bestandteile der Wasserversorgung festgelegt. Die Wasserversorgung besteht aus der öffentlichen und Eigenwasserversorgung. Unter zentraler Wasserversorgung versteht man die Versorgung vieler Endverbraucher durch ein Rohrleitungsnetz. Die Hauptbestandteile einer öffentlichen Wasserversorgung umfassen:

- Wassergewinnung (Herkunft, Wasserfassung wie z. B. Quelfassung, Brunnen, Entnahmebauwerke für Talsperrenwasser)
- Wasseraufbereitung (physikalische, biologische, chemische Verfahren)
- Förderanlagen (Druckerhöhungsanlagen, Pumpwerke)
- Speicherung (Hochbehälter: Erdbehälter oder Wasserturm)
- Wassertransport und -verteilungssystem (z. B. Rohwasserleitung, Zubringerleitung, Hauptleitung, Anschlussleitungen)
- Hausinstallation: Verbrauchsleitungssysteme nach der Übergabestelle, meistens ab Wasserzähler)

Jeder der o. g. Bestandteile stellt unterschiedliche Anforderungen für die Bereitstellung hygienisch-einwandfreien Trinkwassers.

Je nach Herkunft und Gewinnungsanlage ist das Rohwasser unterschiedlich stark belastet mit Inhaltsstoffen, die nach der Trinkwasserverordnung nicht im Trinkwasser vorhanden sein dürfen und deshalb durch geeignete Maßnahmen entfernt werden müssen. Unter Rohwasser wird Wasser verstanden, das einem Gewässer für die

öffentliche Trinkwasserversorgung entnommen wird, unabhängig davon, ob es vor der Abgabe einer Aufbereitung oder Desinfektion unterzogen wird.

Ziel der Aufbereitungstechniken ist es, aus dem Rohwasser Wasser für den menschlichen Gebrauch herzustellen. Für Grundwasser und Oberflächenwasser werden verschiedene Aufbereitungstechniken angewendet. Zu den Hauptverfahren der Trinkwasseraufbereitung gehören Belüftung, Sedimentation, Membranverfahren, Fällung, Flockung, Enteisenung, Filtration und Denitrifikation. Zur Erreichung des Aufbereitungsziels werden häufig Verfahrenskombinationen eingesetzt (DAMRATH & CORD-LANDWEHR, 1998).

Pumpwerke, Rohrleitungen und Speichersysteme sind wirtschaftlich und technisch eng miteinander verknüpft. Die Bemessungen und Materialien für Rohre und Speicherwerke sind auf die Erhaltung der Trinkwasserqualität ausgelegt. In den Technischen Regeln und Mitteilungen des DWGW sind in verschiedenen Arbeitsblättern die baulichen Anforderungen u. a. in W 311, W 312, W 318 und W 341 aufgeführt.

Von den Hochbehältern aus wird das aufbereitete Trinkwasser durch das Versorgungsnetz im Versorgungsgebiet verteilt. Der Rohrnetzbetrieb kann in seiner Funktionstüchtigkeit durch starken Straßenverkehr, Bodenversatz, Korrosion und Frost stark beeinträchtigt werden. Undichtigkeiten und Brüche führen nicht nur zu erheblichen Wasserverlusten, sondern auch zu Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität (DAMRATH & CORD-LANDWEHR, 1998).

Insgesamt ist die Trinkwasserinfrastruktur geprägt durch hohe Kosten und einen hohen Fixkostenanteil. Das Leitungsnetz kann i. d. R. mehr als 50 Jahre genutzt werden. Die Nutzung und Planung eines solchen Systems unterliegt demnach langen Planungs- und Nutzungszeiträumen, so dass das System nur langsam an wechselnde äußere Bedingungen angepasst werden kann (LEIST & MAGOULAS, 2000).

4.5.3.2 Das HACCP-Konzept in der Trinkwasserproduktion

Der methodische Hintergrund der Datenerhebung zur Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis beruht auf dem „Hazard Analysis Critical Control Points“ (HACCP) Konzept. Es wurde in den 1960er Jahren in den USA für die sichere Lebensmittelproduktion in der Raumfahrt entwickelt. In den 1970er und 1980er Jahren wurde es zunehmend in der Lebensmittelindustrie eingesetzt und hat mittlerweile Eingang in das Europäische Recht gefunden (UNTERMANN, 1996).

Im Regelwerk des FAO/WHO Codex Alimentarius ist eine international verbindliche Version des HACCP-Konzeptes aufgenommen worden (FAO/WHO Codex Alimentarius: www.codexalimentarius.net).

Die Funktionsweise des Konzeptes lässt sich aus der Definition der einzelnen Begriffe herleiten. Das Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) liefert eine offizielle Übersetzung des HACCP-Konzeptes.

Unter „Hazard“ wird die Gefahr verstanden, die durch „Ein Agens oder ein(en) Faktor von biologischer, chemischer oder physikalischer Natur mit der Eigenschaft, eine Gesundheitsschädigung hervorrufen zu können“ ausgelöst werden kann (BGVV, 1998, 5). Als Hazard Analysis wird die Gefahrenanalyse verstanden, welche „... den Vorgang des Sammelns, Aus- und Bewertens von Informationen über Gefahren und Situationen, die diese hervorrufen können (beschreibt), um zu entscheiden, welche bedeutend für den gesundheitlichen Verbraucherschutz und daher in den HACCP-Plan einzubeziehen sind.“

(BgVV, 1998, 5). Ein Critical Control Point (CCP) meint „eine Stufe, auf der es möglich und von entscheidender Bedeutung ist, eine gesundheitliche Gefahr durch Lebensmittel zu vermeiden, zu beseitigen oder auf ein annehmbares Maß zu reduzieren“ (BgVV, 1998, 5).

Erst in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde das Konzept auch für die Trinkwasserproduktion entdeckt. Im Prozess der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verbreitung können Situationen auftreten, die wie in den einzelnen Stufen der Lebensmittelproduktion zu einer Gesundheitsgefährdung der versorgten Bevölkerung führen können. Das Hazard Analysis Critical Control Point-Konzept wurde wesentlich durch HAVELAAR (1994) in die Trinkwasserproduktion eingeführt. Das Ziel dieser Entwicklung war, durch ein kontinuierliches Monitoring die kritischen Stellen im Trinkwasserproduktions-System ausfindig zu machen, sie zu kontrollieren und, wenn möglich, zu beheben (HAVELAAR, 1994).

Die Überwachung im Prozess der Trinkwasserproduktion beginnt bei der Herkunft und Speicherung des Rohwassers, umfasst verschiedene Techniken und Stufen der Trinkwasseraufbereitung sowie das Verteilungsnetz bis zu den Endverbrauchern. Als besonders kritische Situationen im Produktionsprozess identifizierte HAVELAAR (1994) folgende Stufen:

- Nutzungskonflikte in Einzugsgebieten von Wasserressourcen
- Rohwasserentnahmesysteme
- Trinkwasseraufbereitungstechniken
- Stufen der Desinfektion
- Speicherung des aufbereiteten Trinkwassers
- Verteilungsnetz (Rekontaminierung)
- Trinkwasserkonsumgewohnheiten der Bevölkerung

Die Erhebung der Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis, basierend auf dem HACCP-Konzept, wurde als Vorstudie bereits in einer Diplomarbeit durchgeführt (HERBST, 1999). Die Ergebnisse der Studie wurden teilweise publiziert (KISTEMANN et al., 2001). Aufbauend auf diese Arbeiten konnten, ergänzt durch eigene Erhebungen, die für die Surveillance relevanten Datenbasen erhoben und auf ihre Tauglichkeit für ihre Verwendung in einer GIS gestützten STI geprüft werden.

In Anlehnung an die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit eine effiziente Datenbasis für räumliche Analysen zu Gesundheitsrisiken zu schaffen, wird hinsichtlich des HACCP-Konzepts nicht im Detail auf die einzelnen Schritte in der Trinkwasseraufbereitungsanlage eingegangen, sondern besonders die Herkunft und Qualität des Roh- und Trinkwassers sowie die Verteilung im Versorgungsgebiet untersucht.

Mit Hinblick auf eine schnelle und kostengünstige Entwicklung einer GIS-Struktur für trinkwasserbezogene Daten ist es sinnvoll, bereits bestehende Datensätze aus der amtlichen Überwachung des Trinkwassers im Rheinisch-Bergischen Kreis zu nutzen.

4.5.3.3 Die gesetzliche Überwachung des Roh- und Trinkwassers auf lokaler Ebene

In Kapitel 3.1 wurde bereits die gesetzliche Trinkwasserüberwachung in Deutschland betrachtet. Die zugrunde liegende Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) dient dem Zweck, dass das dem Verbraucher zur Verfügung gestellte Wasser keine potentielle, gesundheitliche Gefährdung darstellt. Eingebettet in die allgemeinen Regelungen ist die Überwachung des Roh- und Trinkwassers auf lokaler Ebene. In der TrinkwV (2001) sind die Pflichten der Wasserversorgungsunternehmen und der verantwortlichen Gesundheitsbehörden in den §§ 13 bis 21 genau geregelt.

Die Inhaber von Wasserversorgungsanlagen sind zum einen verpflichtet, mikrobiologische und chemische Untersuchungen des Roh- und Trinkwassers in definierten Zeiträumen durchzuführen und zum anderen wahrnehmbare Veränderungen des Wassers sowie außergewöhnliche Vorkommnisse in der engeren und weiteren Umgebung des Wasservorkommens jederzeit an das zuständige Gesundheitsamt weiterzuleiten (§ 16 TrinkwV 2001).

Umfang und Häufigkeit der Wasseruntersuchungen sind abhängig von der pro Tag abgegebenen Trinkwassermenge des Wasserversorgungsunternehmens (WVU). Bei einer Menge von $>3 \text{ m}^3$ bis $\leq 1000 \text{ m}^3$ pro Tag in einem Versorgungsgebiet produzierten oder abgegebenen Wassers müssen jährlich 4 routinemäßige Proben durchgeführt werden. Bei einer abgegebenen Menge von $>6667 \text{ m}^3$ bis $\leq 10.000 \text{ m}^3$ pro Tag sind es 36 Proben pro Jahr (Anlage 4, II TrinkwV 2001). Auch die Probenahmestellen, an denen die Grenzwerte eingehalten werden sollen, sind gesetzlich vorgeschrieben (§ 8 TrinkwV 2001). Für die chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Nachweismethoden sind diejenigen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik anzuwenden. Nur akkreditierte Untersuchungsstellen sind dafür zugelassen. Eine von den Untersuchungsstellen unabhängige Institution, die von der zuständigen Obersten Landesbehörde bestimmt wird, überprüft regelmäßig die Qualität der Labors.

Die Wasserversorgungsunternehmen müssen die Ergebnisse jeder Untersuchung schriftlich oder auf Datenträgern festhalten. Es müssen folgende Angaben protokolliert werden: Ort der Probenahme nach Gemeinde, Straße, Hausnummer und Entnahmestelle, die Zeitpunkte der Entnahme und Untersuchung der Wasserprobe sowie die angewendeten Untersuchungsmethoden. Die zuständige Oberste Landesbehörde kann bestimmen, ob für die Protokollierung der Daten vorgefertigte Formulare oder EDV-Erfassung zu verwenden ist. Bis spätestens zwei Wochen nach der Wasserprobe sind die Unternehmer der Wasserversorgungsanlagen verpflichtet, eine Kopie des Protokolls an das zuständige Gesundheitsamt zu senden (§ 15 TrinkwV 2001).

Die Umsetzung der Trinkwasserverordnung für das Land Nordrhein-Westfalen erfolgt durch das Ministerium für Frauen, Jugend, Gesundheit und Soziales (MFJGS). Zur Verbesserung der Informations- und Entscheidungsgrundlagen sowie zur größeren Verfügbarkeit von Daten zur Trinkwasserversorgung in Nordrhein-Westfalen entschloss sich das MFJGS eine zentrale Trinkwasserdatenbank (TWDB) aufzubauen. Im Rahmen der Entwicklung der TWDB wurde für die 54 Unteren Gesundheitsbehörden der Kreise und kreisfreien Städte NRW's ein lokales Trinkwasserdatenerfassungs- und Informationssystem (TEIS) entwickelt, dessen Ein- und Durchführung auf Länderebene durch das Landesinstitut für den Öffentlichen Gesundheitsdienst (LÖGD) verantwortlich geleitet wird. Die Software-Pakete wurden seit 1994 durch das Rheinisch-Westfälische Institut für

Wasserchemie und Wassertechnologie (IWW) entwickelt und stehen seit 1996 allen Unteren Gesundheitsbehörden zur Verfügung (IWW, 1996a; IWW, 1996b).

Auf Basis der TrinkwV vom Stand 1990 wurden TEIS und TWDB entwickelt. Die Informationssysteme werden nach und nach der neuen TrinkwV angepasst, die ab 1. Januar 2003 gesetzlich in Kraft tritt. Bei den Daten des TEIS bzw. TWDB handelt es sich um Angaben zu administrativen Einheiten, WVU, Abgabemengen, angeschlossener Bevölkerung, Aufbereitungsmethoden, Einspeisungspunkten, Probenahmestellen, mikrobiologischen und chemischen Analyseergebnissen.

Die Erhebung der Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis beruhte im Wesentlichen auf den Informationen aus der TEIS-Datenbank und umfasst den Zeitraum 1996 bis 1999, so dass hier als gesetzliche Grundlage die Trinkwasserverordnung vom Stand 1990 gilt. Der Unterschied zwischen den TrinkwV-Versionen liegt zum einen in der unterschiedlichen Bezeichnung von Trinkwasser (alte Fassung „Trinkwasser und Wasser für Lebensmittelbetriebe“, neue Fassung: „Wasser für den menschlichen Gebrauch“) und zum anderen in der Erweiterung der Pflichten der WVU und insbesondere der Gesundheitsämter.

Die Überwachung des Rohwassers wird insofern über die Trinkwasserverordnung geregelt, als in § 14 (TrinkwV 2001) festgelegt ist, dass die WVU verpflichtet sind Untersuchungen des Rohwassers vorzunehmen. Über das Landeswassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LWG NW) wird die Rohwasserüberwachung auf Länderebene umgesetzt. Im Landeswassergesetz (in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1995) ist im sechsten Abschnitt II im § 50 geregelt, dass „die Unternehmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung (...) verpflichtet (sind), auf ihre Kosten die Beschaffenheit des Rohwasser durch eine geeignete Stelle untersuchen zu lassen“.

Das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) ist ermächtigt, die Häufigkeit, Art, Ort und Umfang der Probeentnahmen zu bestimmen (§ 50 LWG). Die Untersuchungsergebnisse sind jährlich der zuständigen Wasserbehörde vorzulegen. Laut Erlass des MUNLV erließ der Regierungspräsident Köln 1982 eine Richtlinie zur Vereinheitlichung der Rohwasserüberwachung. Zuständig für die staatliche Überwachung nach LWG (§§ 30, 50, 116 LWG) sind bei WVU, die mehr als 600.000m³ an Rohwasser fördern, bei Oberflächenwasser in jedem Fall, die Bezirksregierungen, in den übrigen Fällen die unteren Wasserbehörden (Kreise und kreisfreie Städte).

Rohwasserentnahmestellen stellen grundsätzlich Probenahmepunkte dar, für die die Untersuchungshäufigkeit, zu messende Parameter und sonstige Angaben in einem „Stammdaten-Protokoll“ festgehalten werden. Die Stammdaten werden von den WVU ausgefüllt und an das verantwortliche Staatliche Umweltamt (StUA) weitergeleitet. Zur Vervollständigung der eingehenden Daten ergänzt das StUA weitere Informationen zu hydrologischen und klimatischen Bedingungen sowie zu geographischen und administrativen Räumen. Zur übersichtlichen Verwaltung der Daten wurde durch das Landesamt für Umweltschutz (LUA) des Landes Nordrhein-Westfalen ein wasserwirtschaftliches Grundlagen-Datenbanksystem entwickelt, das HYGRIS (Hydrologisches Grundlagen-Informationssystem), welches die unveränderlichen Angaben zu den Messstellen als auch die hygienischen Testergebnisse der Rohwassermessstellen enthält (KAIMER & PUPHAL, 1993).

4.5.4 Methodik der Integration von TEIS und HYGRIS in das GIS

Für die Studie wurden die bestehenden Datensätze aus der Trink- und Rohwasserüberwachung genutzt. Dabei konnten bei der Unteren Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreis aus dem TEIS als Bestandteil des TWDB die notwendigen Daten exportiert werden. Das StUA Köln stellte seine Daten aus der Rohwasserüberwachung über das HYGRIS zur Verfügung.

Da zum Zeitpunkt der Erhebung noch nicht alle Informationen über die Trinkwasserversorgung im Rheinisch-Bergischen Kreis im TEIS aufgenommen war, mussten durch Aktenstudium, Kartenmaterial und Experteninterviews bei den WVU's, Eigen- und Einzelwasserversorgern und Wasserwerken (WW) zusätzliche Informationen gesammelt werden (HERBST, 1999, eigene Erhebungen).

Besonders im Hinblick auf die Größe der WVU und WW, der Herkunft des Wassers sowie versorgte Bevölkerung mussten weitere Informationen gesammelt werden. Die Statistiken des Bundesverbands der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V. (BGW) erfasst die größten WVU in NRW mit Informationen über Eigenproduktion, Fremdbezug, Menge, versorgte Bevölkerung u.a. Mit den Statistiken des Landesamtes für Datenverarbeitung und Statistik (LDS) in Düsseldorf konnten die Angaben zur Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis vervollständigt werden. Die Erhebung der Daten umfasst überwiegend den Informationsstand von 1996 bis 2001.

4.5.4.1 Integration des Trinkwassererfassungs- und Informationssystems (TEIS)

Gemäß des HACCP-Konzepts steht im Vordergrund der vorliegenden Studie die Untersuchung der Trinkwasserversorgung nach Herkunft (Grundwasser, Oberflächenwasser, Quellwasser), Aufbereitung, Qualität und Abgabe des Trinkwassers durch die Wasserversorgungsunternehmen im Rheinisch-Bergischen Kreis. Neben der öffentlichen Wasserversorgung werden auch private Trinkwasserversorgungen berücksichtigt. Das Gesundheitsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises stellte seine TEIS-Datenbank zum Export der benötigten Trinkwasserdaten zur Verfügung. Durch Selektionsabfragen der TEIS-Datenbank konnten die relevanten Komponenten der Datenbank zur Trinkwasserversorgungsstruktur exportiert werden.

TEIS enthält als Systemdaten (IWW, 1996a):

1. Parameter, die derzeit im Trinkwasser analysiert werden,
2. die Gemeindegennzahlen (GKZ) der unteren Verwaltungsbezirke (kreisfreie Städte und kreisangehörige Gemeinden),
3. die Untersuchungsstellen im Kreisgebiet,
4. verschiedene Aufbereitungsstufen,
5. die Probenahmestellen, die durch das Gesundheitsamt festgelegt wurden,
6. Anschrift, Größe und Lage der WVU und WW sowie
7. die Menge und Art des abgegebenen Trinkwassers.

Da es sich bei dem System um eine reine Datenhaltung handelt, ist die Integration der Daten in das GIS nur bedingt möglich. Im Falle der Probenahmestellen, zu denen Messstellen im WW, Einspeisungspunkte, Netzprobenstellen sowie Eigen- und

Einzelwasserversorgungsanlagen zählen, standen Adressen sowie Hoch- und Rechtswerte zur Verfügung, so dass die Daten als Punktkoordinaten integriert werden konnten.

Angekoppelt an die XY-Koordinaten der Probenahmestellen konnten die hygienischen Probenahmeergebnisse eingelesen werden. Die im Rahmen der Eigenüberwachung der WVU (TrinkwV § 10, Stand 1990) und der nach § 20 TrinkwV (Stand 1990) mindestens halbjährlichen amtlichen Kontrolle durch das Gesundheitsamt erfassten Trinkwasserdaten lassen sich somit im räumlichen Bezug darstellen. Die hygienischen Parameter stammen ebenfalls aus der Trinkwasserdatenbank des Gesundheitsamtes des Rheinisch-Bergischen Kreises. Basierend auf der Arbeit von HERBST (1999) werden als Parameter für die hygienische Beurteilung des Trinkwassers coliforme Keime, *Escherichia coli* und die Koloniebildenden Einheiten (KBE) bei 20°C und 36°C Bebrütungstemperatur und als einziger chemischer Parameter Nitrat in die Datenbank aufgenommen.

Angaben zur Herkunft, Aufbereitung und Abgabemenge der WVU und WW konnte über die WVU-Code Nummer, die im TEIS obligatorisch vergeben wird, ebenfalls mit den Hoch- und Rechtswerten der Probenahmestellen verbunden werden.

Die Größe und Lage der Versorgungsgebiete musste jedoch im Wesentlichen aus den Stammlättern über die Wasserversorgungsunternehmen beim Gesundheitsamt, durch Kartenmaterial und Interviews bei den Betreibern der WVU selbst ermittelt werden. Da die Versorgungsgebiete der WVU nicht der kommunalen Gliederung der Stadtteil- bzw. Gemeindeteilebene folgt, mussten die Versorgungsgebiete aus Karten, die von den meisten WVU zur Verfügung gestellt wurden, selbst digitalisiert werden. Mittels eines Fragebogens wurde die Lage einiger kleinerer Trinkwasserversorgungsgebiete (die Eigen- und Einzelversorger der Kommune Leichlingen) erhoben und eingezeichnet (HERBST, 1999).

Da nach HAVELAAR et al. (1994) auch das Verteilungsnetz einen Einfluss auf die Trinkwasserqualität hat, wurde angestrebt, das Hauptverteilungsnetz der Trinkwasserversorgung im Rheinisch-Bergischen Kreis als Bestandteil einer umfassenden Trinkwasser-Surveillance zu erheben. Auf Anfrage bei den Wasserversorgungsunternehmen, Pläne zum Rohrnetz für die Studie zur Verfügung zu stellen, stellten allerdings nur sehr wenige WVU diese Informationen zur Verfügung. In der Arbeit musste deshalb auf die Darstellung des Leitungsnetzes verzichtet werden.

4.5.4.2 Integration der Rohwasserdaten

Die Rohwasserdaten wurden durch das Staatliche Umweltamt (StUA) Köln aus der Rohwasserdatenbank (HYGRIS) des Landes Nordrhein-Westfalen zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich zum einen um Informationen zu den Wassergewinnungsanlagen und zum anderen um Probeergebnisse aus der amtlichen Überwachung der Rohwassermessstellen nach Messstellenummern.

Bei der Auswahl der Rohwassermessstellen wurden diejenigen Gewinnungsanlagen berücksichtigt, die von Wasserversorgungsunternehmen betrieben werden, die innerhalb des Gebiets des Rheinischen-Bergischen Kreises liegen. Als Grundlage für die Untersuchung der Rohwasserqualität wurden die Parameter coliforme Keime, Koloniezahl bei 20°C Bebrütungstemperatur und Trübungsmessung abgefragt.

Über die vorhandenen Hoch- und Rechtswerte der Rohwassermessstellen konnten die in HYGRIS gespeicherten Attributdaten (Ergebnisse der Rohwasseranalyse, Größe der Wasserwerke, Aufbereitungstechniken) als Koordinatenpunkte in das GIS-STI zur räumlichen Analyse integriert werden.

4.5.5 Methodik der Zusammenführung der erhobenen Datengrundlagen

Der Vorteil von GIS gegenüber herkömmlichen Datenbanken ist zum einen die Möglichkeit der Verknüpfung der Attributdaten mit geographischen Objekten und zum anderen die Kapazität der Bearbeitung großer Datenmengen, auch aus unterschiedlichen Quellen, in einem System (DUNN, 1992).

Mittlerweile existieren GIS-Softwarepakete, die anwenderfreundlich ausgerichtet und kostengünstig sind. Sie stellen Werkzeuge zur räumlichen Analyse themenspezifischer Datensätze zur Verfügung. Die für die vorliegende Arbeit verwendete Software ArcView® (ESRI, Redlands/USA) enthält Basismodule, die durch weitere, aus dem Internet gezogene, käuflich erworbene und selbst programmierte Scripts den fachspezifischen Anforderungen angepasst werden kann (VON DER AHÉ et al., 1999; ZHANG & GRIFFITH, 1997). Das Hauptkonzept Geographischer Informationssysteme besteht aus der Möglichkeit der Überlagerung thematisch verschiedener Ebenen (Layer-Konzept). Die Entitäten werden meistens über Punkte, Linien und Polygone in einer Serie von übereinander liegenden Vektoren-Layern organisiert. Mit GIS-Techniken, wie Verschneidungen, können neue thematische Ebenen entwickelt werden (CANNISTRA, 1999).

Der Aufbau eines GIS zur Surveillance trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen beginnt mit der Erhebung der relevanten Datenbestände (epidemiologische Datengrundlage, Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur). Diese müssen in einer Datenbankstruktur verwaltet werden, die die Beziehungen der Datenbestände zu einander und zu räumlichen Objekten berücksichtigt. Für die Organisation der erhobenen Datenbestände wurde Access® verwendet. Über SQL-Abfragen wurden die in der relationalen Datenbank verwalteten Tabellen oder nur interessierende Spalten nach ArcView® transportiert.

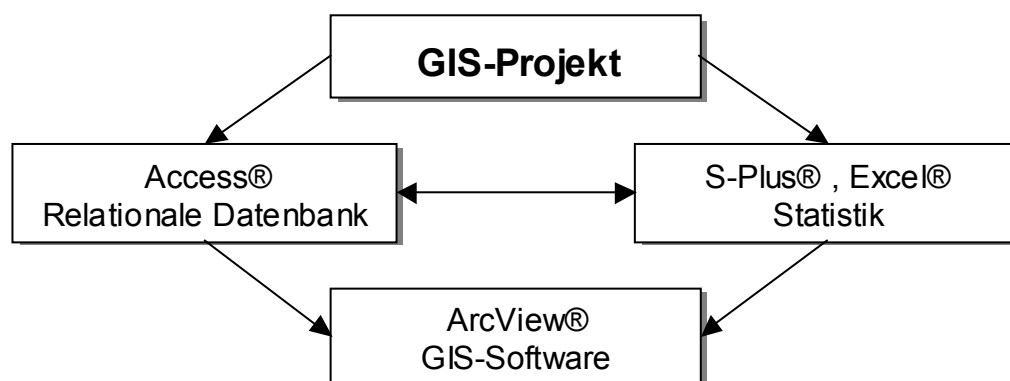


Abbildung 3: Technische Voraussetzungen und Verknüpfungen des GIS-Projektes

Die Möglichkeiten zur geostatistischen Auswertung von epidemiologischen Daten ist in vielen GIS-Software-Paketen oft nicht oder nur beschränkt möglich. Dies gilt auch für ArcView®. Deshalb wurde ein Zusatzmodul für statistische Berechnungen integriert. S-

Plus® ist ein Statistikprogramm, das eine für ArcView® lesbare Erweiterung enthält. Darüber kann von ArcView® aus auf die Analysewerkzeuge in S-Plus® zugegriffen werden. Daneben wurde auch Excel® eingesetzt (Abbildung 3).

Tabelle 30: Konvertierung der Entitäten

Information	Datenquelle	Konvertierung	Objekt
Topographie	Topographische Karte 1:25.000	Scan	Image
Kreisgebiet, Kommunale Ebene, PLZ-Räume Gemeinde/Stadteilgebiete	Liegenschaftsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises	aus ALK-ATKIS via EDBS	Polygone
Patientenadressen	Adressen aus Melde-register der UGB, Labordaten	Über Gebäudeschlüssel des Liegenschafts-katasters mit XY-Koordinaten verknüpft	Punkt
Arztpraxen	Adressen aus Informa-tionsbroschüre der AOK Rhein-Berg	Über Gebäudeschlüssel des Liegenschafts-katasters mit XY-Koordinaten verknüpft	Punkt
Verbaute Fläche im Rheinisch-Bergischen Kreis	Topographische Karte 1:25.000	Digitalisierung	Polygone
Wasserversorgungs-gebiete	Karten des UGB, der WVU, eigene Erhebungen	Digitalisierung	Polygone
Einspeisungspunkte, Netz-probenstellen, PN-Stellen im WW	TEIS	XY-Koordinaten	Punkt
Eigen/Einzelwasserver-sorger	TEIS, eigene Erhebung	XY-Koordinaten, Digitalisierung	Punkt
Adressen der WW und WVU	TEIS, HYGRIS	XY-Koordinaten	Punkt
Rohwassermessstellen	HYGRIS	XY-Koordinaten	Punkt

Die Auflösung der räumlichen Datenbasis ist ausschlaggebend für die Funktionalität des GIS. Deshalb wurde der Erhebung der räumlichen Datenbasis große Bedeutung beigemessen. Je höher die Auflösung, desto informativer ist die Visualisierung der Attributdaten. Als Ausgabeformate der GIS-Analysen stehen sowohl interaktive Bildschirmabfragen als auch Exportdateien und Ausdrucke thematischer Karten zur Verfügung (BRIECHLE & BUCHNER, 1998).

Abbildung 4 zeigt in vereinfachter Weise das GIS-Schema zur Surveillance trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen (GIS-STI).

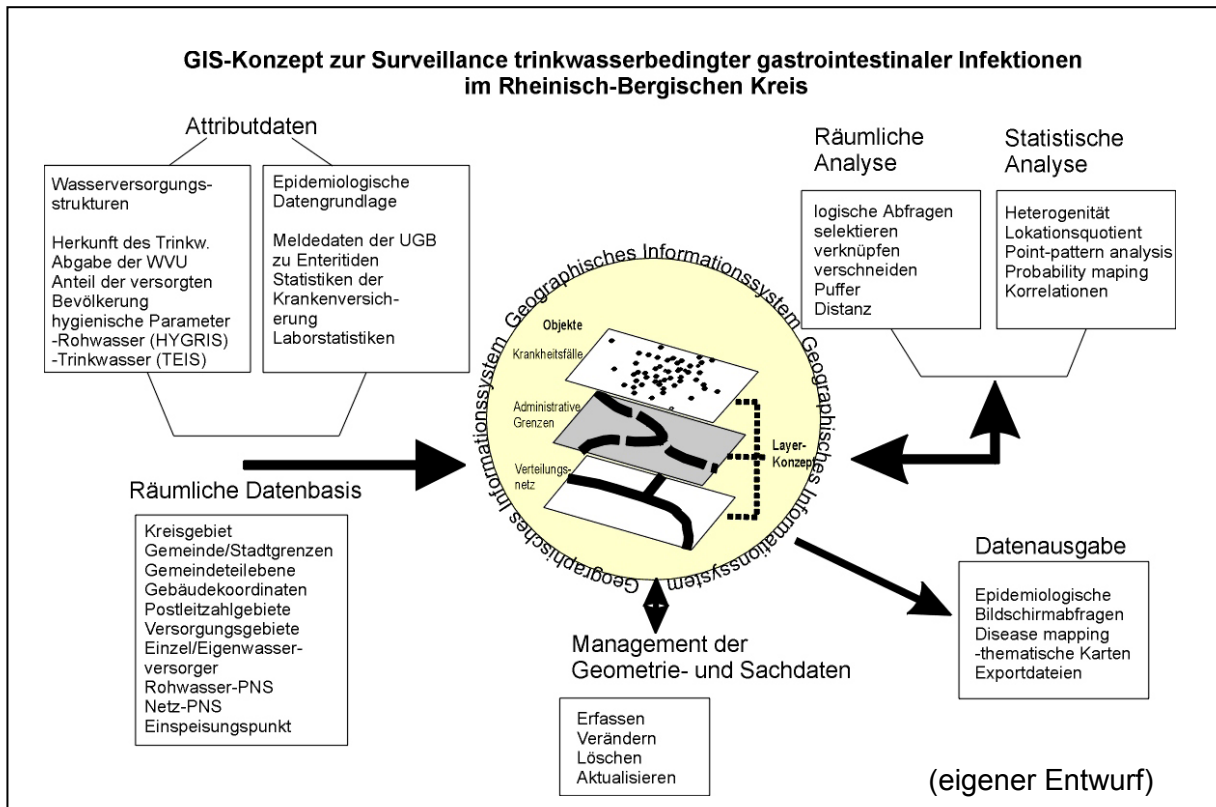


Abbildung 4: GIS-Konzept zur Surveillance trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen (GIS-STI)

Der Datenfluss durch das System ist wechselseitig und dynamisch. Im Hinblick auf die Anforderungen eines STI ist ein fortlaufender In-put von Daten zur Epidemiologie und zur Trinkwasserversorgung vonnöten. Die Informationen können mit GIS-Werkzeugen ausgewertet und wieder in den Datenfluss eingebunden werden. Dabei soll die Datenhaltung die „zeitunabhängige Informationsweitergabe zwischen den Erzeugern der Informationen und den Nutzern der Information“ ermöglichen (BEHR, 1998, 33).

Die in der Abbildung 4 dargestellten Informationen geben nur die wichtigsten Datengrundlagen wieder. Zur umfassenden Untersuchung der trinkwasserepidemiologischen Situation im Untersuchungsgebiet wurden weitere Datensätze, z. B. zur Bevölkerungsstruktur und Gesundheitsversorgung erhoben.

Als Basisgrundlage zur Konvertierung der erhobenen Daten zur Darstellung im räumlichen Bezug dienten die gescannten amtlichen topographischen Karten im Maßstab 1:25.000, die als Image in ArcView eingebunden wurden. Die räumliche Lage und Beziehung der Entitäten (Punktkoordinaten für Patientendaten, Einspeisungspunkte, Netzprobenstellen, Wasserversorgungsgebiete u. s. w.) lassen sich mit den zusätzlichen Informationen umfassender interpretieren. Die Konvertierungsschritte der einzelnen räumlichen Entitäten sind in Tabelle 30 dargestellt. Die meisten räumlichen Daten konnten ohne eigene manuelle Bearbeitung in das GIS-STI überführt werden. Arbeitsaufwendig war jedoch die tabellarische Verknüpfung der Adressen mit den Gebäudeschlüsseln, da

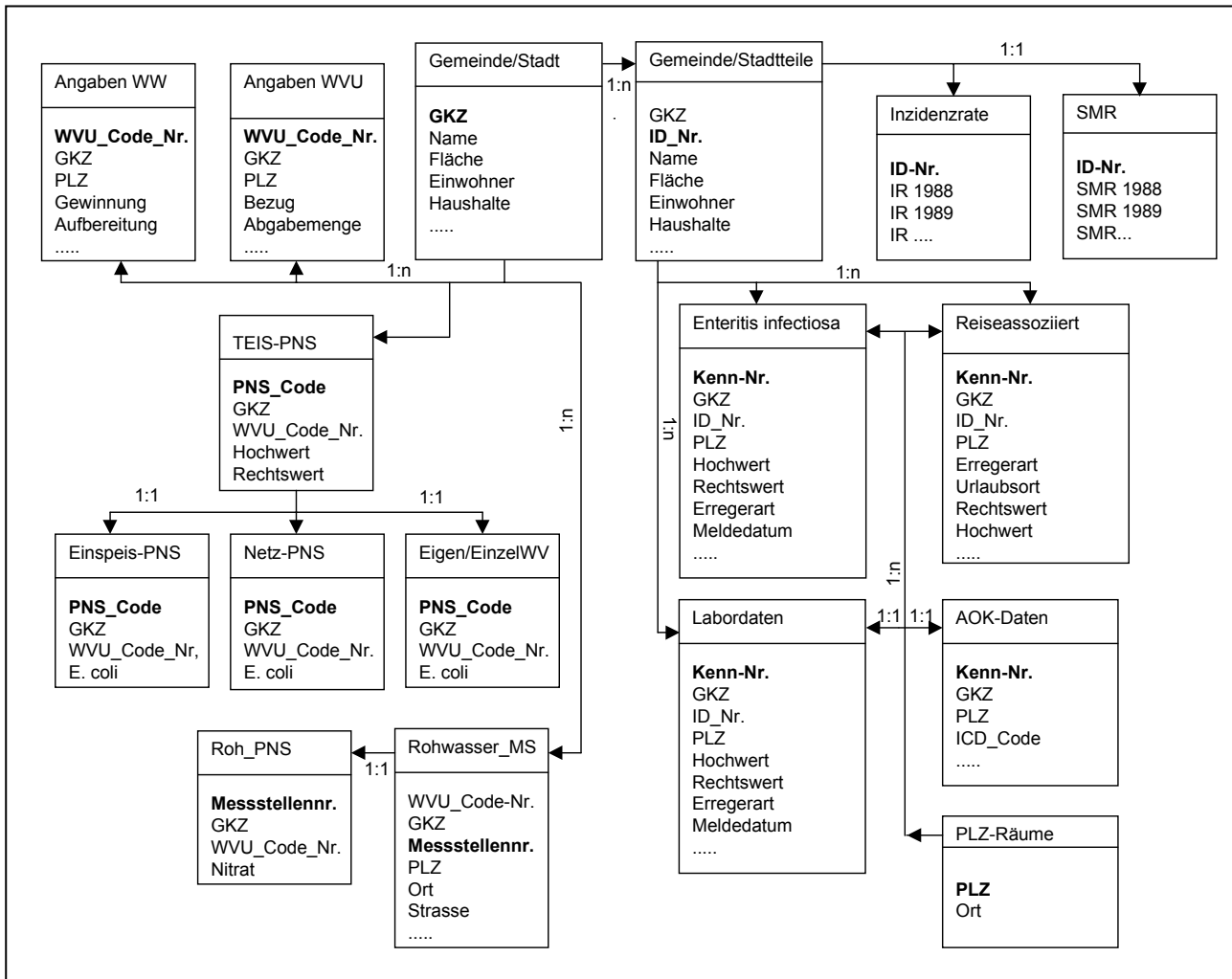
das Register der Unteren Gesundheitsbehörde nicht digital vorlag und die Gebäudeschlüssel per Hand eingeben werden mussten.

Beim Aufbau eines Fachinformationssystems muss insbesondere auf die konsistente Datenersterfassung geachtet werden (BILL, 1999). Konsistenz bedeutet in diesem Zusammenhang die Festlegung von Pflichtfeldern der Attributdaten zur eindeutigen Identifizierung von Informationen und deren Abhängigkeiten. Es werden Strukturierungs- und Verarbeitungsregeln definiert, die in einem Datenbankmodell verwirklicht werden.

Basierend auf einem relationalen Datenbankmodell werden die erhobenen Datensätze zur Epidemiologie und Trinkwasserversorgungsstruktur in Access® (Abbildung 5) vorgehalten. Wesentliches Kennzeichen eines relationalen Datenbankmodells ist der Zugriff auf Informationen über Tabellennamen, Primärschlüssel und Spaltennamen. Durch eine normierte Sprache (structured query language, SQL) werden die interessierenden Informationen für die interaktive, graphische Darstellung bereitgehalten (BEHR, 1998).

Abbildung 5 demonstriert das Konzept des Datenbankmodells, dessen Hauptbestandteile die Tabellenblätter der drei epidemiologischen Datengrundlagen, der TEIS- und HYGRIS-Abfragen und der Datensätze zur Bevölkerungsstruktur sind. Das Datenbankmodell befindet sich in ständigem Aufbau und Weiterentwicklung.

Aus den verknüpften Tabellenblättern lassen sich Abfragen zu verschiedenen fachspezifischen Themen herstellen und auswerten. Da die Aufgabe der vorliegenden Arbeit die Überprüfung verschiedener aus Prozess- und Meldedaten stammender Datensätze auf die Tauglichkeit für ihre Verwendung in einem GIS-STI ist, wird die umfangreiche Datenbank vor diesem Hintergrund ausgewertet. Neben rein graphischen Darstellungen werden GIS-Werkzeuge beispielhaft eingesetzt, um die Möglichkeiten räumlicher Analysen zu überprüfen.



(eigener Entwurf)

Abbildung 5: Konzeptionelles Modell zur trinkwasserepidemiologischen Datenbankstruktur

4.6 Ergebnisse des GIS-STI

4.6.1 Allgemeine Auswertung der epidemiologischen Datensätze

4.6.1.1 Auswertung des Melderegisters der Unteren Gesundheitsbehörde

Für die Untersuchung standen die beim Gesundheitsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises gemeldeten Fälle der Enteritis infectiosa über den Zeitraum 1988 bis 1999 zur Verfügung. Durch die beim Gesundheitsamt beschäftigten GesundheitsaufseherInnen wird bei Meldung von gastrointestinalen Infektionen durch z. B. niedergelassene Ärzte, Labors oder private Personen ein Ermittlungsverfahren eingeleitet, das entweder persönlich oder telefonisch bei den erkrankten Personen durchgeführt wird.

Die Ermittlungsbögen umfassen folgende Kategorien:

- Erregerart
- gemeldet am
- erkrankt seit
- gemeldet durch
- Alter
- Geschlecht
- PLZ, Wohnort, Hausnummer
- Ort der Erkrankung
- Krankheitszeichen
- ansteckungsverdächtige Personen
- verdächtige Lebensmittel
- Krankenhausaufenthalt
- Wasserversorgung öffentlich oder privat
- Abwasserbeseitigung öffentlich oder privat
- Wohnung (Mehrfamilienhaus, Bauernhof u. ä.)
- Beschäftigung, Arbeitsstelle/Schule
- sonstige Bemerkungen

In einigen Fällen lagen jedoch keine Ermittlungsbögen vor, sondern nur die schriftlichen Laborbenachrichtigungen mit positiven Befunden. Dies traf vor allem für Adenoviren-Infektionen zu.

Über Ort und Art der Beschäftigung der Patienten, ob z. B. Arbeitnehmer/in oder Kindergartenkind, wurde im Allgemeinen nur bei Tätigkeiten in der Lebensmittelbranche der/des Betroffenen oder bei erkrankten Kindern bei Beschäftigung der Eltern im Lebensmittelbereich informiert.

Auf Grund der kompletten Angaben zum Wohnort der Patienten war eine Auswertung der Datensätze auf Adressenebene (Hausnummern), Gemeinde- bzw. Stadtteil- und Postleitzahlebene möglich.

Die handschriftlich geführten Melderegister wurden tabellarisch in eine Datenbank aufgenommen. Dabei wurden insgesamt 1.828 Datensätze erhoben, bei denen

mindestens eine Stuhlprobe einen positiven Nachweis auf den verursachenden Erreger ergab. In einigen Fällen wurden zwei pathogene Mikroorganismen als Durchfallerreger nachgewiesen. Wenn dabei zwei Erreger der „übrigen Formen“, also nicht Salmonellen oder Shigellen, identifiziert wurden, sind sie als zwei verschiedene Datensätze behandelt worden, um beide Erregerarten in der Darstellung und Analyse zu berücksichtigen.

Im Anschluss an die Erhebung wurden die Daten hinsichtlich der Infektionsquelle und des Infektionsortes überprüft, um möglichst diejenigen Infektionen auszuschließen, die nachweislich nicht im Rheinisch-Bergischen Kreis oder durch Lebensmittel erworben wurden. Der labor diagnostische Nachweis von infizierten Lebensmitteln lag jedoch nur wenige Male vor. Bei einigen der Gastroenteritiden handelte es sich um reisebedingte Erkrankungen, da der Infektionsort und das Auftreten von Durchfällen in engem Zusammenhang mit Auslandsaufenthalten stand. Häufig suchten die betroffenen Personen erst nach Rückkehr aus dem Urlaub einen Arzt auf, so dass diejenigen Fälle, die bei Berücksichtigung der Inkubationszeit (mehrere Stunden bis 1 Woche) mit Auftreten der Symptome am Urlaubsort oder innerhalb von 7 Tagen nach Rückkehr aus dem Urlaub, nicht in der Auswertung berücksichtigt wurden.

Der bereinigte Datensatz umfasst 1.756 Fälle.

Aufgrund der manchmal nicht vollständigen Angaben zu Urlaubsaufenthalten, Beschäftigungsverhältnissen und möglichen Infektionsquellen (nach Trinkwasserkonsum wurde nie gefragt, der Kontakt mit Badewasser/Regenwasser nur zweimal als verdächtige Infektionsquelle ermittelt), sind die Daten mit Vorbehalt zu interpretieren.

Von den 1.756 Datensätzen sind 1.030 Enteritis infectiosa-Fälle auf Infektionen mit *Campylobacter* spp. zurückzuführen, gefolgt von Infektionen durch Rotaviren mit 357 gemeldeten Fällen im Zeitraum von 12 Jahren. Da seit 1996 die Meldung von EHEC oder anderen pathogenen *Escherichia coli*-Stämmen in den Gesundheitsämtern eingeführt wurde, konnten in der Zeit von 1996 bis 1999 35 EHEC-Fälle und 10 Fälle auf Grund von anderen pathogenen *E. coli*- Stämmen (EIEC, EPEC, ETEC) erhoben werden.

Yersinia spp. konnten in 229 Fällen als Infektionserreger nachgewiesen werden. Adenoviren verursachten 75 der gemeldeten Durchfallerkrankungen im Rheinisch-Bergischen Kreis.

Unter sonstige Erreger fallen Clostridien (5), Amöben (1), Shigella (8), *Giardia lamblia* und *Staphylococcus aureus* (3). Shigella und Amöben, die als reiseassoziiert gelten, wurden nur deshalb in die Auswertung aufgenommen, da von Seiten der Betroffenen "keine Reise seit mehr als einem Jahr" angegeben wurde. Abbildung 6 zeigt den Anteil der Infektionserreger an der Gesamtzahl der verursachenden Pathogene.

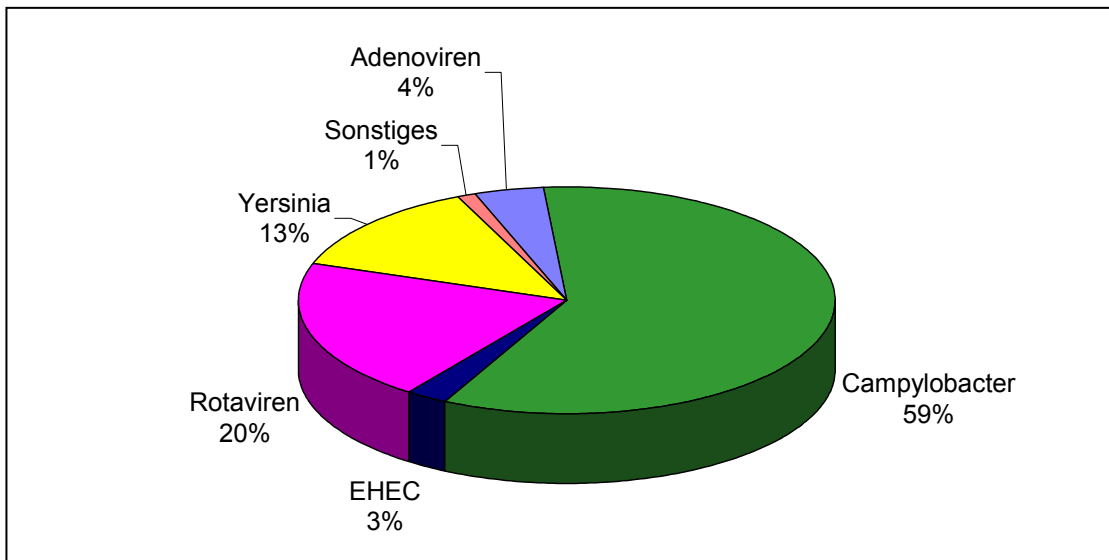


Abbildung 6: Anteil der einzelnen Infektionserreger an der Gesamtzahl der gemeldeten Fälle

4.6.1.2 Auswertung der Krankschreibungsstatistik der AOK Rhein-Berg

Die Regionaldirektion der Allgemeinen Ortskrankenkasse für den Rheinisch-Bergischen Kreis stellte für die Studie Datensätze über Arbeitsunfähigkeitsbescheinigungen der rund 60.000 versicherungspflichtigen Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen des Rheinisch-Bergischen Kreises zur Verfügung. Wie im Methodenteil erwähnt, wurden Abfragen nach den dreistelligen ICD-Codes der „Internationale Klassifikation der Krankheiten“ 9. Revision von 1979 für den Zeitraum 1991-1998 durchgeführt. Dabei ergab sich ein Datensatz von 3.562 Arbeitsunfähigkeitsmeldungen. Die Tabelle 31 zeigt die für den jeweiligen Klassifikationsschlüssel ermittelte Anzahl von Fällen.

Der große Anteil der 009 ICD-Codes zeigt an, dass die Bescheinigungen, die die Krankenkasse erhält, kaum differenzierte Informationen enthalten. Die durch die ÄrztInnen ausfüllten Atteste geben zwar Auskunft über die Diagnosen, jedoch bleiben diese sehr vage (pers. Mitteilung Herr Lang (2000), AOK Rheinland, Regionaldirektion Rheinisch-Bergischer Kreis, Bergisch Gladbach). Zum Teil werden drei und mehr Diagnosen im Erkrankungsfall gestellt, so dass die tatsächliche Ursache für die Krankmeldung nicht immer geklärt wird. Vor dem Hintergrund, dass fast alle Durchfallerkrankungen innerhalb weniger Tage abklingen, muss bei Menschen, die über Wochen krankgeschrieben sind, davon ausgegangen werden, dass der Durchfall evtl. eine Begleiterscheinung der Haupterkrankung war. In der Regel werden Patienten mit Durchfall etwa 3-6 Tage krankgeschrieben. In den Statistiken kommen jedoch auch Zeiträume von 108-561 Krankheitstagen vor. Bei diesen Patienten wurden meistens mehr als fünf Diagnosen gestellt.

Tabelle 31: Anzahl der Krankschreibungen ermittelt für die 3-stelligen ICD-Codes

ICD-Code (9. Revision)	Krankheitserreger/Diagnose*	Anzahl der Krankschreibungen
003	Salmonellen-Infektionen	62
004	Shigellen-Infektionen	2
006	Amöbenruhr	1
007	protozoische Infektionen des Magen-Darmtrakts	5
008	Intestinale Infektionen durch andere Erreger, wie <i>Escherischia coli</i> -Stämme, <i>Campylobacter</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , Clostridien, Rotavirus, Adenovirus, andere bakterielle und virale Organismen	41
009	mangelhaft bezeichnete Infektionen des Verdauungstraktes	3.448
	Gesamt	3.562

*nach AOK-Gesundheitsatlas 1992

Ein weiterer Grund für die unzureichende Klassifikation der gastrointestinalen Infektionen in der AOK-Statistik ist, dass die ÄrztInnen nur selten Stuhlproben für den Erregernachweis anordnen. An die Krankenkassen werden daher selten Testergebnisse weitergeleitet oder gar nachgereicht. Eine sichere Bestätigung einer gastrointestinalen Infektion mit Erregernachweis ist somit eher selten (pers. Mitteilung Herr Lang, AOK Rheinland, Regionaldirektion Rheinisch-Bergischer Kreis, Bergisch Gladbach).

Zur Bewertung und zur Vergleichbarkeit mit den Daten des Gesundheitsamtes wurde bei der Implementierung des Datensatzes der AOK Rhein-Berg in das GIS nur die unter ICD-Code 008 und 009 zusammengefassten Datensätze berücksichtigt, d. h. Salmonellen und Shigellen wurden ausgeschlossen, so dass ein Datensatz von 3.489 Arbeitsunfähigkeitsbescheinigungen ausgewertet werden kann.

4.6.1.3 Auswertung der Labordaten

Als dritte Datenbasis zur Untersuchung der räumlichen Verbreitung der gastrointestinalen Infektionen im Rheinisch-Bergischen Kreis wurden Labordaten ausgewertet, die durch das Institut für Mikrobiologie, Labor Dr. Lembke & Co zur Verfügung gestellt wurden. Die Laborstatistiken werden zum einen im Hinblick auf die Wiederfindung im amtlichen Melderegister überprüft als auch auf die Tauglichkeit in GIS-Anwendungen ausgewertet.

Datensätze aus den Jahren 1997 (nur Dezember) bis 2000 (bis August) wurden aus der Datenbank des Labors abgefragt. Dabei wurden Angaben zu Salmonellen und den Enteritiden „übrige Formen“ getrennt behandelt. Insgesamt ergab sich ein Datensatz von 719 erkrankten Personen, bei denen ein oder mehrere Krankheitserreger labordiagnostisch identifiziert wurden. Zur Vergleichbarkeit der Daten mit denen der UGB wurden in der vorliegenden Arbeit nur die Daten zu Enteritiden „übrige Formen“ ausgewertet. Die Anzahl der Befunde über Enteritis infectiosa „übrige Formen“ betrug für den o.g. Zeitraum 459 Datensätze. Folgende Erregernachweise wurden für den Rheinisch-Bergischen Kreis ermittelt (Tabelle 32):

Tabelle 32: Erregernachweise der Laborstatistik (12/1997 – 08/2000)

Pathogen	Anzahl der Datensätze
Adenovirenantigen positiv	43
Campylobacter fetus	1
Campylobacter jejuni	246
Dyspepsie coli 0126 K 71	1
Dyspepsie coli 0127 K 63	2
Dyspepsie coli 026 K 60	2
Dyspepsie coli 044 K 74	1
Dyspepsie coli 055 K 59	1
EHEC Toxine	12
Rotavirenantigen positiv	128
Yersinia enterocolitica	22
Gesamt	459

Weitere Informationen, die den Laborstatistiken entnommen werden konnten, sind Angaben zu Geburtsdatum, Geschlecht, Auftragsdatum, Nachweisdatum und die Bemerkung, ob der Befund nach dem BSeuchG an die zuständige Behörde gemeldet wurde. Auch genaue Angaben über den Wohnort der Patienten konnten bis auf Hausnummerenebene ermittelt werden, so dass die Möglichkeit zur detailliert räumlich-graphischen Darstellung im GIS-STI besteht.

Im Unterschied zu den amtlichen Registern der UGB und der AOK-Statistiken, für die die Bevölkerung des RBK, bzw. die Versicherten in den

Geschäftsstellenbezirken die Grundgesamtheit darstellen, kann für die Labor Datensätze kein direkter Bevölkerungsbezug hergestellt werden. Die räumliche Auswertung bezieht sich deshalb nur auf die Darstellung der Adresskoordinaten.

Von besonderem Interesse war die Wiederfindung der Laborbefunde im amtlichen Melderegister. Für die Jahre 1998 und 1999, für die die Datensätze für das gesamte Jahr vorlagen, wurde eine Abfrage durchgeführt. Die in der amtlichen Datenbasis durch das Labor Dr. Lembke & Co gemeldeten Erregerbefunde umfassten 316 Fälle. Im gleichen Zeitraum wies die Laborstatistik 337 Datensätze auf. Vermutlich kann diese Tatsache darauf zurückgeführt werden, dass die Laborbefunde über den positiven Nachweis von Adenovirenantigen nicht immer ein Ermittlungsverfahren durch das Gesundheitsamt auslöste. Als typische, nicht schwerwiegende Kinderkrankheit wurden die Befunde häufig in Extraordnern abgeheftet, die mir somit bei der Auswertung der amtlichen Infektionsüberwachung nur teilweise zur Verfügung standen. Zusätzlich muss auch mit Erhebungsfehlern gerechnet werden.

4.6.2 Allgemeine Auswertung der Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur

4.6.2.1 Auswertung der TEIS-Datenbank

Aufbauend auf die bereits im Rahmen einer Diplomarbeit (HERBST, 1999) erhobenen Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis wurden die Informationen zu den Wasserwerken und Wasserversorgungsunternehmen und deren Aufbereitungsverfahren, Einspeisungspunkten, Netzprobenstellen, Eigen- und Einzelwasserversorgern und hygienischen Parametern aus der TEIS-Datenbank der UGB und Erhebungen beim Landesumweltamt NRW ermittelt. Basierend auf dem HACCP-Konzept wird im Folgenden kurz der Informationsgehalt der relevanten Datenbasen beleuchtet. Wie Abbildung 5 verdeutlicht, wurden die Daten aus dem TEIS in thematischen Tabellenblättern abgelegt.

In dem Tabellenblatt „WVU“ stehen neben deren Adressen und Code-Nummern außerdem Informationen über die Herkunft und Gewinnung des Rohwassers, die abgegebene Menge pro Jahr, versorgte Haushalte und Anzahl der Bevölkerung sowie Angaben zu Aufbereitungstechniken zur Verfügung. Da die TEIS-Datenbank sich erst im Aufbau befand und nicht alle relevanten Daten verfügbar waren, wurden zusätzlich Informationen bei den Wasserversorgungsunternehmen und Wasserwerken und ergänzende Informationen des LUA NRW (Stand 1997 und 1998) eingeholt.

Insgesamt gibt es im Untersuchungsraum 22 WVU mit einer Abgabemenge von >5.000 m³ aufbereitetem Trinkwasser. Weitere fünf Unternehmen geben zwischen 1.000 bis 5.000 m³ pro Jahr an die Verbraucher ab. Vier Wasserversorgungsunternehmen (WVU) des Rheinisch-Bergischen Kreises gewinnen Wasser in eigenen Wasserwerken für die Bevölkerung:

- Die BELKAW GmbH (Bergische Licht-, Kraft- und Wasserwerke, Bergisch Gladbach), Wasserwerk Refrath
- Die Stadtwerke Rösrath, Wasserwerk Köln-Leidenhausen
- Der Wasserbeschaffungsverband Bechen, Wasserwerk Bechen
- Der Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper, Wasserwerk Schürholz

Die Wasserversorgungsunternehmen der Städte Burscheid, Leichlingen und Wermelskirchen geben an die Verbraucher aufbereitetes Talsperrenwasser ab, welches sie vom Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper beziehen. Das Talsperrenwasser stammt von der Großen Dhünn-Talsperre, die Ende 1987 in Betrieb genommen wurde und von deren 42 Mio. m³ nutzbaren Speichervolumens der Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper jährlich ca. 5,7 Mio. m³ erhält.

1987 wurde nach Fertigstellung eines neuen Rohwasserpumpwerks und der Rohwassertransportleitung mit der Rohwasserentnahme begonnen (WASSERVERSORGUNGSVERBAND RHEIN-WUPPER, 1995). Die Trinkwasseraufbereitung erfolgt im Wasserwerk Schürholz bei Dabringhausen seit 1990 durch eine dreistufige Filteranlage mit Rückspülwasser-Reinigungsanlage und abschließender Desinfektion. Das Rohwasser durchläuft dabei folgende Aufbereitungsstufen: Mikrosiebanlage, Entstabilisierung, Agglomeration, Filterstufe I, Ozonanlage, Filterstufe II (Aktivkohle), Filterstufe III und Desinfektion (Chlordioxid).

Die Übergabe des Trinkwassers an die Verbandsmitglieder erfolgt über ca. 110 km Versorgungsleitungen. Zusätzlich bezieht der WVV Rhein-Wupper 17% seines Trinkwassers vom Aggerverband über eine Verbundleitung von ca. 12 km Länge. Es handelt sich um aufbereitetes Talsperrenwasser der Wiehltalsperre des Aggerverbandes (WASSERVERSORGUNGSVERBAND RHEIN-WUPPER, 1995).

Die Stadtwerke Leichlingen GmbH, Stadtwerke Burscheid GmbH, Stadtwerke Wermelskirchen GmbH, die Wassergemeinschaft Osminghausen, der Wasserversorgungsverband Dabringhausen, der Wasserversorgungsverband Halzenberg, der Wasserleitungsverband Ketzberger Höhe und das Gemeindewasserwerk Odenthal geben fast ausschließlich Talsperrenwasser ab, das sie durch den WVV Rhein-Wupper erhalten.

Nur die Wasserversorgungsgesellschaft für Heddinghofen, Repinghofen, Kämersheide und Rötzinghofen fördert eigenes Grundwasser, das mit Natriumhypochlorid desinfiziert wird und 92% der Trinkwasserabgabe ausmacht. 8% der Bevölkerung in ihrem Versorgungsgebiet erhält ebenfalls aufbereitetes Talsperrenwasser. Das Gemeinde-

wasserwerk Odenthal erhält zu 86% aufbereitetes Wasser aus der Dhünn-Talsperre und weitere ca. 14% Grundwasser von der BELKAW GmbH.

Das Gemeindewasserwerk Kürten bezieht aufbereitetes Oberflächenwasser des Gruppenwasserwerks des Aggerverbandes in Gummersbach. Wiehl- und Genkelbachtalsperre stellen 28 Mio. m³ Rohwasser bereit, welches in den Wasserwerken Auchel und Erlenhagen aufbereitet wird. Eine Haupttransportleitung verbindet die beiden Wasserwerke zu einem Gruppenwasserwerk. Weitere Transportleitungen versorgen über Pumpwerke und Hochbehälter u. a. die Gemeinden Kürten und Overath mit Trinkwasser (AGGERVERBAND, o. J.). Innerhalb der Gemeindegrenzen von Kürten fördert der Wasserbeschaffungsverband (WBV) Bechen eigenes Grundwasser für den Gemeindeteil Bechen. Das geförderte Grundwasser wird mit Natriumhypochlorid desinfiziert und abgegeben.

Die Trinkwasserversorgung von Overath wird durch die Stadtwerke Overath betrieben, das als Verteilungsunternehmen das aufbereitete Trinkwasser aus dem Gruppenwasserwerk des Aggerverbandes an ca. 85% der Bevölkerung der Stadt liefert. Die Bevölkerung in den Gemeindeteilen Immekeppel und Untereschbach, an der westlichen Grenze von Overath zu Bergisch Gladbach, erhält Grundwasser der BELKAW. Außerdem werden im Süden kleine Regionen durch die Stadtwerke Lohmar mit Talsperrenwasser des Wahnbachtalsperrenverbandes und von den Stadtwerken Rösrath mit Grundwasser beliefert.

Die Stadtwerke Rösrath geben ausschließlich eigengefördertes echtes Grundwasser ab. Im Wasserwerk Leidenhausen wird das gewonnene Grundwasser mittels offener Belüftung und physikalischer Verdüsung aufbereitet.

Die Stadt Bergisch Gladbach wird mit Grundwasser der BELKAW GmbH versorgt. Bei der BELKAW GmbH beläuft sich die Eigenförderung auf 58% echtes Grundwasser, das aus den unterirdischen Klüften und Spalten der Kalksteinschichten der sogenannten "Paffrather Kalkmulde" stammt. Die Erschließung des Grundwassers findet über fünf Brunnen des Wasserwerks Refrath statt. Das Wasser wird aus einer Tiefe von 45 m gefördert und über eine Sammelleitung zum Wasserwerk geleitet. Es werden keine chemischen Aufbereitungsverfahren angewendet. Das Wasser wird durch offene Belüftung und physikalische Verdüsung aufbereitet. Die übrigen 42% Trinkwasser zur Versorgung der Bevölkerung bezieht die BELKAW GmbH über die GEW Köln von der RGW Köln. Auch hierbei handelt es sich um echtes Grundwasser.

Auf die Fläche bezogen werden 68% der Kreisfläche des Rheinisch Bergischen Kreises mit Oberflächenwasser versorgt, die verbleibenden 32% der Kreisfläche erhalten ausschließlich Grundwasser. Bezogen auf die Bevölkerung erhalten jedoch ca. 50% Grundwasser und 50% aufbereitetes Talsperrenwasser.

Tabelle 35 fasst die wichtigsten Ergebnisse aus dem TEIS-Bestand, der ergänzenden Informationen des LUA NRW, BGW-Statistiken und eigenen Erhebungen (überwiegend Stand 1997 bis 2000) zusammen.

Die TEIS-Tabellenblätter zu den Eigen- und Einzelwasserversorgern geben die Adressen der privaten WVU, die versorgten Haushalte und Personen, Hoch- und Rechtswerte sowie die Aufbereitung des Rohwassers wieder (TEIS, Stand 1998). Unter Eigenwasserversorgungsanlagen (EigenWV) wird verstanden, dass sich der Inhaber der Anlage selbst versorgt und kein Wasser an Dritte weitergibt. Einzelwasserversorgung (EinzelWV) bedeutet, dass eine begrenzte Anzahl von Verbrauchern durch eine private

Anlage mit Trinkwasser versorgt wird. Die Trinkwasserabgabe beträgt weniger als 1.000 m³ pro Jahr (TEIS Handbuch 1990). Insgesamt existierten im Jahr 1998 53 EinzelwV und 92 EigenwV im Untersuchungsgebiet, die feste Probenahmestellen für die hygienische Überwachung durch die UGB bilden (Tabelle 33).

Tabelle 33: Anzahl der Eigen- und Einzelwasserverorgung

Gemeinde/Stadt	Eigenwasserversorgungsanlagen (1998)		Einzelwasserversorgungsanlagen (1998)	
	Anzahl der Anlagen	Versorgte Personen	Anzahl der Anlagen	Versorgte Personen
Bergisch Gladbach	15	31	13	137
Burscheid	6	14	3	19
Kürten	26	73	20	117
Leichlingen (Rhld.)	4	10	8	50
Odenthal	7	15	0	0
Overath	19	43	6	31
Rösrath	1	3	0	0
Wermelskirchen	14	41	3	25
Gesamt	92	230	53	379

(Quelle: TEIS)

Zur Erhebung weiterer Probenahmestellen (PNS) wurden Tabellenblätter zu Netzprobenstellen und Einspeisungspunkten aus dem TEIS-Datenbestand extrahiert. Auch hier gibt es sowohl Adressenangaben zur Lage der PNS mit Hoch- und Rechtswerten als auch Informationen über die Herkunft des Wassers (Grundwasser, Oberflächenwasser, Quellwasser). Bevor 1997 48 feste Netzprobenstellen durch die UGB eingerichtet wurden, gab es im RBK 240 "wandernde" Netzprobenstellen.

Einspeisungspunkte werden definiert als die Stellen, an denen Trinkwasser von einem WW oder WVU abgegeben und von anderen übernommen wird. Zusätzlich werden auch Hochbehälter und Druckminderungsanlagen als Einspeisungspunkt bezeichnet. Insgesamt gibt es im RBK 74 Einspeisungspunkte.

Die Häufigkeit der an den Probenahmen durchzuführenden hygienischen Tests wird in der TrinkwV (s. Kapitel 3.1.1) geregelt. Je nach PNS-Art wurden mehr oder weniger Testergebnisse über unterschiedliche Zeiträume an die UGB weitergeleitet. Die TEIS-Datenbank gab Auskunft über die Art der PNS, Datum der Probenahme und die Testergebnisse. Insgesamt konnten im Zeitraum 1974 bis 1998 3.075 Untersuchungsergebnisse zu coliformen Keimen, 4.457 zu *Escherichia coli*, 4.571 auf Koloniebildenden Einheiten (KBE) bei 20°C und 4.525 KBE bei 36°C Bebrütungstemperatur sowie 683 Nitrat-Probenahmeergebnisse erhoben werden.

Bei Auswertung der ausgewählten mikrobiologischen Parameter der Trinkwasserproben für die Netzstellen, Einspeisungspunkte und Einzel- und Eigenwasserversorgungsanlagen im Rheinisch-Bergischen Kreis konnte festgestellt werden, dass in 2% bis 4,3% der Proben Grenz- und Richtwertüberschreitungen vorlagen.

Als wesentliche Ergebnisse der hygienischen Beurteilung des abgegebenen Trinkwassers konnte festgestellt werden, dass die meisten Grenz- und Richtwertüberschreitungen (über 80%) bei den Eigen- und Einzelwasserversorgungsanlagen vorlagen.

Die Anzahl von Probenahmestellen stellen charakteristische Merkmale der Trinkwasserversorgungsstruktur dar. Da die Lage dieser Probenahmestellen über Hoch- und Rechtswerte definiert waren, konnte über GIS-Funktionen die Anzahl der Probenahmestellen pro Gemeinde und Stadt (Tabelle 34) ermittelt werden.

Tabelle 34: Anzahl der TEIS-Probenahmestellen 1997

Gemeinde/ Stadt	Einspeis- ungspunkte	Netzproben- stelle	Wasser- gewinnungs- anlage > 1000m ³ /a	EigenWV	EinzelWV
Bergisch Gladbach	28	4	1	15	13
Burscheid	8	32	6	6	3
Kürten	2	8	4	26	20
Leichlingen (Rhld.)	13	50	0	4	8
Odenthal	0	16	0	7	0
Overath	1	19	0	19	6
Rösrath	3	29	0	1	0
Wermelskirchen	12	82	1	14	3
außerhalb des Kreisgebiets	7	0	5	0	0
Gesamt	74	240	17	92	5

(nach KISTEMANN et al. 2002)

**Tabelle 35: Zusammenstellung der Informationen zu den
Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis**

4.6.2.2 Auswertung der Rohwasserdatenbank (HYGRIS)

Die Rohwasserdatenbank (HYGRIS) des Landes Nordrhein-Westfalen stellte Datensätze über einen Zeitraum von 7 Jahren zu den Wassergewinnungsanlagen im RBK bereit. Die Informationen aus der HYGRIS-Datenbank umfassen Daten zur Größe und Art der Wasserwerke, Herkunft und Menge des entnommenen Wassers und Aufbereitungstechniken, Angaben über die Rohwasserprobenahmestellen mit Hoch- und Rechtswerten sowie Messergebnisse aus der hygienischen Überwachung des Rohwassers. Als Indikatorparameter standen Ergebnisse über die Konzentrationen von coliformen Keimen, KBE bei 20°C Bebrütungstemperatur, Nitrat, Nitrit, Ammonium und Trübung im Rohwasser zur Verfügung.

Für die Wasserwerke der BELKAW GmbH, den Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper und den Wasserbeschaffungsverband Bechen liegen Probeergebnisse der mikrobiologischen Parameter und Nitrat über den Zeitraum von 1991 bis 1997 vor. Die Probenahmen wurden zweimal jährlich, jeweils im Frühling und Herbst, durchgeführt. Ein Wasserwerk lieferte über den Beobachtungszeitraum keine mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse. Das Wasserwerk Leidenhausen der Stadtwerke Rösrath betreibt fünf Brunnen, die außerhalb des Kreisgebiets liegen.

Insgesamt konnten 285 Rohwasser-Datensätze von 20 Messstellen über einen Zeitraum von 7 Jahren abgefragt werden.

Die Auswertung der hygienischen Parameter des Rohwassers der Trinkwassergewinnungsanlagen im Rheinisch-Bergischen Kreis ergab, dass im Beobachtungszeitraum das Oberflächenwasser stärkeren mikrobiellen Belastungsschwankungen unterlag als das Grundwasser. In einigen Jahren betrug die Anzahl der coliformen Keime im Rohwasser der Talsperre zwischen 500 und 2.600 KBE/ml. Damit lagen die Werte zwar noch unter den Anforderungen der EG-Badegewässerrichtlinie (10.000 KBE/100ml, 76/160 EWG) aber doch über den EG-Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung Kategorie A1 mit einem Richtwert von 50 KBE/100 ml (75/869 EWG). Bei den vorliegenden Ergebnissen liegen im Fall steigender Koloniezahlen meist auch erhöhte Trübungswerte vor.

4.6.3 Auswertung der Datensätze mit GIS-STI-spezifischen Werkzeugen

In den folgenden Kapiteln werden die erhobenen Datensätze im räumlichen Bezug ausgewertet. Es soll untersucht werden, welche Möglichkeiten GIS bieten, um den Informationsgehalt der erhobenen Datensätze weiter auszuschöpfen. Da zahlreiche Techniken zur Verfügung stehen, sollen insbesondere diejenigen vorgestellt werden, die relativ einfach eingesetzt werden können, um neue Resultate zu erhalten. Diese Vorgehensweise wird vor dem Hintergrund der praktischen Anwendbarkeit im lokalen Bereich des öffentlichen Gesundheitsdienstes gewählt. Von besonderem Interesse ist deshalb die graphische Darstellung der Datensätze am Bildschirm oder als Ausdruck in Form von Karten. Dabei spielt die räumliche Auflösung der Daten eine wesentliche Rolle für die Funktionsweise und Aussagekraft des GIS-STI.

Da in dem vorliegenden Kapitel vor allem die technischen Methoden vorgestellt werden sollen, werden statistische Auswertungen erst im Kapitel 5, der Ökologischen Studie, vorgenommen.

4.6.3.1 Darstellung von Koordinatenangaben

Wie bereits in Kapitel 4.5.2.1 erwähnt, konnten die Fallzahlen, die bei der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises erhoben wurden und die Labordaten durch Geokodierung der Patientenadressen als Hoch- und Rechtswerte auf Basis der Topographischen Karten 1:25.000 in das GIS-STI eingelesen werden. Als Ergebnis lassen sich Punktkarten erstellen, mit denen relativ lagetreu wichtige Informationen zu den Koordinaten dargestellt werden können.

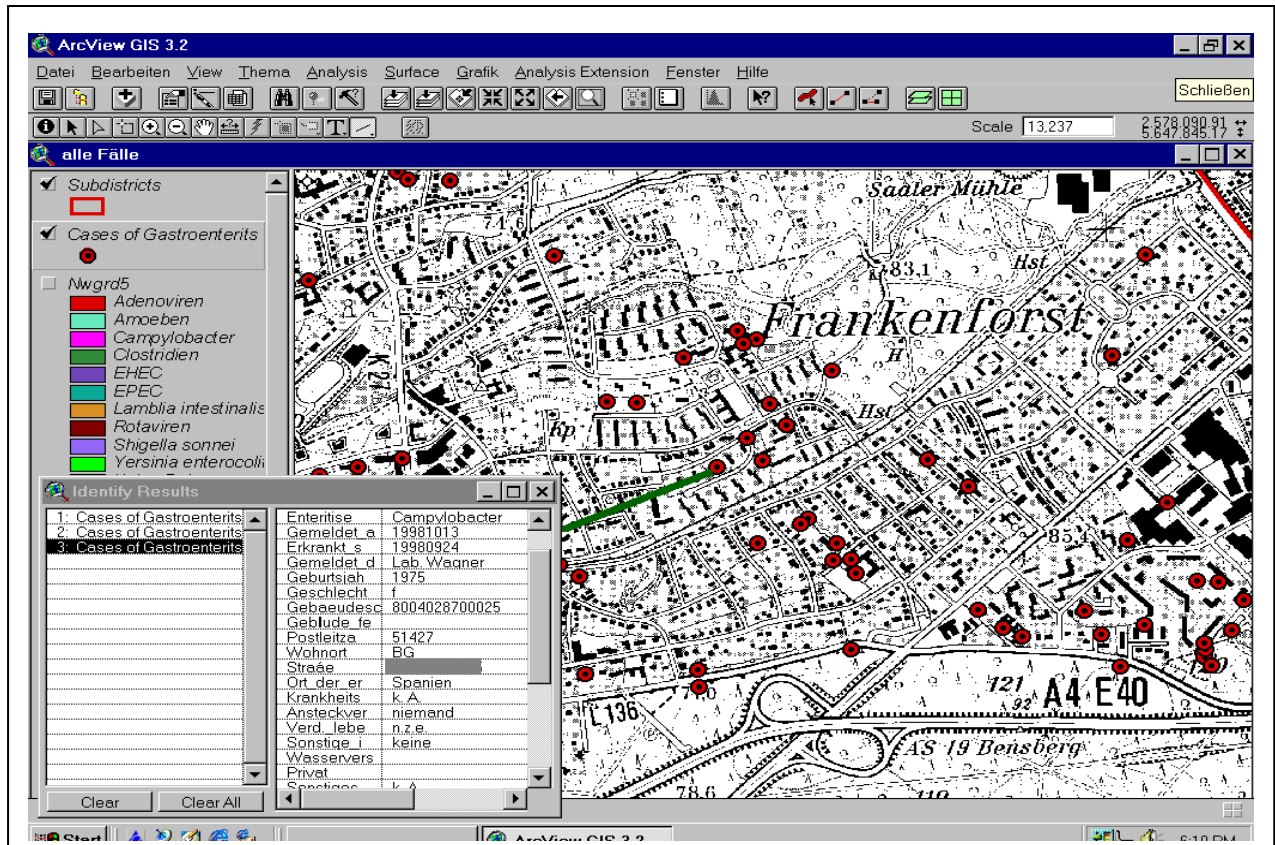


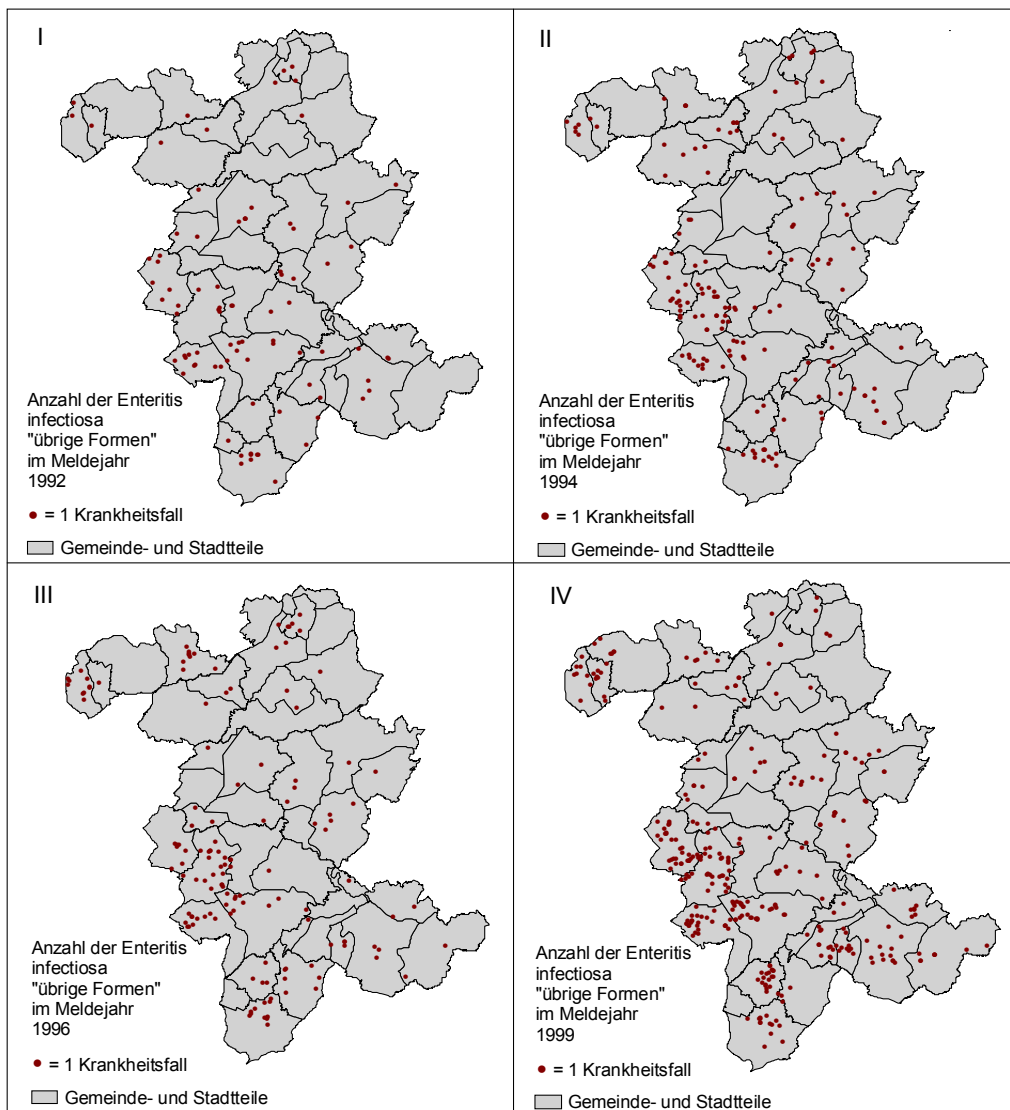
Abbildung 7: Abfrageergebnis der epidemiologischen Datengrundlage der UGB

Von sehr großem Nutzen sind Punktdichtekarten hinsichtlich der Überwachung von Infektionskrankheiten. Durch die Möglichkeit der Verknüpfung der Objektdaten mit den Attributdaten auf Grundlage topographischer Karten (z. B. 1:5.000) können direkt am Bildschirm Informationen zu den erhobenen Datensätzen über die Enteritise infectiosa-Fälle "übrige Formen" abgefragt werden. Wichtige Abfragekriterien sind z. B. Meldedatum, Infektionserreger, Adresse der Patienten, verdächtige Infektionsquellen u. ä., die aus dem Melderegister der UGB zur Verfügung stehen. Je nach Maßstabsebene kann gleichzeitig die Nähe zu anderen Ereignissen rein visuell, aber auch rechnerisch ermittelt werden. Am Beispiel eines Ausschnitts von Bergisch Gladbach werden solche Punktereignisse dargestellt (Abbildung 7). Aus datenschutztechnischen Gründen wird als Hintergrund jedoch die topographische Karte 1:25.000 gewählt, damit die Erkrankungsfälle nicht lagetreu zu identifizieren sind.

Der Datenschutz spielt in diesem Zusammenhang natürlich eine große Rolle. Die meisten Infektionskrankheiten sind nach dem Gesetz namentlich zu melden (IfSG). Dadurch stehen auf lokaler Ebene detaillierte Datensätze zur Verfügung. Einige andere

Krankheiten, wie z. B. AIDS, werden anonym registriert. Letztere Daten können dadurch nicht lagertreu untersucht werden.

Auf lokaler Ebene sollte die Nutzung einer GIS-gestützten Surveillance jedoch durchführbar sein, wenn der Zugang zum System nur für autorisierte Personen gewährt würde. Die lagertreue Auswertung sollte nur für den internen Gebrauch verwendet werden, um evtl. Maßnahmen einleiten zu können. Eine Weiterverwendung der Daten kann dann in einer generalisierten Form vorgenommen werden.



Quelle: UGB Rheinisch-Bergischer Kreis

Karte D: Fallzahlentwicklung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ 1992 bis 1999

Über Datenbankabfragen lassen sich außerdem die Fallzahlentwicklung wöchentlich, monatlich oder jahrgangsweise abfragen und raumzeitlich analysieren. Karte

D (I-IV) zeigen die Fallzahlentwicklung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ im Untersuchungsraum über die Jahre 1992, 1994, 1996 und 1999. Die Zunahme der Fälle ist in erster Linie auf verstärkte Meldetätigkeit zurückzuführen. Die Punktedichte ist zudem auch von der Bevölkerungsdichte abhängig.

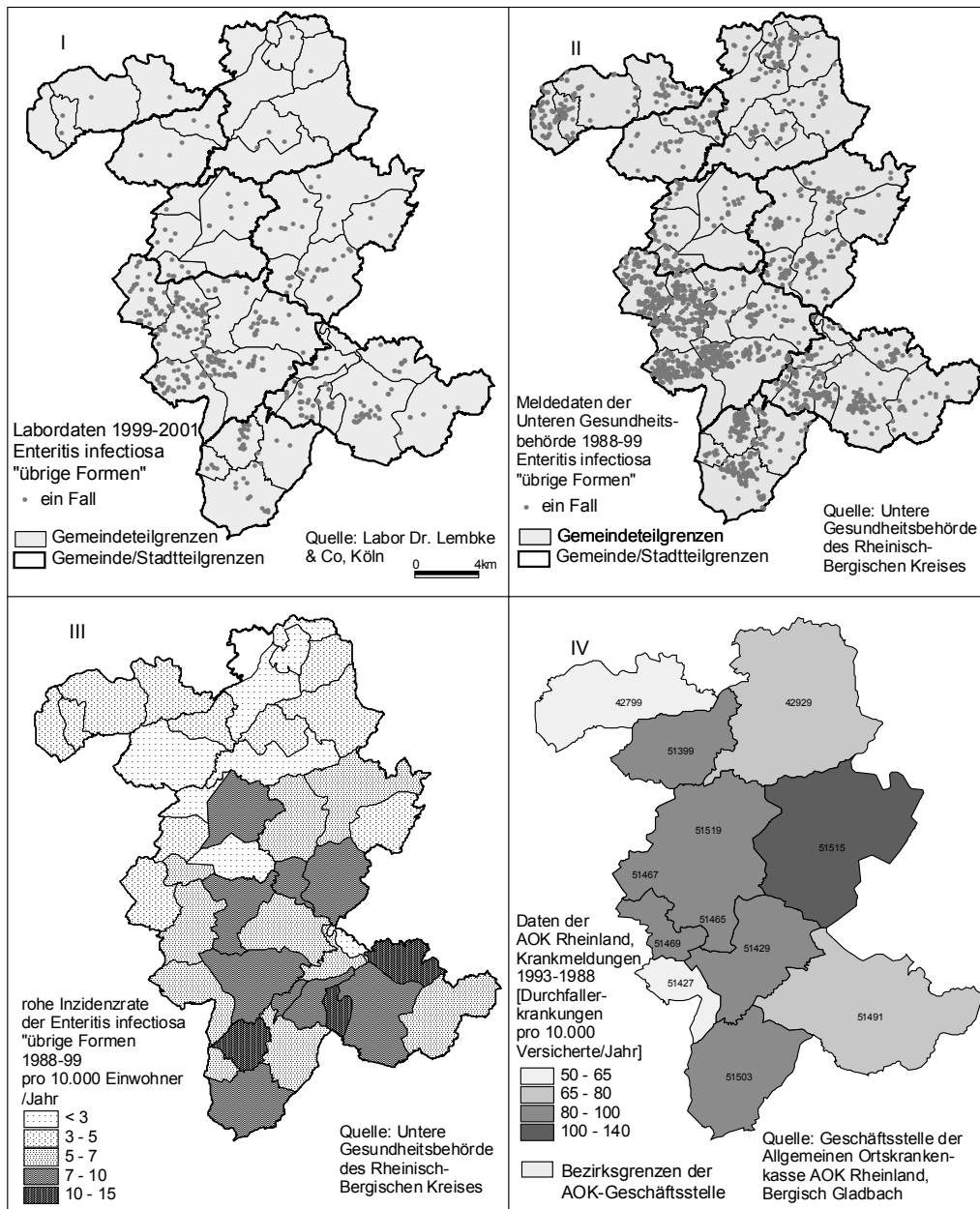
Auch die Visualisierung des Auftretens bestimmter Infektionserreger in einem definierten Umkreis unterstützt die Bewertung von Gesundheitsrisiken. Aufgrund der anonymisierten Statistiken der AOK-Geschäftsstelle Rhein-Berg lassen sich mit diesen Daten nur Choroplethenkarten erstellen.

Zur Verdeutlichung der Bedeutung der räumlichen Auflösung der erhobenen Daten für die Aussagekraft und Funktionstüchtigkeit des GIS-STI werden die epidemiologischen Datenbasen miteinander verglichen (Karten E I-IV). Erlauben die Punktdaten lagetreue Darstellung der Fälle im RBK, Distanzberechnungen und Dichteschätzungen so liefern Choroplethenkarten flächenhafte Informationen. Bezogen auf die Labordaten lassen sich die gleichen Methoden zur Punktdarstellung durchführen wie für die Adresskoordinaten des amtlichen Melderegisters (Karte D I-IV), obwohl der Informationsgehalt gegenüber den Meldedaten der UGB geringer ist (s. Kapitel 4.6.3.2). Da die Labordaten nur einen Ausschnitt der Gesamtfallzahlen wiedergeben, ist es nicht sinnvoll die Adresskoordinaten auf räumliche Einheiten zu aggregieren. Sie lassen sich am besten als Punktdichtekarten darstellen.

Die Punkteverteilung ist in diesem Fall nicht nur eine Funktion der Bevölkerungsdichte sondern auch der Lage des Labors. Da es in Köln ansässig ist, werden dort vor allem labordiagnostische Nachweise für Patienten aus Bergisch-Gladbach und den südlichen Teilen des Kreisgebiets geliefert. Die nördlichen Regionen werden durch Labors aus Leverkusen, Remscheid und Solingen versorgt (Karte E I). Karte E II stellt die Adresskoordinaten aus der amtlichen Statistik des UGB über den gesamten Untersuchungszeitraum dar. Die Verteilung der Fälle im Raum gibt in etwa die Lage und Dichte der bebauten Fläche im Kreisgebiet wieder.

Als kleinste administrative Einheit des Rheinisch-Bergischen Kreises stehen die Grenzen der 42 Gemeinde- und Stadtteile der 8 Gemeinden und Städte als Basiskarte zur Verfügung. Durch Aggregation der Meldedaten auf die Gemeinde- und Stadtteilebene lassen sich flächenhaft die Inzidenzen der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ pro Jahr und 10.000 Einwohner darstellen (Karte E III).

Die Choroplethenkarte zur räumlichen Auswertung der Statistik über Arbeitsunfähigkeit aufgrund von Durchfallerkrankungen lässt sich mit Ausnahme der Stadt Bergisch-Gladbach auf Postleitzahllebene realisieren. Die Postleitzahlgebiete in Bergisch-Gladbach und Odenthal stimmen nicht mit den Geschäftsstellenbezirken überein, so dass hier drei Postleitzahlgebiete zusammengefasst wurden. Damit ist nicht nur aufgrund der undifferenzierten epidemiologischen Datenbasis sondern auch aufgrund der geringen räumlichen Auflösung keine ausreichende Bewertung der Krankheitsverbreitung möglich (Karte E IV).



Karte E: Vergleich der epidemiologischen Datenbasen

Hinsichtlich der Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur lassen sich folgende Datensätze als Punktdaten visualisieren und räumlich interpretieren: Eigen- und Einzelwasserversorger, Lage der WWU und WW, Einspeisungspunkte, Netzprobenstellen und Rohwassermessstellen. Bei der graphischen Bildschirmdarstellung können z. B. interaktiv die Namen der Eigentümer, Menge des produzierten Trinkwassers, Aufbereitungsart und Abgabemenge von Eigen/Einzelwasserversorgungsanlagen abgerufen werden (Abbildung 8).

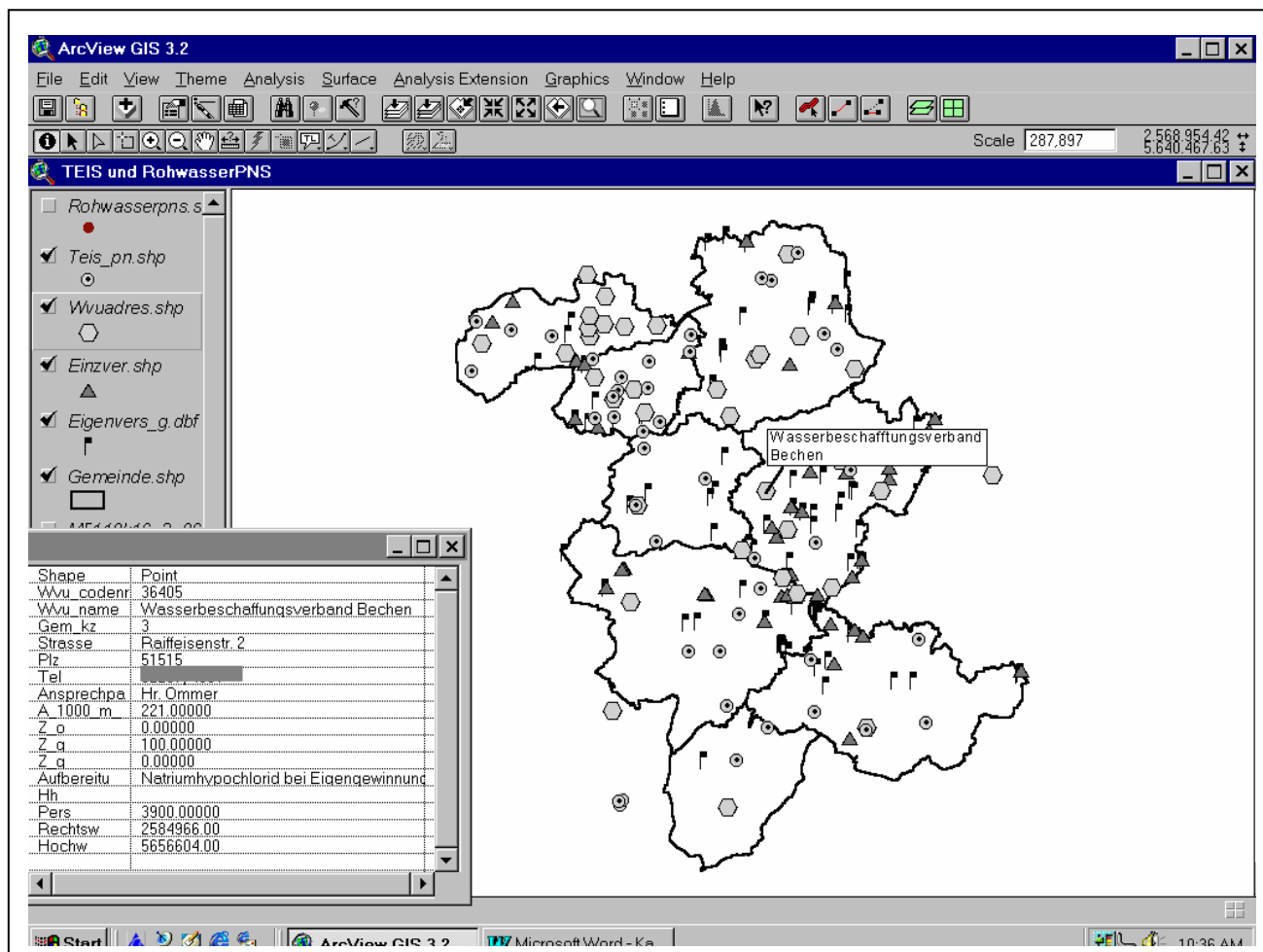


Abbildung 8: Darstellung von Informationen aus der TEIS-Datenbank

Bei der Auswertung von Informationen zu den Eigen- und Einzelwasserversorgern kann das GIS-STI u. a. folgende wichtige Frage zu beantworten helfen: Gibt es in Haushalten, die ihr Trinkwasser aus einer privaten Versorgungsanlage beziehen, eine im Verhältnis zu den an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossenen Haushalten höhere Anzahl von Enteritis infectiosa-Fällen „übrige Formen“? Die für diese Aufgabe notwendigen Daten stammen zum einen aus dem amtlichen Melderegister und zum anderen aus TEIS. Durch Abgleich der Attributdaten beider Datenbasen über die Hoch- und Rechtswerte kann gezeigt werden, wie hoch der Anteil der Eigen- und Einzelwasserversorger ist, bei denen über den untersuchten Zeitraum (1988-1999) Durchfallerkrankungen auftraten.

Es ergaben sich jedoch nur zwei Übereinstimmungen zwischen privaten WV und Patientenadressen, obwohl 10 der erkrankten Personen angaben, dass sie über private Anlagen versorgt werden. Diese Tatsache kann damit begründet werden, dass bei den Einzelwasserversorgungsanlagen nur die Eigentümer, jedoch nicht die Adressen der Haushalte, die ebenfalls von dieser Anlage ihr Trinkwasser beziehen, im TEIS aufgenommen waren. Zur Verbesserung der Datenlage wäre eine Aufnahme aller privat versorgten Haushalte in das TEIS empfehlenswert.

Die Überwachung trinkwasserbedingter GI erfordert einen schnellen Zugriff auf Daten, um möglichst zeitnah im Falle von Störfällen reagieren zu können. Besonders hinsichtlich der Roh- und Trinkwasserqualität ist es sinnvoll, Ergebnisse von Trink- und Rohwasseruntersuchungen direkt im räumlichen Bezug darzustellen.

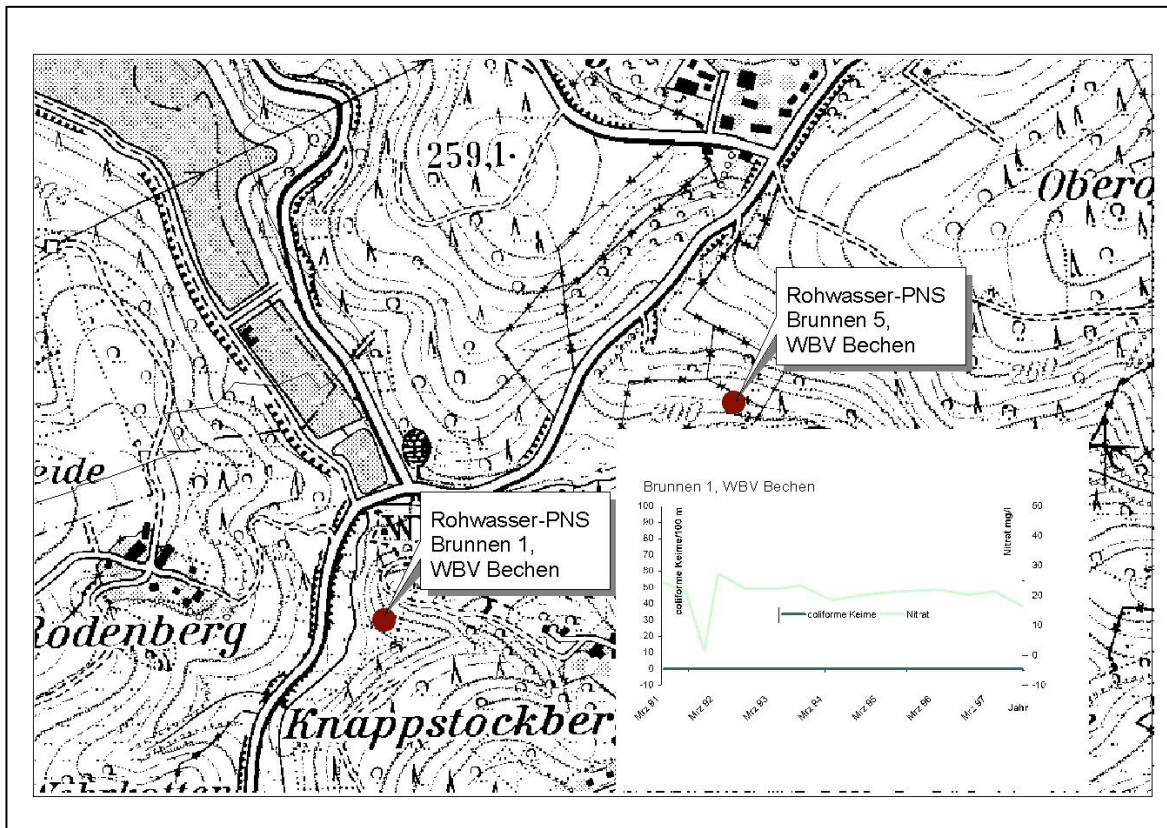


Abbildung 9: Rohwasser-Analyseergebnisse an Brunnen 1 des WBV Bechen

Abfragen zur hygienischen Qualität von Probenahmestellen können eine Häufung von Grenzwertüberschreitungen bestimmter Indikatorbakterien an einer bestimmten Messstelle aufzeigen. Dazu können die Messstellen auch mit Graphiken verknüpft werden, die den Verlauf der Konzentrationen verschiedener Indikatorparameter über einen definierten Zeitraum anzeigen. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt des Gemeindeteils Bechen und die Lage zweier Rohwassermessstellen des Wasserbeschaffungsverband Bechen.

4.6.3.2 Aggregation und Verschneidung

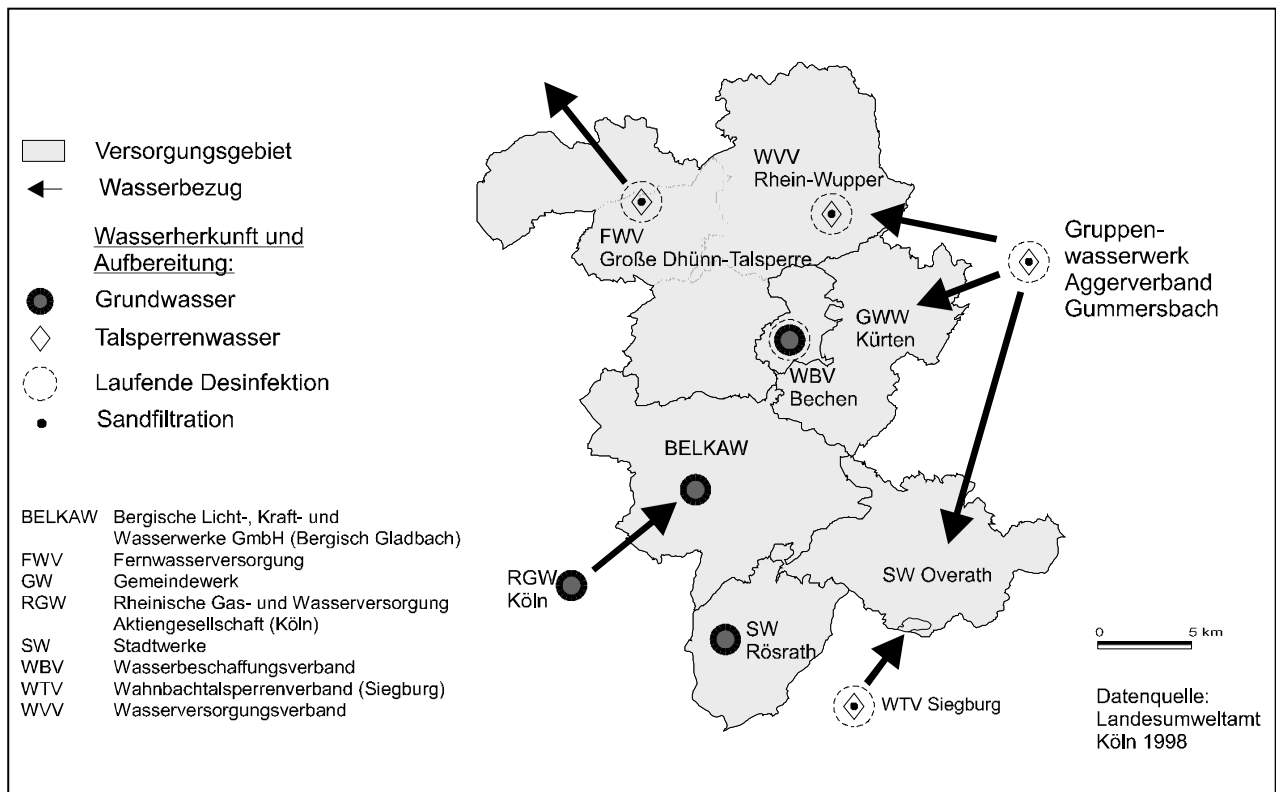
Auf der Basis von Grundlagenkarten, welche die Gemeinde- und Stadtgrenzen, Gemeinde- und Stadtteilgrenzen oder die Postleitzahlräume des Rheinisch-Bergischen Kreises wiedergeben, lassen sich weitere Auswertungen durchführen. Erlauben die Punktdaten lagetreue Darstellung der Fälle im RBK, Distanzberechnungen und Dichteschätzungen, so liefern Choroplethenkarten flächenhafte Informationen in Form von thematischen Karten. Zur Verdeutlichung der Bedeutung der räumlichen Auflösung der erhobenen Daten für die Aussagekraft und Funktionstüchtigkeit des GIS-STI werden die epidemiologischen Datenbasen miteinander verglichen. Da die Labordaten nur einen Ausschnitt der epidemiologischen Datenbasis des amtlichen Melderegisters wiedergeben, ist es nicht sinnvoll, die Adresskoordinaten auf räumliche Einheiten zu aggregieren.

Als kleinste administrative Einheit des Rheinisch-Bergischen Kreises stehen die Grenzen der 42 Gemeinde- und Stadtteile der 8 Gemeinden und Städte als Basiskarte zur Verfügung (s. Anhang). Durch Aggregation der Meldedaten auf die Gemeinde- und Stadtteilebene lassen sich flächenhaft die Inzidenzen der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ pro Jahr und 10.000 Einwohner darstellen.

Aufgrund der Generalisierung der AOK-Daten können keine genauen Inzidenzen in den verschiedenen Geschäftsstellenbezirken bzw. Postleitzahlräume berechnet werden. Die Vergleichbarkeit der AOK-Daten mit den Daten der UGB und der Labordaten ist damit stark reduziert.

Aus den Karten D und E sowie der Abbildung 7 wird deutlich, dass die epidemiologische Datengrundlage der UGB sowohl inhaltlich als auch räumlich gesehen den höchsten Informationsgehalt besitzt. Auch wenn davon auszugehen ist, dass die Fälle unterrepräsentiert sind, eignen sie sich am besten für weitere Untersuchungen. Die Labor- und AOK-Daten liefern für eine fachspezifische Surveillance kein ausreichendes Material. In besonderen Fällen können sie aber als zusätzliche Informationsbasis verwendet werden. Alle weiteren Untersuchungen zur räumlichen Verbreitung gastrointestinaler Infektionen im Rheinisch-Bergischen Kreis werden daher auf der amtlichen Datengrundlage durchgeführt.

Auch die Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis lassen sich in thematischen Karten verdeutlichen. Die Informationen aus den Attributtabelle, die aus TEIS und HYGRIS gespeist werden, können auf Basis der digitalisierten Trinkwasserversorgungsgebiete visualisiert werden. Karte F zeigt den Wasserbezug und die Aufbereitungsart der Wassergewinnungsanlagen zur Versorgung des Kreisgebiets.



(verändert nach KISTEMANN et al. , 2002)

Karte F: Trinkwasserbezug und Trinkwasseraufbereitung

Die Erhebung der Trinkwasserversorgungsstruktur ergab 22 WVU mit einer jährlichen Trinkwasserabgabe über 5.000m³ und 5 WVU mit einer jährlichen Abgabemenge zwischen 1.000m³ und 5.000m³ Trinkwasser. Die Gebietsgrenzen der Wasserversorgungsgebiete lagen in keinem Fall digital vor und mussten aus den von den WVU zur Verfügung gestellten Karten digitalisiert werden. Die räumliche Ausdehnung der Versorgungsgebiete variiert beträchtlich und liegt zwischen <0,1 km² bis 88 km². Die Kenntnis über die Ausdehnung der Wasserversorgungsgebiete ist bei der Überwachung der Wasserqualität durch die UGB extrem wichtig. Da die Grenzen der Wasserversorgungsgebiete in den wenigsten Fällen mit den administrativen Grenzen des RBK übereinstimmen, muss ermittelt werden, welche Ortschaften bzw. welche Bevölkerung durch die einzelnen WVU versorgt werden (Karte G). Die WVU haben in einigen Fällen ihren Sitz außerhalb des Kreisgebiets, liefern aber das Trinkwasser in bestimmte Regionen des RBK.

Bei der relativ kleinmaßstäbigen Darstellung in Karte G konnten einige Wasserversorgungsgebiete nicht als Flächen dargestellt werden. Die verschiedenfarbig gekennzeichneten Flächen stellen die Gebiete der größeren WVU dar. Durch Überlagerung der Gemeinde- und Stadtteilgrenzen werden die Überlappungsgebiete deutlich.

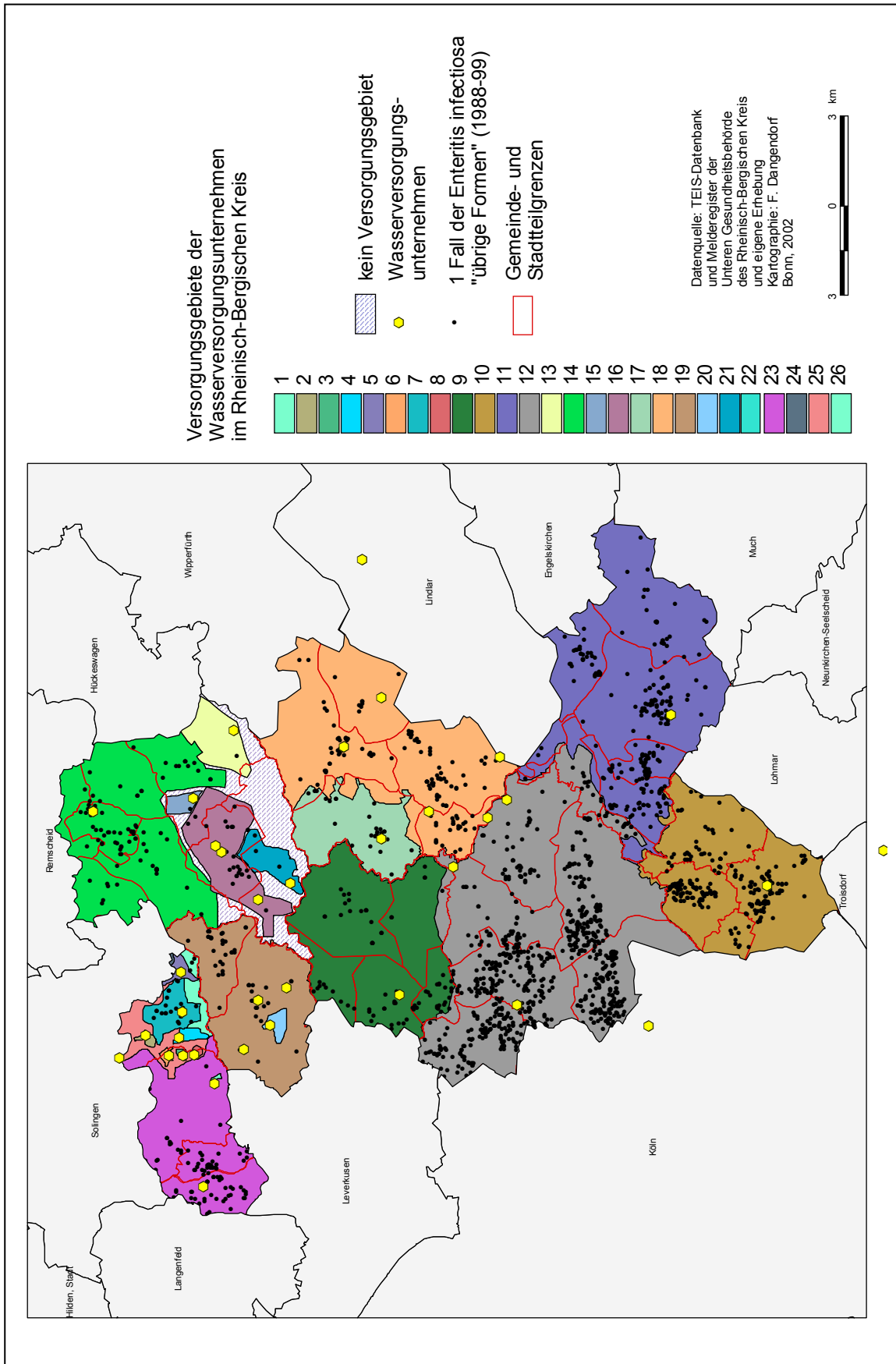
Durch Verschneidung der Versorgungsgebiete mit den Einzelfällen der GI können wichtige Informationen über das Auftreten von GI in den verschiedenen Versorgungsgebieten gewonnen werden. Während in konventionellen Surveillance-Systemen häufig

die Assoziation zwischen GI und Trinkwasser unbeachtet bleibt, unterstützt eine Beobachtung der Fallzahlen im direkten Bezug zu den jeweiligen Wasserversorgern die Bildung von Hypothesen über Zusammenhänge. Durch kontinuierliche Berechnung von Erkrankungsraten im Einzugsbereich der WVU kann möglicherweise langfristig die Qualität des Trinkwassers beurteilt werden.

Tabelle 36: Absolute Zahl der Enteritis-Fälle „übrige Formen“ pro Versorgungsgebiet

WVU_CODE _NR	GEM_KZ	WVU_NAME	Fälle* der Enteritis infectiosa "übrige Formen" (1988-99)
36260	1	BELKAW GmbH	807
36340	2	Stadtwerke Burscheid, Wasserversorgungsverein Oberlandscheid, Wasservereinigung Neuenhaus-Kamberg	51
77760	2	Wasserleitungsgenos. Heddinghofen, Repinghofen, Krämersheide, Rötzinghofen	1
36405	3	Wasserbeschaffungsverband Bechen	30
32871	3	Gemeindewasserwerk Kürten, Wasserversorgung Neulinde, Wassergemeinschaft Hermannsquelle	125
72872	4	Stadtwerke Leichlingen GmbH	91
77416	4	Wassergemeinschaft Bremersheide, Metzholz, Wassergenossenschaft Holzerhof, Unterbücherhof, Wasserversorgung Oberwitzhelden, Wasserversorgungsverein Witzhelden, Wasserwerkverein Krähwinkel, Wasserwerkvereinigung Oberbüscherhof	37
72873	5	Gemeindewasserwerk Odenthal	74
72874	6	Stadtwerke Overath	241
72875	7	Stadtwerke Rösrath	247
72274	8	Stadtwerke Wermelskirchen GmbH	85
36434	8	Wassergemeinschaft Osminghausen	2
36428	8	Wasserleitungsverband Ketzberger Höhe	3
36427	8	Wasserversorgungsverband Dabringhausen	23
36433	8	Wasserversorgungsverband Halzenberg	1
Gesamt			1818**

*alle Fälle incl. reiseassoziierte; **2 Fälle wurden nicht identifiziert,
Datenquelle: UGB Rheinisch-Bergischer Kreis, eigene Erhebung



Karte G: Die Versorgungsgebiete der Wasserversorgungsunternehmen

Ein weiteres Instrument zur Analyse räumlicher Verbreitungsmuster stellt die Rasterisierung der flächenhaft dargestellten Informationen dar. Die Aufteilung in Rasterzellen hat den Vorteil, die Daten von vorgegebenen administrativen Gebiets-einheiten zu lösen. Dabei kann die Größe der Rasterzellen frei gewählt werden.

Am Beispiel der epidemiologischen Datenbasis der UGB soll der Vorteil einer solchen Rasterdarstellung demonstriert werden.

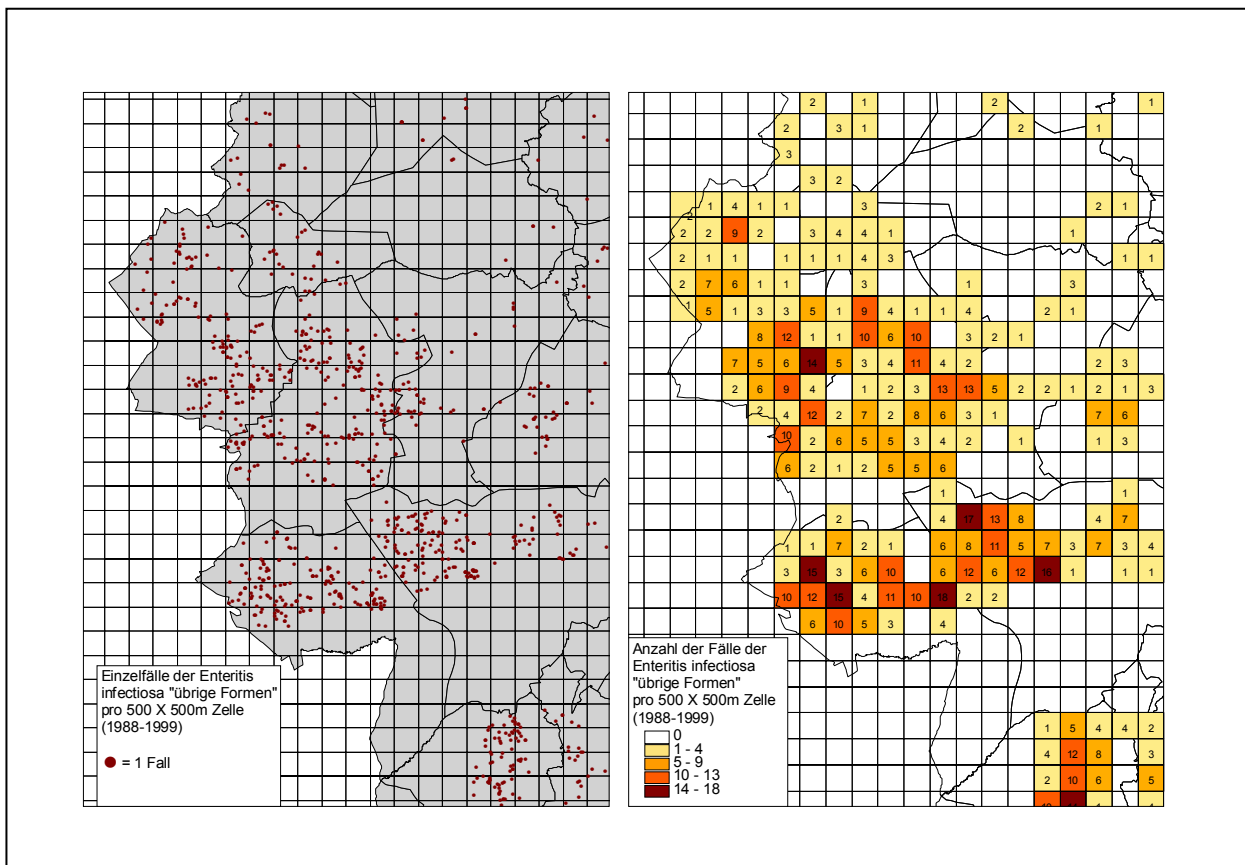


Abbildung 10: Rasterdarstellung der Enteritis infectiosa am Beispiel eines Ausschnitts des RBK's

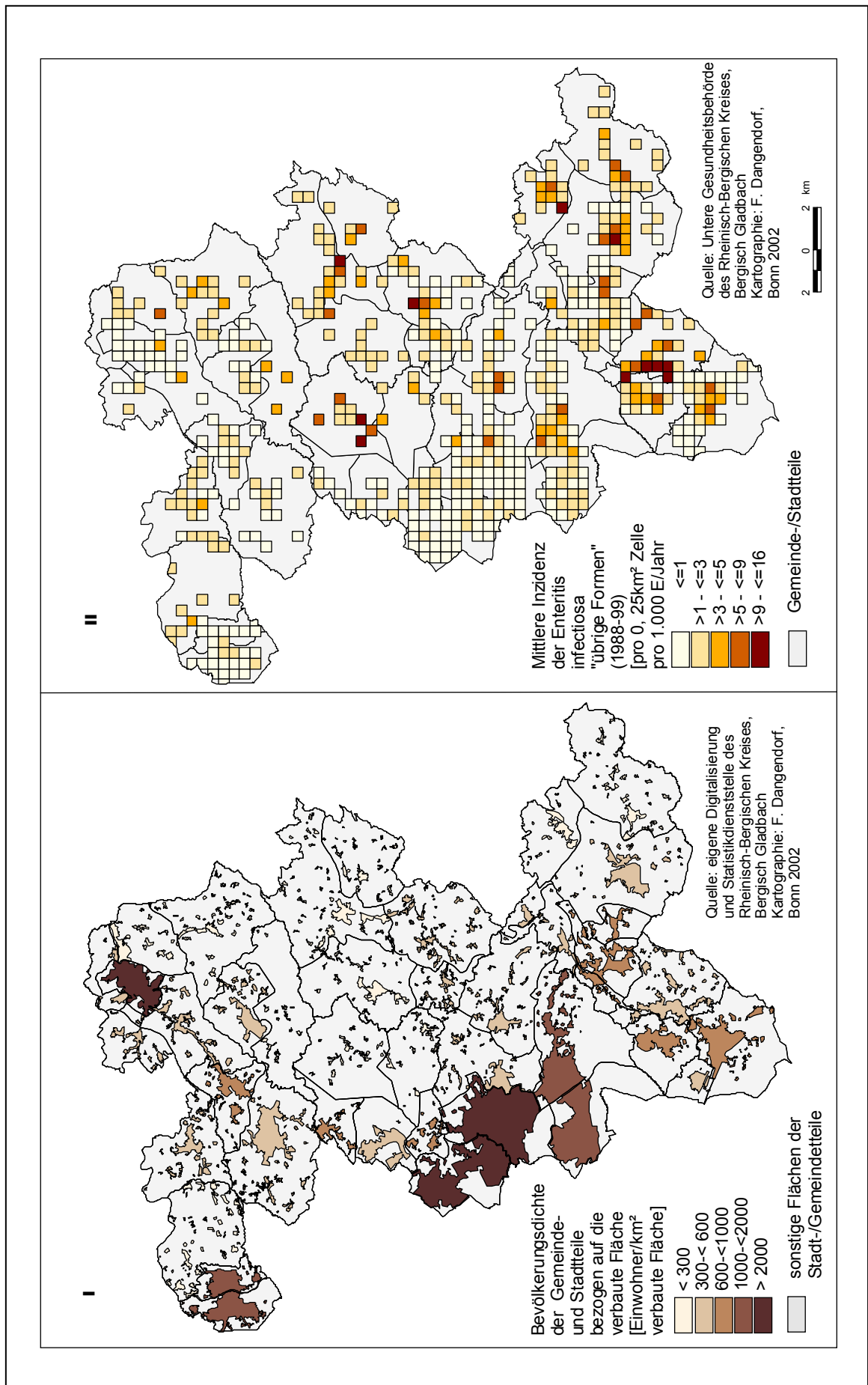
In Abbildung 10 wird ein Ausschnitt aus dem Rheinisch-Bergischen Kreis gezeigt, bei dem die kleinsten Gebietseinheiten mit einem Raster der Ausdehnung 500m x 500m überlagert wurden. Gleichzeitig wurden die Einzelfälle der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ aufgetragen. Für jede Rasterzelle wurde die Anzahl der Fälle ermittelt. Die farblich gefüllten Raster repräsentieren die pro Zelle gezählten Fälle. Gegenüber den bisherigen Darstellungen ergibt sich dadurch ein detaillierteres Verbreitungsmuster.

Da die Bevölkerungsgröße einen wesentlichen Faktor zur Berechnung von Inzidenzen darstellt, sollte auch in der Rasterdarstellung nicht nur die Anzahl der Fälle wiedergegeben werden. Deshalb wurde in mehreren Schritten die Inzidenzrate der Enteritis infectiosa pro 500mX500m Rasterzelle angegeben (Karte H II). Zur Vorbereitung von Karte H II musste zunächst auf Basis der gescannten topographischen Karten des Rheinisch-Bergischen Kreises die verbaute Fläche im Untersuchungsgebiet digitalisiert werden (Karte H I). Anschließend wurde der „Verbauungs-Layer“ mit dem Layer zur Bevölkerungsdichte der 42 Gebietseinheiten (Karte B) sowie mit dem 500X500 m Raster

verschnitten. Dabei konnte mit GIS-Werkzeugen die Bevölkerungsdichte pro 0,25km² den Rastern zugeordnet werden.

Wenn die Anzahl der Fälle und die Bevölkerungszahl pro 0,25 km² Rasterzelle vorliegen, kann die rohe Inzidenzrate der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ pro Zelle berechnet werden. Die mittlere jährliche rohe Inzidenzrate wurde bezogen auf 1.000 Einwohner ermittelt. Die Rasterkarte zeigt ein deutliches Verbreitungsmuster: in den dichtbesiedelten Regionen treten verhältnismäßig niedrige Inzidenzraten auf, wohingegen in dünnbesiedelten Gebieten relativ mehr Fälle auftreten (Karte H I-II).

Zur weiteren Analyse der räumlichen Verbreitung der gastrointestinalen Infektionen stehen weitere GIS-Werkzeuge und statistische Modelle zur Verfügung, die in Kapitel 5 aufgegriffen werden.



Karte H: Bevölkerunggröße und Inzidenzberechnung pro 0,25km² Rasterzelle

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur Konzeption einer GIS-gestützten Surveillance trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionskrankheiten (GIS-STI) wurden retrospektiv epidemiologische Datenbasen und Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis erhoben. Die Datenbasen stammten aus verschiedenen Datenquellen und wurden auf ihren Informationsgehalt und ihre Eignung zur Integration in ein GIS-STI getestet.

Da die gastrointestinalen Infektionen eine unspezifische Krankheit darstellen, die durch zahlreiche Krankheitserreger, auch trinkwasserübertragbare, verursacht werden, wurden sie als Indikatorkrankheiten für mögliche Trinkwasserkontaminationen herangezogen. Die epidemiologische Datenerhebung umfasst die nach § 3 BSeuchG beim Gesundheitsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises gemeldeten Fälle der Enteritis infectiosa "übrige Formen" über einen Beobachtungszeitraum von 12 Jahren (1988-1999) sowie die Datensätze der Allgemeinen Ortskrankenkasse, Regionaldirektion Rheinisch-Bergischer Kreis über Krankmeldungen der versicherungspflichtigen Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen aufgrund von Durchfallerkrankungen im Zeitraum 1991-1998. Zusätzlich wurden Labordaten erhoben, die jedoch erst ab 1999 elektronisch zur Verfügung gestellt werden konnten.

Die Angaben zur Trinkwasserversorgungsstruktur wurden unter dem Aspekt des HACCP-Konzepts erhoben, welches kritische Punkte in der Trinkwasserproduktion definiert. Die Herkunft des Wassers, Anzahl und Größe der WVU, Abgabemenge, Anschlussgrad an die öffentliche Trinkwasserversorgung und Anzahl der versorgten Personen konnten durch das TEIS der UGB, das HYGRIS des Landesumweltamtes und durch eigene Erhebungen ermittelt werden. Die Angaben stützen sich im Wesentlichen auf den Stand der Jahre 1996-1999.

Die verschiedenen Datenbasen wurden als Komponenten eines Geographischen Informationssystems in einer relationalen Datenbank gespeichert, verwaltet und analysiert sowie mit Objektdaten verbunden.

Dabei konnten die Daten der UGB und des Labors bis auf Adressenebene dargestellt werden. Die Krankschreibungsstatistik der AOK ließ sich nur auf Geschäftsstellenebene visualisieren. Der Informationsgehalt zwischen den epidemiologischen Datenbasen variierte sehr stark. Vor allem die Möglichkeiten der Geokodierung von Patientenadressen über Gebäudekoordinaten und deren Verknüpfung mit epidemiologischen Daten können im Sinne eines leistungsfähigen Surveillance-Systems schnell verfügbare und epidemiologisch wichtige Angaben z. B. über Infektionserreger, Meldedatum, Infektionsort sowie Informationen zur Trinkwasserherkunft und -qualität bereitstellen. Die Daten der UGB erwiesen sich sowohl inhaltlich als auch technisch als die geeignetsten für ein GIS-STI.

Die Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur aus den Trinkwasser- und Rohwasserdatenbanken des Landes Nordrhein-Westfalens (TEIS, HYGRIS) stellten eine gute Grundlage für ein GIS-STI dar. Viele Angaben, z. B. Probenahmestellen, Eigen- und Einzelwasserversorgung, Adressen der WVU mit Angaben zur Trinkwasserherkunft und versorgten Bevölkerung ließen sich über Koordinatenangaben integrieren. Zusätzlich mussten jedoch auch eigene Digitalisierungen vorgenommen und weitere Informationen bei den WVU eingeholt werden.

Insgesamt ist der Stand der Erfassung der Trinkwasserversorgungsstruktur hoch, so dass die vorhandenen Datengrundlagen als Überwachungsinstrument eingesetzt werden können. Besonders die räumliche Analyse der Grenz- und Richtwertüberschreitungen der Roh- und Trinkwasserproben kann helfen, potenzielle Infektionsgefahren aufzudecken und abzuwenden.

Das dem GIS-STI zugrunde gelegte Konzept kann zusammengefasst werden als die systematische Sammlung von Informationen über die trinkwasserepidemiologische Situation in einer Bevölkerung zur Auffindung, Kontrolle und Prävention solcher Erkrankungen. Die Möglichkeit der gemeinsamen Auswertung von epidemiologischen Daten sowie Daten zur Trinkwasserqualität und Herkunft in **einem** System bildet das Kernstück einer effizienten Surveillance trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten.

5 Ökologische Studie

5.1 Ökologische Studiendesigns

In Kapitel 1.5.3.2 wurden bereits die methodischen Möglichkeiten sowie Grenzen bei der Durchführung von Ökologischen bzw. Geographischen Korrelationsstudien aufgezeigt. In vielen Publikationen zu epidemiologischen Fragestellungen wurde trotz der häufig kritisierten Problematik des ökologischen Fehlschlusses die praktische Anwendung dieses Studiendesigns demonstriert (BERAL, 1974; GESLER, 1986; GIESECKE, 1994; KITRON & KAZMIERCZAK, 1997; SCHWARTZ et al., 2000; SCHWARTZ et al., 1997; VACCHINO, 1999; WALTER, 1991).

Ein besonders populäres Beispiel für die Relevanz von Ökologischen Studien in der Epidemiologie stellt die Studie über den Zusammenhang von *Helicobacter pylori*-Infektionen und Magenkrebs dar (The Eurogast Study Group 1993, zitiert aus GIESECKE 1994). Das Bakterium *Helicobacter pylori* wurde 1980 in Australien entdeckt. Zwar wurde bald ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Magengeschwüren und Helicobacter-Infektionen vermutet, jedoch konnte dies klinisch nicht nachgewiesen werden. Um die Vermutungen zu verifizieren, wurde in einer großangelegten Studie aus 17 verschiedenen Bevölkerungsgruppen 200 Blutproben gewonnen. Die Ergebnisse wurden mit Daten zur Mortalität durch Magenkrebs aus einem nationalen Register korreliert. Die Autoren fanden einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Variablen und konstatierten, dass in einer Population, in der alle mit *H. pylori* infiziert wären, ein 6-fach höheres Risiko an Magenkrebs zu erkranken bestehe als in einer Population, in der die Seroprävalenz gleich null sei (GIESECKE, 1994).

In einer Studie, durchgeführt von BERAL (1974) in Großbritannien, wurde das Korrelationsmodell um eine zeitliche Komponente erweitert. Über den Zeitraum 1920 bis Mitte der 1970iger Jahre wurden die Erkrankungsraten der Gonorrhöe sowie die Entwicklung der Mortalitätsraten von Zervix-Karzinomen untersucht. Dabei wurden die Frauen nach Geburtsjahr in Kohorten von jeweils 5-Jahresabschnitten zusammengefasst (z. B. Geburtsjahre 1900 bis 1904, 1905-1909 usw.). Die durchschnittliche Mortalität von Gebärmutterkrebs in jeder Kohorte wurde mit den Gonorrhöe-Erkrankungen korreliert. Die Autorin konnte einen signifikanten Zusammenhang von Gonorrhöe-Erkrankungen im jungen Erwachsenenalter und eines daraus folgenden erhöhten Risikos von Zervix-Karzinomen im höheren Alter demonstrieren (BERAL, 1974).

Zur Bearbeitung von Ökologischen Studien wurden bereits auch GIS-Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Zur Untersuchung, ob die räumlichen Verbreitungsmuster der Lyme-Borreliose im Zusammenhang mit Zeckenpopulationen und Vegetationsbedingungen stehen, wurde eine GIS-gestützte Korrelationsstudie durchgeführt (KITRON & KAZMIERCZAK, 1997). In Wisconsin/USA konnten aus amtlichen Registern Fälle der Lyme-Borreliose auf Distriktebene erhoben und kartografisch dargestellt werden. Gleichzeitig wurden in 46 Distrikten die Zecken-Populationen kartiert sowie durch Satellitenbilder die Vegetationsbedeckung bestimmt. Die Informationen wurden in ein GIS integriert und durch Korrelationsmodelle auf Zusammenhang untersucht. Für die Distribution der Erkrankungsfälle konnte eine signifikante Abhängigkeit mit der Verbreitung der Zeckenpopulationen festgestellt werden, die mit bestimmten Vegetationsbedingungen im Frühling und Herbst noch deutlichere Korrelationskoeffizienten ergaben.

5.2 Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Verbreitungsmustern der GI und der Trinkwasserversorgungsstrukturen im RBK

Das Ziel des dritten Teils der Arbeit ist, durch geographisch-epidemiologische Methoden den möglichen Zusammenhang zwischen der räumlichen Verbreitung gastrointestinaler Infektionen und der Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis zu untersuchen. Die Studie wird als Ökologische Studie durchgeführt, die sich der aggregierten Fallzahlen aus dem Register des Rheinisch Bergischen Kreises sowie der in Kapitel 4 beschriebenen Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur bedient.

Die Hauptanforderung zur Durchführung Ökologischer Studien ist, dass alle relevanten epidemiologischen Daten möglichst vollständig über den Untersuchungszeitraum sowie für die Gebietseinheiten der Bevölkerungsgruppen erhoben werden. Die Bestimmung der Exposition gegenüber einem pathogenen Agens wird in den meisten Fällen auf die Bevölkerung innerhalb von administrativen Grenzen bezogen. Dabei wird vorausgesetzt, dass alle Individuen dem gleichen Risiko ausgesetzt sind. Um den Einfluss der Risikofaktoren möglichst genau abzuschätzen, empfiehlt es sich zum einen, einen mindestens 10 Jahre währenden Beobachtungszeitraum für die Einschätzung des Gesundheitszustands in der Bevölkerung zu wählen, und zum anderen, die Korrelationen auf angemessenen, nicht zu groß- und nicht zu kleinräumigen, Gebietseinheiten durchzuführen (GESLER, 1986; WALTER, 1991).

Die Ökologische Studie basiert auf dem Datensatz der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises über die meldepflichtigen Enteritis infectiosa Fälle „übrige Formen“. Die epidemiologische Datenbasis wurde über einen Zeitraum von 12 Jahren (1988-1999) erhoben sowie auf die 42 Gemeinde- bzw. Stadtteile des Kreisgebiets aggregiert (Kapitel 4). Für die Trinkwasserversorgungsstrukturen stehen im Wesentlichen Informationen seit 1997 zur Verfügung.

Bevor eine statistische Aussage über den Zusammenhang zwischen der Verbreitung der gastrointestinalen Infektionen und der Trinkwasserversorgung im Rheinisch-Bergischen Kreis getroffen werden kann, wird gemäß der Aufgabenstellung (s. Kapitel 1) das räumliche Muster der GI geprüft. Sollte eine Ungleichverteilung der Inzidenzraten im Rheinisch-Bergischen Kreis nachgewiesen werden, wird mit multivariaten Korrelations- bzw. Regressionsmodellen untersucht, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgungsstruktur besteht.

Da Ökologische Studien auf flächenbasierten Daten beruhen, eignen sich GIS aufgrund ihrer Aggregationsfunktionen hervorragend zur Durchführung solcher Studiendesigns. Die für die Ökologische Studie notwendigen Daten wurden durch die Applikation des GIS-STI in Kapitel 4 bereits soweit aufbereitet, dass die dort erstellten Karten und Tabellen als Grundlage für die Zusammenhangsanalyse dienen.

In den folgenden Kapiteln werden Methoden zur Untersuchung des räumlichen Verbreitungsmusters der gastrointestinalen Infektionen im Untersuchungsgebiet vorgestellt und angewendet, wobei einige Ergebnisse zur besseren Interpretation in Kartenform visualisiert werden. Vor dem Einsatz uni- und multivariater Korrelations- bzw. Regressionsmodelle zur Untersuchung des statistischen Zusammenhangs werden Parameter zur Charakterisierung der Trinkwasserversorgungsstruktur erhoben. Zur Minimierung von Störgrößen werden zusätzlich Confounder evaluiert, die in die Korrelationsmodelle einfließen.

5.3 Methoden zur Untersuchung der räumlichen Verteilung der GI

5.3.1 Berechnung von Vergleichsgrößen

Grundlegend für die Untersuchung auf räumliche Heterogenität der Erkrankungsfälle ist die Ermittlung von Vergleichsgrößen. Die wichtigste Maßzahl ist dabei die Inzidenz. Das Grundprinzip besteht darin, dass man die Anzahl der Erkrankungsfälle durch das Produkt der Bevölkerungsgröße und der Länge des Zeitraumes dividiert (AHLBOHM & NORELL, 1991). Mit diesen Informationen lässt sich die rohe, unbereinigte Morbiditätsrate errechnen. Die Bevölkerungsgröße der untersuchten Regionen, deren Dynamik über den Beobachtungszeitraum, der Altersaufbau und das Geschlechterverhältnis beeinflussen das Auftreten vieler Erkrankungen.

Bei gastrointestinalen Infektionen sind häufiger die Risikogruppen „Kinder“ und „alte Menschen“ betroffen (GERBA et al., 1996a; SCHWARTZ et al., 2000; SCHWARTZ et al., 1997). Dies bedeutet, dass sie an der Gesamtzahl der Krankheitsfälle den größten Anteil haben. Je nach Bevölkerungsgröße und -struktur kann die Inzidenzrate der GI in den verschiedenen Regionen durch den Einfluss des Altersaufbaus variieren, dies gilt z. B. für unterschiedliche Altersstrukturen in städtischen oder ländlichen Gemeindeteilen.

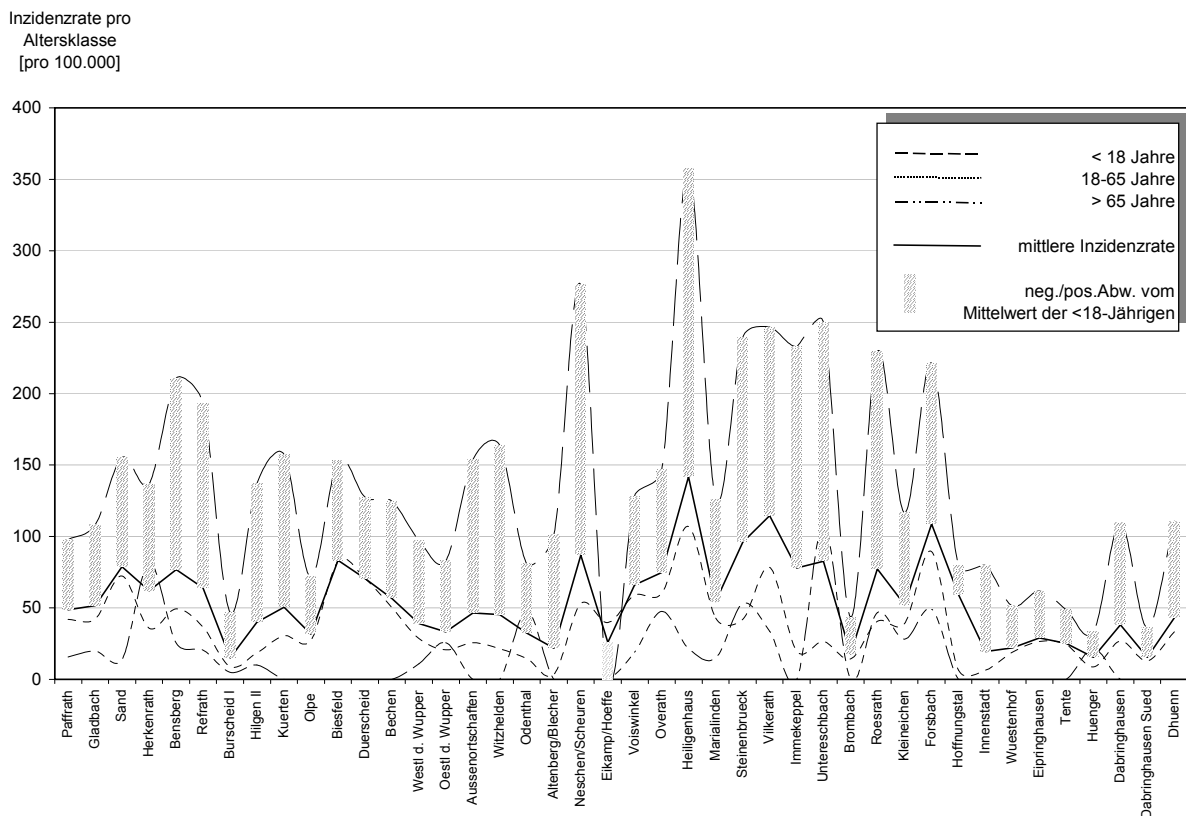


Abbildung 11: Mittlere Enteritis-Inzidenz der Altersklassen (1988-99)

Bei Auswertung der amtlichen Statistik nach Altersgruppen zeigt sich, dass Kinder überproportional betroffen waren (Annex VI). Durch die Klassifizierung der Erkrankungsfälle nach den Altersgruppen <18, 18 bis 65 und >65 Jahre findet sich bei den erhobenen Daten eine sehr hohe positive Abweichung vom Mittelwert bei den unter 18-Jährigen und zwar in allen Gebietseinheiten mit Ausnahme von Eikamp/Höffe. Die

Risikogruppe der über 65-Jährigen weicht dagegen eher negativ ab, mit einigen positiven Peaks in den Gebieten von Odenthal, Herkenrath und Untereschbach. Bei den 18 bis 65-Jährigen bewegen sich die Inzidenzraten nahe des Mittelwertes der Gesamtinzidenz in den einzelnen Gemeinde- und Stadtteilgebieten.

Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Meldung von gastrointestinalen Infektionen gibt es dagegen kaum. Männer sind mit einem Anteil von 53% an den Gesamterkrankten etwas häufiger betroffen als Frauen (47%).

Um die räumliche Verbreitung der Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ im RBK möglichst genau zu analysieren, wurde eine Altersstandardisierung durchgeführt. Ziel der Standardisierung ist die Vermeidung bzw. Reduzierung der Fehlinterpretationen durch Unterschiede der Bevölkerungsstruktur (KREIENBROCK & SCHACH, 2000).

5.3.2 Die Altersstandardisierung

Bei der Altersstandardisierung muss zwischen der direkten und indirekten Standardisierung unterschieden werden. Die direkte Altersstandardisierung von Mortalitäts- oder Morbiditätsraten wird in erster Linie angewendet, um Gebiete mit unterschiedlicher Altersverteilung zu vergleichen, aber auch um Veränderungen über die Zeit zu untersuchen. Die indirekte Standardisierung wird meistens für die Berechnung von geschlechtsspezifischen Sterberaten mit sehr niedrigen Fallzahlen genutzt, z. B. in der Krebsepidemiologie (HEINEMANN & SINNECKER, 1994; SACHS, 1997).

5.3.2.1 Direkte Altersstandardisierung

Bei der Durchführung der direkten Altersstandardisierung wird unterstellt, dass die Altersstruktur in einer Gruppe genauso wie in einer anderen ist. Dazu muss eine Standardbevölkerung festgelegt werden, die als Bezugsgröße zu den untersuchten Bevölkerungsgruppen herangezogen wird. Die Wahl der Standardbevölkerung ist theoretisch beliebig, aber nach KREIENBROCK & SCHACH (2000, 37) empfiehlt es sich „diese so zu wählen, dass sie noch einen vergleichbaren Aufbau hat“.

Als Standardbevölkerung wurde die Bevölkerung des gesamten Rheinisch-Bergischen Kreises zugrunde gelegt. Die Studienpopulation ist jeweils die Wohnbevölkerung der 42 Gemeindeteile. Die Erhebung der Bevölkerungsdaten erfolgte über die Kreisverwaltung des Rheinisch-Bergischen Kreises und über die 8 Stadt- bzw. Gemeindeverwaltungen.

Als Altersklassen wurden Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren, Erwachsene von 18-65 Jahren sowie die über 65-Jährigen gewählt. Für jedes Jahr des Untersuchungszeitraums (1988-1999) wurde versucht, möglichst vollständige Daten über die Altersverteilung für jedes der 42 Gemeinde- bzw. Stadtteile zu erhalten. Für den gesamten Rheinisch-Bergischen Kreis, für Bergisch Gladbach, Odenthal, Wermelskirchen, Burscheid und Overath gelang dies fast vollständig. Für Rösrath und Kürten standen jeweils nur die Jahrgänge 1988 und 1998 zur Verfügung, so dass hier über die Gesamtzahl der Bevölkerung pro Jahr und Gemeindeteil der Anteil der entsprechenden Jahrgänge interpoliert werden musste.

Bei der direkten Methode wird die rohe Inzidenzrate in der jeweiligen Altersklasse der Studienpopulation mit dem Bevölkerungsanteil der Standardpopulation gewichtet.

Man erhält die altersstandardisierte Inzidenzrate (IR_{st}) durch (KREIENBROCK & SCHACH, 2000):

$$IR_{st} = \sum_k^l W_k^* \cdot IR_k$$

wobei W_k^* den Anteil der k-ten Altersgruppe an der Standardpopulation (k=1,...,l Altersklassen) und IR_k die altersspezifischen Inzidenzraten beschreiben.

Mit diesen Maßzahlen sollen dann die räumlichen Verbreitungsmuster der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ über den Beobachtungszeitraum 1988-1999 zwischen den Gemeinde- bzw. Stadtteilen des Rheinisch-Bergischen Kreises untersucht werden. Die direkt altersstandardisierten Inzidenzraten werden auch für die Korrelationsberechnungen genutzt.

5.3.2.2 Indirekte Standardisierung

Eine weitere Vergleichsgröße zur Untersuchung von geschlechts- bzw. altersspezifischen Mortalitäts- oder Morbiditätsraten ist die Standardized Mortality Ratio (SMR) oder Standardized Incidence Ratio (SIR). Die SMR errechnet sich aus der indirekten Standardisierung. Hierbei wird die Mortalität (Inzidenz) der Studienpopulation mit der erwarteten Mortalität (Inzidenz) in Beziehung gesetzt, indem aus der beobachteten, rohen Mortalitätsrate (MR) mit dem erwarteten Wert (MR_{erw}) ein Quotient gebildet wird (KREIENBROCK & SCHACH, 2000).

Die SMR lässt sich durch

$$SMR = \frac{MR}{MR_{erw}} = \frac{\sum_{k=1}^l W_k \cdot MR_k}{\sum_{k=1}^l W_k \cdot MR_k^*}$$

berechnen, wobei W_k den Anteil der k-ten Altersgruppe an der Studienpopulation, MR_k die altersspezifischen Morbiditätsraten der Studienpopulation und MR_k^* die erwarteten altersspezifischen Morbiditätsraten der Standardpopulation beschreiben.

Aufgrund der Interpretationsmöglichkeiten der SMR (beobachtet/erwartet) lässt sich mit dieser Vergleichsgröße kartographisch einfach zeigen, in welchen Gebieten höhere bzw. niedrigere Neuerkrankungsraten als erwartet auftreten.

5.3.3 Methoden zur Auswertung der standardisierten Maßzahlen

5.3.3.1 Lokalisations- und Dispersionsmaße

Lokalisationsmaße und Dispersionsmaße werden zur Charakterisierung der eindimensionalen Häufigkeitsverteilungen der direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (IR_{st}), die für jedes Jahr des Untersuchungszeitraumes 1988-1999 berechnet wurden, herangezogen (arithmetisches Mittel, Median, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Variationskoeffizient, Quartilsabstand) (SACHS, 1997). Zu den durch die direkte

Standardisierung berechneten mittleren Inzidenzraten über den Untersuchungszeitraum werden 95%-Konfidenzintervalle (KI) angegeben.

5.3.4 Statistische Analyse räumlicher Verbreitungsmuster

Bevor Korrelationen der direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (IRst) mit Parametern der Trinkwasserversorgungsstruktur durchgeführt werden können, müssen die IRst auf räumliche Heterogenität untersucht werden. Es soll getestet werden, ob die Erkrankungsraten zufällig auftreten oder ob signifikante Häufungen festzustellen sind, die zu der Annahme berechtigen, dass andere Faktoren dieses Muster erklären.

Methoden des Disease Mapping umfassen z. B. die Erstellung von Verbreitungskarten mit geglätteten und modell-angepaßten Inzidenzraten wie z. B. empirische Bayes-Schätzer, Probability Mapping und Kerndichte-Schätzfunktionen. Typische Methoden zur räumlichen Analyse in der medizinischen Geographie ist die Untersuchung von Clusterbildungen. Als „Cluster“ werden Krankheitshäufungen in Raum und/oder Zeit bezeichnet. Verschiedene Modelle zur Untersuchung von Clustern stehen mittlerweile zur Verfügung. Auf der Individualebene wird häufig der Cuzick-Edwards Test oder Grimson's Test angewendet. Clusteruntersuchungen auf Gebietsebene werden z. B. durch Heterogenitätstests nach GAIL (1978), den Moran's I-Test oder Geary c-Test durchgeführt (BITHELL, 1990; LAWSON, 2001; ODEN et al., 1996; OLSEN et al., 1996; TANGO, 1998; VACCHINO, 1999; WELLIE et al., 2000).

5.3.4.1 Der χ^2 -Heterogenitätstest

Zur Untersuchung, ob die unterschiedliche Verteilung der Enteritis infectiosa-Inzidenzen nicht nur durch zufällige Schwankungen bedingt sind, wird der χ^2 -Heterogenitätstest nach (GAIL, 1978) durchgeführt. Statistisch wird im vorliegenden Fall als Nullhypothese angenommen, dass alle Regionen das gleiche Erkrankungsrisiko haben. Die Alternativhypothese lautet dagegen, dass mindestens eine Region ein abweichendes Risiko aufweist.

Der χ^2 - Wert berechnet sich durch (GAIL, 1978):

$$\sum_{i=1}^n \frac{(O_i - \hat{\Theta}E_i)^2}{\hat{\Theta}E_i}; \text{ mit } \hat{\Theta} = \frac{\sum O_i}{\sum E_i}$$

O_i sind die beobachteten Fälle in der i-ten Raumeinheit und E_i sind die erwarteten Werte in der i-ten Raumeinheit, die die indirekt altersstandardisierte Morbititäts-Ratio (SMR) ausgedrückt (s. Annex XIII) (GAIL, 1978).

Je stärker die Anzahl der Fälle von den Erwartungswerten abweicht, umso größer wird der χ^2 -Wert. Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn $\chi^2 > \chi^2_{k-1;\alpha}$, für deren Ermittlung statistische Tabellen zur Verfügung stehen.

Bei Interpretation der Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass dieser Test keinen Bezug zu der räumlichen Lage der 42 Gebietseinheiten herstellt. Diese Beziehungen sind jedoch für die Infektionsepidemiologie sehr wichtig, da die Ansteckungsgefahr nicht an Grenzen gebunden ist und Infektionskrankheiten die Tendenz zur Clusterbildung haben (GIESECKE, 1994).

5.3.4.2 Räumliche Autokorrelation

Wegen der o. g. Gründe sind räumliche Autokorrelationsmodelle wichtige Analysemethoden zur Auffindung von Fall-Konzentrationen im Untersuchungsgebiet. Das Ziel der räumlichen Autokorrelation ist zu prüfen, ob regional eine signifikante Häufung von Fällen unter Berücksichtigung von Interaktionen benachbarter Gebietseinheiten auftritt. Ein häufig in der geographischen Epidemiologie angewendetes Autokorrelationsmodell ist der Moran's I-Test, der benachbarte Gebietseinheiten wichtet (KITRON & KAZMIERCZAK, 1997; OLSEN et al., 1996; RIGBY & GATRELL, 2000; WAKEFIELD et al., 2000).

Mit der Applikation des globalen, flächenbasierten Moran's I-Autokorrelations-Modells werden die Enteritis-Inzidenzen der benachbarten Gemeinde- bzw. Stadtteile des Rheinisch-Bergischen Kreises gewichtet und korreliert.

Der Moran's I-Autokorrelations-Koeffizient berechnet sich durch die Formel (MORAN, 1950):

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j W_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{(\sum_i \sum_j W_{ij}) \sum_k (Z_k - \bar{Z})^2}$$

(wobei die Wichtung $W_{ij} = 1$ ist, wenn $i \neq j$ sowie i und j benachbart sind, wenn nicht, gilt $W_{ij} = 0$; Z_i bedeutet die Inzidenzrate der i -ten Raumeinheit, Z_{quer} der Mittelwert der Inzidenz)

Der Autokorrelations-Koeffizient nimmt Werte zwischen +1 und -1 an, wobei positive oder negative Werte Clusterbildung indizieren. Werte um 0 bedeuten dagegen eine zufällige Verteilung (KITRON & KAZMIERCZAK, 1997).

Zur statistischen Absicherung des räumlichen Autokorrelationsmodells wird zusätzlich der Geary c-Koeffizient berechnet, welcher ebenfalls ein in der medizinischen Geographie häufig angewendeter Autokorrelationstest ist (WAKEFIELD et al., 2000). Auch in diesem Fall werden die benachbarten Gebietseinheiten wie beim Moran's I-Test gewichtet: Der Koeffizient „c“ berechnet sich durch (GEARY, 1954):

$$c = \frac{(n-1) \sum_i \sum_j W_{ij} (Z_i - \bar{Z})^2}{2(\sum_i \sum_j W_{ij}) \sum_k (Z_k - \bar{Z})^2}$$

Im Unterschied zum Moran's I-Test nimmt „c“ nur positive Werte zwischen 0 und 1 an. Gibt es eine räumliche Abhängigkeit, wird der Term im Zähler kleiner und der Koeffizient geht auf Null zu. Ist die Verteilung der Enteritis-Inzidenzen eher zufällig, liegt „c“ nahe 1 (WAKEFIELD et al., 2000).

Beide geostatistische Modelle wurden mit der Software S-Plus® (MathSoft, Inc., Seattle) durchgeführt, welche eine direkte Verknüpfung mit ArcView bieten. Zunächst wurde eine Matrix der Nachbarschaftsbeziehungen im Untersuchungsgebiet erstellt. Zur Berechnung der Korrelationen mit dem Moran's I-Test bzw. Geary's c-Test wurde unter der Annahme einer zufälligen Verteilung „free sampling“ gewählt. Die Anzahl der durch Monte Carlo Simulationen durchgeführten Permutationen, welche die theoretische Verteilung der Teststatistik wiedergibt, wurde mit 1.000 als ausreichend angesehen.

5.3.5 Probability Mapping

Bei der Erstellung von Karten zur geographischen Verbreitung von Erkrankungs-raten ist es wichtig, entscheiden zu können, welche Gebietseinheiten ein besonders hohes oder besonders niedriges Erkrankungsrisiko aufweisen. Mit der Anwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen kann u. U. die Lokation solcher Extremwerte statistisch aufgefunden werden. Ein statistischer Ansatz zur Auffindung von Extremwerten ist, die beobachtete Häufigkeitsverteilung mit einer theoretisch zu erwartenden Verteilung in Beziehung zu setzen. Die Abweichungen der Anzahl der Fälle oder Inzidenzraten von einer theoretisch zu erwartenden Häufigkeit kann durch Karten visualisiert werden (CLIFF & HAGGETT, 1988).

Die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Auftretens eines beobachteten Wertes über oder unter der theoretisch zu erwarteten Wahrscheinlichkeit wird durch die Anwendung der Poisson-Verteilung und der Normalverteilung untersucht.

5.3.5.1 Die Poisson-Verteilung

Die Poisson-Verteilung ist eine Verteilung, die für die Lösung von Problemen benutzt wird, die durch kleine Ereigniswahrscheinlichkeiten bei einer großen Zahl beobachteter Fälle gekennzeichnet sind. In den epidemiologischen Fragestellungen wird sie häufig angewendet, um die Wahrscheinlichkeit seltener Ereignisse zu untersuchen, die bezogen auf eine große Stichprobe auftreten. Im vorliegenden Fall bildet die Bevölkerung der 42 Gemeinde- bzw. Stadtteile des Rheinisch-Bergischen Kreises die zugrunde liegende Stichprobe (CLIFF & HAGGETT, 1988; GESLER, 1986; OLSEN et al., 1996; WEBSTER et al., 1994).

Die Erwartungswahrscheinlichkeit bei Annahme einer Poisson-Verteilung für das Auftreten einer bestimmten Inzidenzrate in einem der 42 Gemeinde- bzw. Stadtteile wird durch folgende Formel bestimmt (aus: SACHS 1997):

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

λ = Mittelwert der Verteilung

x = die Anzahl der Ereignisse

$x! = 1 * 2 * 3 \dots x$.

Der Parameter λ ist Mittelwert und Varianz der Poisson-Verteilung und charakterisiert sie vollständig.

5.3.5.2 Die Normalverteilung

Wird statt einer Poisson-Verteilung eine Normalverteilung zugrunde gelegt, sind die Erwartungswerte unter der Annahme normalverteilter Inzidenzraten zu bestimmen. Die Normalverteilung ist eine symmetrische, glockenförmige Häufigkeitsverteilung, die durch die Parameter μ und σ charakterisiert ist. Erfahrungsgemäß sind Stichprobenverteilungen höchstens im mittleren Bereich angenähert normalverteilt. Dies gilt auch für das Auftreten von Krankheitsraten. Die in einer Stichprobe untersuchten Regionen zeigen in der Regel Erkrankungs-raten nahe dem erwarteten Mittelwert, während nur in wenigen Regionen extreme positive oder negative Abweichungen auftreten (CLIFF & HAGGETT, 1988).

Die Formel der Wahrscheinlichkeitsverteilung lautet (aus: BAHRENBURG 1990):

$$f(x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{b}\right)^2}$$

mit $\mu=a$, $\sigma=b$

Mit dem χ^2 -Anpassungstest wird die Übereinstimmung der empirischen Verteilung der mittleren direkt altersstandardisierten Enteritis-Inzidenzen (1988-99) in den 42 Gemeinde- bzw. Stadtteilen mit einer Normalverteilung geprüft.

5.3.5.3 Empirische Bayes Schätzer

Extremwerte der Inzidenzraten können dadurch entstehen, das trotz einer relativ kleinen Anzahl von Krankheitsfällen in dünnbesiedelten Regionen hohe Inzidenzraten auftreten. Dieser Effekt lässt sich durch die Ermittlung von standardisierten Werten nicht ganz verhindern. Die kartografisch dargestellten Gemeinde- bzw. Stadtteile des Rheinisch-Bergischen Kreises mit den höchsten kumulierten Inzidenzraten können daher zu einer Fehlinterpretation führen, wenn die zugrunde liegende Bevölkerung der Gebietseinheit sehr klein ist und damit die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Werte hoch ist.

Um dies zu vermeiden wird empfohlen, statistische Methoden anzuwenden, die die Bevölkerungsunterschiede zwischen den Gebietseinheiten unterdrücken. Die Anwendung von empirischen Bayes Schätzern zur Glättung von Extremwerten wird von verschiedenen Autoren empfohlen (CLAYTON & KALDOR, 1987; LANGFORD, 1994; LAWSON, 2001; MARSHALL, 1991; SCHLATTMANN, 1994; WAKEFIELD & ELLIOTT, 1999).

Im Gegensatz zu klassischen Methoden der Hypothesentestung auf Grundlage von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, basiert die Bayes inference auf der Annahme, das die Wahrscheinlichkeit des gemeinsamen Auftretens zweier Ereignisse als das Produkt eines auftretenden ersten Ereignisses und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines zweiten Ereignisses ausgedrückt werden kann.

Nach LANGFORD (1994) ergibt sich als Modell:

$$\text{„prior belief} * \text{likelihood function} = \text{posterior belief“}.$$

Dabei kann die likelihood-Funktion als die Poisson-verteilte Anzahl der beobachteten Fälle in den Gebietseinheiten angesehen werden, wobei die relativen Risiken und die p-Werte diese Verteilung repräsentieren (LANGFORD, 1994). Als a-priori-Information muss die Wahrscheinlichkeit berücksichtigt werden, dass Gebiete mit größerer Populationsdichte stabilere Werte aufweisen als gering besiedelte Gebiete. Den dicht besiedelten Regionen muss also eine stärkere Gewichtung gegeben werden. Die a-priori Verteilung wird aus den beobachteten Werten geschätzt. Aus diesen Vorgaben und dem Satz von Bayes erhält man die a-posteriori Wahrscheinlichkeit (SCHLATTMANN, 1994).

Das im Folgenden angewendete mathematische Modell benutzt eine nichtparametrische Schätzung der a-priori Verteilung der den Regionen unterliegenden relativen Risiken. Das relative Risiko wird am einfachsten durch die SMR bzw. SIR ausgedrückt (MORRIS & WAKEFIELD, 2000). Über das Modell der empirischen Bayes-Schätzung kann für die einzelnen Regionen der Erwartungswert der a-posteriori Verteilung berechnet werden (SCHLATTMANN, 1994, 17). Die Ergebnisse des Modells können als geglättete SMR bzw. SIR interpretiert werden.

Für die Berechnung wurde eine Software verwendet, die durch die International Agency for Research on Cancer (IARC, Lyon, 1998) entwickelt wurde und als Software-Programm zur Verfügung stand. Unter der Annahme Poisson-verteilter beobachteter Fälle sowie aus den bereits ermittelten erwarteten Werten (Annex X) werden die empirischen Bayes-Schätzungen kalkuliert und kartographisch dargestellt (Karte M).

5.3.5.4 Quantile der Enteritis-Inzidenz

Eine weitere, häufig angewendete Methode zur Auffindung von Extremwerten ist die Berechnung von Quantilen (CLIFF & HAGGETT, 1988; KREIENBROCK & SCHACH, 2000). Dabei wird die Häufigkeitsverteilung der Morbiditäts- oder Mortalitätsraten in gleich große Klassen eingeteilt. Die Proportionen können frei gewählt werden.

Diese Möglichkeit der Untersuchung räumlicher Verbreitungsmuster der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ wird auf die in Kapitel 4.6.2.3 erstellte Rasterkarte angewendet. Ziel ist die kleinräumige Darstellung der Verbreitung der Inzidenzraten losgelöst von den administrativen Grenzen. Das Problem der möglicherweise zu hohen Inzidenzraten aufgrund von zu geringen Bevölkerungsdichten kann evtl. dadurch reduziert werden.

Über das Gebiet des Rheinisch-Bergischen Kreises wurde ein Raster von 500m x 500m Zellen (0,25 km²) angelegt, die Bevölkerungsdichte pro 1 km² darauf angepasst und die Inzidenzrate ermittelt. In diesem Fall handelt es sich bei der Ermittlung der Enteritis-Inzidenzrate um die rohe Rate, da eine Altersstandardisierung auf dieser Ebene nicht vorgenommen werden konnte.

Die Häufigkeitsverteilung der Inzidenzrate pro 10.000 Einwohner und 0,25 km² Rasterzelle wird in Oktile zerlegt und das erste und achte Oktil zur Darstellung der Extremwerte farblich markiert.

5.4 Ergebnisse der Untersuchung auf räumliche Verbreitung der GI

5.4.1 Ergebnisse der Lage- und Streuungsmaße der direkt altersstandardisierten Enteritis-Inzidenz

Die Auswertung der Lage- und Streuungsmaße wurde im wesentlichen für die direkt altersstandardisierten Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ durchgeführt, da der Datensatz für die Korrelationsstudie herangezogen wird. Die indirekt standardisierte SMR wird ausgewertet, um zusätzlich Informationen über die räumliche Verbreitung der Erkrankungsfälle zu gewinnen (Kapitel 5.4.3.3).

Über einen Zeitraum von 12 Beobachtungsjahren (1988-99) konnte eine durchschnittliche IRst von 54,61 Fällen pro 100.000 Einwohner pro Jahr ermittelt werden. Die Datenreihe für n= 42 (Gemeinde- bzw. Stadtteile) lässt sich statistisch für die Jahre 1988-99 wie folgt zusammenfassen:

(Angaben pro 100.000 E)

Mittelwert:	54,61
Median:	51,07
Minimum:	15,05
Maximum:	141,9
Standardabw.:	29,23
95% Konfidenzintervall:	45,91/63,38

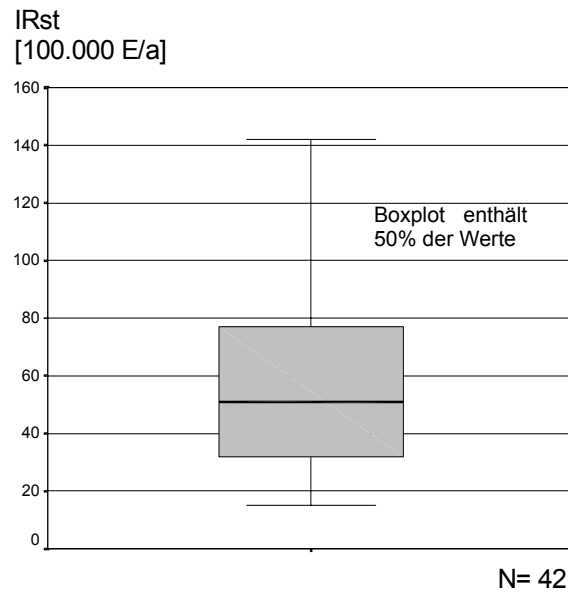


Abbildung 12: Streuungsmaße der mittleren IRst 1988 - 1999

Über den Beobachtungszeitraum von 12 Jahren variierte die Meldefrequenz zwischen den 42 Gemeinde- und Stadtteilen beträchtlich. Dies wurde bereits in Abbildung 11 der Verteilung der mittleren Enteritis-Inzidenz pro Altersklassen pro administrative Einheit deutlich. Aber auch innerhalb der Gemeinde- bzw. Stadtteile unterschied sich die Anzahl der gemeldeten Fälle zwischen den Erfassungsjahren zum Teil extrem.

Auffällig war auch, dass besonders in den ersten Jahren der Dokumentation 1988 - 1990 die Anzahl der gemeldeten Fälle gering ausfiel. Die höchsten Inzidenzraten wurden mit einigen Ausnahmen in den letzten vier Jahren beobachtet (Tabelle 37). In zwei Gemeindeteilen (Brombach und Dabringhausen Süd) konnten überhaupt nur für die Jahre 1994 und 1995 Inzidenzraten berechnet werden. Tabelle 37 zeigt die von 1988 bis 1999 ermittelten direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (IRst), wobei die Höchstwerte über den Beobachtungszeitraum fett markiert sind. Die absoluten Fallzahlen, die pro Jahr in den einzelnen Gebietseinheiten gemeldet wurden, können Annex V entnommen werden.

Tabelle 37: Direkt altersstandardisierte Enteritis-Inzidenzrate in den einzelnen Beobachtungsjahren (1988-99)

Gemeinde-/ Stadtteil	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Paffrath	3,90	8,27	31,89	41,55	56,97	20,35	27,85	78,77	75,27	36,54	64,67	137,37
Sand	26,26	24,88	53,22	75,63	97,18	49,12	47,32	144,42	188,17	93,96	72,63	72,19
Bensberg	26,88	42,90	47,34	31,31	41,95	42,54	58,14	79,17	63,39	220,24	103,06	165,99
Burscheid I	0,00	9,52	8,26	8,35	60,68	8,27	8,30	8,20	8,19	24,83	24,89	16,52
Kürten	20,65	40,38	36,02	16,14	66,71	52,41	17,85	49,16	79,97	96,39	17,38	112,79
Biesfeld	0,00	0,00	35,01	100,61	132,75	56,56	91,41	54,20	72,88	106,91	141,68	207,16
Bechen	31,18	25,57	54,61	0,00	101,22	27,35	79,83	23,39	0,00	72,52	95,49	169,03
Östl d. Wupper	13,80	40,80	12,27	27,20	24,88	50,06	12,35	23,88	12,53	25,25	26,20	130,95
Witzhelden	21,11	0,00	20,17	0,00	57,85	39,38	153,89	95,24	39,24	0,00	18,95	98,03
Altenberg/Blecher	0,00	0,00	31,53	0,00	0,00	0,00	0,00	28,58	88,79	30,12	27,77	55,71
Eikamp/Hoeffe	0,00	0,00	0,00	55,19	0,00	0,00	54,89	54,36	49,12	98,27	0,00	0,00
Overath	29,88	45,56	62,08	58,98	95,97	0,00	41,25	37,62	104,81	88,10	155,90	177,48
Marialinden	0,00	0,00	0,00	50,55	0,00	0,00	50,77	48,76	78,87	102,56	121,06	200,64
Steinenbrück	42,55	62,79	42,38	99,85	43,90	211,42	0,00	37,95	160,17	73,78	162,32	215,18
Vilkerath	83,15	37,58	75,01	164,60	32,44	199,54	75,73	66,38	225,86	125,97	87,75	201,67
Immekeppel	192,59	0,00	53,58	0,00	60,50	309,60	0,00	0,00	55,22	0,00	159,88	105,22
Unterschbach	0,00	0,00	0,00	0,00	146,95	0,00	61,99	104,21	257,39	164,89	192,41	64,47
Brombach	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,23	0,00	0,00	102,33	0,00	0,00
Rösrath	32,09	31,13	79,51	69,66	114,32	48,23	111,21	53,08	54,88	106,61	97,09	130,08
Kleineichen	0,00	0,00	67,30	132,15	67,36	0,00	0,00	128,02	0,00	64,70	168,59	0,00
Forsbach	19,00	0,00	17,57	68,57	16,72	83,98	67,89	181,93	220,25	160,21	196,38	272,22
Hoffnungstal	33,22	16,29	46,94	0,00	78,08	43,54	72,33	61,67	44,13	183,68	88,54	44,50
Innenstadt	0,00	13,04	19,42	26,15	19,69	26,59	33,00	19,86	6,91	28,20	26,94	13,46
Wüstenhof	0,00	0,00	0,00	0,00	49,67	166,74	0,00	0,00	49,88	0,00	0,00	0,00
Eipringhausen	0,00	0,00	0,00	0,00	48,12	0,00	0,00	0,00	47,37	98,91	51,36	102,01
Tente	0,00	22,65	20,96	18,48	40,78	33,95	57,16	0,00	0,00	0,00	47,79	61,72
Hüniger	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,54	0,00	74,67	37,90	0,00	0,00	32,69
Dabringhausen	0,00	0,00	0,00	22,45	46,57	70,23	41,79	43,93	86,75	84,59	21,68	41,31
Dabringhausen Süd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,67	100,10	0,00	0,00
Dhünn	31,86	25,99	30,41	28,72	25,60	27,95	54,22	26,07	134,03	28,98	104,22	0,00

In einigen Gemeindeteilen ist für bestimmte Jahre ein abrupter Anstieg der Inzidenzraten zu verzeichnen. Ob es sich dabei um epidemische Ereignisse handelt, kann nur vermutet werden. Einige extrem variierende direkt altersstandardisierte Inzidenzraten (IRst) über den Beobachtungszeitraum sind in den folgenden Graphiken veranschaulicht (Abbildung 13).

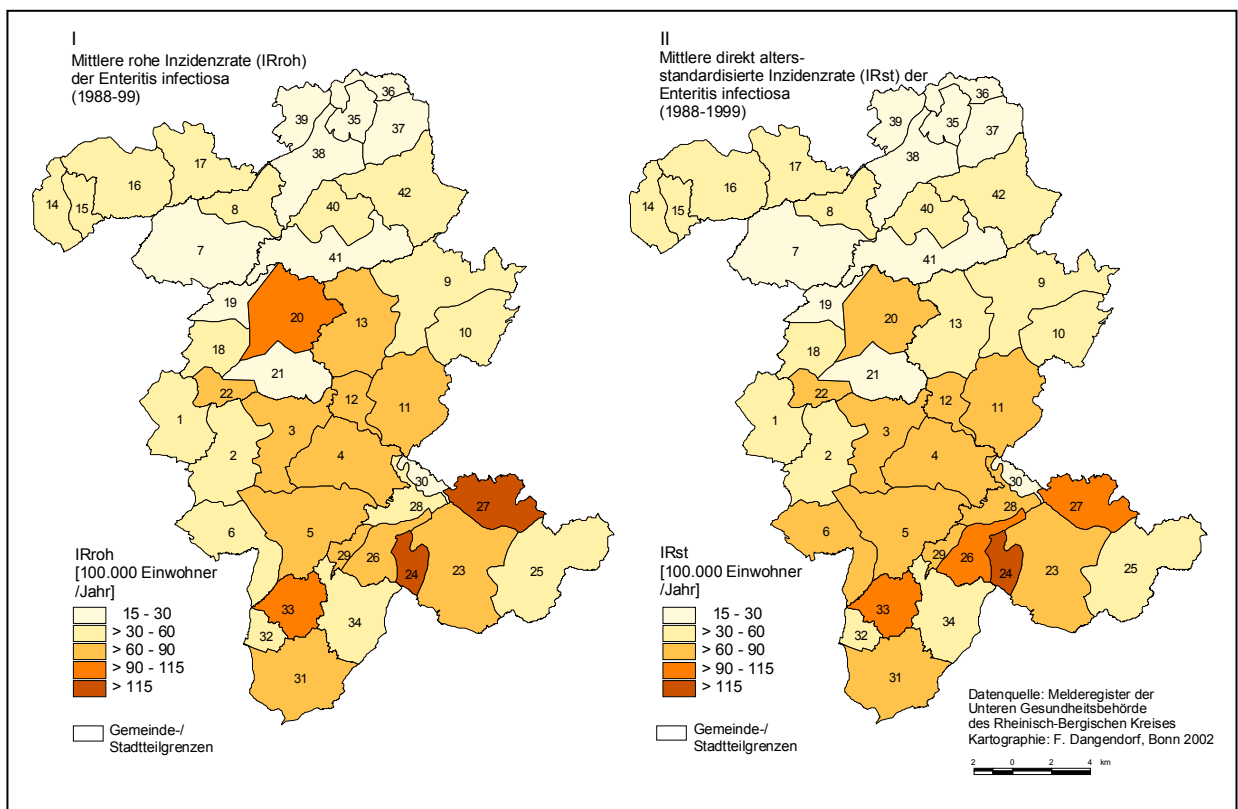


Abbildung 13: Die Entwicklung von Inzidenzraten über den Beobachtungszeitraum für ausgewählte Gemeinde- bzw. Stadtteile

Zur weiteren explorativen Datenanalyse soll nun die räumliche Verbreitung und Variationen kartographisch verdeutlicht werden.

In Karte I (I) ist die Verbreitung der rohen Neuerkrankungsdaten (IRroh) für den Vergleich zu den in Karte I (II) direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (IRst) der Enteritis infectiosa "übrige Formen" pro 100.000 Einwohner aus der amtlichen Überwachung der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises dargestellt.

Wie aus Karte I ersichtlich, treten die höchsten Neuerkrankungsraten in den südlichen Teilen des Untersuchungsgebietes auf. Besonders in den Gemeindeteilen 31, 26, 27 von Rösrath und Overath errechneten sich hohe IRst von 66 bis 142 Fällen pro 100.000 E/J, gefolgt von den südlichen Stadtteilen von Bergisch Gladbach (5) und Kürten (11, 12) mit 66 bis 96 Fällen. Wermelskirchen und Burscheid sind mit unter 46 Neuerkrankungen pro 100.000 E/J die am wenigsten betroffenen Gebiete. Die Berücksichtigung der Altersstruktur bei der Ermittlung der Inzidenzraten zeigt sich besonders von IRst und IRroh der nördlichen Gemeindeteile 16 und 17 von Leichlingen und der Stadtteile 37, 42 von Wermelskirchen. Es bildet sich dort eine geringe Krankheitshäufigkeit ab. In Karte I (II) wird dies durch den Effekt der Altersstandardisierung noch verdeutlicht.



Karte I: Verbreitung der mittleren rohen und direkt altersstandardisierten Inzidenzraten (1988-99) im RBK

Bei der Untersuchung der Lage- und Streuungsmaße von Standardabweichung, Median, Maximum, Minimum, Variabilitätskoeffizient und Quartilsabstand der IRst (1988-99) zeichnet sich eine durchschnittlich höhere Fallzahl von Neuerkrankungen in den mittleren und südlichen Gemeinden- bzw. Stadtteilen des Rheinisch-Bergischen Kreises ab (Karte J (I-VI)). Zur Interpretationshilfe kann Annex 1 herangezogen werden. Dort sind die administrativen Grenzen erläutert.

Eine negative Streuung der Mittelwerte der IRst zeichnet sich in den nördlichen Regionen des Untersuchungsgebietes ab. In den Stadtteilen 39, 36, 38 von Wermelskirchen und den Gebietseinheiten 19, 41, 7 und 30 beträgt die Standardabweichung bis -2 vom Mittelwert. Positive Standardabweichungen bis 2 finden sich in den Gemeindeteilen 33 (Forsbach), 20 (Odenthal) und 26 (Steinenbrück). Die höchsten nach oben streuenden Mittelwerte treten in Heiligenhaus (24) und Vilkerath (27) auf. Hier streuen die Mittelwerte am stärksten.

Die Mediane der IRst variieren von 0 bis 106 gegenüber den altersstandardisierten Mittelwerten, die 15 bis 142 Fälle pro 100.000 Einwohnern in den einzelnen Gemeinden bzw. Stadtteilen des RBK betragen. Mediane von 0 treten in Brombach (Gemeindeteilnummer 30), Olpe (10), Eikamp (21), Wüstenhoff (36), Eipringhausen (37) und Hüniger (39) und Dabringhausen Süd (41) auf, da hier nur in wenigen Jahren überhaupt gastrointestinale Infektionen registriert wurden. In Brombach z. B. wurden nur für die Jahre 1994 und 1997 Fälle registriert (s. Annex V). Hohe Medianwerte zeigen Rösrath (31), Forsbach (33), Steinenbrück (26), Vilkerath (27), Sand (3), Voiswinkel (22) und Biesfeld (11).

Bei Betrachtung der Maxima fällt auf, dass auch in den nördlicheren Gemeindeteilen in einigen Jahren höhere Fallzahlen auftraten. Zum Beispiel in Leichlingen mit den Gemeindeteilnummern 15, 16 und 17 sowie Wüstenhof (36), Dhünn (42) und 20 in Odenthal. Die absolut höchste Inzidenzrate von 355 Fällen pro 100.000 E errechnete sich in Heiligenhaus (33) für das Jahr 1999. Die niedrigsten Maximumwerte traten in Wermelskirchen Innenstadt mit 33 Fällen /100.000 im Jahr 1994 und in Tente (38) mit 57 Fällen/100.000 ebenfalls im Jahr 1994 auf.

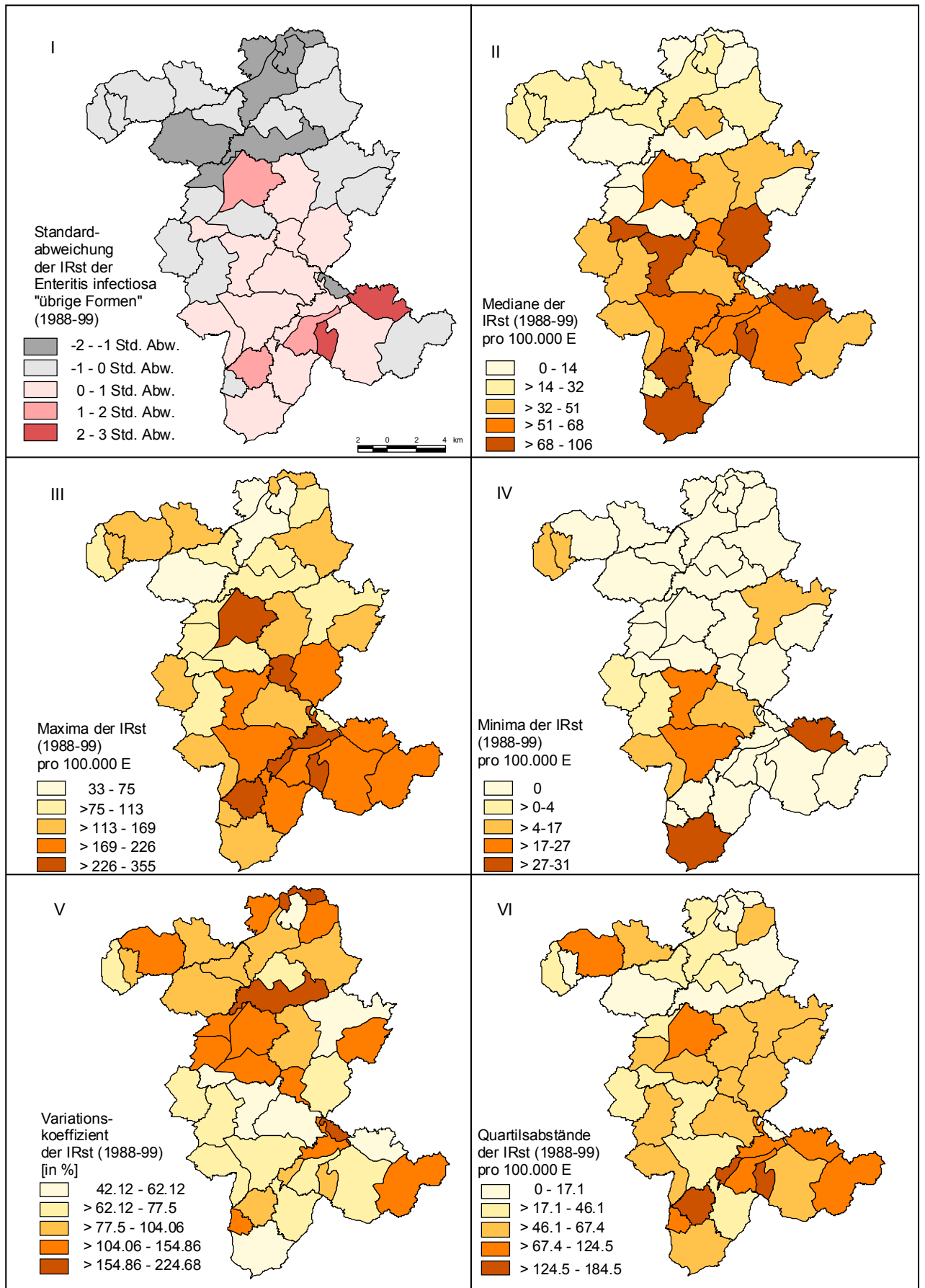
In 31 von 42 Gemeinde- bzw. Stadtteilen des Rheinisch-Bergischen Kreises wurde in mindestens einem Jahr über den Beobachtungszeitraum keine Enteritis infectiosa-Fälle „übrige Formen“ registriert. Dies gilt insbesondere für die Jahre 1988 und 1989. Die Meldefrequenz steigt ab 1996 rapide in allen Gebietseinheiten an. In Bergisch Gladbach (1, 2, 3, 4, 5, 6) wurden in allen Jahren Fälle gemeldet, wobei hier vor allem die hohe Bevölkerungsdichte ausschlaggebend sein wird. In Rösrath-Stadt (31) und Vilkerath (27) treten Minima der IRst mit 27 bis 31 Fällen pro 100.000 Einwohner auf.

Der Variationskoeffizient dient zum Vergleich der absoluten Streuungsmaße, in dem die Standardabweichung als prozentualer Anteil am arithmetischen Mittelwert ausgedrückt wird. Die größte Variabilität der Standardabweichung zeichnet sich in den nördlichen Gemeindeteilen ab. Hier liegen Werte zwischen 104% und 225% vor. Die Variabilität nimmt in den südlichen Gemeindeteilen ab. Besonders deutlich wird dies in den Stadtteilen Bergisch Gladbachs 1, 2, 3, 4, 5, 6 und im Stadtteil 31 von Rösrath. Die Variabilität reduziert sich mit der Kontinuität der Meldung von Fällen über den Untersuchungszeitraum (s. Annex VII).

Der Quartilsabstand, der Abstand zwischen dem unteren 25%-Quartil und dem oberen 75%-Quartil zeigt den Bereich an, in dem 50% der Fälle liegen. In Karte J (VI) sind die aus den Grenzen von 25%-Quartil und dem oberen 75%-Quartil berechneten Abstände dargestellt. Die geringsten Quartilsabstände befinden sich demnach in den Gemeinden- bzw. Stadtteilnummern 7, 41, 42, 35, 36 und 15. Die höchsten Werte treten in Forsbach (33) in Untereschbach (29) und in Heiligenhaus (24) auf. Große Quartilsabstände können auf Ausreißer von Werten der IRst hinweisen. Keine Quartilsabstände konnte für Brombach (30) und Dabringhausen-Süd (41) berechnet werden, da hier nur für zwei Meldejahre Werte vorlagen.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen können Annex VII entnommen werden. Zusätzlich zur Charakterisierung der Häufigkeitsverteilungen werden die ermittelten Inzidenzraten pro Jahr pro Stadt- bzw. Gemeindeteil des Rheinisch-Bergischen Kreises in Säulendiagrammen dargestellt.

Die durch indirekte Standardisierung ermittelte Morbiditätsratio (SMR) wird für statistische Zwecke herangezogen. Die Berechnungen der jährlich ermittelten SMR können der Annex VIII entnommen werden.



Karte J: Lage- und Streuungsmaße der IRst

5.4.2 Ergebnisse der Analyse räumlicher Verbreitungsmuster

Die deskriptive Statistik lieferte einen ersten Überblick über die räumlichen Verbreitung der direkt altersstandardisierten Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ im Rheinisch-Bergischen Kreis. Rein visuell konnte gezeigt werden, dass die Erkrankung nicht gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt ist, sondern dass es Gebiete mit besonders hohen als auch Gebiete mit besonders niedrigen Inzidenzraten gibt. Dieses Phänomen soll nun mit statistischen Tests, die in Kapitel 5.3ff ausführlich beschrieben wurden, weiter untersucht werden.

5.4.2.1 Ergebnisse des χ^2 -Heterogenitätstest

Beim Vergleich der tatsächlichen Häufigkeiten der Enteritis-Inzidenz mit der erwarteten Häufigkeit kann mit dem für epidemiologische Zwecke angepassten χ^2 -Heterogenitätstest nach GAIL (1978) gezeigt werden, dass die Krankheitsfälle nicht zufällig im Raum verteilt sind.

Mit $\hat{\chi}^2 = 359,91 > \chi_{41;0,001} = 81,03$ weicht die Anzahl der Fälle signifikant mit $p < 0,001$ in mindestens einer Region von den Erwartungswerten ab. Die Nullhypothese kann damit abgelehnt werden. Die Vermutung, dass eine Heterogenität bezüglich der Verteilung der direkt altersstandardisierten Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ besteht, bestätigt sich mit hoher Signifikanz.

Bei Interpretation des Ergebnisses muss jedoch beachtet werden, dass die räumlichen Nachbarschaftsbeziehungen der Gebietseinheiten bei der Durchführung dieses Tests nicht berücksichtigt werden.

5.4.2.2 Ergebnisse der räumlichen Autokorrelation

Nach Erstellung der Nachbarschaftsmatrix durch Gewichtung sich angrenzender Polygone wurden die Autokorrelations-Koeffizienten nach Moran's I-Test und Geary's c-Statistik kalkuliert. Beide Koeffizienten ergaben einen signifikanten positiven Zusammenhang.

Der Koeffizient nach Moran's I-Test beträgt 0,3477, mit einer Varianz von 0,009 und einem Standardfehler von 0,09. Das Signifikanzniveau beträgt $p < 0,0001$. Geary's c-Test liefert einen Korrelationskoeffizient von 0,5822 (Varianz 0,015, Standardfehler 0,1243). Das Signifikanzniveau liegt bei $p < 0,0001$.

Mit diesem Ergebnis muss die Hypothese auf zufällige Verteilung verworfen werden. Es kann angenommen werden, dass eine Tendenz zur räumlichen Clusterung der Inzidenzraten besteht.

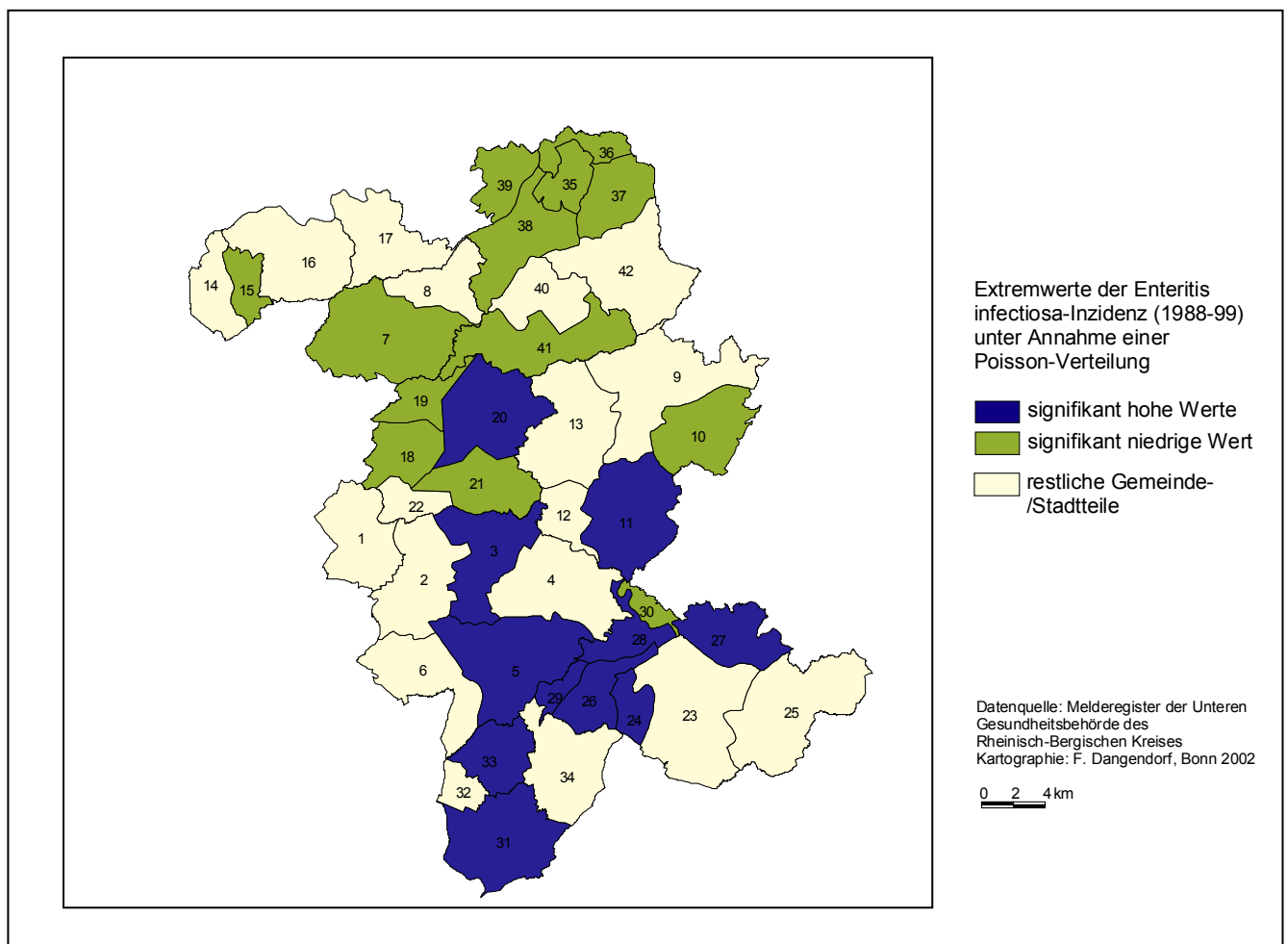
Es soll nun geprüft werden, welche Regionen tatsächlich vom Mittelwert abweichende, signifikante Werte aufweisen. Mit Hilfe des Probability Mapping sollen Extremwerte ermittelt und kartographiert werden.

5.4.3 Ergebnisse des Probability Mapping

5.4.3.1 Die Poisson-Verteilung

Für die beobachtete Verteilung der mittleren, direkt altersstandardisierten Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ (1988-99) sollte die Erwartungswahrscheinlichkeit bestimmter Werte unter Annahme einer Poisson-Verteilung untersucht werden.

Die ermittelten Erwartungswahrscheinlichkeiten sind in der Karte K verdeutlicht. Bei Darstellung der Wahrscheinlichkeiten des zufälligen Auftretens eines Wertes zeigen die Gemeinde- bzw. Stadtteile Untereschbach (29), Biesfeld (11), Neschen/Scheuren (20), Steinenbrück (26), Forsbach (33), Vilkerath (27) und Heiligenhaus (24) Extremwerte der Enteritis-Inzidenz mit Erwartungswahrscheinlichkeiten von unter 10%. Hier treten signifikant mehr Fälle als erwartet auf. Gebiete mit hohen Erwartungswahrscheinlichkeiten (über 90%) befinden sich dagegen überwiegend im Norden des Untersuchungsgebiets.

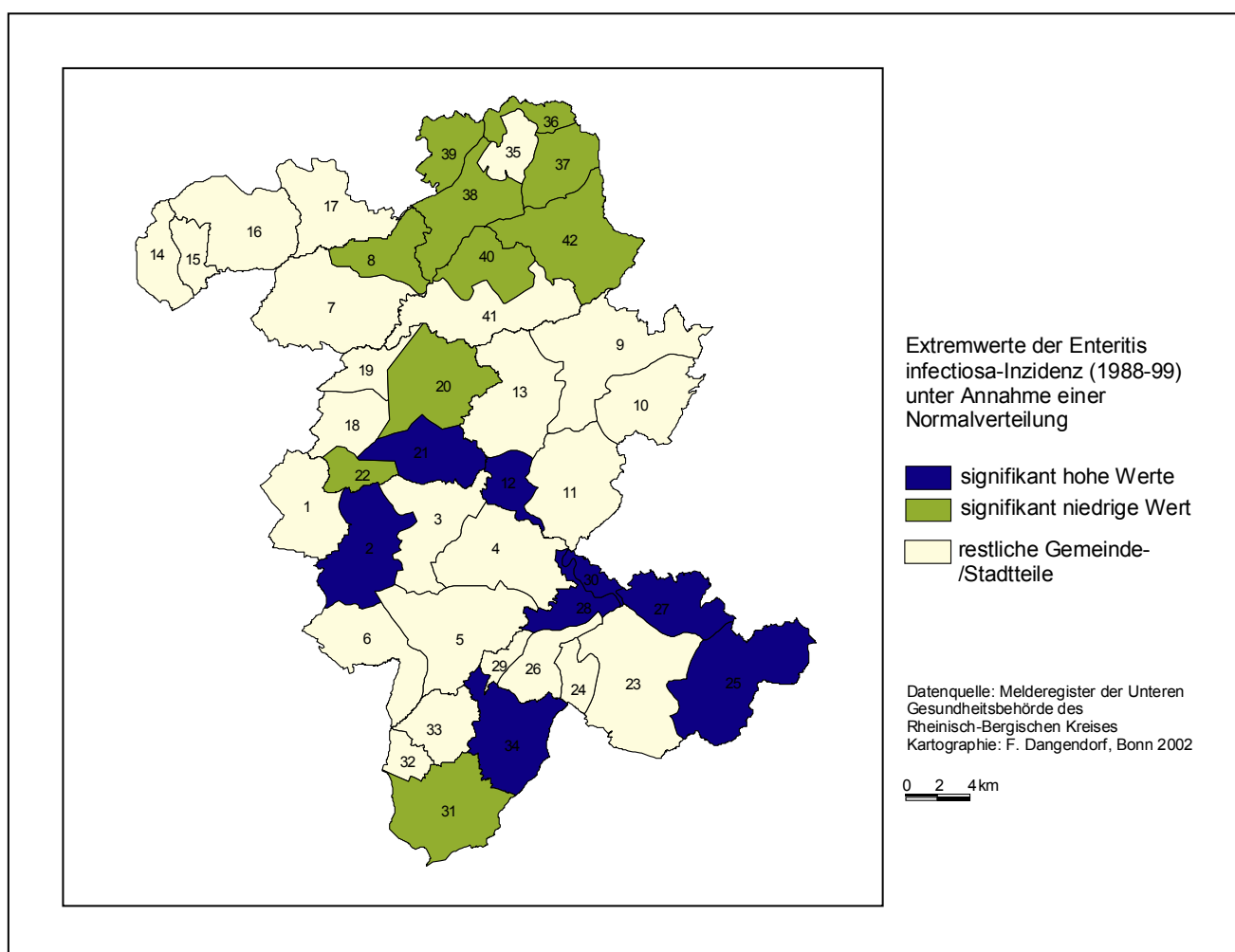


Karte K: Extremwerte unter Annahme einer Poisson-Verteilung

5.4.3.2 Die Normalverteilung

Neben der Poisson-Verteilung sollte für die beobachtete Verteilung der mittleren, direkt altersstandardisierten Inzidenzraten der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ (1988-99) die Erwartungswahrscheinlichkeit bestimmter Werte unter Annahme einer Normalverteilung untersucht werden.

Zur Interpretation der Daten werden solche Gebiete markiert, bei denen die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Auftretens eines Wertes wie beobachtet oder höher unter Annahme einer Normalverteilung <20% liegt (Karte L). Erwartungswahrscheinlichkeiten von unter 20% (mehr Fälle) treten in Untereschbach (29), Biesfeld (11), Neschen/Scheuren (20), Steinenbrück (26), Forsbach (33), Vilkerath (27) und Heiligenhaus (24) auf. Weniger Fälle als erwartet (>80%) treten in Burscheid (7), Brombach (30), Wermelskirchen (36), Hüngr (39) und Dabringhausen Süd (41) auf.

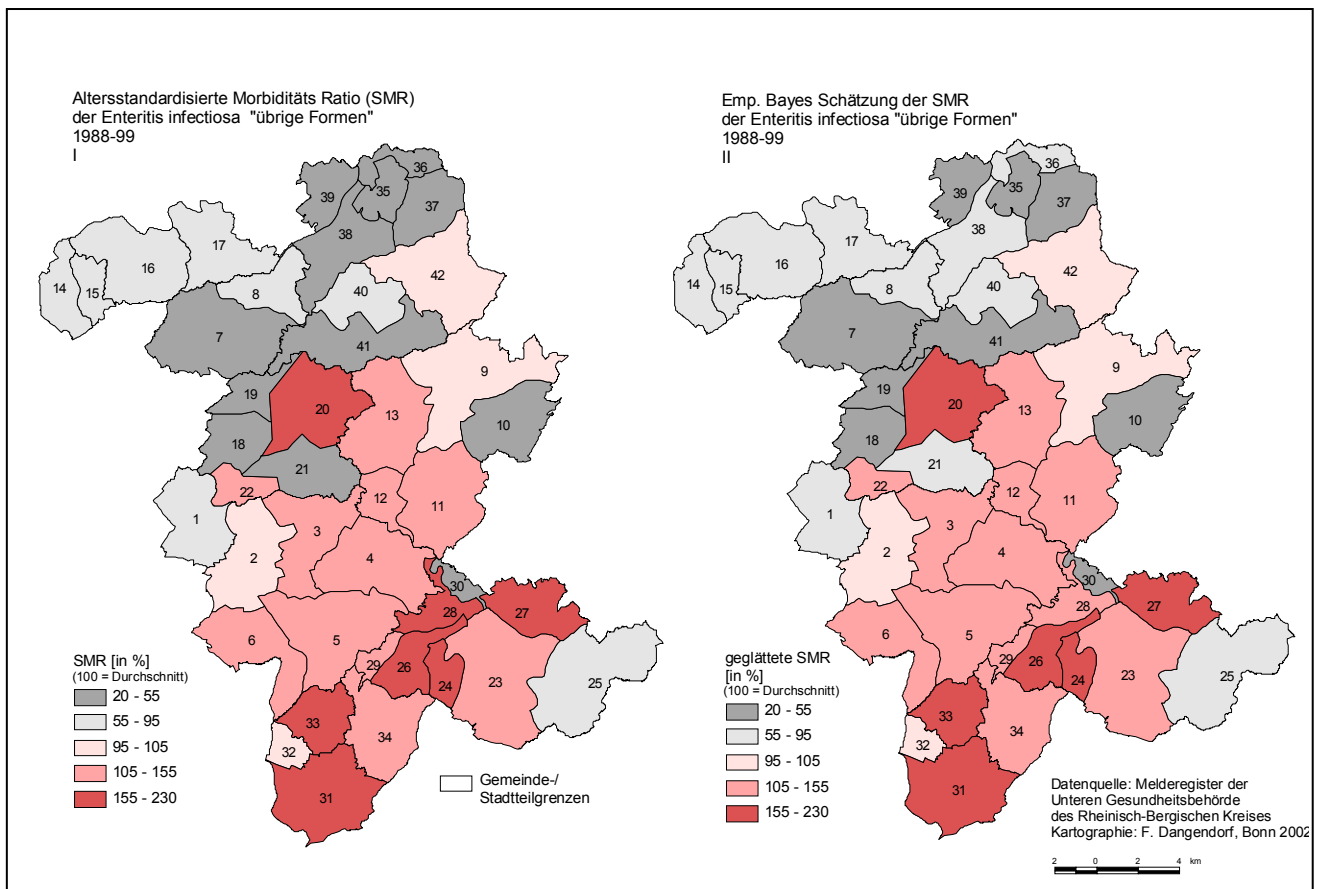


Karte L: Extremwerte unter Annahme einer Normalverteilung

5.4.3.3 Empirischer Bayes Schätzer

Die indirekt altersstandardisierte Morbiditäts Ratio (SMR) wurde als a-priori Information für die nicht parametrische empirische Bayes-Schätzung benutzt (Annex VIII). Mit ihr lässt sich zeigen, in welchen Gebieten höhere bzw. niedrigere Neuerkrankungsraten als erwartet auftreten. Durch die Bayes-Schätzung ergeben sich geglättete SMR. Die SMR wird in Prozent angegeben, wobei 100% den Durchschnittswert wiedergibt.

In Karte M (I) wird die räumliche Verbreitung der aus den beobachteten Werten ermittelten SMR dargestellt. 7 Gemeinde- bzw. Stadtteile weisen bis zu 150% höhere Werte als im Durchschnitt auf. Außer Neschen/Scheuren (20) liegen diese Gebiete in Overath und Rösrath. Werte mit bis zu 70% weniger Fälle als erwartet treten überwiegend im Norden, in Wermelskirchen (35, 36, 37, 38, 39), Burscheid (7) und Odenthal (18, 19, 21) auf.



Karte M: SMR und empirische Bayes-Schätzung

Bei Betrachtung der durch die empirische Bayes Schätzung geglätteten SMR zeigen sich keine wesentlichen Änderungen gegenüber der „rohen“ SMR. Die Verbreitung der Enteritis-Inzidenz bleibt relativ heterogen. Für einige Gebiete (38, 36 und 21) ergeben sich niedrigere Erwartungswerte zwischen 5% und 45%. Von den 7 Gebieten mit überdurchschnittlich hohen SMR lässt sich nur für den Stadtteil 28 eine niedrigere Inzidenz nachweisen.

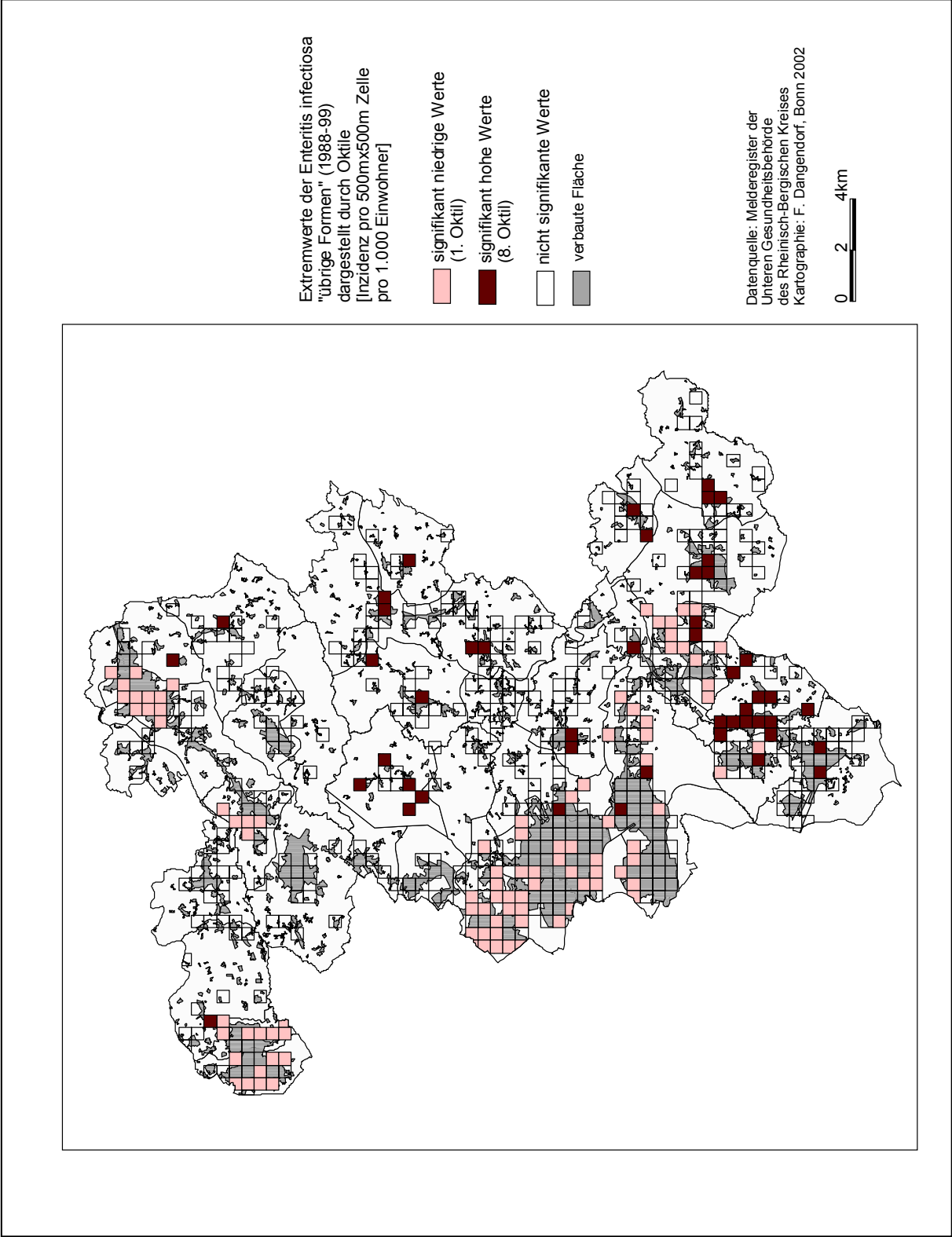
Die bisher über das Probability Mapping identifizierten Gebietseinheiten mit überdurchschnittlich hohen Inzidenzraten, lassen sich auch durch die geglätteten SMR nachweisen. Zu diesen Gebieten gehören die Gemeinde- bzw. Stadtteile Neschen/Scheuren (20), Forsbach (33), Vilkerath (27) und Heiligenhaus (24). Oktile der Rasterdarstellung

In Karte N wird die Häufigkeitsverteilung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ durch Oktile auf Extremwerte untersucht. Die rohe Inzidenzrate ist dabei auf Rasterebene mit der Zellgröße 500m x 500m dargestellt. Die Werte des ersten Oktils werden als signifikant niedrig und die Werte des achten Oktils als signifikant hoch gewertet. Nur diese signifikanten Zellen werden farblich markiert, um die räumliche Verteilung der Extremwerte zu verdeutlichen.

Losgelöst von den administrativen Grenzen ergibt sich ein differenziertes Bild der Extremwerte. Bei Betrachtung des Rasters im Bereich von Bergisch Gladbach (s. Übersichtskarte, Annex II) zeigen sich sehr viele Zellen mit signifikant niedrigen Werten. Die Choroplethenkarten (s. Karten J (I-VI)) der direkt altersstandardisierten Inzidenzraten demonstrieren im Gegensatz dazu eine überdurchschnittliche Häufung von Fällen. Trotz hoher Anzahl von absoluten Fällen relativiert sich die Inzidenzrate durch die hohe Bevölkerungsdichte in den Zellen.

Die signifikant hohen Extrema verteilen sich über das gesamte Kreisgebiet, jedoch auch hier mit einem deutlichen Schwerpunkt in Rösrath. In den markierten Zellen mit hohen Extrema treten zwischen 6 und 16 absoluten Fällen bei einer mittleren Bevölkerungsdichte auf (s. Karte B).

Aber auch in Overath treten relativ viele Zellen mit hohen Extremwerten auf. Dagegen sind in den nördlichen Bereichen mehr Raster mit signifikant niedrigen Inzidenzraten markiert. Das Nord-Südgefälle wird jedoch nur andeutungsweise deutlich. Insgesamt bestätigt die Karte eine besondere Krankheitshäufigkeit im Stadtgebiet Rösrath.



Karte N: Oktile der Enteritis-Inzidenz

5.5 Methoden der statistischen Zusammenhangsanalyse

Die Analyse der räumlichen Verbreitung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ im Rheinisch-Bergischen Kreis ergab, dass die Fälle nicht zufällig im Raum verteilt sind. Es zeichnet sich eine Clusterung der Fälle in Rösrath und Overath ab.

Insbesondere in Forsbach (33) mit einer mittleren Bevölkerungsdichte von 845 Einwohner pro km² und in Hoffnungstal (34) mit einer Einwohnerdichte von 134 Einwohnern pro km² wurden hohe direkt altersstandardisierte Inzidenzraten ermittelt (s. Tabelle 37). Extrema mit über 180 Fällen pro 100.000 Einwohner in den Jahren 1996, 1997 und 1999 deuten möglicherweise auf epidemische Ereignisse hin. Extrem hohe Werte konnten darüber hinaus auch in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen Neschen/Scheuren (20), Vilkerath (27) und Heiligenhaus (24) festgestellt werden. In den nördlichen und mittleren Regionen des Untersuchungsgebietes traten dagegen unterdurchschnittliche Fallzahlen auf.

Das Ergebnis berechtigt zur Durchführung von ökologischen Korrelations- bzw. Regressionsstudien zum statistischen Nachweis von Zusammenhängen mit der Verteilung von Umweltfaktoren.

Eine wesentliche Voraussetzung Ökologischer Studien ist die Aggregation der Variablenwerte auf die Bevölkerung bestimmter Gebietseinheiten (MORGENSTERN, 1998). Es wird empfohlen, zur Vermeidung oder Minimierung des ökologischen Fehlschlusses, möglichst kleine Raumeinheiten zu wählen. Für die Studie im Rheinisch-Bergischen Kreis werden die 42 Gemeinde- bzw. Stadtteile als kleinste zur Verfügung stehende Raumeinheit herangezogen.

Die abhängige Variable IRst muss nicht weiter operationalisiert werden, da sie bereits auf der gewünschten Ebene zur Verfügung steht.

Die Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur bedürfen dagegen einiger Aufbereitung, um bevölkerungsbezogene und flächenbasierte Berechnungen durchführen zu können.

5.5.1 Evaluierung der Parameter zur Trinkwasserversorgungsstruktur

Die Operationalisierung der Parameter zur Charakterisierung der Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis beruht im Wesentlichen auf den in Kapitel 4 erhobenen Datensätzen. Zur Vervollständigung dieser Daten und um möglichst spezifische, bevölkerungsbezogene Daten zu bekommen, wurden die Wasserversorgungsunternehmen angeschrieben, soweit wie möglich ihre Trinkwasserversorgung auf die Gebietseinheiten hin aufzuschlüsseln und diese Informationen zur Verfügung zu stellen. Dafür wurde eine Tabelle vorbereitet, die an die WVU gesendet wurde. Bis auf zwei WVU stellten alle Wasserversorgungsunternehmen Daten zur Verfügung. Leider waren sie nicht in der Lage, gemeinde- bzw. stadtteilbezogene Angaben zu machen.

Durch zusätzliches Kartenmaterial, die von den WVU und dem UG bereitgestellt wurden, konnten dennoch einige Parameter auf die Gebietseinheiten aggregiert werden (Kapitel 4, Tabelle 35).

Wie bereits in Karte G gezeigt, decken sich gerade im Norden die Grenzen der Wasserversorgungsgebiete nicht mit den administrativen Grenzen des RBK. Diese

Tatsache erschwerte die Abschätzung der in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen vorhandenen Trinkwasserversorgungsstrukturen.

Gemäß der Aufgabenstellung sollte besonders die Herkunft des Trinkwassers in Zusammenhang mit der Enteritis-Inzidenz untersucht werden. Zur Operationalisierung aussagekräftiger Parameter zur Trinkwasserherkunft müssen deshalb die Anteile der Bevölkerung ermittelt werden, die mit Grundwasser bzw. Oberflächenwasser versorgt werden. Als unabhängige Variable zur Korrelationsberechnung wurde zunächst der Anteil der zentral mit oberflächenbürtigem Trinkwasser (obTW) versorgten Personen bzw. mit grundwasserbürtigem Trinkwasser (gbTW) versorgten Personen ermittelt (s. Tabelle 35).

Von besonderem Interesse ist natürlich auch der Zusammenhang von Trinkwasserqualität (TQ) und Verbreitung der Durchfallerkrankungen. Um die TQ in die Ökologische Studie mit einzubeziehen, wurde die Anzahl der an den Einspeisungspunkten und Netzprobenstellen durchgeführten Wasserproben ermittelt und auf die Gemeinde- und Stadtteilebene aggregiert. Für die PNS wurde der Anteil der positiven trinkwasserhygienischen Testergebnisse über Koloniebildende Einheiten (KBE) bei 20°C Bebrütungstemperatur erhoben.

Für den Zeitraum 1974 bis 1998 standen für den gewählten Parameter 3.919 Testergebnisse zur Verfügung, die in unregelmäßigen Abständen gemessen wurden und auch Probenahmen nach Instandhaltungsarbeiten am Rohrnetz beinhalten. Als positive Probe wird ein Testergebnis von >1 KBE bei 20°C Bebrütungstemperatur gewertet. Sie werden als relativer Anteil an allen Proben eines Gemeinde- oder Stadtteils in Prozent angegeben.

Zur Untersuchung dieser Variablen auf Zusammenhang mit der über das amtliche Melderegister ermittelten Enteritis-Inzidenz im Untersuchungszeitraum 1988-1999 werden Korrelationsmodelle angewendet.

5.5.2 Lineare Einfachkorrelation nach Pearson

Bei der Analyse von statistischen Daten ist man häufig daran interessiert, Abhängigkeiten und Zusammenhänge von Merkmalen zu untersuchen und qualitative Aussagen über das Vorhandensein und die Stärke von Abhängigkeiten zu gewinnen. In diesem Zusammenhang werden Korrelationsanalysen durchgeführt.

Die Korrelation oder Assoziation von Merkmalen gibt vornehmlich den linearen Zusammenhang wieder. Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson wird aus der Regressionsanalyse abgeleitet, wobei die Wertepaare zweier Variablen (x/y) auf einer Geraden liegen und somit einen funktionalen Zusammenhang beschreiben ($Y=a+bx$). Der Koeffizient errechnet sich durch (aus: BAHRENBERG 1990):

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Die Stärke des (linearen) Zusammenhangs zwischen x und y ist umso größer, je näher r_{xy} bei +1 oder -1 liegt.

5.5.3 Die partielle Korrelationsanalyse

In der Regel können durch einfache Korrelationsmodelle keine sicheren Abhängigkeiten zwischen zwei Variablen ermittelt werden, da die Realität viel komplexer ist. In fast allen konkreten empirischen Untersuchungen reicht eine bivariate Analyse nicht aus, um die räumlichen Variationen einer Variablen zu erklären. Daher ist es sinnvoll und notwendig, mehr als zwei Variablen in die Analyse mit einzubeziehen. Für diese Berechnungen stehen multivariate Analyseverfahren zur Verfügung. Mit dem Ziel, die abhängige Variable durch mehrere Variablen zu erklären, müssen dabei Variablen X so ausgewählt werden, dass so weit wie möglich die Variation der abhängigen Variablen Y auf die Variation der X-Werte zurückzuführen ist (BAHRENBERG et al., 1992).

Auch bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Verteilung der Enteritis-Inzidenzen und der Trinkwasserherkunft muss damit gerechnet werden, dass zahlreiche andere Einflüsse die Variation der IRst beeinflussen. Nicht nur die Trinkwasserherkunft und Trinkwasserqualität hat möglicherweise einen Einfluss auf die Verbreitung der Inzidenzen. Weitere Faktoren im Rheinisch-Bergischen Kreis beeinflussen mit großer Wahrscheinlichkeit die Variation der IRst.

Um jedoch den Einfluss einer Variablen möglichst „rein“ darzustellen, wird mit statistischen Korrelationsmodellen versucht, den Einfluss dritter Variablen, die als Störgrößen oder als Confounder bezeichnet werden können, auszuschalten. Damit kann dem Multikollinearitätsproblem, das häufig in Ökologischen Studien auftritt, entgegen gewirkt werden. Die partielle Korrelationsanalyse stellt eine Möglichkeit dar, den Einfluss einer Variablen auszuschalten, um den Einfluss einer anderen Variablen besser zu erkennen.

Der partielle Korrelationskoeffizient zwischen Y und einem Merkmal X_1 unter Ausschluss einer weiteren Variable X_2 wird als einfacher Korrelationskoeffizient zwischen den Residualvariablen definiert, also

$$r_{yx1.x2} = r_{(Y-\hat{Y})(X_1-\hat{X}_1)}$$

Der partielle Korrelationskoeffizient lässt sich aus den einfachen Korrelationskoeffizienten der beteiligten Variablen berechnen (aus: BAHRENBERG et al. 1992):

$$r_{0k.l} = \frac{r_{0k} - (r_{0l} \cdot r_{kl})}{\sqrt{1 - r_{0l}^2} \cdot \sqrt{1 - r_{kl}^2}}$$

wobei X_0 = abhängige Variable und X_k, X_l = unabhängige Variable

Er liegt wie der einfache Korrelationskoeffizient zwischen -1 und $+1$.

Zur Untersuchung der Multikollinearität werden zudem die Abhängigkeiten zwischen den unabhängigen Variablen durch Korrelation der Variablen untereinander ermittelt.

5.5.4 Die multiple Regression

Wie bei der partiellen Korrelation wird bei der multiplen Regression davon ausgegangen, dass der lineare Zusammenhang zwischen zwei Variablen X und Y durch den Einfluss weiterer Variablen beeinflusst wird. Bei der multiplen Regression wird jedoch

der additive Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Varianz der abhängigen Variable untersucht.

Das grundlegende Modell der multiplen Regressionsanalyse für eine Grundgesamtheit wird durch folgende Gleichung ausgedrückt (BAHRENBERG et al., 1992):

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_m X_m + \varepsilon, \text{ mit}$$

$Y =$ abhängige Variable

$X_1, \dots, X_m =$ unabhängige Variablen

$\varepsilon =$ Zufallsvariable (=Zufallsfehler)

$\alpha =$ Regressionskonstante

$\beta_i =$ partieller Regressionskoeffizient der Variablen X_i (1, ..., m)

Für die Zusammenhangsanalyse zwischen Parametern der Trinkwasserversorgungsstruktur und Enteritis-Inzidenz gibt es keine bestätigte Theorie darüber, welche der unabhängigen Variablen besonders stark die abhängige Variable beeinflusst. Deshalb wird ein Modell herangezogen, in dem möglichst viele unabhängige Variablen einbezogen werden, um einen möglichst großen Anteil an erklärter Varianz von Y zu erzielen. Ein gutes Schätzmodell sollte jedoch nicht nur wahllos mit unabhängigen Variablen „gefüttert“ werden, sondern durch „das Prinzip sparsamer Parametrisierung ergänzt werden“ (BAHRENBERG et al. 1992).

Um dieses Prinzip in Regressionsmodellen zu verwirklichen, wurden schrittweise Verfahren für die Auswahl der unabhängigen Variablen zum Einschluss in das Regressionsmodell entwickelt (vorwärtsgerichtete, rückwärtsgerichtete, schrittweise Auswahlverfahren).

Für die vorliegende Studie wurde ein Regressionsmodell mit schrittweisem Einschluss von Variablen gewählt. Die Methode wurde bereits in verschiedenen Ökologischen Studien angewendet. In einer Untersuchung zur Verbreitung der Tuberkulose in England und Wales konnte mit schrittweisen multiplen Regressionsmodellen ein Zusammenhang zwischen der Mortalitätsrate und überfüllten Haushalten (Indikator für Armut) sowie mit an AIDS-Erkrankten jungen Männern nachgewiesen werden (ELENDER et al., 1998). Schrittweise Regressionsmodelle wurden auch bei der Untersuchung der Tuberkuloseverbreitung in Köln angewendet. Durch Einschluss verschiedener möglicher Einflussgrößen in das Modell wurde für die Altersgruppe der unter 60-Jährigen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Tuberkulose-Inzidenz und Anteil der Immigranten auf Stadtteilebene festgestellt (KISTEMANN et al., 2002b).

Mit der multiplen Regressionsanalyse soll im vorliegenden Fall ein guter Schätzwert für den erklärten Anteil der Varianz der Enteritis-Inzidenz durch verschiedene Einflussgrößen ermittelt werden.

Zur Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse und der multiplen Regressionsanalyse werden im folgenden Kapitel neben der Trinkwasserherkunft weitere Einflussfaktoren auf die Enteritis-Inzidenz identifiziert, die als unabhängige Variablen in die statistischen Modelle aufgenommen werden können. Die Suche nach geeigneten Variablen ist wichtig, da sie die Güte des Zusammenhangs bestimmen. Die Identifizierung solcher Einflussgrößen, die die interessierenden Zusammenhänge möglicherweise

überlagern (Confounder) wird durch aus dieser Arbeit vorliegenden Studienergebnissen unterstützt.

5.5.4.1 Ermittlung von weiteren Einflussfaktoren auf die Varianz der IRst

Faktoren oder Prozesse, die eine räumliche Ungleichverteilung von Krankheitsraten verursachen, können aus der physikalischen Umwelt stammen oder werden durch soziale, ökonomische und kulturelle Bedingungen verursacht. Auch genetische Faktoren sind bekannt. Die Eigenschaften von Einflussfaktoren können individuell oder synergistisch sein (MAYER, 1983).

Einflussfaktoren für das Auftreten von wasserbedingten gastrointestinalen Infektionen müssen zum einen in der physikalischen Umwelt des Trinkwassers gefunden werden und zum anderen in den im Untersuchungsgebiet vorherrschenden sozio-ökonomischen Bedingungen. Bei dem Versuch die Einflussfaktoren auf die kleinsten Gebietseinheiten zu aggregieren und damit in idealer Weise die Expositionsbedingungen für die Bevölkerung abzubilden, muss beachtet werden, dass Individuen nicht nur an einen Ort gebunden sind. Bevölkerungsbewegungen können täglich oder periodisch auftreten. Manche Individuen verlassen das Untersuchungsgebiet ganz oder kommen aus anderen Gebieten mit unterschiedlichen Expositionsbedingungen hinzu. Durch diese Mobilität werden die Personen zusätzlichen Einflussfaktoren ausgesetzt (SCHAERSTRÖM, 1996; WAKEFIELD & ELLIOTT, 1999).

Weitere Schwierigkeiten treten bei der Datenerhebung auf. Häufig sind die benötigten Daten nicht auf der erforderlichen Ebene zu erhalten. Dadurch wird es notwendig, Informationen auf einer übergeordneten Gebietseinheit zusammenzufassen. Die Generalisierung führt zu einem Informationsverlust, wodurch die Abschätzung der individuellen Exposition zusätzlich erschwert wird (WAKEFIELD & ELLIOTT, 1999).

Bei der Untersuchung des statistischen Zusammenhangs zwischen der Enteritis-Inzidenz und der Trinkwasserherkunft wurde vorausgesetzt, dass die Kontamination des Trinkwassers in unmittelbarem Zusammenhang mit der Herkunft des Rohwassers steht. Berücksichtigt man das HACCP-Konzept, welches für die Trinkwasserproduktion kritische Kontrollpunkte definiert, sind weitere Komponenten der Trinkwasserversorgungsstruktur mögliche Kontaminationsquellen. Von der Rohwasserentnahmestelle bis zum Wasseranschluss in den Privathaushalten sind an folgenden Stationen der Trinkwasseraufbereitung verschiedene Risikofaktoren zu beachten (HAVELAAR, 1994):

- Rohwasserentnahme (Grundwasser, Oberflächenwasser, Schutzzonen?)
- Rohwasserbehandlung (welche Techniken? Desinfektion?)
- Speicherung des Trinkwassers (Größe, Alter, gespeichertes Volumen, Rekontaminierung?)
- Verteilungsnetz bis zum Verbraucher (Zustand, Länge, Material, Durchfluss, Stagnationsabschitte, Rekontaminierung?)

Eine detaillierte Darstellung der Trinkwasserherkunft, -gewinnung, -abgabe, Anteil der öffentlichen und privaten Trinkwasserversorgung, Länge des Leitungsnetzes pro Einwohner, Anzahl der Angestellten in den Wasserversorgungsunternehmen bezogen auf die Gemeinde- bzw. Stadtteilebene wurde bereits für Kapitel 4 erstellt (Tabelle 35).

In den Wasserversorgungsgebieten des Rheinisch-Bergischen Kreises bestehen starke Unterschiede in der Größe der Wasserwerke und WVU. Es kann angenommen werden, dass mit zunehmender Größe der WW und WVU, auch die Anforderungen an die

Trinkwasseraufbereitung steigen und somit die Techniken auf hohem Standard sein müssen. Die kleineren und traditionelleren Wasserversorgungsanlagen rüsten erfahrungsgemäß eher zögerlich nach. Eine Erhebung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg 1996 ergab, dass bei abnehmender Betriebsgröße der Anteil der hygienisch zu beanstandenden Trinkwasserproben zunahm und bei Einzelwasserversorgungsanlagen mehr als 20% betrug (SCHNEPF, 1998).

Daher wurde **der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung** als eine Einflussgröße gewertet und aufgenommen. Über die Adresskoordinaten der Eigen- und Einzelwasserversorger konnte der Anteil der privaten Trinkwasserversorgung auf Gemeinde- bzw. Stadtteilebene an der gesamten Trinkwasserversorgung bestimmt werden.

Um die Qualität der Trinkwasseraufbereitung zu charakterisieren, wurde als Variable die **„Größe der Wasserwerke und Aufbereitungsanlagen“** nach deren Abgabemenge operationalisiert und kategorisiert. Als zusätzlicher Parameter wurde auch die Anzahl der Beschäftigten als Maß für die Größe der WW herangezogen (s. Tabelle 38).

Die Bevölkerung des RBK wird durch 5 Wasserwerke versorgt (s. Kapitel 4): das Wasserwerk Refrath der BELKAW GmbH (Bergische Licht-, Kraft- und Wasserwerke, Bergisch Gladbach), das Gemeindewasserwerk Rösrath mit dem Wasserwerk in Köln-Leidenhausen, der Wasserbeschaffungsverband Bechen, der Wasserversorgungsverband Rhein-Wupper mit dem Wasserwerk Schürholz und der Aggerverband, dessen Wasserwerke Auchel und Erlenhagen außerhalb des Kreisgebietes liegen. Durch die Kategorisierung nach Abgabemenge ergibt sich eine Skala von 1-5, wobei 1 sich auf das WW mit der geringsten Abgabemenge bezieht (Tabelle 38). Die Angaben beziehen sich zwar auf die Jahre 1996 bis 2001, jedoch änderte sich die Trinkwasserversorgungsstruktur in den letzten 10 bis 15 Jahren nicht wesentlich (s. Annex IVa-e).

Zur Charakterisierung Einflussgröße **„Ausdehnung des Leitungsnetzes“**, wurden von den Wasserversorgungsunternehmen Angaben über Anzahl der angeschlossenen Haushalte, täglichen Durchfluss durch das System sowie Wasserverluste, Länge des Leitungsnetzes insgesamt und pro Einwohner sowie Angaben zu den Hochbehältern erhoben. Die Evaluierung von Parametern wurde jedoch dadurch erschwert, dass diese Daten nicht einheitlich vorlagen und sich nur bedingt auf die Bevölkerung beziehen ließen. Die Länge des Leitungsnetzes pro Haushalt konnte für die Wasserversorgungsgebiete ermittelt und auf die 42 Gebietseinheiten annähernd übertragen werden. Die Ergebnisse können der Tabelle 38 entnommen werden.

Zur Identifizierung von weiteren möglichen Einflussfaktoren auf die Variation der Enteritis-Inzidenzen, werden neben der Exposition der Bevölkerung gegenüber Grund- bzw. Oberflächenwasser die Bevölkerungsbewegungen untersucht. Charakteristische kurzfristige Bevölkerungsbewegungen sind das berufsbedingte Pendeln und Reisen. Durch das Pendler- und Reiseverhalten wird im Wesentlichen die Dauer und das Ausmaß der Exposition gegenüber dem Risikofaktor „Trinkwasserherkunft im Rheinisch-Bergischen Kreis“ bestimmt.

Der Confounder **„Reiseverhalten“** konnte bei Erhebung der epidemiologischen Datenbasis bei der Unteren Gesundheitsbehörde des RBK weitestgehend auf Individualebene kontrolliert werden. Die Daten wurden hinsichtlich der Infektionsquelle und des Infektionsortes überprüft, um möglichst diejenigen Infektionen auszuschließen, die nachweislich nicht im Rheinisch-Bergischen Kreis erworben wurden. Bei einigen der

Gastroenteritiden konnte mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass es sich um reisebedingte Erkrankungen handelte, da das Auftreten von Durchfällen in engem Zusammenhang mit Auslandsaufenthalten stand. Häufig suchten die betroffenen Personen erst nach Rückkehr aus dem Urlaub einen Arzt auf, so dass die Meldungen häufig erst nach einer Woche nach Rückkehr aus dem Urlaub bei der UG eintrafen. Deshalb wurde die Datenbasis von denjenigen Fällen bereinigt, die bei Berücksichtigung der Inkubationszeit (mehrere Stunden bis 1 Woche) mit Auftreten der Symptome am Urlaubsort oder innerhalb von 7 Tagen nach Rückkehr aus dem Urlaub gemeldet wurden (s. Kapitel 4.6.1.1).

Das „**Pendlerverhalten**“ birgt eine Störgröße bei der Untersuchung von Trinkwasserbedingten gastrointestinalen Infektionen einer Bevölkerung in einem definierten Raum - dem Rheinisch-Bergischen Kreis. Bei Erwerbstätigen, die nicht an ihrem Wohnort beschäftigt sind, kann man nicht davon ausgehen, dass sich diese auswärtig arbeitenden Personen ausschließlich an ihrem Wohnort mit wasserübertragbaren Krankheitserregern infiziert haben.

Zur Erfassung der Pendlerströme des Rheinisch-Bergischen Kreises wurden die Statistiken des Arbeitsamtes Bergisch Gladbach (1998) ausgewertet. Die zugrunde liegende Statistik (Stand 1997) über die Pendlerströme erfasst die sozialversicherungspflichtigen Erwerbstätigen, die im Rheinisch-Bergischen Kreis wohnhaft sind. Selbstständige, mithelfende Familienangehörige (vor allem in der Landwirtschaft), Beamte/innen, Richter/innen und geringfügig Beschäftigte werden jedoch nicht berücksichtigt. Trotzdem lassen sich Trends und Tendenzen gut ablesen, da in diesem Falle die versicherungspflichtigen Pendler mit einem 82%igen Anteil, die Gesamtheit aller erwerbstätigen Pendler des Rheinisch-Bergischen Kreises recht gut repräsentieren.

Detaillierte Angaben über die Aus- und Einpendlerströme sind in Kapitel 2 zur Lage und Auswahl des Untersuchungsgebietes zu entnehmen (s. auch Karte C). Die Nutzung dieser Daten in der Korrelationsanalyse ist dahingehend eingeschränkt, dass die Angaben zum Pendlerverhalten nur auf Gemeinde- bzw. Stadtteileebene erhältlich waren und nur auf dieser Ebene nutzbar sind. In Tabelle 39 können die Werte auf Gemeindeteil- bzw. Stadtteilebene entnommen werden.

Die Angaben von 1997 können für den Untersuchungszeitraum 1988-1999 zugrunde gelegt werden, da der Auspendleranteil in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen keine großen Schwankungen aufweist (Arbeitsamt Bergisch Gladbach, 1998).

Der Confounder „**Arztdichte**“ bezieht sich auf die medizinische Versorgung der Bevölkerung in Bezug auf niedergelassene Ärzte. Es wird hypothetisch angenommen, dass durch eine hohe Arztdichte die medizinische Versorgung besser ist. Dadurch besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass Patienten mit Durchfall erfasst und an die Meldebehörde weitergeleitet werden. Es ist zu vermuten, dass in Gemeinde- bzw. Stadtteilen mit relativ hoher Arztdichte im Verhältnis mehr gastrointestinale Fälle verzeichnet werden als in Gebieten mit geringer Versorgung.

Trotz bestehender Meldepflicht gastrointestinaler Infektionen (BSeuchG) sind die von niedergelassenen Ärzten diagnostizierten und gemeldeten Fälle in etwa nur ein Zehntel der tatsächlich auftretenden Fälle (RKI 1998). Daher spielt auch die individuelle Handhabung der Meldepflicht durch die Ärzte/Innen eine wichtige Rolle für die Meldefrequenz.

Die Angaben über Anzahl und Fachgebiet der niedergelassenen Ärzte/Innen im RBK konnten dem „Gesundheitspartnerverzeichnis der AOK Rheinland“, Ausgabe 1999, entnommen werden. Berücksichtigt wurden dabei Allgemeinärzte, Internisten und Kinderärzte, da diese für die Diagnostik von Infektions- und Durchfallerkrankungen in Frage kommen.

Über die Adressen konnte die Anzahl der Arztpraxen pro Gemeinde- bzw. Stadtteil ermittelt werden. Die Arztdichte wurde berechnet über die Anzahl der Ärzte dividiert durch die Bevölkerungszahl auf 10.000 Einwohner.

Der Kontakt zu bäuerlichen Betrieben oder Tieren dürfte besonders bei Kindern auf die Inzidenz der Durchfallerkrankungen Auswirkungen haben. Die Erregerreservoir vieler gastrointestinaler Infektionserreger sind landwirtschaftliche Nutztiere, besonders Rinder, aber auch Schweine, Geflügel, Hunde und Katzen (s. Kapitel 4.5.2 bis 4.5.4). Neben dem Kontakt zu infizierten Tieren oder Fäkalien gilt auch der Verzehr von Rohmilch oder Rohmilchprodukten häufig als Ursache gastrointestinaler Infektionen.

Da in einigen ländlichen Regionen des Rheinisch-Bergischen Kreises höhere Dichten an landwirtschaftlichen Betrieben mit Viehhaltung zu finden sind als in anderen Regionen, wird dieser Einfluss durch die Variable „**Anzahl der Betriebe pro Einwohner**“ und „**Anteil der landwirtschaftliche Nutzfläche an der Gesamtfläche**“ gemessen. Die Daten stammen aus der Landesdatenbank NRW (Datenspektrum für Bergisch Gladbach, Burscheid, Kürten, Leichlingen, Odenthal, Overath, Rösrath und Wermelskirchen, 1998).

Die **Bevölkerungsdichte** kann insbesondere bei der Untersuchung von Infektionskrankheiten als Confounder auftreten. Infektionskrankheiten haben die Tendenz sich besonders in dicht besiedelten Regionen zu häufen, da viele dieser Erkrankungen von Mensch zu Mensch übertragen werden können. Auch bei Durchfallerkrankungen muss damit gerechnet werden, obwohl allgemein eher die Übertragung durch kontaminierte Lebensmittel und Trinkwasser angenommen wird. Als Datengrundlage wurde der Mittelwert der Bevölkerungszahlen von 1988 und 1998 gewählt, welche von der Statistikdienststelle des RBK bereitgestellt wurden.

Der Einflussgröße „**Wassersprudler**“ hat sich durch die Ergebnisse aus Kapitel 3, der empirischen Umfrage zum Trinkwasserkonsum ergeben. In dieser Studie wurde ermittelt, dass mit Verwendung von Wassersprudlern der Trinkwasserkonsum steigt. Die Verwendung von Wassersprudlern hängt wiederum mit der Haushaltsgröße zusammen. Besonders in mehrköpfigen Familien werden Wassersprudler eingesetzt. Z. B. werden in 30% der 4-Personenhaushalte Wassersprudler eingesetzt. Daneben werden diese Geräte auch häufig in 2-Personenhaushalten (32%) zur Aufbereitung von Leitungswasser benutzt.

Dieser Confounder wird sicherlich zukünftig eine immer größere Rolle spielen. Da der Absatz dieser Geräte erst seit 1996/1997 immens gestiegen ist (GfK, 2001), kann der Trinkwasserkonsum über den gesamten Untersuchungszeitraum nicht durch diesen Einfluss erklärt werden. Aus diesem Grund wird der Anteil der Wassersprudler nicht in die Korrelationsberechnung mit einbezogen.

5.5.4.2 Die Bezeichnung der Einflussgrößen

Theoretisch wird in der Studie angenommen, dass insbesondere die Trinkwasserherkunft und die Trinkwasserqualität (hier ausschließlich definiert über den Anteil der mikrobiologisch auffälligen Trinkwasserproben an den ESP und NPS in den Gemeinde-

bzw. Stadtteilen) einen Einfluss auf die räumliche Verbreitung der aus dem amtlichen Melderegister ermittelten Inzidenzraten hat. Diese Variablen werden als X_1 , dem Anteil der Bevölkerung, die mit Oberflächenwasser versorgt wird (dazu analog die Grundwasserversorgung mit X_2) und X_3 als Anteil der mikrobiologisch auffälligen Netzproben bezeichnet.

Um die zahlreichen weiteren Einflussfaktoren zu benennen, werden zur besseren Unterscheidung die Variablennamen U_1 bis U_9 verwendet.

In Tabelle 38 sind die erhobenen Einflussfaktoren sowie die Datenquellen zusammengestellt.

Tabelle 38: Die untersuchten Einflussgrößen auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz

ID	Gemeinde-/ Stadtteil	Enteritis-Inzidenz 1988-99 [Fälle/100.000 E/a]	Anteil der Bevölk. mit Talsperrenwasser [%]	Anteil der Bevölk. mit Grundwasser [%]	Trinkwasserqualität Anteil der PN mit Kz 20 > 1KBE/ml [%]	Anteil private Wasserversorgung [%]	Größe des WWU nach Abgabe	Größe des WWU nach Anzahl Beschäftigter	Größe des Versorgungsgebietes nach Länge RN/HA	Anteil der Auspendler [%]	Arztzdichte [Arzt/10000 E]	Betriebsdichte [Betriebe/10000 E]	Anteil LNF an Ges- fläche [%]	Bevölk.- dichte 88-99 [E/km ²]
		y	x ₁	x ₂	x ₃	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉
1	Paffrath	48,62	0,00	100,00	8,33	0,53	4,00	5,00	21,50	57,80	7,76	8,33	17,49	2238,78
2	Gladbach	51,65	0,00	100,00	12,64	0,00	4,00	5,00	21,50	57,80	12,46	8,33	17,49	2226,64
3	Sand	78,75	0,00	100,00	13,11	0,56	4,00	5,00	21,50	57,80	2,37	8,33	17,49	326,69
4	Herkenrath	62,02	0,00	100,00	9,15	0,38	4,00	5,00	21,50	57,80	5,00	8,33	17,49	378,47
5	Bensberg	76,91	0,00	100,00	12,64	0,33	4,00	5,00	21,50	57,80	8,88	8,33	17,49	1043,27
6	Refrath	64,08	0,00	100,00	5,10	0,00	4,00	5,00	21,50	57,80	6,03	8,33	17,49	1867,91
7	Burscheid I	15,50	90,00	10,00	12,34	0,50	3,00	3,00	19,70	67,01	6,73	34,57	36,12	572,86
8	Burscheid II, Hilgen	39,91	100,00	0,00	23,08	0,13	3,00	3,00	19,70	67,01	6,01	34,57	36,12	831,41
9	Kuerten	50,49	100,00	0,00	14,29	0,41	5,00	5,00	21,30	79,82	5,35	80,42	34,29	273,95
10	Olpe	31,78	100,00	0,00	keine PNS	0,62	5,00	5,00	21,30	79,82	0,00	80,42	34,29	159,64
11	Biesfeld	83,26	90,00	10,00	0,00	1,16	5,00	5,00	21,30	79,82	1,82	80,42	34,29	330,69
12	Duerscheid	70,59	50,00	50,00	50,00	1,44	5,00	5,00	21,30	79,82	7,58	80,42	34,29	523,87
13	Bechen	56,68	0,00	100,00	31,03	0,38	1,00	1,00	21,30	79,82	5,14	80,42	34,29	226,52
14	Westl. d. Wupper	39,02	100,00	0,00	20,00	0,00	3,00	3,00	15,30	78,39	2,13	30,00	40,00	1459,03
15	Oestfl. d. Wupper	33,35	100,00	0,00	17,65	0,00	3,00	3,00	15,30	78,39	7,68	30,00	40,00	1996,10
16	Aussenortschaften	46,47	100,00	0,00	0,00	0,46	3,00	3,00	15,30	78,39	4,78	30,00	40,00	278,20
17	Witzhelden	45,32	100,00	0,00	60,00	0,26	3,00	3,00	15,30	78,39	7,81	30,00	40,00	431,81
18	Odenthal	32,37	100,00	0,00	33,33	0,28	3,00	3,00	27,27	91,09	8,68	41,53	28,50	575,65
19	Altenberg, Blecher	21,88	100,00	0,00	23,08	0,00	3,00	3,00	27,27	91,09	5,89	41,53	28,50	669,38
20	Neschen, Scheuren	86,95	100,00	0,00	12,50	0,28	5,00	4,00	27,27	91,09	0,00	41,53	28,50	122,82
21	Eikamp, Hoeffe	25,99	40,00	60,00	50,00	0,10	5,00	4,00	24,39	91,09	0,00	41,53	28,50	185,02
22	Voiswinkel	66,20	30,00	70,00	50,00	0,00	3,00	3,00	27,27	91,09	0,00	41,53	28,50	780,87
23	Overath	74,80	100,00	0,00	45,45	0,14	5,00	4,00	30,80	73,69	9,15	50,12	39,77	342,90
24	Heiligenhaus	141,90	100,00	0,00	66,67	0,27	5,00	4,00	30,80	73,69	3,31	50,12	39,77	749,07
25	Marialinden	54,43	100,00	0,00	50,00	0,27	5,00	5,00	30,80	73,69	5,14	50,12	39,77	198,85
26	Steinbrueck	96,02	90,00	10,00	0,00	0,00	5,00	4,00	30,80	73,69	1,94	50,12	39,77	768,80
27	Vilkerath	114,64	100,00	0,00	62,50	0,00	5,00	4,00	30,80	73,69	7,08	50,12	39,77	283,39
28	Immekeppel	78,05	0,00	100,00	16,00	0,77	4,00	5,00	21,50	73,69	5,55	50,12	39,77	351,15
29	Untereschbach	82,69	0,00	100,00	16,00	0,00	4,00	5,00	21,50	73,69	27,10	50,12	39,77	611,14
30	Brombach	17,88	100,00	0,00	keine PNS	4,94	2,00	2,00	20,00	77,85	11,57	11,33	11,88	796,60
31	Roesrath	77,33	0,00	100,00	62,50	0,00	2,00	2,00	20,00	77,85	8,05	11,33	11,88	663,93
32	Kleineichen	52,34	0,00	100,00	keine PNS	0,00	2,00	2,00	20,00	77,85	0,00	11,33	11,88	553,72
33	Forsbach	108,73	0,00	100,00	41,94	0,13	2,00	2,00	20,00	77,85	6,31	11,33	11,88	536,17
34	Hoffnungsthal	59,41	0,00	100,00	39,47	0,00	2,00	2,00	20,00	77,85	11,57	11,33	11,88	536,17
35	Wemelskirchen	19,44	100,00	0,00	8,04	0,00	5,00	5,00	21,00	57,95	11,95	36,03	21,30	3297,44
36	Wuestenof	22,19	100,00	0,00	44,44	0,00	3,00	3,00	21,00	57,95	0,00	36,03	21,30	531,20
37	Eipringhausen	28,98	100,00	0,00	keine PNS	0,37	3,00	3,00	21,00	57,95	0,00	36,03	21,30	234,18
38	Tente	25,29	100,00	0,00	12,20	0,25	3,00	3,00	21,00	57,95	0,00	36,03	21,30	437,22
39	Huenger	15,32	100,00	0,00	keine PNS	0,50	3,00	3,00	21,00	57,95	0,00	36,03	21,30	467,25
40	Dabringhausen	38,27	100,00	0,00	10,68	0,00	3,00	3,00	21,00	57,95	4,34	36,03	21,30	539,47
41	Dabringhausen-Sued	15,31	100,00	0,00	4,28	0,14	3,00	3,00	21,00	57,95	0,00	36,03	21,30	68,57
42	Dhuern	43,17	100,00	0,00	22,62	0,23	3,00	3,00	21,00	57,95	2,86	36,03	21,30	202,79
	Referenz		TEIS, pers. Mitteilung aus WWU, Auswertung Kartenmaterial	TEIS, pers. Mitteilung aus WWU, Auswertung Kartenmaterial	TEIS (Testergebnisse seit 1974-1999)	TEIS, eigene Erhebung	TEIS, pers. Mitteilung aus WWU, BGW-Statistiken	TEIS, pers. Mitteilung aus WWU, BGW-Statistiken	TEIS, pers. Mitteilung aus WWU, BGW-Statistiken	Arbeitsamt Bergisch-Gladbach, Stand der Statistik 1997	Gesundheitsp. verzeichnis der AOK-Rheinland, 1999	Daten-spektrum Landesdat-enbank 1998	Daten-spektrum Landesdat-enbank 1998	Statistik-dienststelle des Rheinisch-Bergischen Kreises

5.6 Ergebnisse der statistischen Zusammenhangsanalyse

5.6.1 Ergebnisse der einfachen Korrelationsanalyse

Eine erste Analyse der im Rahmen der Studie ermittelten Daten auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Trinkwasserversorgung und der Inzidenz von Durchfallerkrankungen wurde über die Berechnung des Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten durchgeführt. Dabei wurde die mittlere Enteritis-Inzidenz IR_{St}, ermittelt für die 42 Gemeinde- bzw. Stadtteilebenen des Rheinisch-Bergischen Kreises im Untersuchungszeitraum 1988 bis 1999 pro 100.000 Einwohner, mit Parametern der Trinkwasserherkunft korreliert.

Tabelle 39: Korrelationskoeffizient zwischen Enteritis-Inzidenz und Trinkwasserherkunft

Enteritis-Inzidenz [Fälle/100.000 E/a]	Anteil der Bevölk. mit Talsperrenwasser [%]	Anteil der Bevölk. mit Grundwasser [%]	Trinkw.-qualität Anteil der PN mit Kz 20° > 1KBE/ml [%]
y	x ₁	x ₂	x ₃
r	-0,339	0,339	0,309*
r ² = B	0,115	0,115	0,095

Die Operationalisierung der Variablen Trinkwasserherkunft beruhte auf der Ermittlung des Anteils der zentral mit oberflächenbürtigem Trinkwasser versorgten Personen (bzw. Anteils der zentral mit grundwasserbürtigem Trinkwasser versorgten Personen). Die Trinkwasserqualität wurde durch den relativen Anteil von

Wasseruntersuchungen zu Koloniezahlen von >1KBE/100ml bei 20°C Bebrütungstemperatur an der Gesamtzahl der Wasseruntersuchungen in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen ermittelt.

Weitere Variablen zur Trinkwasserversorgungsstruktur stellen die Größe der WVU nach Abgabemenge von Trinkwasser und nach Anzahl der Beschäftigten sowie die Rohrnetzlänge pro angeschlossenen Haushalten dar und wurden deshalb in die Korrelationsanalyse aufgenommen. Arztdichte, Pendlerverhalten, Anteil der landwirtschaftlichen Nutzung an der Gesamtfläche, Betriebsdichte und Bevölkerungsdichte wurden als Einflussgrößen auf Zusammenhang mit der Enteritis-Inzidenz untersucht. Die für die Korrelationsanalyse ausgewählten Variablen sowie die ermittelten Koeffizienten (r) und die Bestimmtheitsmaße (B) sind in den Tabellen 39 und 40 zusammengestellt.

Tabelle 40: Korrelationskoeffizienten für weitere Einflussgrößen auf die erfasste Enteritis-Inzidenz

Mittlere Enteritis-Inz. (88-99) [Fälle/100.000 E/a]	Anteil private Wasserversorgung [%]	Größe des WVU nach Abgabe	Größe des WVU nach Anzahl Beschäftigter	Größe des Versorgungsgebietes nach Länge RN/HA	Anteil der Auspendler [%]	Arztdichte [Arzt/10.000 E]	Betriebsdichte [Betrieb/10.000 E]	Anteil LNF an Gesamtfläche [%]	Bevölk.-dichte [E/km ²]
y	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉
r	-0,146	0,255	0,181	0,353	0,189	0,213	0,029	0,110	-0,100
r ² = B	0,021	0,065	0,033	0,125	0,036	0,045	0,001	0,012	0,010

Insgesamt zeigen die ermittelten Korrelationskoeffizienten einen schwachen bis mittleren Zusammenhang zwischen den untersuchten Variablen. Bezüglich der

Trinkwasserherkunft konnte ein Wert für den Anteil der mit oberflächenwasserversorgten Bevölkerung von $-0,339$ ermittelt werden. Das Gütemaß besagt, dass statistisch 11% der Varianz der Inzidenz durch diesen Parameter erklärt werden (Tabelle 39 und 40).

Für die Trinkwasserqualität zeichnet sich ein positiver Zusammenhang zwischen steigender Anzahl der nach den gewählten Kriterien zu beanstandenden Wasserproben und der Enteritis-Inzidenz ab. Der Korrelationskoeffizient beträgt $+0,301$. Das Vorzeichen hat die erwartete Richtung, da bei relativ geringer Trinkwasserqualität mit einem höheren Infektionsrisiko gerechnet werden muss. Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten zwischen Anteil der privaten Wasserversorgung in den Stadt- und Gemeindeteilen zeigt nicht die theoretisch zu erwartenden Richtung ($r=-0,146$).

Die Größe des WVU hat statistisch gesehen einen schwach positiven Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz ($U_2= 0,255$; $U_3= 0,181$). Die Größe des Versorgungsnetzes (U_4) zeigt mit $+0,353$ den höchsten Wert der ermittelten Koeffizienten, der rechnerisch 12% der Varianz der Inzidenzraten erklärt. Die untersuchten Variablen „Anteil der Auspendler“ und die „Arztdichte“ ergaben schwach positive Werte mit $U_5= 0,189$ und $U_6= 0,213$. Für die Dichte landwirtschaftlicher Betriebe ließ sich kein Zusammenhang ermitteln. Das Bestimmtheitsmaß ergab hier etwa 0%. Auch der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche und die Bevölkerungsdichte zeigen keinen Zusammenhang mit der Verteilung der Enteritis-Inzidenz.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Variablen, die die Trinkwasserversorgungsstruktur charakterisieren, höhere Korrelationskoeffizienten aufweisen als diejenigen, die sozioökonomische Einflüsse beschreiben.

5.6.2 Ergebnisse der partiellen Korrelationsanalyse

Bei Durchführung der ersten ökologischen Korrelationen war vor allem der Zusammenhang zwischen der Enteritis-Inzidenz und der Trinkwasserherkunft interessant. Als Ergebnis zeichnete sich ab, dass im Rheinisch-Bergischen Kreis die vornehmlich oberflächenwasserversorgten Kommunen unerwarteterweise eine statistisch geringere Enteritis-Inzidenz aufwiesen. Die Trinkwasserqualität wies jedoch den erwarteten, wenn auch schwach bis mittleren positiven Zusammenhang auf. Diese Feststellung wird nun mit Korrelations- und Regressionsmodellen untersucht, indem der Einfluss weiterer, erklärender Faktoren auf die Verbreitung der IRst in die Berechnungen eingeschlossen werden.

Der Einfluss einer dritten Variable kann der Grund dafür sein, dass YX_1 und YX_3 statistisch korreliert sind, obwohl tatsächlich kein Zusammenhang zwischen ihnen besteht. Ebenso ist möglich, dass ein tatsächlich bestehender Zusammenhang zwischen YX_1 und YX_3 durch den Einfluss einer weiteren Einflussgröße statistisch verdeckt wird, so dass der Korrelationskoeffizient einen Wert nahe Null annimmt. Diese verdeckten Korrelationen (Scheinkorrelationen) können durch partielle Korrelationsmodelle aufgedeckt werden (JANSSEN & LAATZ, 1997; MORGENSTERN, 1998).

Zunächst wird eine Korrelationsmatrix zwischen allen untersuchten Variablen erstellt, um die Kollinearität der gewählten Einflussgrößen festzustellen. Korrelationskoeffizienten, die einen Wert über $r=0,5$ annehmen, sind fett markiert (Tabelle 41).

Tabelle 41: Korrelationsmatrix

$r_{xy(n=42)}$	y	X ₁	X ₂	X _{3(n=37)}	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉
y	1,000												
X ₁	-0,339	1,000											
r ² =B	0,115												
X ₂	0,339	-1,000	1,000										
r ² =B	0,115												
X _{3(n=37)}	0,309	0,021	-0,021	1,000									
r ² =B	0,095	0,000	0,000										
u ₁	-0,146	0,103	-0,103	-0,131	1,000								
r ² =B	0,021	0,011	0,011	0,017									
u ₂	0,255	0,264	-0,264	-0,055	0,295	1,000							
r ² =B	0,065	0,070	0,070	0,003	0,087								
u ₃	0,181	-0,086	0,086	-0,301	0,318	0,841	1,000						
r ² =B	0,033	0,007	0,007	0,090	0,101	0,707							
u ₄	0,353	0,181	-0,181	0,321	0,228	0,529	0,266	1,000					
r ² =B	0,125	0,033	0,033	0,103	0,052	0,280	0,071						
u ₅	0,189	0,082	-0,082	0,398	0,032	0,034	-0,177	0,232	1,000				
r ² =B	0,036	0,007	0,007	0,158	0,001	0,001	0,031	0,054					
u ₆	0,213	-0,348	0,348	0,005	-0,208	0,006	0,172	-0,111	-0,023	1,000			
r ² =B	0,045	0,121	0,121	0,000	0,043	0,000	0,029	0,012	0,001				
u ₇	0,029	0,453	-0,453	0,127	0,263	0,387	0,159	0,291	0,414	-0,121	1,000		
r ² =B	0,001	0,205	0,205	0,016	0,069	0,150	0,025	0,085	0,171	0,015			
u ₈	0,110	0,506	-0,506	0,129	0,240	0,413	0,189	0,250	0,421	0,073	0,659	1,000	
r ² =B	0,012	0,256	0,256	0,017	0,057	0,170	0,036	0,063	0,177	0,005	0,434		
u ₉	-0,097	-0,178	0,178	-0,258	-0,182	0,052	0,237	-0,219	-0,288	0,367	-0,388	-0,205	1,000
r ² =B	0,009	0,032	0,032	0,067	0,033	0,003	0,056	0,048	0,083	0,135	0,150	0,042	1,000

Ein hoher Korrelationskoeffizient ergibt sich erwartungsgemäß zwischen den zwei Variablen zur Messung der Größe der Wasserversorgungsunternehmen ($r_{u_2u_3} = 0,841$) und zwischen den Variablen zur Bestimmung der Landwirtschaftsstruktur im Untersuchungsgebiet ($r_{u_7u_8} = 0,659$). Der Korrelationskoeffizient zwischen U_2 und U_4 beträgt $r = 0,529$. Ansonsten liegen die Koeffizienten unter $r = 0,5$, d. h. es besteht keine hohe Multikollinearität zwischen den unabhängigen Variablen.

Für den über die Produkt-Moment-Korrelation berechneten Koeffizienten $r_{yx1} = -0,339$ soll der Zusammenhang durch Isolation der Variablen X_3 und U_1 bis U_9 näher untersucht werden (Tabelle 42).

Als Ergebnis der partiellen Korrelation lässt sich feststellen, dass bei Ausschaltung des Einflusses von U_2 (Größe der WVU nach Abgabe), U_4 (Länge des Versorgungsnetzes) und U_8 (Anteil landwirtschaftliche Nutzfläche) ein deutlich höherer Koeffizient resultiert (-0,435 für U_2 , -0,438 für U_4 , und -0,46 für U_8) (Tabelle 42). Das Ergebnis des interessierenden Zusammenhangs zwischen YX_1 verbessert sich, da der tatsächlich bestehende Einfluss der isolierten Variablen konstant gehalten wird. Der Koeffizient r_{yx1} unter Ausschluss dieser Einflussgrößen erklärt somit 19% bzw. 21% der Varianz der Enteritis-Inzidenz. Die Landwirtschaft erklärt also einen relativ großen Anteil der Restvarianz, die nicht auf X_1 zurückzuführen ist. Dies war nach dem Ergebnis der Einfachkorrelation nicht zu erwarten ($YU_8 = 0,110$).

Tabelle 42: Partielle Korrelationskoeffizienten für r_{yx1}

$r_{yx1}=-0,399$	partielle Korrelationskoeffizienten	
Kontrollvariablen		$r^2=B$
x_3	-0,312	0,097
u_1	-0,330	0,109
u_2	0,435	0,189
u_3	-0,330	0,109
u_4	-0,438	0,192
u_5	-0,362	0,131
u_6	-0,289	0,084
u_7	-0,395	0,156
u_8	-0,460	0,212
u_9	-0,364	0,132

Die Isolierung der anderen Confounder beeinflusst das Ergebnis der einfachen Korrelation zwischen Enteritis-Inzidenz und Anteil der Oberflächengewässerversorgung kaum. Die Koeffizienten bewegen sich zwischen -0,289 und -0,395. Durch Einbeziehung dieser Variablen ist kaum eine neue Information über die Varianz von Y zu erhalten.

Für die hier nach bestimmten Kriterien definierte „Trinkwasserqualität“ und „Anteil der privaten Wasserversorgung“ lässt sich kein versteckter Zusammenhang ermitteln. Durch diese Variablen ist keine

zusätzliche Erklärung der Varianz über X_1 hinaus zu erhalten.

Die Herkunft des Trinkwassers hat von allen Variablen den größten isolierten Einfluss auf die Varianz der Enteritis-Inzidenzen im Untersuchungsgebiet. Statistisch zeichnet sich in Gemeinde- bzw. Stadtteilen mit einer Trinkwasserversorgung durch Talsperren ein Trend für geringere Inzidenzraten gastrointestinaler Infektionen ab.

Tabelle 43: Partielle Korrelationskoeffizienten für r_{yx3}

$r_{yx3}=0,309$	partielle Korrelationskoeffizienten	
Kontrollvariablen	r_{yx3-u}	$r^2=B$
x_1	0,329	0,108
u_1	0,335	0,112
u_2	0,346	0,120
u_3	0,408	0,166
u_4	0,198	0,039
u_5	0,272	0,074
u_6	0,310	0,096
u_7	0,301	0,091
u_8	0,297	0,088
u_9	0,278	0,077

Auch der Zusammenhang zwischen der Frequenz mikrobiologisch auffälliger Trinkwasserwerte ($KBE>1$) und der Enteritis-Inzidenz soll über die partielle Korrelationsanalyse weiter untersucht werden. Durch die einfache Korrelation wurde ermittelt, dass 10% der Varianz der Enteritis infectiosa Inzidenz auf den Anteil der an den ESP und NPS gefundenen positiven Trinkwasserproben ($KBE>1$) zurückzuführen ist. Da im Datensatz der Variable „Trinkwasserqualität“ fünf Datensätze fehlen (s. Tabelle 38), wird in diesem Fall die partielle Korrelation für $n=37$ durchgeführt.

Für den über die Produkt-Moment-Korrelation berechneten Koeffizienten ($r_{yx3}=0,309$) soll der Zusammenhang durch statistische Ausschaltung der Variablen X_1

und U_1 bis U_9 näher untersucht werden (Tabelle 43).

Bei Ausschaltung des Einflusses von X_1 (Anteil der Bevölkerung mit Trinkwasser aus Talsperren) ergibt sich ein partieller Koeffizient von $r_{yx3,x1}=0,329$. Er ist damit nur geringfügig höher als der einfache Koeffizient. Durch Ausschaltung von X_1 wird deutlich, dass diese Variable einen geringen, aber zusätzlichen Varianzanteil erklärt (Tabelle 43). Das gleiche gilt für die Variable U_1 (Anteil private Trinkwasserversorgung), die mit $r_{yx3,u1}=0,335$ ebenfalls einen Effekt auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz besitzt.

Deutlich höhere partielle Koeffizienten resultieren bei der Ausschaltung von U_2 und U_3 , die ebenfalls die Trinkwasserversorgungsstruktur charakterisieren. Der Koeffizient r_{yx3} unter Ausschluss von U_3 (Größe der WVU nach Anzahl Beschäftigter) ergibt einen mittleren Zusammenhang ($r_{yx.u3} = 0,408$) und erklärt 16% der Varianz der Enteritis-Inzidenz (Tabelle 43).

Der Ausschluss der Variablen U_4 (Länge des Versorgungsnetz), U_5 (Anzahl der Auspendler), U_7 (Dichte landwirtschaftlicher Betriebe), U_8 (Anteil landwirtschaftliche Nutzfläche) und U_9 (Bevölkerungsdichte) ergibt niedrigere partielle Koeffizienten, mit dem niedrigsten Wert für U_4 von 0,215. Diese Einflussgrößen variieren ähnlich wie YX_3 , das heißt, es wird kaum zusätzliche Information gewonnen. Überraschend ist dies für den „Anteil an privater Trinkwasserversorgung“, da hier eine versteckte Korrelation vermutet werden könnte. Im Fall von U_8 zeigt sich, dass es im Gegensatz zu YX_1 , keinen versteckten Zusammenhang gibt.

Bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse zu YX_3 ist festzustellen, dass bei Konstanthaltung der erhobenen Einflussparameter bis auf U_3 kaum zusätzliche Varianz aufgedeckt wird. Die höchsten ermittelten Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 12% und 16%.

Als Ergebnis der partiellen Korrelationsanalyse kann festgehalten werden, dass die Trinkwasserherkunft den größten isolierten Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz hat. Der Einfluss der Trinkwasserqualität liefert kaum zusätzliche Informationen; sie variiert ähnlich wie die Trinkwasserherkunft. Insgesamt ergibt sich, dass vor allem die Parameter der Trinkwasserversorgungsstruktur zur Aufklärung der Varianz beitragen. Pendlerverhalten und Arztdichte zeigen keinen Einfluss auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz.

Um einen möglichst großen Anteil der Varianz aufzuklären, soll nun versucht werden, mit der gleichzeitigen Aufnahme von Einflussvariablen in multiple Regressionsmodelle weitere Zusammenhänge aufzudecken.

5.6.3 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse

Bei Anwendung von multiplen Regressionsmodellen wird angenommen, dass sich die abhängige Variable Y als Summe von linearen Effekten von Einflussgrößen darstellen lässt (BAHRENBURG et al., 1992).

Bereits für die partielle Korrelation wurden Einflussgrößen erhoben, bei denen theoretisch ein Zusammenhang mit der abhängigen Variablen, der Enteritis-Inzidenz, vermutet wurde. Tabelle 40 zeigt die Zusammenhangsmaße zwischen den ausgewählten unabhängigen Variablen und der abhängigen Variable (Y). Die höchsten Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten ergaben zwischen Y und der Größe des Versorgungsnetzes ($r=0,353$), dem Anteil der mit Oberflächenwasserversorgten bzw. Grundwasserversorgten Bevölkerung ($r=-0,339$ bzw. $+0,339$) und dem Anteil der mikrobiologisch auffälligen Netzproben ($r=0,301$). Die restlichen ermittelten Einflussgrößen, die als Confounder in die Korrelations- bzw. Regressionsanalysen aufgenommen wurden, zeigen schwache Zusammenhänge.

Zwischen den unabhängigen Variablen besteht keine hohe Kollinearität (Tabelle 41). Trotzdem muss beachtet werden, dass Korrelationskoeffizienten zwischen den Einflussgrößen von über 0,5 möglicherweise das Modell verzerren.

Bei der schrittweisen Regression wird zunächst diejenige unabhängige Variable ins Modell aufgenommen, deren einfache Korrelation mit Y absolut am Größten ist. Als

zweite Variable wird diejenige ausgewählt, für die der partielle Korrelationskoeffizient den größten Anteil der Restvarianz der Enteritis-Inzidenz unter Ausschaltung der ersten Variable erklärt. Danach wird geprüft, ob die erste Variable immer noch das Kriterium des signifikant von 0 verschiedenen Regressionskoeffizienten erfüllt. Falls nicht, wird sie aus dem Modell ausgeschlossen. Falls sie jedoch signifikant von 0 verschieden ist, wird eine dritte Variable aufgenommen. Wiederum wird geprüft, ob die beiden ersten Variablen signifikant von 0 abweichen und ob eine neue Variable aufgenommen wird oder nicht. Dieses Verfahren wird solange durchgeführt, bis keine Variable mehr das Eintritts- und Ausschlusskriterium erfüllt.

Die Aufnahme der verschiedenen Variablen in das Modell lässt sich durch Tabelle 44. verdeutlichen. Die erklärenden Variablen werden in der Reihenfolge ihres Einflusses auf die Veränderung der Standardabweichung zum Nullmodell schrittweise integriert. Als Einschlusskriterium gilt dabei, dass die Regressionskoeffizienten auf dem 5%-Niveau von 0 verschieden sind. Als Signifikanzniveau für den eventuellen Ausschluss einer Variablen wurde 0,1 gewählt.

Tabelle 44: Änderungen der Standardabweichung bei Einfachregression der unabhängigen Variablen

Variablen	Standardabweichung	Änderungen der Standardabweichung
Nullmodell	874,21	
X1	793,19	-81,02
X3 (df 36; 870,284)	809,69	-60,59
U1	877,03	+2,81
U2	837,96	-36,25
U3	866,73	-7,48
U4	784,37	-89,84
U5	863,97	-10,24
U6	855,43	-18,78
U7	895,32	+21,10
U8	885,22	+11,00
U9	887,64	+13,42

U₄ ist die Einflussgröße mit dem größten Beitrag zur Reduktion der Standardabweichung (-89,846). Weitere Einflussgrößen (X₁, X₃ und U₂), die die Trinkwasserversorgungsstrukturen charakterisieren, zeigen ebenfalls bei Einfachregression einen relativ starken Zusammenhang mit der Enteritis-Inzidenz. Die restlichen Variablen tragen kaum zur Reduktion der Standardabweichung bei. Den schwächsten Beitrag zur Erklärung der Varianz liefern die Einflussgrößen „Anteil private Wasserversorgung“ (U₁), „Größe der WVU nach Anzahl Beschäftigter“ (U₃) und „Anteil der Pendler“ (U₅).

Tabelle 45 stellt die Reduktion der Standardabweichungen durch Einschluss der Variablen in das Regressionsmodell dar. Die Variable U₄ (Größe des Versorgungsgebietes nach Rohrnetzlänge pro Haushalte) wird als scheinbar einflussreichste Größe mit $r=0,353$ im ersten Schritt in das Modell aufgenommen. Als zweite Variable folgt X₁ (Anteil Talsperrenwasser).

Bei Einschluss der zweiten Einflussgröße ergibt sich eine Reduktion der Standardabweichung von -44,286. Danach bricht das Verfahren ab, da keine der anderen

Variablen einen weiteren Beitrag nach den oben gewählten Kriterien zur Erklärung der Varianz der Enteritis-Inzidenz beiträgt.

Tabelle 45: Schrittweiser Einschluss der Variablen in die multiple Regressionsanalyse

Abhängige Variable [y] n=42	Nullmodell Standardabweichung	Variable 1 [U4] Verringerung der Abweichung	Variable 2 [X1] Verringerung der Abweichung
Enteritis-Inzidenz	874,219	-89,846	(134,132) – 44,286
Einschluss der Variablen, wenn sich eine signifikante Änderung von r^2_{korr} ergibt ($p < 0,05$)			

Die Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regression können Tabelle 46 entnommen werden.

In Spalte „B“ (Tabelle 46) sind die Regressionskoeffizienten der Schätzgleichung dargestellt. Die Vorzeichen der erklärenden Variablen entsprechen den Erwartungen. Als β werden Regressionskoeffizienten bezeichnet, die sich durch Standardisierung der Variablen ergeben würden. Sie sind deshalb von der Dimension der Variablen unabhängig und daher miteinander vergleichbar. Es zeigt sich, dass der Beta-Koeffizient für die „Rohrnetzlänge /HA“ einen nur geringfügig höheren Wert gegenüber dem „Anteil Talsperrenwasser“ aufweist. Es kann festgestellt werden, dass beide Variablen in etwa den gleichen Erklärungsbeitrag zur Varianz der Enteritis-Inzidenz leisten.

Der Korrelationskoeffizient, das korrigierte Bestimmtheitsmaß sowie die Ergebnisse aus der Varianzanalyse wurden in der untersten Zeile der Tabelle 47 zusammengefasst. Der durch die schrittweise Regression ermittelte Korrelationskoeffizient beträgt $r=0,541$. Das Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,293$ ergibt nach Korrektur durch Berücksichtigung der Anzahl der Beobachtungen und Variablen $r^2_{\text{korr}} = 0,256$. D. h., dass 25,6% der Varianz der Enteritis-Inzidenz allein durch die beiden Variablen U_4 und X_1 erklärt werden.

Der F-Wert – die Teststatistik der Varianzanalyse – wird durch Division der beiden Werte für „Mittel der Quadrate“ erhalten. Er kann interpretiert werden als Signifikanzprüfung, ob r^2 gleich 0 ist (JANSSEN & LAATZ, 1997). Auch mit diesem Test wird bewiesen, dass die Rohrnetzlänge pro Haushalt sowie der Anteil von Talsperrenwasser statistisch signifikante Effekte auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz haben.

Der Durbin-Watson-Test überprüft, ob Autokorrelation der Residualwerte besteht oder nicht. Im vorliegenden Fall besteht keine Autokorrelation, da die Werte nahe bei 2 liegen. Somit ist das gewählte Modell relativ stabil.

Tabelle 46: Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse

Abhängige Variable: mittlere direkt altersstandardisierte Enteritis-Inzidenz (1988-99) [pro 100.000 E]			
Modell (n=42)	B	Standardfehler von B	β
Schnittpunkt der Geraden mit Y	6,723	20,890	
Rohrnetzlänge (U_4)	2,889	0,923	0,429
Anteil der Bevölkerung mit Talsperrenwasserversorg (X_1)	-0,267	0,088	-0,417
r=0,541, $r^2_{\text{kor}}=0,256$, $F_{(3,84)}=8,061$, Standardfehler des Schätzers=25,5, Durbin-Watson=2,059			

Vier Parameter, die die Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis charakterisieren, tragen zur Erklärung der Varianz der Enteritis-Inzidenz bei (X_1 , X_3 , U_2 und U_4) wobei der additive Einfluss von Rohrnetzlänge pro Haushalt und Anteil der mit Talsperrenwasserversorgten Bevölkerung statistisch gesehen den größten Erklärungsbeitrag leisten. Insgesamt wird deutlich, dass vor allem die Trinkwasserversorgungsstrukturen das Auftreten der Enteritis beeinflusst. Die ermittelten Variablen zum Penderverhalten, Arztdichte, Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche und Bevölkerungsdichte scheinen kaum Einfluss auf das räumliche Auftreten der Erkrankung zu haben. Diese Beobachtung konnte bereits bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse gemacht werden.

Weiterhin wurde bestätigt, dass die mit oberflächenwasserversorgten Gemeinde- bzw. Stadtteilen im Untersuchungszeitraum durchschnittlich weniger Erkrankungen aufwiesen, als in denjenigen mit Grundwasserversorgung. Ein additiver Einfluss der mikrobiologischen Trinkwasserqualität auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz konnte jedoch nicht ermittelt werden.

5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der ökologischen Studie

Durch geographisch-epidemiologische Methoden wurde der mögliche Zusammenhang zwischen der räumlichen Verbreitung gastrointestinaler Infektionen und der Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis untersucht. Die ökologische Studie wurde mit den auf die 42 Gemeinde- bzw. Stadtteilebene aggregierten Fallzahlen aus dem Register der UG des Rheinisch Bergischen Kreises und mit den in Kapitel 4 beschriebenen Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur durchgeführt.

Mit verschiedenen Methoden wurde zunächst das räumliche Verbreitungsmuster der direkt altersstandardisierten Inzidenz der „übrigen Formen“ der Enteritis infectiosa auf Heterogenität bzw. Homogenität getestet. Mit häufig angewendeten Methoden in der Medizinischen Geographie (Heterogenitätstest, Probability Mapping, und räumliche Autokorrelation) konnte gezeigt werden, dass eine Tendenz zur Clusterung mit einer Häufung der Fälle in den südlichen Teilen des Kreisgebiets besteht.

Mit einfachen und partiellen Korrelationsanalysen wurde der Zusammenhang zwischen räumlichem Muster und Variablen zur Trinkwasserversorgungsstruktur untersucht.

Die Ergebnisse der einfachen Korrelationsanalyse lieferten einen negativen mittleren Zusammenhang zwischen der Enteritis-Inzidenz und "Bevölkerungsanteil mit oberflächenwasserbürtiger Trinkwasserversorgung". Die Trinkwasserqualität zeigte einen positiven Zusammenhang mit der Enteritis-Inzidenz. Mit zunehmender Anzahl der auffälligen Wasserproben an den Einspeisungspunkten und Netzprobenstellen in den Gemeindeteilen stieg das Risiko der Bevölkerung im Untersuchungszeitraum zu erkranken.

Unter kausalen Aspekten war zu erwarten, dass die Inzidenz von zahlreichen weiteren Variablen beeinflusst wird. Evaluiert wurde die Größe des Wasserversorgungsunternehmens nach Abgabe und Beschäftigtenzahl, die Ausdehnung des Wasserversorgungsnetzes, Arztdichte, die Mobilität der Bevölkerung und Kontakt zu landwirtschaftlichen Betrieben oder Tieren, aber auch die Bevölkerungsdichte.

Der Einfluss dieser Variablen auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz wurde mit partiellen Korrelationen ausgeschaltet, um den isolierten Zusammenhang zwischen Inzidenz und Trinkwasserherkunft zu untersuchen. Als Ergebnis der partiellen Korrelation ließ sich feststellen, dass bei Ausschaltung des Einflusses „Größe der WVU nach Abgabe“, „Länge des Versorgungsnetzes“ und „Anteil landwirtschaftliche Nutzfläche“ ein deutlich höherer Koeffizient resultiert. Das bedeutet in diesen Fällen, dass der „Anteil der versorgten Bevölkerung mit Talsperrenwasser“ den größten isolierten Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz“ hat. Die andern Confounder beeinflussen den Korrelationskoeffizienten kaum. Bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse zum ermittelten Koeffizienten „Enteritis-Inzidenz“ und der „Frequenz mikrobiologisch auffälliger Trinkwasserwerte (KBE>1 bei 20° Bebrütungstemperatur;“ (YX₃) ist festzustellen, dass bei Konstanthaltung der erhobenen Einflussparameter bis auf „Größe der WVU nach Anzahl Beschäftigter“, kaum zusätzliche Varianz aufgedeckt wird. Die höchsten ermittelten Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 12% und 16%.

Als Ergebnis der partiellen Korrelationsanalyse kann festgehalten werden, dass die Trinkwasserherkunft den größten isolierten Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz hat. Der Einfluss der Trinkwasserqualität liefert kaum zusätzliche Informationen; sie variiert ähnlich wie die Trinkwasserherkunft. Insgesamt ergibt sich, dass vor allem die Parameter der Trinkwasserversorgungsstruktur zur Aufklärung der Varianz beitragen. Pendlerverhalten und Arztdichte zeigen keinen Einfluss auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz.

Um einen möglichst großen Anteil der Varianz aufzuklären, wurde versucht, mit der gleichzeitigen Aufnahme von Einflussvariablen in multiple Regressionsmodelle weitere Zusammenhänge aufzudecken. Bei Durchführung der schrittweisen Regression ergab sich der größte additive Einfluss durch Einschluss der Variablen „Rohrnetzlänge pro Haushalt“ und „Anteil der mit talsperrenwasserversorgten Bevölkerung“. Statistisch gesehen leisten sie den größten Erklärungsbeitrag der Varianz der Enteritis-Inzidenz. Die ermittelten Variablen zum Pendlerverhalten und der Arztdichte scheinen kaum Einfluss auf das räumliche Auftreten der Erkrankung zu haben.

Diese Beobachtungen konnten bereits bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse gemacht werden.

Es zeichnet sich ab, dass statistisch gesehen, unter den bestehenden Versorgungsbedingungen im Rheinisch-Bergischen Kreis die vornehmlich oberflächenwasserversorgten Kommunen eine geringere Enteritis-Inzidenz aufweisen.

6 Trinkwasserbürtige Infektionen auch in Deutschland?

Anlass der vorliegenden Studie war die Frage, ob vor dem Hintergrund der weltweit zunehmenden Registrierung trinkwasserbedingter Erkrankungen auch in Deutschland trinkwasserbürtige Erkrankungen auftreten können. Erstaunlicherweise wurden seit 20 Jahren keine trinkwasserbürtigen gastrointestinalen Infektionen oder gar Ausbrüche bekannt.

Gemäß der Aufgabenstellung in Kapitel 1.3 wurden verschiedene methodische Ansätze gewählt, um die geographische Verbreitung gastrointestinaler Infektionen unter Berücksichtigung der Trinkwasserversorgungsstruktur am Beispiel des Rheinisch-Bergischen Kreises zu untersuchen.

Im letzten Teil der vorliegenden Arbeit werden die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Ergebnisse im Zusammenhang diskutiert. Es wird untersucht, ob die angewendeten Methoden die aufgeworfenen Fragen beantworten können.

Darüber hinaus werden weitere Aspekte diskutiert. Es stellen sich Fragen bezüglich der Auswirkungen von Umweltveränderungen auf die zukünftige Entwicklung von wasserbürtigen Infektionskrankheiten. Auch die Bedeutung von Privatisierungsbestrebungen auf die Trinkwasserqualität und ökonomische Auswirkungen von GI sind von Interesse. Abschließend werden die Aufgaben des Öffentlichen Gesundheitswesens in der Prävention und Kontrolle trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen aufgezeigt.

6.1 Das Trinkwasserkonsumverhalten in Deutschland und im internationalen Vergleich

Als zentrale Aufgabe im Zusammenhang mit dem Trinkwasserkonsumverhalten sollte untersucht werden, ob sich das Trinkverhalten der deutschen Bevölkerung gegenüber anderen Ländern unterscheidet. Dazu wurde am Beispiel des Rheinisch-Bergischen Kreises eine Umfrage durchgeführt, in der die Menge des von der Bevölkerung pro Tag getrunkenen Leitungswassers nach abgekochtem und nicht abgekochtem Zustand erhoben wurde (Kapitel 3.4.1 bis 3.4.3). Die Untersuchung des Trinkwasserkonsums wurde als Bestandteil eines Microbial Risk Assessments zu trinkwasserübertragbaren Krankheitserregern durchgeführt.

Das Ergebnis der empirischen Studie zeigte, dass zwar 53% der Probanden weniger als 0,3L unabgekochtes Leitungswasser trinken, aber durch die Verbreitung der Wassersprudler der Konsum von LTW (oTK) im Durchschnitt auf 0,5L angestiegen ist. In 34% der Haushalte im Rheinisch-Bergischen Kreis kommen Wassersprudler zum Einsatz. Es konnte eine stärkere Verbreitung dieser Geräte besonders in Haushalten mit Kindern ermittelt werden. Durch diese Tatsache konnten Kinder über die Umfrage als Risikogruppe identifiziert werden, die durch eine erhöhte Exposition auch einem höheren Infektionsrisiko ausgesetzt sind (Kapitel 3.4.2.7).

Für die Risikogruppe der älteren Menschen ließ sich keine überdurchschnittliche Exposition ermitteln, da in dieser Altersgruppe kaum Wassersprudler genutzt werden.

Die Frage ist nun, ob sich die für den Rheinisch-Bergischen Kreis ermittelten Ergebnisse auf Gesamtdeutschland beziehen lassen.

In Deutschland existieren nur wenige Studien über das Trinkwasserkonsumverhalten der Bevölkerung. Die meisten Untersuchungen zu diesem Thema wurden unter ernährungswissenschaftlicher Sicht (HESEKER, 2001; HÜHN, 1993) und aus marktwirtschaftlichen Aspekten (GFK, 2001; WÜSTEFELD-WÜRFEL, 1999) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien bezüglich der Aufnahmemenge von abgekochtem und unbehandeltem Leitungswasser der Befragten variieren sehr stark.

In einer Studie von 1986 (zitiert in HÜHN 1993) ergab sich innerhalb von 3 Protokolltagen ein mittlerer Konsum von unbehandeltem Trinkwasser für Frauen von 141 ml/Tag und für Männer 136 ml/Tag. In einer Studie von KÜBLER (1985) wurden für die Aufnahme von Trinkwasser ein durchschnittlicher Verbrauch für Männer von etwa 900 ml/Tag und für Frauen von 800 ml/Tag ermittelt. Dabei wurde jedoch nicht unterschieden zwischen abgekochtem und nicht abgekochtem Leitungswasser (KÜBLER 1985, zitiert nach HÜHN 1993).

Sowohl durch die Umfrage von HÜHN (1993) als auch durch die Studie von WÜSTEFELD-WÜRFEL (1999) wurde demonstriert, dass unbehandeltes Leitungswasser als Getränk auf der Beliebtheitsskala bei den Deutschen an letzter Stelle steht. Auch in der eigenen Studie konnte festgestellt werden, dass über die Hälfte der TeilnehmerInnen (58%) Mineralwasser dem Leitungswasser vorziehen. Die Konsumhäufigkeit von Mineralwasser wird dabei wesentlich durch den Kohlensäuregehalt bestimmt. Ein weiteres Kriterium für die vorzugsweise Konsumierung von Mineralwasser ist die Vorstellung der Probanden, in Flaschen abgefülltes Wasser sei gesünder und sauberer als Leitungswasser.

Diese Einstellung ist weit verbreitet und lässt vermuten, dass in der deutschen Öffentlichkeit das Thema „Leitungswasser ist sauber und trinkbar“ kein Gehör findet. Die Berichterstattung in den deutschen Medien bezieht sich in den meisten Fällen auf Störfälle in der Trinkwasserversorgung. Positive Berichterstattung wird nach MERTEN (1994) häufig nicht aufgegriffen. Er beschreibt die Situation wie folgt: „Wasser ist demnach noch nicht trinkbar, wenn es hygienisch sauber ist, sondern erst dann, wenn es auch publizistisch als sauber gilt“ (MERTEN, 1994, 621).

Vergleicht man jedoch die Ergebnisse der älteren o. g. Studien mit denen der eigenen Erhebung von 2000 und 2001, so zeichnet sich eine Zunahme des Leitungswasserkonsums ab. Dieses Ergebnis konnte auch in einer neueren Erhebung des Trinkwasserkonsums in Deutschland durch HESEKER (2001) bestätigt werden.

In dieser Studie wurde für Erwachsene eine durchschnittliche Flüssigkeitsaufnahme aus Getränken von 1.219 ml beobachtet. Die Trinkmenge bezieht sich neben Tee, Kaffee und unbehandeltem Leitungswasser auch auf andere Getränke wie Säfte und Mineralwasser. In der Studie (Donald-Studie: Dortmund Nutritional and Anthropometrical Longitudinally Designed Study) wurde vor allem das Verzehrverhalten von Kindern untersucht.

Es wurde festgestellt, dass ein Viertel der Kinder und Jugendlichen im Alter bis zu 18 Jahren karbonisiertes Wasser aus Sprudlern erhält. In diesen Haushalten mit Sprudlern wurde eine durchschnittliche Trinkmenge bei Kindern zwischen 13 und 14 Jahren von 0,5L festgestellt. In Haushalten ohne Sprudler lag der Verzehr bei nur etwa 0,2L (HESEKER, 2001) (Tabelle 47).

In vielen anderen Ländern hat Leitungswasser als Durstlöscher einen höheren Stellenwert als in Deutschland. In Schweden (FORHAMMAR et al., 1986), aber auch in

anderen europäischen Ländern - wie Griechenland oder Italien - wird Leitungswasser häufig in Restaurants aber auch in öffentlichen Einrichtungen kostenlos angeboten. In den USA und Kanada ist Leitungswasser ein bedeutendes Getränk in allen Altersgruppen. Die Studien von PAYMENT et al. (1991, 1997) und SHIMOKURA et al. (1998) umfassten neben der mikrobiologischen Überprüfung des Trinkwassers auch umfangreiche Befragungen der Konsumenten. Die Ergebnisse dieser Umfragen sowie die Studie von FORHAMMAR et al. (1986) werden für den internationalen Vergleich zum deutschen Trinkwasserkonsumverhalten herangezogen. In Tabelle 47 werden die Ergebnisse der Studien zum Vergleich nebeneinander aufgeführt.

In Schweden liegt der durchschnittliche tägliche Konsum von unbehandeltem Leitungswasser bei Erwachsenen um 1.036 ml. Kinder im Alter von 13 Jahren trinken dagegen etwa nur 331 ml pro Tag. Es wurde festgestellt, dass stillende Frauen mit 1.256 ml den höchsten Leitungswasserverzehr haben (FORHAMMAR et al., 1986).

In der Studie von PAYMENT et al. (1991) lag der durchschnittliche Konsum von unabgekochtem, jedoch gefiltertem Leitungswasser bei 0,75L pro Tag. Die weitere Studie von PAYMENT et al. (1997) ergab einen mittleren Trinkwasserkonsum von 3,2 Gläsern zu Hause mit einem zusätzlichem Verzehr außerhalb der eigenen Wohnung von 0,7 Gläsern. Außerdem kommen etwa 1,5 Gläser verdünnte Fruchtsäfte hinzu. Der Trinkwasserkonsum mit Tee und Kaffee wird mit 6,9 Gläsern angegeben, dem etwa eine Menge von ca. 1,4L entspricht (pro Glas ca. 0,2L) (Tabelle 47).

SHIMOKURA et al. (1998) führten eine Umfrage zum Trinkwasserkonsum bei Schwangeren und ihren Partnern durch. Für Männer ergab sich dabei ein durchschnittlicher gesamter Wasserkonsum von 1,68L und bei Frauen von 1,86L.

Tabelle 47: Ergebnisse verschiedener Studien zum Trinkwasserkonsum

FORHAMMAR et al. 1986 (Schweden)	SHIMOKURA et al. 1998 (USA)	PAYMENT et al. 1997 (Kanada)	HESEKER 2000, (Deutschland)	Eigene Erhebung 2000/2001 (Rheinisch-Bergischer Kreis)
Erwachsene 1,036L unabgekochtes LTW/Tag, 13-jährige Kinder 0,3L LTW/Tag	0,5-0,6L unabgekochtes LTW/Tag	0,75L unabgekochtes LTW/Tag	0,5L /Tag mit CO ² -versetztes LTW bei 13-14-Jährigen in HH mit Wassersprudlern 0,2 L in HH ohne	0,58L unabgekochtes LTW pro Tag
	1,7L bis 1,9L pro Tag gesamter Trinkwasserkonsum	ca. 1,4L pro Tag ab- und gesamter Trinkwasserkonsum	Flüssigkeitszufuhr aus Getränken bei Erwachsenen (>25 Jahre) 1.297 ml/Tag	1,5L ab- und unabgekochtes LTW pro Tag

Tabelle 47 zeigt, dass in Deutschland im Durchschnitt weniger Leitungswasser getrunken wird als z. B. in Schweden, Kanada und den USA. Jedoch ist der Unterschied nicht mehr so groß wie noch zu Beginn der 90iger Jahre, als die Werte noch um die 200 ml und weniger pro Tag und erwachsener Person lagen (HÜHN, 1993; WÜSTEFELD-WÜRFEL, 1999). Mit Beginn des 21. Jahrhunderts konnte in zwei Studien eine deutliche Zunahme des Trinkwasserkonsums festgestellt werden, die in erster Linie auf die

Verwendung von Wassersprudlern zurückgeführt werden konnte (eigene Studie und HESEKER, 2001). Nach Meinung eines Marktforschungsinstitutes (GFK, 2001) besaß im 1. Quartal 2000 jeder fünfte deutsche Haushalt bereits einen Wassersprudler.

Es kann also festgehalten werden, dass mit der derzeitigen Verbreitung der Wassersprudler eine Zunahme des Leitungswasserkonsums bei den Deutschen stattgefunden hat. Dadurch hat sich der durchschnittliche Trinkwasserverzehr denjenigen Ländern mit traditionell höherem Leitungswasserkonsum angenähert. Das heißt, die Exposition gegenüber Trinkwasser ist in den letzten Jahren gestiegen.

Die zu Beginn der Studie vermutete These, dass in Deutschland aufgrund geringeren Trinkwasserkonsums allgemein weniger trinkwasserbürtige Krankheiten auftreten als in anderen Ländern, kann somit nur teilweise bestätigt werden.

Auch eine Erklärung für das Auftreten von gastrointestinalen Infektionen im Rheinisch-Bergischen Kreis kann nur teilweise damit in Zusammenhang gebracht werden, da erst seit 1995 der Absatz der Trinkwassersprudler stieg. Der Untersuchungszeitraum umfasst jedoch die Jahre 1988-1999.

6.2 Ein GIS-gestütztes Konzept zur Surveillance trinkwasserbürtiger GI

Als Teilziel der Studie über die epidemiologische Untersuchung trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten im Rheinisch-Bergischen Kreis sollte überprüft werden, ob die in Deutschland derzeitige Surveillance meldepflichtiger Krankheiten für die Erfassung wasserbürtiger, gastrointestinaler Infektionen ausreicht und inwieweit Geographische Informationssysteme (GIS) zur effektiven Überwachung beitragen können.

Es wurde bereits darauf hingewiesen (s. Kapitel 4), dass die Überwachung trinkwasserbürtiger GI in Deutschland aus verschiedenen Gründen defizitär ist. Anhand eines konkreten Beispiels können die Problemstellen des Systems dargelegt werden. Im November 2000 konnte durch glückliche Umstände das Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit einen trinkwasserbedingten Giardiasis-Ausbruch erstmalig in Deutschland untersuchen (KISTEMANN et al., in Vorbereitung).

In Rengsdorf (Rheinland-Pfalz) diagnostizierte eine niedergelassene Ärztin einen ungewöhnlich hohen Anteil von Durchfallerkrankungen bei ihren Patienten. Sie ließ deshalb Stuhlproben durchführen. Da die Ärztin bereits Erfahrung mit der Diagnose Giardiasis hatte und bei den nachgewiesenen Fällen dieselbe Infektionsquelle vermutete, meldete sie die Erkrankungen an die UGB.

Die zuständige Amtsärztin wiederum hatte bereits in einem anderen Zusammenhang Kenntnis von der Möglichkeit wasserbürtiger Giardiasis erhalten und ließ das Trinkwasser untersuchen. Sie kontaktierte das Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit, welches in verschiedenen Trinkwasserversorgungsgebieten das Roh- und Trinkwasser mikrobiologisch untersuchte. Dabei konnten im Rohwasser einer Quelfassung relativ hohe Konzentrationen von Giardia-Zysten nachgewiesen werden.

Zur epidemiologischen Abklärung wurde mit Unterstützung verschiedener Behörden eine Kohorten-Studie durchgeführt. Schulkinder verschiedener Grundschulen in Rengsdorf wurden in die Studie einbezogen. Die Teilnehmerquote an der Befragung zum Lebensmittel- und Trinkwasserverzehr lag bei 90%. Das Landesmedizinaluntersuchungsamt untersuchte in kurzer Zeit 400 Stuhlproben. Mit der epidemiologischen Studie konnte

ein signifikanter statistischer Zusammenhang zwischen einer bestimmten Trinkwasserversorgung und der Inzidenz von Giardiasis-Infektionen festgestellt werden.

Dieser Giardiasis-Ausbruch konnte nur deshalb registriert werden, weil die Patienten **gehäuft eine Hausärztin** aufgesucht hatten. Durch die **Vorkenntnisse** sowohl der niedergelassenen Ärztin als auch der zuständigen Amtsärztin wurde neben Lebensmitteln auch **Trinkwasser als Infektionsquelle** in Betracht gezogen. Außerdem bestanden Kontakte zu einem Umweltlabor, das **Erfahrung mit dem Nachweis von Parasiten** im Wasser hatte. Zudem war die **Kooperationsbereitschaft** der verschiedenen Behörden und WVU groß. Nur aus diesem Grund war die **unmittelbare Durchführung** der mikrobiologischen Wasseruntersuchungen und der Kohorten-Studie möglich, wodurch sich die **Infektionsquellen auffinden und eliminieren** ließen.

Das Beispiel zeigt, dass viele Voraussetzungen zur Aufdeckung von trinkwasserbürtigen Ausbrüchen erfüllt sein müssen. Zurzeit kann in Deutschland die Auffindung Trinkwasserübertragener GI jedoch nur als zufällig angesehen werden, da keine der o. g. Faktoren selbstverständlich sind.

Die Frage ist jedoch, ob mit der Einführung des IfSG und der überarbeiteten Fassung der TrinkwV zukünftig eine bessere gesetzliche Grundlage zur Surveillance trinkwasserbürtige GI besteht.

6.2.1 Die Bedeutung des neuen IfSG und der neuen TrinkwV

Die wesentlichen Bausteine des neuen IfSG wurden bereits in Kapitel 4.1 erläutert. Deshalb wird an dieser Stelle nur die Bedeutung des Gesetzes im Hinblick auf die Überwachung von (trinkwasserbürtigen) gastrointestinalen Infektionen diskutiert.

Mit der Einführung von Falldefinitionen für die einzelnen nach §§ 6 und 7 IfSG meldepflichtigen Krankheiten und labordiagnostischen Nachweise sollen „Fälle“ nach standardisierten Kriterien erfasst werden, um vergleichbarere Daten als bis dahin zu erhalten. Mit Hilfe der Falldefinitionen werden Krankheitsbezeichnungen mit einer definierten Beschreibung der Erkrankung in Verbindung gebracht. Die Kriterien umfassen das klinische Bild, den epidemiologischen Zusammenhang zwischen Krankheiten und den labordiagnostischen Nachweis. Verantwortlich für die Umsetzung der standardisierten Erhebung sind die Gesundheitsämter auf lokaler Ebene, die ihre Ergebnisse an die übergeordneten Behörden weiterleiten. Die Falldefinitionen wurden durch das RKI unter Mitwirkung von Experten entwickelt. Auf EU-Ebene werden z. Z. ebenfalls allgemeine Falldefinitionen erarbeitet. In absehbarer Zeit sollen allgemeingültige Falldefinitionen für die Europäische Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden (RKI, 2000a).

Eine für die vorliegende Studie bedeutsame Änderung gegenüber dem bis 2001 geltenden Bundes-Seuchengesetz (BSeuchG) besteht darin, dass im IfSG im Gegensatz zum BSeuchG zwischen der Meldung von Krankheitsbildern und der Meldung des Nachweises von Krankheitserregern unterschieden wird. Dadurch ist die Liste der zu meldenden Krankheiten gegenüber dem BSeuchG deutlich kürzer geworden, wodurch eine Verbesserung der Meldemoral erhofft wurde (RKI, 2000c).

Waren bis 2001 alle gastrointestinalen Erkrankungen nach § 3 BSeuchG meldepflichtig, so sind nun bestimmte Erreger immer oder einige erst zusätzlich in Verbindung mit epidemiologischen Ereignissen zu melden.

Gemäß des BSeuchG in der letzten Fassung von 1990 war „meldepflichtig der Krankheitsverdacht, die Erkrankung sowie der Tod von (...) Enteritis infectiosa a)

Salmonellose b) übrige Formen einschließlich mikrobiell bedingter Lebensmittelvergiftung, (...).“ Zu den Erregern der übrigen Formen zählen: Campylobacter, Yersinia, die verschiedenen humanpathogenen Escherichia coli-Stämme, Rotaviren, Norwalk und Norwalk-like-Viren, Adenoviren und andere außer Salmonellen und Shigellen (s. Kapitel 3.5.3).

Im neuen IfSG sind Durchfallerkrankungen aufgrund von Adenoviren nicht mehr meldepflichtig. Nur in Verbindung mit Augeninfektionen und labordiagnostischem Nachweis müssen Fälle übermittelt werden. Adenoviren führen besonders im Kindesalter zu Durchfallerkrankungen, die in der Regel selbstlimitierend verlaufen. Adenoviren wurden weltweit in Abwässern, Oberflächengewässern und Trinkwasser nachgewiesen und auch im Zusammenhang mit trinkwasserbedingten Ausbrüchen beschrieben (HUNTER, 1997; JOHL et al., 1991). Zwar ist ihre Bedeutung als wasserübertragbare Infektionskrankheit noch nicht ganz geklärt, aber sie könnte dennoch ein Indikator für fäkale Verunreinigungen des Trink- und Badewassers sein. Rotavirus- und Norwalk-like Virus-Infektionen werden gemeldet, wenn sie klinisch-epidemiologisch und/oder labordiagnostisch nachgewiesen wurden. Bei Krankheitsverdacht müssen sie nicht an übergeordnete Behörden übermittelt werden (RKI, 2000b).

Auch eine Campylobacter-Enteritis ist nach den Falldefinitionen des IfSG erst dann meldepflichtig, wenn eine klinisch-epidemiologische und/oder labordiagnostisch nachgewiesene Erkrankung vorliegt. Bei Krankheitsverdacht mit akuter Gastroenteritis wird dies zwar vom zuständigen Gesundheitsamt erfasst, aber nicht weitergeleitet. Die Campylobacteriose wird weltweit immer wieder im Zusammenhang mit trinkwasserbürtigen Krankheitsausbrüchen nachgewiesen und könnte deshalb ebenfalls als Indikatorkrankheit für verunreinigtes Trinkwasser herangezogen werden (FURTADO et al., 1998; MEDEMA et al., 1996; SZEZYK et al., 2000). Das gleiche Meldeprinzip gilt für die Yersiniose und die humanpathogenen *E. coli*-Stämme. Wenn in letzterem Fall jedoch HUS auftritt, wird auch ohne labordiagnostischen Nachweis die Erkrankung an die zuständigen Behörden weitergeleitet (RKI, 2000b).

Diese Veränderungen sind dahingehend kritisch zu bewerten, dass jede akute Gastroenteritis auch ohne spezifisch nachgewiesenen Erreger ein Hinweis für mikrobiell belastete Lebensmittel oder Trink- und Badewasser ist. Es ist hinreichend bekannt, dass die Gastroenteritiden in der Erfassung meldepflichtiger Krankheiten unterrepräsentiert sind. In der Zukunft muss sich nun zeigen, ob die beabsichtigte Reduzierung der meldepflichtigen Krankheiten tatsächlich zu einer besseren Meldemoral und einer stabileren Datengrundlage führt.

Jedoch wurde im IfSG auch die Meldepflicht von Krankheitserregern neu aufgenommen. Dies betrifft u. a. die Parasiten *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia*. Die Bedeutung dieser Parasiten in der Trinkwasserepidemiologie wurde in zahlreichen Studien beschrieben und nachgewiesen (CASEMORE, 1991; FROST et al., 2000; GORNIK et al., 2000; HADJICHRISTODOULOU et al., 1998; HSU et al., 2001; KARANIS, 2000; KARANIS & SEITZ, 1996; LECHEVALLIER & NORTON, 1995; LEVY et al., 1998; MEDEMA et al., 1995; NERINGER et al., 1987; SCHLEUPEN, 1996; SCHOENEN & KARANIS, 2001; WAGNER & KIMMIG, 1992). Durch die Neuaufnahme der parasitischen Krankheitserreger in die gesetzliche Meldepflicht besteht nun vielleicht auch in Deutschland ein Instrument zur besseren Abschätzung trink- und badewasserbedingter Infektionen. 2001, im ersten Jahr der Meldepflicht dieser Erreger, wurden bereits 3.896 Giardiasis- und 1.481 Cryptosporidiose-Erkrankungen registriert (RKI, 2002).

Laut des IfSG (2001) liegt auch weiterhin die Überwachung der Trinkwasserqualität bei den Gesundheitsämtern. Das Bundesgesundheitsministerium bestimmt, welchen Anforderungen das Wasser für den menschlichen Gebrauch entsprechen muss und welche Handlungs-, Unterlassungs-, Mitwirkungs- und Duldungspflichten den Inhabern von WVU obliegen. Außerdem ist festgelegt, dass und wie die Bevölkerung über die Beschaffenheit des Trinkwassers und über etwaige zu treffende Maßnahmen zu informieren ist.

Werden Regelungen für Wassergewinnungsanlagen getroffen, so bedürfen sie des Einvernehmens mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. „Das Bundesumweltamt hat im Rahmen dieses Gesetzes die Aufgabe, Konzeptionen zur Vorbeugung, Erkennung und Verhinderung der Weiterverbreitung von durch Wasser übertragbaren Krankheiten zu entwickeln“ (§ 40 IfSG). Beim Umweltbundesamt können zur Erfüllung der Aufgaben Fachkommissionen eingerichtet werden, die Empfehlungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit hinsichtlich der Anforderungen an die Qualität des Trinkwassers abgeben können (§ 40 IfSG). Die Trinkwasserkommission beim UBA veröffentlicht regelmäßig im Bundesgesundheitsblatt Leitfäden und Empfehlungen für die Überwachung der Trinkwasserversorgung.

Die Erhaltung der Trinkwasserqualität ist in wesentlichem Maße von der Art und Weise der Abwasserbehandlung in einem Versorgungsgebiet abhängig. Die Einleitung ungeklärter bzw. unzureichend geklärter Abwässer tragen zur mikrobiellen Belastung der Gewässer und damit auch der Rohwässer zur Trinkwassergewinnung bei. Deshalb wird auch der Umgang mit der Abwasserbeseitigung durch das IfSG (§ 41) geregelt. Das Abwasser soll so entsorgt werden, dass Gefahren für die menschliche Gesundheit durch Krankheitserreger nicht entstehen. Die Abwasseranlagen unterliegen der „infektionshygienischen Überwachung durch die zuständige Behörde“ (§ 41 IfSG). Dabei werden die Landesregierungen ermächtigt, bezüglich des Abwassers Gebote und Verbote zur Verhütung übertragbarer Krankheiten zu erlassen.

Die Überwachung der Wasserver- und Entsorgung in Deutschland wird durch verschiedene Behörden auf unterschiedlichen Ebenen verwirklicht. Für eine sichere Surveillance trinkwasserbürtiger GI ist die Koordination zwischen diesen Ämtern von großer Bedeutung.

Im Entwurf der Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung, die ab 2003 rechtsverbindlich umgesetzt werden muss, sind neue Aufgaben für die Oberen und Unteren Gesundheitsbehörden formuliert und neue Auflagen für Wasserversorgungsunternehmen aufgenommen worden.

Die Aufgabe des Gesundheitsamtes ist, die Wasserversorgungsanlagen (Wasserwerke, Kleinanlagen, nach der neuen TrinkwV auch Hausinstallationen und zusätzliche Brauchwasseranlagen) zu überwachen, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit entnommen wird. Dies gilt insbesondere für Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Gaststätten und sonstige Gemeinschaftseinrichtungen (§ 18 Abs. 1 TrinkwV 2001). Die Erfassung der Standorte besonders gefährdeter Einrichtungen in einem Versorgungsgebiet ist unerlässlich, um bei Zwischenfällen, z. B. bei Grenzwertüberschreitungen, gezielt Informationen und Handlungsempfehlungen an die Verantwortlichen zu übermitteln.

Die Unternehmer von Wasserversorgungsanlagen sind nach der TrinkwV 2001, § 17 Absatz 1 dazu verpflichtet, "wahrnehmbare Veränderungen des Wassers sowie

außergewöhnliche Vorkommnisse in der engeren und weiteren Umgebung des Wasservorkommens" an das zuständige Gesundheitsamt weiterzuleiten.

Werden Grenzwerte oder Anforderungen nicht erfüllt, muss das Gesundheitsamt unverzüglich entscheiden, ob mit einer Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung zu rechnen ist und ob die Wasserversorgung weitergeführt werden kann. Um in Fällen der Nichteinhaltung von Grenzwerten und Anforderungen rasch reagieren zu können, sollen die Betreiber der WVU "im Einvernehmen mit dem zuständigen Gesundheitsamt Maßnahmepläne für den Fall des begründeten Verdachts oder des Eintritts einer Grenzwertüberschreitung erarbeiten" (§ 16 Abs. 6 TrinkwV 2001).

Diese gesetzliche Regelung der Erarbeitung von Störfallplänen durch die WVU und die Gesundheitsämter ist ein wichtiger Schritt zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen den verantwortlichen Institutionen und eine Voraussetzung für ein effektives Risikomanagement (s. Kapitel 6.7.1.4).

6.2.2 Bedeutung des GIS-STI

Voraussetzungen für ein effizientes Surveillance-System sind die zuverlässige Identifikation der Krankheitsphänomene und angemessene Methoden zur Datenerhebung, -analyse und Interpretation. Die angewendeten Methoden sollen die "Verteilung von Ereignissen mit Bezug in Raum, Zeit und (betroffene) Personengruppen korrekt ermitteln" (RKI, 1996b): 3). Um eine Surveillance so wenig aufwendig wie möglich zu etablieren, ist es sinnvoll, vorhandene Daten, Strukturen und Einrichtungen zu nutzen.

Wie in Kapitel 4.2. erläutert, gibt es in Deutschland keine verbindliche Regelung zur Erfassung trinkwasserbedingter Infektionen (EXNER & GORNIK, 1991). Jedoch obliegt sowohl die Surveillance meldepflichtiger Infektionskrankheiten als auch die Überwachung der Trinkwasserqualität den Unteren und Oberen Gesundheitsbehörden (IfSG, TrinkwV 2001). Das bedeutet, dass Prozess- und Meldedaten auf verschiedenen administrativen Ebenen vorhanden sind, die innerhalb eines bestehenden Arbeitsprozesses fortlaufend erhoben werden und daher über längere Zeiträume und in relativ großem Umfang vorhanden sind.

Retrospektiv wurden verschiedene Datenbestände zur Epidemiologie der gastrointestinalen Infektionen und zur Trinkwasserversorgungsstruktur auf lokaler Ebene, dem Rheinisch-Bergischen Kreis, erhoben. Die Eignung dieser Datensätze zur Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen wurde geprüft und ein Konzept zur Entwicklung eines GIS-gestützten Surveillance-Systems erstellt.

Unter diesem Gesichtspunkt wurden für die vorliegende Untersuchung die Daten der amtlichen Überwachung meldepflichtiger Krankheiten des Gesundheitsamtes des Rheinisch-Bergischen Kreises, die Datensätze der Allgemeinen Ortskrankenkasse (AOK) Rheinland und Labordaten erhoben und auf die Tauglichkeit zur Integration in ein Geographisches Informationssystem zur Surveillance trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten (GIS-STI) analysiert (Kapitel 4).

Es wurde deutlich, dass die amtliche Datenbasis aufgrund der Adresskoordinaten und der durch die Ermittlungsbögen gewonnen Zusatzinformationen im Vergleich zu den beiden anderen epidemiologischen Datenbasen für die Surveillance trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten am geeignetsten war (Kapitel 4.6.1). Insbesondere mit der Integration in das GIS über die Verknüpfung der Attributdaten an Objektdaten zeigten sich

verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung und Auswertung im direkten räumlichen Bezug.

Ein Nachteil dieser Datenbasis zum Zeitpunkt dieser Studie kann darin gesehen werden, dass die Datenerhebung im Gesundheitsamt bisher handschriftlich erfolgte, so dass eine Übernahme in eine elektronische Datenbank mit viel Aufwand verbunden war.

Seit 1999 wird jedoch das „Informationssystem Gesundheitsamt“ (ISGA) genutzt, das zur Verwaltung der Daten über meldepflichtigen Infektionskrankheiten dient (persönliche Mitteilung Herrn Dr. Petruschke (2001), Untere Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreises, Bergisch Gladbach).

Das neue IfSG schreibt darüber hinaus eine digitale Übermittlung von meldepflichtigen Krankheiten vor, so dass die gesetzlichen Vorschriften die Etablierung von Software zur digitalen Erfassung von Infektionskrankheiten unterstützen (RKI, 2000d). Eine Verknüpfung zwischen dem bei der UG des Rheinisch-Bergischen Kreises eingesetzten Software „ISGA“ und einem fachspezifischen Geographischen Informationssystem kann zukünftig ein leistungsfähiges, schnell zu aktualisierendes Überwachungssystem bilden, welches auf lokaler Ebene durch Einbindung der Daten aus der Trinkwasserüberwachung zur Surveillance trinkwasserbedingter Erkrankungen komplettiert werden kann.

Die als zweite Datenbasis erhobene Krankschreibungsstatistik von Durchfallerkrankungen bei der AOK-Geschäftsstelle Rhein-Berg erwies sich für eine fortlaufende Überwachung als ungeeignet. Vor allem aufgrund der ungenügenden Differenzierung der Diagnosen und der geringen räumlichen Auflösung ließen sich keine sinnvollen epidemiologischen Auswertungen vornehmen. Wegen der offensichtlich sehr hohen Erfassungsquote für alle über zwei Tage andauernden Durchfallerkrankungen (20mal höhere Inzidenzrate unter den Versicherten) kann die Datenquelle evtl. als Korrektiv bei der Interpretation der amtlichen Meldestatistik herangezogen werden.

Die räumliche Auflösung der Labordaten bis auf Adressenebene ist zwar für den Einsatz in einem GIS vorteilhaft, jedoch liefern die Labordaten neben mikrobiologischen Befunden keine weitere Auskunft über epidemiologisch wichtige Informationen. Außerdem stehen sie nicht flächendeckend zur Verfügung, so dass die Labordaten für eine Surveillance auf lokaler Ebene nicht sinnvoll einsetzbar erscheinen.

Lediglich im Rahmen von Sentinelerhebungen, die wie in Kapitel 4.1 beschrieben, eine zusätzliche Surveillance-Komponente darstellen, können nachweisführende Labors genutzt werden, um zu bestimmten Infektionskrankheiten regelmäßig Fallzahlen zu erheben, die durch eine überregionale Behörde oder Institution ausgewertet und verwaltet werden können. In Deutschland gibt es ein Forschungsnetzwerk „Lebensmittelinfektionen in Deutschland“. Als Teilprojekt wird eine laborgestützte Sentinel-Surveillance von EHEC- und Salmonelleninfektionen durchgeführt, an der sich zurzeit 79 niedergelassene Laborärzte aus dem gesamten Bundesgebiet beteiligen (RKI, 2001).

Im Zusammenhang mit der Erfassung möglicherweise trinkwasserbedingter Erkrankungen sind über die epidemiologische Datengrundlage hinaus weitere Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur notwendig. Dies setzt neben der Einsatzbereitschaft der Gesundheitsämter auch die Kooperation der Wasserversorgungsunternehmen voraus. Die für die Studie verwendeten Informationen zu den Trinkwasserversorgungsstrukturen im Rheinisch-Bergischen Kreis stammten größtenteils aus dem Trinkwasser-

datenerfassungs- und Informationssystems (TEIS) der UGB und HYGRIS, der Rohwasserdatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen, sowie eigenen Erhebungen.

Mit Einführung des TEIS bei der UGB 1995 entstand für die MitarbeiterInnen des UG zunächst ein erheblicher Arbeitsaufwand, da die Übermittlung der Probenahmegergebnisse der amtlichen Überwachung zu Trinkwasser nur begrenzt auf Datenträgern erfolgte und die Führung der Stammakten ebenfalls noch nicht digital stattfand. Die Grundlagendaten, z. B. Herkunft des Wassers, Größe der WVU, Abgabemenge und Zahl der versorgten Bevölkerung wurden schrittweise in das System übertragen. Ab 1998 standen bereits einige Daten für die vorliegende Studie zur Auswertung zur Verfügung.

Die Daten des TEIS mussten im Rahmen der Aufgabenstellung, nämlich der Erhebung der Trinkwasserversorgungsstruktur nach dem HACCP-Konzept, durch Interviews bei den Betreibern der WVU, Auswertung von Kartenmaterial und Durchsicht konventioneller Datenhaltung ergänzt werden. Zu zahlreichen Parametern enthält das TEIS Koordinatenangaben (Hoch- und Rechtswerte), mit denen Wasserversorgungsunternehmen, Wasserwerke, Probenentnahmestellen, Einspeisungspunkte und Einzelwasserversorger lokalisiert werden können. Einige Angaben mussten jedoch durch eigene Digitalisierungen in das GIS integriert werden, wie z. B. die Grenzen der Wasserversorgungsgebiete (Kapitel 4.6.3).

Insgesamt wurde der Stand der Erfassung der Trinkwasserversorgungsstruktur im RBK als hoch bewertet, so dass die vorhandene Datengrundlage als Überwachungsinstrument eingesetzt werden kann.

Die Integration der vorhandenen amtlichen Datenbasis zu Durchfallerkrankungen und der (ergänzten) TEIS-Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur bilden auf lokaler Ebene die Basis für ein effizientes GIS-STI. Die Überwachung trinkwasserbedingter GI erfordert einen schnellen Zugriff auf die erhobenen Daten, um bei Störfällen im Einzugsgebiet von Trinkwasserressourcen oder in der Trinkwasseraufbereitung unverzüglich Maßnahmen einleiten zu können. Besonders die Visualisierung der Grenz- und Richtwertüberschreitungen der Roh- und Trinkwasserproben und deren maßnahmenorientierte Analyse könnten potentielle Infektionsgefahren aufdecken und abwenden. Durch Kartierung und Visualisierung von Erkrankungsfällen bzw. -raten können zudem epidemische Ereignisse leichter als bisher in den Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung gebracht werden.

Die auf lokaler Ebene gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse können als Grundlage für die Entwicklung einer GIS-gestützten Surveillance trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen in Deutschland dienen.

Am Anfang der Entwicklung eines aufgabenspezifischen GIS-Projektes steht der zugleich arbeitsintensivste und kostenaufwendigste Schritt. Er umfasst die Erschließung und Integration der verschiedenen Datenbasen. Da die Daten für ein GIS-STI aus verschiedenen Quellen stammen, müssen sie zur weiteren Nutzung aufbereitet werden. Ein Nachteil kann darin gesehen werden, dass häufig nicht digital vorliegende Daten unter großem Zeitaufwand überführt werden müssen (NUCKOLS et al., 1995). Ein Vorteil wird gesehen, große Datenmengen in einem System verwalten zu können (DUNN, 1992).

Die Effizienz eines Überwachungssystems ist abhängig von der Qualität der Basisdaten. Das bedeutet, dass bei der Erfassung auf lokaler Ebene die Überwachung auf Länderebene beginnt. Durch Weiterleitung vereinbarter Daten über einheitliche Datenbanksysteme durch die UG an übergeordnete Behörden wäre ein zweiter Schritt in

der Entwicklung eines GIS-STI. Derzeit gibt es Ansätze des LÖGD NRW, die Überwachung der Trinkwasserqualität durch die Weiterentwicklung von TEIS und dem parallelen System „TWDB“ (Trinkwasserdatenbank NRW) zu vereinheitlichen. Bisher handelt es sich bei der TWDB um eine reine Datenhaltung. Jedoch wird durch das LÖGD die Verknüpfung der TWDB mit einem GI-System in den nächsten Jahren angestrebt (LACOMBE & FEHR, 1999).

Die Auswertung gemeldeter gastrointestinaler Infektionen in Verbindung mit der Trinkwasserqualität ist jedoch weder auf Länder- noch auf Bundesebene geregelt. Dieser Punkt stellt eine Schwachstelle der gegenwärtigen Infektions-Surveillance in Deutschland dar. Es wäre für die Überwachung von trinkwasserbürtigen GI von Vorteil, wenn die Zusammenarbeit von Umwelt- und Gesundheitsbehörden gewährleistet wäre, um maßnahmenorientiert arbeiten zu können. Die Mitwirkung von GIS-Experten könnte eine sinnvolle Ergänzung im Bereich der Visualisierung und statistischen Analyse der Exposition sowie zur Untersuchung der geographischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet darstellen (VINE et al., 1997).

6.3 Bewertung der Ökologischen Studie

Die Ökologische Korrelationsstudie wurde durchgeführt, um eine Informationsbasis zu schaffen, mit welcher auf aggregierter Ebene die Hypothese untersucht werden kann, ob die Herkunft des Trinkwassers einen Einfluss auf die Enteritis-Inzidenz der Bevölkerung des RBK besitzt oder nicht. Das Prinzip besteht darin, die Exposition bestimmter Bevölkerungsgruppen über einen definierten Untersuchungsraum zu untersuchen. Die räumliche Variation der Inzidenz und deren möglicherweise kausalen Beziehungen zu Faktoren im Untersuchungsgebiet kann mit verschiedenen geographisch-epidemiologischen Methoden analysiert werden (GESLER, 1986).

Für die vorliegende Untersuchung wurden die direkt altersstandardisierten Enteritis-Inzidenzen der „übrigen Formen“ (IRst) im Zusammenhang mit charakteristischen Parametern zur Trinkwasserversorgungsstruktur und sozioökonomischen Aspekten durch einfache, partielle Korrelations- und multiple Regressionsmodelle untersucht. Als Voraussetzung zur Durchführung der ökologischen Korrelationen wurde analysiert, ob statistisch nachweisbar räumliche Heterogenität der Inzidenzraten im RBK besteht.

Dazu wurde die IRst durch Heterogenitätstest, räumliche Autokorrelationsmodelle und Probability Mapping auf Tendenzen zur Clusterbildung und Identifizierung von Extremwerten getestet. Besonders mit der Darstellung von Extremwerten unter der Annahme von theoretischen Verteilungen (Poisson-Verteilung, Normalverteilung) lassen sich räumliche Muster erkennen (BIGGERI et al., 1999; CLIFF & HAGGETT, 1988; GESLER, 1986; WAKEFIELD & ELLIOTT, 1999).

Bei der Interpretation der erstellten Karten muss bedacht werden, dass die epidemiologische Datenbasis in etwa nur ein Zehntel der tatsächlich gemeldeten Fälle repräsentiert und dass die Meldfrequenz in den Gebietseinheiten stark variierte. Besonders am Beginn der Untersuchungsperiode in den Jahren 1988 und 1989 wurden insgesamt nur sehr wenige Erkrankungen registriert. In einigen Gebieten bestehen für mehrere Jahrgänge Datenlücken (Annex V).

Jedoch konnte mit den im Disease Mapping recht häufig angewendeten Verfahren nachgewiesen werden, dass in diesem relativ kleinen Untersuchungsraum räumliche Heterogenität hinsichtlich der Inzidenz von Durchfallerkrankungen besteht. Es zeichnete sich eine Clusterung der Fälle in den Städten Rösrath und Overath ab (Karten K bis M). Insbesondere in Forsbach (33) und in Hoffnungstal (34) wurden hohe direkt altersstandardisierte Inzidenzraten ermittelt (s. Tabelle 37). Extrema mit über 180 Fällen pro 100.000 Einwohnern in den Jahren 1996, 1997 und 1999 deuten möglicherweise auf epidemische Ereignisse hin.

Aus dieser Erkenntnis heraus war die Fragestellung der Studie begründet und weitere epidemiologische Untersuchungen gerechtfertigt.

Zur Auffindung möglicher deterministischer Ursachen für das räumliche Verbreitungsmuster wurde eine geographische Korrelationsstudie durchgeführt. Multivariate Korrelations- bzw. Regressionsmodelle wurden herangezogen, um einen möglichen statistischen Zusammenhang zwischen der IRst mit Parametern der Trinkwasserversorgungsstruktur nachzuweisen.

Die Ökologische Studie wurde GIS-gestützt durchgeführt, da durch die Aggregierungs- und Verschneidungswerkzeuge flächenbasierte Bevölkerungsdaten ermittelt werden können. Die Parameter, die die Ausmaße der Exposition charakterisieren, ließen sich somit visualisieren. Dadurch können neue Hypothesen über Krankheitsursachen generiert werden (VINE et al., 1997).

Zunächst wurde der Pearson's Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient zwischen Enteritis-Inzidenz und Trinkwasserherkunft sowie zwischen Enteritis-Inzidenz und Trinkwasserqualität ermittelt. Es ergab sich ein negativer, schwacher bis mittlerer Zusammenhang zwischen dem Anteil der oberflächenwasserversorgten Bevölkerung und der Enteritis-Inzidenz ($r=-0,339$). Mit anderen Worten, in Gebieten mit Grundwasserversorgung traten höhere Inzidenzraten auf. Der Korrelationskoeffizient für die Trinkwasserqualität ergab einen relativ moderaten Zusammenhang von $r=0,309$. Das Vorzeichen des Koeffizienten hatte die erwartete Richtung.

Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass nur ein Faktor auf die abhängige Variable IRst einwirkt, war es sinnvoll, weitere Einflussgrößen zu identifizieren, die dieses erste Ergebnis verifizieren und den ökologischen Fehlschluss minimieren (MORGENSTERN, 1998; WALTER, 1992). Um mögliche verdeckte Zusammenhänge aufzuklären, die durch so genannte Scheinkorrelationen entstehen, wurden weitere Einflussgrößen ermittelt, die als Confounder den eigentlich interessierenden Zusammenhang verzerren können (JANSSEN & LAATZ, 1997).

Als Confounder konnten der Anschlussgrad an die öffentliche Wasserversorgung, die Größe der Wasserversorgungsunternehmen nach Wasserabgabe und Beschäftigtenzahl, die Ausdehnung des Leitungsnetzes, Arztdichte, die Mobilität der Bevölkerung (Pendler), Kontakt zu landwirtschaftlichen Betrieben oder Tieren und die Bevölkerungsdichte pro Gebietseinheit ermittelt werden.

Um die Bias zu reduzieren, sollten die Informationen über die verschiedenen Einflussgrößen möglichst auf dem gleichen räumlichen Level untersucht werden (MORGENSTERN, 1998). Dies war in der vorliegenden Studie leider nicht für alle Variablen möglich. Die Daten zum Pendlerverhalten, zum Kontakt zu landwirtschaftlichen Betrieben und zur Größe der WVU konnten nur für die 8 Gemeinden und Städte des RBK erhoben

werden. Dennoch wurden sie sowohl in die partielle Korrelation als auch in das Modell der multiplen Regression aufgenommen.

Ein sehr bedeutsamer Faktor im Zusammenhang mit dem Auftreten von gastrointestinalen Infektionen sind Auslandsaufenthalte der Patienten. Ein hoher Prozentteil der jährlich gemeldeten GI kann darauf zurückgeführt werden (RKI, 2000f). Diese Einflussgröße konnte jedoch bereits auf der Individualebene weitgehend eliminiert werden, da bei der Datenauswertung nur diejenigen Fälle berücksichtigt wurden, für die ein Auslandsaufenthalt als Infektionsort ausgeschlossen werden konnte.

Als Ergebnis der Einfachkorrelation ergab sich, dass zwischen dem Anteil an Talsperrenwasserversorgung und Enteritis-Inzidenz ein negativer Zusammenhang besteht. In denjenigen Gemeinde- bzw. Stadtteilen des RBK, in denen das Trinkwasser aus Talsperren stammt, traten also statistisch gesehen niedrigere Inzidenzraten auf.

Für die mikrobiologische Trinkwasserqualität zeichnete sich ein schwach positiver Zusammenhang zwischen steigender Anzahl der nach den für diese Untersuchung festgelegten Kriterien auffälligen Wasserproben und der Enteritis-Inzidenz ab. Das Vorzeichen hatte die erwartete Richtung, da bei größerer Häufigkeit von Wasserproben mit $>1\text{KBE/ml}$ mit einem höheren Infektionsrisiko gerechnet werden muss.

Um die besonders interessierenden Zusammenhänge zwischen Enteritis-Inzidenz und Trinkwasserherkunft bzw. Trinkwasserqualität zu untersuchen, wurde die partielle Korrelationsanalyse durchgeführt.

Die Ermittlung der partiellen Korrelationskoeffizienten zu YX_1 ergab, dass zwar verdeckte Einflüsse der Variablen U_2 (Größe der WVU nach Abgabe), U_4 (Länge des Versorgungsnetz) und U_8 (Anteil landwirtschaftliche Nutzfläche) bestehen, dass aber die Variable „Anteil der versorgten Bevölkerung mit Talsperrenwasser bzw. Grundwasser“ den insgesamt größten Einfluss auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz hat. Bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse zu YX_3 (mikrobiologische Trinkwasserqualität nach ausgewählten Kriterien) kann festgehalten werden, dass bei Konstanzhaltung der erhobenen Einflussparameter bis auf U_3 kaum zusätzliche Varianz aufgedeckt wurde. Die höchsten ermittelten Bestimmtheitsmaße lagen zwischen 12% und 16%.

Um statistisch einen möglichst großen Anteil der Varianz aufzuklären, wurde im letzten Teil der Ökologischen Studie eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt. Mit der schrittweisen Aufnahme von Einflussvariablen sollten weitere Zusammenhänge aufgedeckt werden.

Vier Parameter, die die Trinkwasserversorgungsstruktur im Rheinisch-Bergischen Kreis charakterisieren, trugen zur Erklärung der Varianz der Enteritis-Inzidenz bei (X_1 , X_3 , U_2 und U_4) wobei der additive Einfluss von Rohrnetzlänge pro Haushalt und Anteil der mit Talsperrenwasser versorgten Bevölkerung statistisch gesehen den größten Erklärungsbeitrag leisteten. Ein additiver Einfluss der mikrobiologischen Trinkwasserqualität auf die Varianz der Enteritis-Inzidenz konnte nicht ermittelt werden.

Insgesamt wurde deutlich, dass vor allem die Trinkwasserversorgungsstrukturen das Auftreten der Enteritis beeinflussen. Die ermittelten Variablen zum Pendlerverhalten, Arztdichte, Dichte landwirtschaftlicher Betriebe und Bevölkerungsdichte scheinen kaum Einfluss auf das räumliche Auftreten der ermittelten Erkrankungsraten zu haben. Diese Beobachtung konnte bereits bei Durchführung der partiellen Korrelationsanalyse gemacht werden.

Das Ergebnis war dahingehend überraschend, dass neben der Trinkwasserherkunft die Rohrnetzlänge pro Haushalt und nicht die mikrobiologische Trinkwasserqualität (relativer Anteil von Wasseruntersuchungen zu Koloniezahlen von $>1\text{KBE}/100\text{ml}$ bei 20°C Bebrütungstemperatur an der Gesamtzahl der Wasseruntersuchungen in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen ermittelt) einen Einfluss auf die Varianz der über den Untersuchungsraum ermittelten Enteritis-Inzidenz hatte. Statistisch gesehen stieg in der Bevölkerung mit zunehmender Länge des Versorgungsnetzes pro angeschlossenen Haushalten in den Gemeinde- bzw. Stadtteilen das Risiko, an GI zu erkranken, insbesondere wenn Grundwasser an die Haushalte geliefert wurde. 25,6% (r^2_{Korr}) der Varianz der Enteritis-Inzidenz kann allein durch die beiden Variablen U_4 und X_1 erklärt werden.

Die Bedeutung des Rohrnetzes für die Wiederverkeimung des Trinkwassers ist hinlänglich bekannt (BOTZENHART & HAHN, 1989; SZEWZYK et al., 2000) und wird in einem gesonderten Kapitel (Kapitel 6.4.2) behandelt. Die Länge des Versorgungsnetzes charakterisiert ländliche oder städtische Gebiete. Je weniger Haushalte in einer bestimmten Region verstreut auftreten, umso länger werden die Rohrabschnitte und umso höher ist das Risiko der Wiederverkeimung. Dennoch muss beachtet werden, dass diese Variable nur bis auf die 8 Gemeinden und Städte des RBK erhoben werden konnte und somit eine Generalisierung der Information vorliegt. Das Problem des ökologischen Fehlschlusses muss deshalb bei Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden (GUO et al., 1998; MORGENSTERN, 1998; WALTER, 1991).

In Bezug auf die Trinkwasserherkunft wurde das Ergebnis der partiellen Korrelation bestätigt. Die mit oberflächenwasserversorgten Gemeinde- bzw. Stadtteile des RBK wiesen im Untersuchungszeitraum durchschnittlich weniger Erkrankungen auf als in denjenigen mit Grundwasserversorgung.

Auch dieses Ergebnis war ziemlich überraschend, denn allgemein gilt Oberflächenwasser anfälliger gegenüber mikrobiellen Kontaminationen als Grundwasser (LEIST & MAGOULAS, 2000). Daher war zu erwarten, dass die Bevölkerungen in oberflächenwasserversorgten Gebieten höhere Enteritis-Inzidenzen aufweisen.

Allerdings wird in neueren Studien daraufhin gewiesen, dass kleinere Wasser-versorgungsunternehmen im Gegensatz zu großen häufiger Probleme haben, die hohen Qualitätsansprüche in der Trinkwasserversorgung zu erfüllen. Gründe dafür sind die größere Wirtschaftlichkeit der großen Unternehmen, die dadurch in der Lage sind, finanziell aufwendigere Sanierungs- und Renovierungsarbeiten durchzuführen sowie neue Technologien zu testen und anzuschaffen. Größere Unternehmen können sich zudem gut ausgebildete MitarbeiterInnen leisten und Fortbildungsprogramme organisieren. In kleineren Unternehmen kann dies häufig nicht realisiert werden (HEIN & NEUMANN, 2001; SCHNEPF, 1998).

Möglicherweise kann das Ergebnis der Korrelationsanalyse im Rheinisch-Bergischen Kreis durch die dortige wasserwirtschaftliche Situation erklärt werden. Zwei von drei der im Untersuchungsgebiet existierenden Grundwasserwerke, der WBV Bechen und das GWW Rösrath, produzierten im Jahr 1996 $240 \times 10^3 \text{ m}^3$ bzw. $1.661 \times 10^3 \text{ m}^3$ Trinkwasser.

Tabelle 48: Größe der WVU

Name des WVU	Abgabemenge [10 ³ m ³]	Anzahl Beschäftigter	Aufbereitungsschritte
Aggerverband	15.995	58	Verschiedene Filterstufen, Aktivkohlefilter, Chlordesinfektion
BELKAW	10.457	61	Verdüsung
WW Rhein Wupper	8.000	30	Verschiedene Filterstufen, Aktivkohlefilter, Chlordesinfektion
StWRösrath	1.661	20	Verdüsung
WBVBechen	240	3	Desinfektion

Dagegen lieferte die außerhalb des Kreisgebiets liegende größte Trinkwasseraufbereitungsanlage für Talsperrenwasser ca. 16.000 x 10³ m³ Trinkwasser an die Verbraucher. Das Wasserwerk Schürholz des WVV Rhein-Wupper produzierte 8.000 x 10³ m³ Trinkwasser (Abbildung 14). Nach der Abgabemenge ist jedoch die BELKAW mit 10.457 x 10³ m³ grund-

wasserbürtigem Trinkwasser der zweitgrößte Wasserversorger. Die Anzahl der Beschäftigten im WBV Bechen und StW Rösrath beträgt 3 bzw. 20. Bei der BELKAW arbeiten 61 Beschäftigte. Die beiden Talsperren-Wasserwerke beschäftigen 30 bzw. 58 MitarbeiterInnen (s. Tabelle 48).

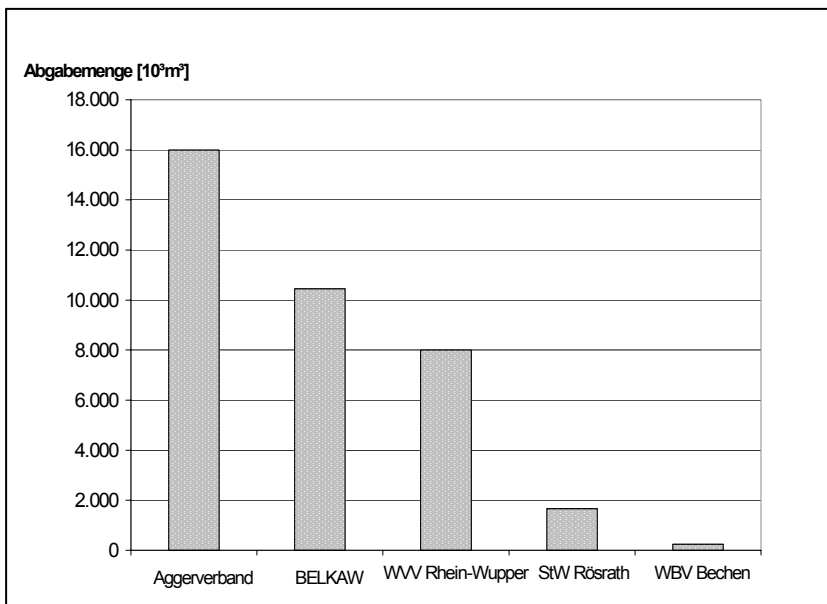


Abbildung 14: Größe der WVU nach Trinkwasserabgabe

Aufgrund der unterschiedlichen Trinkwasserressourcen sind auch die Aufbereitungspraktiken verschieden. Nur eines der drei Grundwasserwerke setzt Chlor zur Aufbereitung ein (WBV Bechen). Die beiden anderen verwenden nur physikalische Aufbereitungsmethoden (Verdüsung). In den Talsperren-Wasserwerken werden neben verschiedenen Filterstufen und Chlordesinfektion auch Aktivkohlefilter zur Aufbereitung eingesetzt.

Es könnte nun vermutet werden, dass die beiden größeren Talsperren-Wasserwerke eine stabilere Qualitätssicherung in der Trinkwasserversorgung bieten als

die beiden erheblich kleineren Grundwasserwerke. Es ist gerechtfertigt anzunehmen, dass hierdurch in den grundwasserversorgten Bevölkerungsgruppen möglicherweise statistisch höhere Enteritis-Inzidenzraten auftreten.

Zum Schluss stellt sich die Frage, ob die gewählten Korrelations- und Regressionsmodelle alle wichtigen Einflussgrößen enthielten. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß von 25,6% erklärt ja nur einen Teil der Varianz. Die Suche nach weiteren Einflussgrößen ist sicher sinnvoll, jedoch sollten diese bis auf die kleinsten Gebietseinheiten aggregiert werden können. In der vorliegenden Studie erwies sich dies als das größte Problem bei der Charakterisierung der Trinkwasserversorgungsstrukturen. Es ist davon auszugehen, dass diesbezüglich detailliertere Daten nicht zur Verfügung stehen.

6.4 Die Abschätzung des Risikopotenzials in Deutschland

Die drei Teilstudien zeigten, dass es mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auch in Deutschland in den letzten zwanzig Jahren trinkwasserbürtige gastrointestinale Infektionen oder Ausbrüche gegeben hat. Mit einer Reduktion des Risikopotenzials ist in auch zukünftig nicht zu rechnen.

Bundesweit nimmt seit etwa 10 Jahren die Zahl der jährlich gemeldeten Fälle von Gastroenteritiden kontinuierlich zu. Zwar wird die Zunahme der Fälle in erster Linie auf verbesserte diagnostische Möglichkeiten und intensivere Erfassung zurückgeführt, aber tatsächlich übersteigt die jährliche Meldung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ inzwischen die Anzahl der Salmonellosen. Im Jahr 1999 betrug bundesweit die Zahl der gemeldeten Enteritis infectiosa-Fälle „übrige Formen“ 110.355 (RKI, 2000f) gegenüber 105.744 im Jahr 1997 (RKI, 1998b). Die Anzahl der Salmonellosen lag 1999 bei 85.146 Fällen gegenüber 1997 (RKI, 1998b) mit noch 105.340 Fällen (RKI, 2000f).

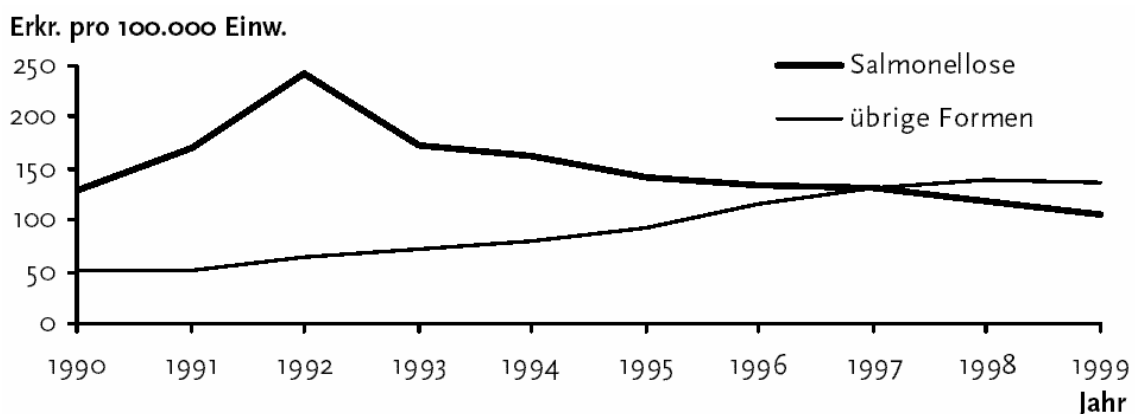


Abbildung 15: Entwicklung der Enteritis-Inzidenzen von 1990 bis 1999

Abbildung 15 zeigt eine kontinuierliche Steigung der amtlich gemeldeten Fälle der Enteritis infectiosa „übrige Formen“.

Das Risikopotenzial an GI zu erkranken ist durch erregerspezifische Eigenschaften nicht gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt. Im jahreszeitlichen Verlauf stehen bestimmte Erreger als Verursacher im Vordergrund. „Während im Winter und Frühling Infektionen durch Rotaviren vor allem bei Säuglingen und Kleinkindern, aber auch bei in Heimen lebenden älteren Menschen die Situation bestimmen, verursachen in der

wärmeren Jahreszeit *Campylobacter*, *Yersinien* und andere Erreger bakterieller Darminfektionen die Mehrzahl der gemeldeten Infektionen“ (RKI, 1998a, 5).

Wie hoch der Anteil der trinkwasserbürtigen Enteritiden an der Gesamtinzidenz ist, lässt sich aus Gründen, die in der vorliegenden Arbeit erläutert wurden, nicht bestimmen. Jedoch kann möglicherweise die Gesundheitsgefährdung durch Darlegung alter und neuer Risikofaktoren eingeordnet werden.

6.4.1 Risikofaktoren für das Auftreten trinkwasserbürtiger Infektionskrankheiten

Mit der Assanierung der Städte, der Entdeckung der Antibiotika und Entwicklung von Impfstoffen sowie verbessertem individuellem Hygieneverhalten und höherem Lebensstandard trat seit Ende des 19. Jahrhunderts in den entwickelten Ländern ein starker Rückgang der Infektionskrankheiten auf, der den demographischen Übergang in eine moderne Industriegesellschaft anzeigte (JÜTTE, 1997).

Bis zum Anfang der 80iger Jahre des letzten Jahrhunderts wurde die Meinung vertreten, dass Infektionskrankheiten aufgrund effektiver Bekämpfungsstrategien kaum noch eine Gesundheitsgefährdung darstellen. Als jedoch die ersten HIV-Infektionen und AIDS-Fälle diagnostiziert wurden, begann eine erneute Diskussion um die Kontrolle von Infektionskrankheiten. Es musste erkannt werden, dass das Auftreten von Infektionskrankheiten nicht beherrschbar ist und geeignete Therapiemaßnahmen nicht immer zur Verfügung stehen (BERKELMAN, 1994; SATCHER, 1995; THOMSEN, 1994).

Seither wurde weltweit ein Wiederanstieg von Seuchen registriert, wie z. B. die Rückkehr der Diphtherie und der Tuberkuloseerkrankungen in Russland (MÜLLER, 2000), Rinderwahnsinn in Großbritannien (KURTH, 1997), Cholera in Südamerika (CHIN, 2000) oder Ebola-Erkrankungen in Südafrika (KURTH, 1997). Infektionskrankheiten bleiben global gesehen eine der häufigsten Todesursachen. Für das Jahr 1996 sind von 52 Millionen Todesfällen 17,3 Millionen auf Infektionskrankheiten zurückzuführen. 90% dieser Todesfälle werden durch akute Atemwegsinfekte, Durchfallerkrankungen, Tuberkulose, Malaria, Hepatitis B, HIV und Masern verursacht. Kinder tragen das größte Risiko. Jedes Jahr sterben allein in der Sub-Sahara-Region Afrikas mehr als eine Million Kinder an Malaria. Im Jahr 1993 litten weltweit ca. 1,8 Milliarden Kinder unter 5 Jahren an Durchfall verbunden mit einer hohen Sterblichkeit in den weniger entwickelten Ländern der Erde (SONNTAG, 1997).

Die seit den 1970er Jahren neu- bzw. wieder entdeckten Krankheitserreger beinhalten auch wasserübertragbare Infektionserreger. Zu diesen Pathogenen gehören *Campylobacter* spp., human-pathogene *Escherichia coli*-Stämme (EHEC), *Yersinia enterocolitica*, Enteroviren wie Rotavirus und Calicivirus und die Parasiten *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* (SZEZYK et al., 2000).

Die Frage ist nun, wodurch die Zunahme der Infektionskrankheiten ausgelöst wurde und ob zukünftig mit einem weiteren Anstieg, einschließlich der wasserübertragbaren Krankheiten, gerechnet werden muss. Zahlreiche Risikofaktoren, die das Auftreten und die Verbreitung von Infektionskrankheiten beeinflussen können, werden in der Fachliteratur diskutiert (EXNER & KISTEMANN, 2000; HAGGETT, 1994; KURTH, 1997; MOTT et al., 1995).

Dazu gehören geographische Aspekte, Umweltveränderungen, sozioökonomische und erregerspezifische Faktoren sowie individuelle Verhaltenweisen. Interne und externe Migration, Bevölkerungswachstum, Wohnraummangel und Verarmung, militärische

Aktionen, unkontrolliertes und schnelles Städtewachstum, Umweltveränderungen durch Landnutzungswandel, Luftverschmutzung und Klimawandel, Bau von Bewässerungssystemen, De- und Reforestationen, die Entwicklung des Massentourismus, Massenproduktion in der Lebensmittelindustrie sowie die Zunahme des internationalen Handels (Tierfutter) sind nur einige der zu nennenden Risikofaktoren (HAGGETT, 1994; KURTH, 1997).

Auch in der medizinischen Versorgung sind Gründe für das Ansteigen der Infektionskrankheiten zu finden. Bei der Behandlung von Infektionskrankheiten stellt die Resistenzentwicklung in der Antibiotikatherapie ein zunehmendes Problem dar (EXNER & KISTEMANN, 2000). Eine besondere Gesundheitsgefährdung tritt in Bevölkerungsgruppen auf, deren Widerstandsfähigkeit gegenüber einem pathogenen Mikroorganismus reduziert ist. Diese Personenkreise weisen in ihrem Organismus begünstigende Faktoren für die Einnistung und Vermehrung der Erreger auf. Zum Beispiel ist der Verlauf von gastrointestinalen Infektionen in sehr jungen Jahren (Kleinkindalter) und in sehr hohem Alter häufig schwerer als bei gesunden Erwachsenen. Es können durch Dehydration schwerere Komplikationen auftreten (CHIN, 2000; GERBA et al., 1996a).

In den USA beträgt gegenwärtig der Anteil der Risikogruppen an der Gesamtbevölkerung etwa 20%. Der hohe Lebensstandard und Fortschritte in der Medizin führten zu einer steigenden Lebenserwartung und einem hohen Anteil alter Menschen, die jedoch durch reduziertes Allgemeinbefinden und chronische Erkrankungen anfälliger gegenüber Infektionen sind. Die Fatalitätsratio bakterieller Gastroenteritis-Ausbrüche ist in Altenheimen bis zu 10-fach höher als in der allgemeinen Population. In den USA traten mehr als die Hälfte der dokumentierten Todesfälle durch Gastroenteritiden und Hepatitis A unter den älteren Menschen auf. Darmerkrankungen sind ebenfalls häufig anzutreffende, schwerwiegende Komplikationen bei immunsupprimierten Patienten. Durch Chemotherapien oder nach Transplantationen sind die Patienten sehr anfällig gegenüber viralen Infektionen des Magen-Darmtraktes. Die Cryptosporidiose tritt sehr häufig bei AIDS-Patienten in Erscheinung (GERBA et al., 1996a).

Neuartige Erregertypen oder neue Anpassungsformen der Mikroorganismen lassen sich zu einem Großteil auf Mutation zurückführen. Die Mechanismen der mikrobiellen Evolution können die Pathogenität und Virulenz eines Erregers erniedrigen oder auch erhöhen. Dazu haben viele Mikroorganismen die Fähigkeit, ihren natürlichen Wirt zu verlassen und in einer neuen Spezies endemisch zu werden (KURTH, 1997; SONNTAG, 1997).

Auch die wasserübertragbaren Krankheitserreger zeichnen sich durch Eigenschaften aus, die durch bestimmte Faktoren beeinflusst werden. Den Pathogenen dienen verschiedene Nutz- und Haustiere als Reservoirwirt. Die Übertragung erfolgt von dem Wirtstier über die Umwelt (Wasser) oder direkt auf den Menschen. Aus diesem Grund werden sie auch zu den Zoonosen gezählt (SZEWZYK et al., 2000).

Das Vorhandensein von Wirtstieren ist also ein Faktor, der die Kontamination des Bodens und der Gewässer beeinflusst. Das Risikopotenzial durch landwirtschaftliche Aktivitäten lässt sich am Beispiel der Cryptosporidiosis demonstrieren. Hohe Konzentrationen von Cryptosporidien-Oozysten finden sich in den Ausscheidungen von Kälbern und Kühen, wobei die erwachsenen Tiere selten klinische Symptome zeigen. Erkrankte Kälber können täglich bis zu 10^9 Oozysten ausscheiden. Die Ausbringung von Stallmist oder Gülle stellt neben der Viehhaltung in Nähe von Gewässern eine große

Belastung der Umwelt dar. Durch Niederschläge und Abschwemmung können kurzfristig hohe Parasiten-Konzentrationen in die Fließgewässer gelangen (SLIFKO et al., 2000).

Neben der Landwirtschaft beeinflussen auch die Siedlungsdichte und das Städtewachstum die Gewässerqualität. Durch Einleitung von Siedlungsabwässern können regional starke fäkale Kontaminationen von Oberflächengewässern auftreten. Auch die Freizeitaktivitäten der Menschen belasten die Gewässer in unterschiedlicher Form (Badebetrieb, Wassersport).

Als risikoreiche Umweltveränderungen sind deshalb herauszustellen der zunehmende Bevölkerungsdruck mit Ausdehnung der Siedlungsflächen sowie die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen bis hinein in Talsperreneinzugsgebiete, die der Trinkwasserversorgung dienen (KISTEMANN et al., 1998). In diesem Zusammenhang stellt die zunehmende Abhängigkeit von Oberflächenwasser als Trinkwasserressource, wie dies für Nordrhein-Westfalen zu verzeichnen ist (s. Kapitel 4), ein bedeutendes Risikopotenzial dar. Oberflächenwassernutzung für die Trinkwasserversorgung wird relevant im Rahmen der Bildung regionaler und überregionaler Wasserversorgungen und nicht mehr ausreichender Grundwasservorkommen (EXNER & KISTEMANN, 2002).

Ein nicht zu unterschätzendes Problem ist die Entwicklung weit verzweigter, wasserführender technischer Systeme. Dazu gehören Trinkwasserinstallationssysteme, raumluftechnische Anlagen, Rückkühlwerke und Warmwassersysteme. Durch Biofilmbildung wird das Wachstum von Bakterien an Wandungen von wasserführenden Systemen gefördert, die ggf. an das vorbeiströmende Wasser abgegeben werden können. Diese Systeme sind für Reinigung und Desinfektion häufig schwer zugänglich (s. Kapitel 6. 4.2).

Viele trinkwasserbürtige gastrointestinale Infektionen treten reisebedingt auf. Shigellosis (Bakterienruhr), Typhus und Paratyphus sind typische Reisekrankheiten, die als endemische Krankheiten in Deutschland kaum noch Bedeutung haben. 1999 wurden in den neuen Bundesländern und Berlin 86% der Shigellosen im Ausland erworben. Als wichtigste Infektionsgebiete erwiesen sich Ägypten und Tunesien. Im Falle von Typhuserkrankungen infizierten sich 87% der Patienten im Ausland, insbesondere in der Türkei, in Pakistan und Indien (RKI, 2000f).

Der Klimawandel wirkt sich auf den hydrologischen Kreislauf aus. Zwar sind die regionalen Auswirkungen von Klimaänderungen noch nicht hinreichend analysiert, jedoch werden zunehmend extreme Wetterlagen auch in den gemäßigten Breitengraden registriert. Hohe Niederschläge und orkanartige Stürme verändern die Abflussbedingungen der Fließgewässer. Hinzukommen die durch kulturtechnische Maßnahmen begradigten Bach- und Flussläufe, die zu extremen Hochwassersituationen beitragen. Durch Aufwirbelung von Sedimenten werden Mikroorganismen mobil, die Abschwemmungen von der Landoberfläche und hohe Einträge von Siedlungsabwässern erhöhen die mikrobielle Last, die durch hohe Fließgeschwindigkeiten des Wassers weit transportiert werden kann. Es wird geschätzt, dass zwischen 20% bis 40% der wasserbürtigen Ausbrüche als Folge von hohen Niederschlagsereignissen auftreten (ROSE et al., 2000).

In einer Studie über mikrobielle Belastungen von Fließgewässern bei Starkniederschlägen konnte in Wasserproben, die in 2-Stundenabständen parallel zur Hochwasserwelle genommen wurden, besonders ein Anstieg der Parasitenkonzentrationen festgestellt werden. Es konnte ermittelt werden, dass bei Starkniederschlägen innerhalb

von wenigen Stunden zwischen 0,31% und 0,77% des theoretisch zu erwarteten mittleren Jahresabflusses in die Gewässer eingetragen werden kann (KISTEMANN et al., 2002a).

Die Ausgangsbelastung des Rohwassers ist entscheidend dafür, ob die Pathogene die Aufbereitungsschritte in den Wasserwerken überwinden oder nicht (GALE, 1996).

Die in Kapitel 3 erläuterten erregerspezifischen ökologischen und epidemiologischen Eigenschaften und die dargelegten alten und neuen Risikofaktoren mit ihren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zeigen, dass der Möglichkeit trinkwasserbedingter gastrointestinaler Infektionen durch den Öffentlichen Gesundheitsdienst mehr Beachtung entgegengebracht werden muss.

6.4.2 Bedeutung der Versorgungsnetze für die Rekontaminierung von Trinkwasser

Die bisher ermittelten Infektionsrisiken wurden hauptsächlich durch die von außen aus der Umwelt eingeschwemmten Krankheitserreger betrachtet. Ein Problem, das in den bisherigen Ausführungen noch nicht berücksichtigt wurde, ist die Bedeutung der Wasserversorgungsnetze für die Ausbreitung von Krankheitserregern. Erst seit den 80iger Jahren wurde zunehmend erkannt, dass in aufbereitetem Trinkwasser ohne besondere Nährstoffe eine Vermehrung von Mikroorganismen im Verteilungsnetz möglich ist (CHRISTIAN & PIPES, 1983). Dabei handelt es sich im Gegensatz zu den bisher behandelten Krankheitserregern häufig nicht um Keime, die aus tierischen oder menschlichen Fäkalien stammen, sondern um Organismen, die natürlich in der aquatischen Umwelt und im Boden vorkommen (BOTZENHART & HAHN, 1989; SZEZYK et al., 2000).

Diese Krankheitserreger gelangen über das Oberflächenwasser i. d. R. in geringer Anzahl in das Trinkwasser. Unter bestimmten Bedingungen im Wasserversorgungsnetz haben sie die Fähigkeit sich zu vermehren. Beispiele für hygienisch relevante Mikroorganismen sind: *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas*, *Mycobacterium* und *Acinetobacter* (BOTZENHART & HAHN, 1989; SZEZYK et al., 2000).

Eine große Bedeutung für die Rekontaminierung des Trinkwassers durch Kolonisierung in Biofilmen hat das Bakterium *Legionella pneumophila*. Es wird häufig in Wasserinstallationssystemen nachgewiesen. Der Übertragungsweg ist die Inhalation von kontaminierten Aerosolen z. B. durch Whirl-Pools, Duschen, Rückkühlwerke und Klimaanlage. Es verursacht respiratorische Infektionen, bekannt als Legionärs-Krankheit und Pontiac-Fieber (KOOL et al., 1999; PLEISCHL et al., 2001). Besonders bekannt wurde 1999 ein Legionella-Ausbruch, der auf einer Blumenschau in den Niederlanden auftrat. 188 Besucher erkrankten dort durch Kontakt zu kontaminierten Aerosolen aus Sprudelbecken (DEN BOER et al., 2002).

Jedoch haben auch Bakterien und Parasiten fäkalen Ursprungs Überlebens- und Vermehrungsfähigkeit im Trinkwasserversorgungsnetz. Dazu gehören *E. coli*, *Cryptosporidium*, *Giardia* und Enteroviren (FLEMMING, 1998). PAYMENT et al. (1997) demonstrierten in einer prospektiven Interventionsstudie mit einer Stichprobe von 1.400 Haushalten, dass das Versorgungsnetz mit verantwortlich für die Rekontaminierung des Trinkwassers war, die sich in einer erhöhten Inzidenzrate von gastrointestinalen Infektionen zur „Null-Gruppe“ niederschlug (Kapitel 1.2.2).

Die Bildung so genannter Biofilme in Rohrnetzen begünstigen die Vermehrung und Ausbreitung der Mikroorganismen. Als Biofilm wird fleckenförmiger oder flächendeckender Bewuchs oder Belag bezeichnet, der aus einer Matrix von extrazellulären polymeren

Substanzen gebildet wird. Es handelt sich um Polysaccharide, Proteine, Glycoproteine und andere wasserhaltige Polymere (FLEMMING, 1998). Die Biofilme dienen den Mikroorganismen als Habitat. Je nach Nährstoffzufuhr vermehren sie sich und können kurzfristig und in hoher Konzentration in das vorbeiströmende Wasser gelangen (EXNER & TUSCHEWITZKI, 1994; FLEMMING, 1998).

Die Biofilmbildung wird durch bestimmte Bedingungen im Leitungsnetz begünstigt oder begrenzt. Die Besiedlung steht in Abhängigkeit von den verwendeten Rohrmaterialien, vom Alter des Leitungsnetzes, Korrosionserscheinungen, Stagnationsverhältnissen im System, Temperatur, Druck und pH-Wert. Bedeutsam für Trinkwasserversorgungssysteme ist darüber hinaus die erhöhte Toleranz gegenüber Desinfektionsmitteln (FLEMMING, 1998).

Aus diesem Grund stellen Versorgungsnetze und Wasserinstallationssysteme in der Trinkwasserversorgung ein potenzielles Gesundheitsrisiko dar. Im Rahmen des HACCP-Konzeptes werden sie als kritischer Kontrollpunkt in der Trinkwasserproduktion identifiziert (HAVELAAR, 1994). Wenn z. B. ein kontinuierlicher Durchfluss durch Teile des Rohrleitungssystems, insbesondere in den Peripherien, nicht gewährleistet ist, können in derartigen Stagnationsabschnitten Bedingungen für eine Rekontaminierung des Trinkwassers entstehen (LEIST & MAGOULAS, 2000).

Unter dem Gesichtspunkt, dass Infrastrukturen der Wasserversorgung einer generell langfristigen Planungsperspektive unterliegen und dementsprechend die Kapazitäten von Rohrleitungsnetzen nur langsam neuen Trends anzupassen sind, kann der in Deutschland beobachtete Rückgang des Wasserverbrauchs (Kapitel 3.1.3) aus dieser Perspektive Probleme nach sich ziehen (LEIST & MAGOULAS, 2000).

Pumpwerke, Rohrleitungen und Speichersysteme sind technisch eng miteinander verknüpft. Aus den Hochbehältern wird das aufbereitete Trinkwasser in das Versorgungsnetz gepumpt. Probleme im Rohrnetzbetrieb können durch starken Straßenverkehr, Bodenverschiebungen, Korrosion und Frost auftreten. Undichtigkeiten und Brüche führen zu Wasserverlusten sowie zu Beeinträchtigungen der Trinkwasserqualität (s. Kapitel 4), (DAMRATH & CORD-LANDWEHR, 1998).

Als Präventivmaßnahmen werden daher ein permanenter positiver Wasserdruck im Leitungsnetz, guter Zustand der verwendeten Materialien sowie bei Wartungsarbeiten hygienisches Vorgehen genannt. Regelmäßige Inspektion durch Fachpersonal und mikrobiologische Überwachung im Leitungsnetz sind unerlässlich, um Störungen im Verteilungssystem frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können (HAVELAAR, 1994).

Das Problem der Wiederverkeimung von primär einwandfreiem Trinkwasser kann bis in Hausinstallationen nachvollzogen werden, die nicht sachgemäß installiert und gewartet wurden oder veraltet sind (MÜLLER-TRIMBUSCH, 1998). Standorte besonders risikoreicher Einrichtungen (Krankenhäuser, Altenheime, Kindertagesstätten, Restaurants und sonstige öffentlichen Einrichtungen) sollten deshalb Bestandteil einer deskriptiven Erfassung der Trinkwasserversorgungsstruktur in einem Versorgungsgebiet sein. Bei Auftreten einer Erkrankung, die möglicherweise im Zusammenhang mit dem Konsum von Trinkwasser zusehen ist, sollten Vorort-Untersuchungen der Hausinstallationen durchgeführt werden (MÜLLER-TRIMBUSCH, 1998).

Für die maßnahmenorientierte Surveillance trinkwasserbedingter Infektionen ist es unerlässlich, die Länge, den Verlauf, den Durchfluss, das verwendete Material und den

Zustand der Versorgungs- und Zubringerleitungen zu erfassen und mikrobiologische Kontrollen der Trinkwasserqualität an ausgewählten Probenahmestellen durchzuführen.

6.4.3 Auswirkungen der Privatisierung und Liberalisierung auf die Trinkwasserversorgung

Unter Privatisierung in der Wasserwirtschaft wird die Wahrnehmung von Aufgaben der Wasserver- und entsorgung durch Unternehmen privater Rechtsform verstanden. Dabei kann das private Unternehmen noch in der Hand der Kommunen sein. Es können jedoch auch Dritte mit den Aufgaben betraut werden. Mit Liberalisierung ist die Aufhebung der heutigen Gebietsmonopole der Wasserversorgung gemeint, mit anderen Worten: die Marktöffnung (BRACKEMANN, 2001).

Seit etwa Mitte der 1990er Jahre des letzten Jahrhunderts wird über die Notwendigkeit von Veränderungen in der deutschen Wasserversorgung diskutiert. Zunehmend kam die Wasserversorgung in den Sog der Liberalisierungsbestrebungen von Telekommunikation, Strom- und Gas-Anbietern. Viele Unternehmen, vor allem die Stromversorger, erweiterten ihre Dienstleistungsangebote (Gas und Fernwärmeversorgung), um die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu steigern. Aus dieser ökonomischen Sicht entstand auch ein Liberalisierungsdruck auf die öffentliche Wasserversorgung (MICHAELIS, 2002).

Die deutsche Wasserversorgungswirtschaft ist stark föderalistisch organisiert. Die Mehrheit der WVU wird durch die Kommunen betrieben und liegt in öffentlich-rechtlicher Hand. Die traditionelle Einordnung der Trinkwasserversorgung als öffentliche Aufgabe hat zu relativ kleinen und zahlreiche Betriebseinheiten geführt. Ca. 6.500 WVU gibt es in Deutschland, von denen 60% für nur 4% der Wasserversorgung zuständig sind. Die zehn größten Wasserversorger produzieren 20% des Gesamtwasseraufkommens. Durch die ortsnahe Versorgung der Bevölkerung ist außerdem kein durchgängiges Leitungsnetz in Form von Fernleitungen entstanden. Nur regional wurden Verbundnetze aufgebaut (HEIN & NEUMANN, 2001).

In anderen Ländern ist die Entwicklung zu größeren Versorgungsstrukturen bereits fortgeschritten. Aber auch in Deutschland bestehen Tendenzen zur Bildung größerer WVU. Je nach örtlichen Gegebenheiten betreiben große, privatwirtschaftlich organisierte WVU oder kleinste kommunale Regie- und Eigenbetriebe die Wasserversorgung. Den neuen Anforderungen der Wasserwirtschaft wird durch die Kooperationen von verschiedenen WVU begegnet. Die Wasserwerke Westfalen GmbH sind ein Zusammenschluss der Gelsenwasser AG und der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung zur Wassergewinnung im Ruhrtal. Die HessenWasser GmbH und die aquaKomm sind ebenfalls Zusammenschlüsse, um überregionale Aufgaben zu erfüllen (MEHLHORN, 2002).

Die von einigen Seiten angestrebte Privatisierung der Wasserversorgung soll den Haushaltsetat der öffentlichen Hand entlasten und gleichzeitig die notwendigen Maßnahmen in der Trinkwasserversorgung auf hohem Niveau sicherstellen. Der durch die Liberalisierung eingeführte Wettbewerb in der Wasserversorgung soll die Entwicklung größerer Unternehmensstrukturen fördern und die örtliche Zersplitterung der gegenwärtigen Versorgungsstruktur abbauen (HEIN & NEUMANN, 2001).

Diese Bestrebungen sind nicht unumstritten. Forscher und Verantwortliche aus dem Gesundheits- und Umweltschutz sehen zahlreiche Gefahren in der zunehmenden

Privatisierung und Liberalisierung der Wasserver- und entsorgung (BRACKEMANN, 2001; MEHLHORN, 2002; MICHAELIS, 2002).

Das Gut „Wasser“ hat nicht die gleichen Voraussetzungen wie das Gut „Strom“. Die Beschaffenheit des Wassers variiert je nach Herkunft und physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Inhaltsstoffen. Eine Vermischung von verschiedenen Wässern ist daher nicht ohne weiteres möglich. Eine Mischung ohne begleitende Maßnahmen kann zu Ausfällungen, Inkrustationen und Keimvermehrungen führen. Auch der Transport des Wassers über weite Strecken durch Fernleitungen kann zu Veränderungen der Wasserqualität führen (BRACKEMANN, 2001). Wasser- und Druckverluste im Rohrnetz fördern die Bildung von Bakterienkulturen (Biofilmen). Dies erfordert dann ggf. eine stärkere Chlorung.

Umwelt- und gesundheitliche Risiken werden auch darin gesehen, dass private WVU aufgrund der Gewinnsteigerung kostenintensive Maßnahmen zum Gewässerschutz reduzieren und auf die Chlorung des Trinkwassers setzen. Weitere Einsparmöglichkeiten bestehen im Bereich der Rohrnetzpflege. Die Duldung höherer Wasserverluste im Leitungsnetz kann wirtschaftlicher sein als die Sanierung der Rohre. Durch Risse und andere Defekte im Versorgungsnetz kann verschmutztes Wasser von außen eindringen (MICHAELIS, 2002).

Die in Deutschland vorherrschenden kleinen Betriebseinheiten haben nicht nur Nachteile. Die starke räumliche Bindung der WVU zwischen der Wassergewinnung und der Wasserversorgung steigert die Verantwortung für die Sicherstellung sauberen Trinkwassers und führt zur Übernahme von Aufgaben im Gewässer- und Naturschutz, die ja auch einen Teil der kommunalen Aufgaben darstellt (MEHLHORN, 2002).

Es gibt Befürchtungen, dass das erreichte Niveau der Trinkwasserversorgung durch die derzeitigen Privatisierungs- und Liberalisierungsbestrebungen abgesenkt wird. Zwar wird auch die wirtschaftliche Bedeutung von Verbundunternehmen gesehen, aber eine nachhaltige Wasserwirtschaft darf nicht nur nach rentablen Gesichtspunkten erfolgen, sondern muss ökologische und gesundheitliche Aspekte berücksichtigen (BRACKEMANN, 2001).

Durch das Bundesgesundheitsministerium wurde ein Gutachten erstellt, dessen Inhalt weitgehend Konsens gefunden hat. Die Besonderheiten in der Wasserversorgung machen es unmöglich, die Erfahrungen aus anderen Sparten (Strom, Gas) zu übertragen. Die Wasserdurch- und Direktleitung wird keine große Bedeutung gewinnen, da die technischen, hygienischen und strukturellen Randbedingungen dagegen sprechen. Zusätzlich stellt sich die Frage, was passiert, wenn ein privates WVU nicht mehr in der Lage sein würde, die ihm übertragenen Aufgaben wahrzunehmen. Für die Zukunft wird deshalb vorgeschlagen, dass den Kommunen grundsätzlich die Aufgabe der Wasserversorgung zugeordnet wird. Die Einbindung privater Unternehmen soll eigenverantwortlich entschieden werden (MEHLHORN, 2002).

6.5 Trinkwasserversorgungsstrukturen im internationalen Vergleich

Die vorliegende Studie zeigte, dass die Inzidenzrate trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen wesentlich durch die Beschaffenheit der Trinkwasserversorgungsstrukturen beeinflusst wird. Deshalb soll nun diskutiert werden, ob die

Versorgungsstrukturen in anderen Ländern im Vergleich zu Deutschland aufgrund anderer Strukturen höhere Inzidenzraten erwarten lassen.

In der Studie wurden als Einflussgrößen für die Trinkwasserqualität u. a. die Herkunft des Trinkwassers, die Technik der Trinkwasseraufbereitung, der Anschlussgrad an die öffentliche Trinkwasserversorgung und die Größe der Wasserversorgungsunternehmen identifiziert.

Die Herkunft bzw. die Qualität des Rohwassers beeinflusst die Qualität des Trinkwassers. In Deutschland ist mit einem Anteil von 64% (im Jahr 1995) Grundwasser die überwiegend genutzte Ressource für die öffentliche Wasserversorgung (BGW, 1996). Oberflächenwasser wird dagegen nur zu 28% gefördert, wobei hier auch angereichertes Grundwasser und Uferfiltrat zugerechnet werden. Quellwasser trägt nur bis 8% zur Bedarfsdeckung bei. In Nordrhein-Westfalen weicht die Wasserförderung jedoch nach Rohwasserarten deutlich vom Verteilungsmuster für das Bundesgebiet ab (s. Kapitel 3.1.2). Die Wassergewinnung aus Oberflächengewässern, in der Hauptsache Talsperrenwasser, besitzt mit ca. 60% den größten Stellenwert für die Trinkwasserproduktion (BGW, 1996).

In Dänemark beruht die Trinkwasserversorgung zu 98% auf Grundwasser, das aufgrund der hydrogeologischen Bedingungen einfach zu erschließen ist (VERMEHREN, 1991). Das Trinkwasser in England und Wales stammt zu 68% von Oberflächenwasser-Ressourcen und zu 32% von Grundwasservorkommen (DWI, 2001). In Belgien und den Niederlanden werden ca. 30%, in Frankreich knapp 45% und in Schweden 50% Oberflächenwasser zur Trinkwasserversorgung genutzt (WHO, 1999d).

Zur Aufbereitungspraxis in den meisten europäischen Ländern gehört die Chlordesinfektion. Sie ist häufig die einzige Aufbereitungsmethode für Grundwasser (Belgien, Frankreich, Italien, Spanien, Russland). In Deutschland, Schweden und Dänemark wird das Grundwasser häufig gar nicht behandelt oder physikalisch durch Verdüsung aufbereitet und nur ggf. desinfiziert (VERMEHREN, 1991; WHO, 1999d).

In Dänemark z. B. wird die Qualität des Grundwassers als relativ gut eingeschätzt, so dass eine einfache Belüftung sowie ggf. Einzel- oder Doppelfiltration zur Aufbereitung als ausreichend angesehen wird. Das Grundwasser wird nicht desinfiziert, nur das Oberflächenwasser, welches in der Versorgung für Kopenhagen eine Rolle spielt (VERMEHREN, 1991).

Bei Oberflächenwasser werden in Belgien, Finnland, den Niederlanden, Schweden und Deutschland umfangreiche chemische Methoden, Flokkulation, Koagulation, Langsamsandfiltration und andere Filterstufen zur Aufbereitung verwendet. Trinkwasser aus Oberflächenwasser wird zudem regelmäßig desinfiziert (WHO, 1999d).

Zwar gilt Oberflächenwasser als anfälliger gegenüber mikrobiellen Einträgen aus der Umwelt, aber Grundwasserressourcen oberflächennaher Horizonte sowie in klüftigem Gestein, für die keine ausreichenden Schutzzonen ausgewiesen wurden, können durch landwirtschaftliche Aktivitäten genauso beeinträchtigt werden. Aufgrund fehlender oder nicht ausreichender Desinfektion kann es zu trinkwasserbürtigen Erkrankungen kommen.

Die Versorgung mit Trinkwasser in ländlichen Gebieten wird meistens von kleinen Versorgungsanlagen übernommen. Diese haben bisweilen Schwierigkeiten, die anfallenden Wassermengen auf dem neuesten Stand der Technik aufzubereiten, da die Finanzmittel nicht ausreichen und spezialisierte MitarbeiterInnen nicht zur Verfügung stehen. Eigen- und Einzelversorgungsanlagen gelten ohnehin auch in industrialisierten

Ländern in der beständigen Produktion von einwandfreiem Trinkwasser als relativ unsicher (COTRUVO & TREVANT, 2000).

Im europäischen Ländervergleich liegt der Anschlussgrad an die öffentliche Trinkwasserversorgung im Durchschnitt über 90%. In Deutschland sind 98,9%, in Frankreich 98%, in Belgien 97%, in Schweden 91%, in Italien 98,8% und in England und Wales 99% der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen (WHO 1999). Der Anschlussgrad in Dänemark, Spanien und Griechenland beträgt zwischen 80% und 90%. Es besteht diesbezüglich zwischen den Ländern keine bemerkenswerte Heterogenität, jedoch treten innerhalb der Länder regional starke Unterschiede auf.

In Dänemark z. B. werden die ca. 5,1 Millionen Einwohner von 3.900 Wasserwerken beliefert, von denen 300 kommunale Anlagen sind. 41% der Bevölkerung leben in Kopenhagen. Die städtische Bevölkerung wird nahezu vollständig von der kommunalen Wasserversorgung versorgt, während in den ländlichen Gebieten ca. 140.000 Einzelwasserversorgungsanlagen existieren. Der Anschlussgrad Dänemarks beträgt daher insgesamt 85% (VERMEHREN, 1991).

Auch in der öffentlichen Wasserversorgung kann damit gerechnet werden, dass große Unternehmen häufiger lukrativer arbeiten und finanzielle sowie personelle Engpässe seltener auftreten als in kleinen Unternehmen. Die Sicherstellung kontinuierlich hygienisch einwandfreien Trinkwassers kann möglicherweise in großen Versorgungsunternehmen eher geleistet werden.

In England und Wales gibt es insgesamt nur 26 WVU, die ihr Wasser von 1.386 Aufbereitungsanlagen beziehen und an die 52 Millionen Verbraucher weiterleiten. Die Größe der Wasserversorgungsunternehmen variiert beträchtlich. Das größte Unternehmen (Thames Water) beliefert knapp 8 Millionen Einwohner, wobei 75% des Wassers aus Oberflächenressourcen stammen. Das kleinste WVU beliefert 300 Einwohner mit 100% aufbereitetem Oberflächenwasser (DWI, 2001).

In Frankreich hat die Privatisierung der Wasserversorgung enorm zugenommen. 75% der Trinkwasserversorgung entfällt auf private Anbieter. Zwar sind in Frankreich die Kommunen für die Trinkwasserversorgung verantwortlich und es gibt insgesamt 15.244 WVU für 36.763 Kommunen. Die Aufgaben werden jedoch von 4 spezialisierten Agenturen wahrgenommen (HEIN & NEUMANN, 2001).

In den Niederlanden wurden 22 große Wasserunternehmen gebildet, die sich als Aktiengesellschaften im Besitz der Kommunen befinden und ca. 18 Millionen Menschen versorgen.

In Deutschland existieren ca. 6.500 Wasserversorgungsunternehmen, davon etwa 5000 mit einem Wasseraufkommen von unter 1 Mio. m³ pro Jahr, die Trinkwasser an ca. 81 Millionen Verbraucher liefern. Die zehn größten Unternehmen versorgen etwa 20% der Bevölkerung. Die 4.000 kleineren Wasserversorgungsunternehmen liefern Trinkwasser an 4% der Bevölkerung (HEIN & NEUMANN, 2001).

Es kann festgestellt werden, dass in Deutschland wie auch in Dänemark und Schweden im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern die Trinkwasserversorgungsstruktur durch viele kleine Betriebe geprägt ist. Zwar ist die Wirtschaftlichkeit und Effektivität der Unternehmen geringer als in großen Betrieben, dafür ist die jedoch die Verantwortlichkeit für die Wasserressourcen und deren Schutz stärker an die Unternehmen gebunden (BRACKEMANN, 2001).

Die Trinkwasserversorgungsstrukturen Deutschlands weichen nicht wesentlich von denen zu anderen europäischen Ländern ab. Es ist vielleicht hervorzuheben, dass besonders die Aufbereitung von Oberflächenwasser auf hohem Niveau steht und sie daher einigen Ländern überlegen ist. Außerdem kommt in Deutschland dem Schutz des Rohwassers eine hohe Bedeutung zu, welches durch die Anwendung des Multi-Barrierensystems bereits im Einzugsgebiet von Wasservorkommen umgesetzt wird (CASTELL-EXNER, 2001). Die Einführung von Wasserschutzzonen ist im europäischen Vergleich sehr fortgeschritten (MEHLHORN, 2002).

In der Regel kann das Leitungswasser in Deutschland ohne Bedenken getrunken werden. Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass keine vollständige Sicherheit besteht. Besonders wenn menschliches Versagen, technische Mängel während der Aufbereitung und besondere Ereignisse in den Einzugsgebieten zusammentreffen, ist mit trinkwasserbedingten Krankheitsausbrüchen wie in anderen europäischen Ländern zu rechnen.

6.6 Ökonomische Bedeutung gastrointestinaler Infektionen

Die Gruppe der Gastroenteritiden besitzt innerhalb der Gesamtmorbidität der akuten Erkrankungen und der Arbeitsunfähigkeit in Deutschland eine große Bedeutung. Die aktuelle Größenordnung ist jedoch nicht bekannt, da die Mehrzahl der Gastroenteritiden nicht diagnostisch abgeklärt und gemeldet werden. Die Rate der Krankenhausbehandlungen ist gering und die Letalität unter den hiesigen Bedingungen niedrig. Die wirtschaftlichen Kosten entstehen im Wesentlichen durch den Verlust der Arbeitskraft. Die Krankschreibung aufgrund von Durchfallerkrankungen ist eine der häufigsten durch Ärzte bescheinigten Gründe für Arbeitsunfähigkeit (RKI, 1999).

Auch in der vorliegenden Studie konnte über die Krankschreibungsstatistik der AOK-Rheinland für die versicherten ArbeitnehmerInnen des Rheinisch-Bergischen Kreises eine viel höhere Morbidität abgeleitet werden, als durch die amtlich gemeldeten Fälle. Aus nur ca. 60.000 versicherungspflichtigen Mitgliedern der AOK wurden für den Zeitraum 1991 bis 1998 3.492 auswertbare Datensätze ermittelt. Dies ergibt eine mittlere Inzidenzrate von 1.130 Neuerkrankungen pro 100.000 Versicherten/Jahr. Demgegenüber steht die mittlere direkt standardisierte Inzidenzrate der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ (1988-99) aus dem Melderegister der Unteren Gesundheitsbehörde mit 54,61 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner/Jahr. Die 20-fach höhere Erkrankungsrate aus der Krankschreibungsstatistik verdeutlicht den Verlust an Produktivität durch Arbeitskraft.

Die wirtschaftlichen Kosten, die aufgrund von gastrointestinalen Infektionen in den industrialisierten Ländern entstehen, sind enorm. *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, EHEC, Listeria, Salmonella, *Staphylococcus aureus* und *Toxoplasma gondii* verursachen in den USA jährlich eine geschätzte Anzahl von 3,3 bis 12,3 Millionen lebensmittelbedingter Infektionen mit bis zu 3.900 Sterbefällen. Die geschätzten jährlichen Kosten aufgrund von Campylobacteriosis mit ca. 1,1 bis 7,0 Millionen Erkrankungen betragen 1,2-6,6 Milliarden US\$. Für EHEC-Infektionen entstehen bei 8.000 bis 16.000 Fällen und 80 bis 200 Todesfällen Kosten von etwa US\$ 0,4 bis 1,0 Milliarden (BUZBY & ROBERTS, 1997).

Die Kostenschätzung basiert auf der Ermittlung der Anzahl der akuten Fälle mit Berücksichtigung verschiedener Schweregrade sowie Krankenhausaufenthalte und

Behandlungen. Der Produktivitätsverlust durch erkrankte Arbeitnehmer/Innen wurde über die Gehälter ermittelt. Zusätzlich wurden auch die Kosten für Maßnahmen zur Behebung der Ursachen einkalkuliert (BUZBY & ROBERTS, 1997).

Bei einem gewissen Anteil der jährlich auftretenden gastrointestinalen Infektionen ist als Ursache kontaminiertes Trinkwasser anzunehmen. In einer Studie zu Campylobacteriosen in England und Wales wurden für die Jahre 1992 bis 94 21 Ausbrüche beobachtet, von denen 6 auf kontaminiertes Trinkwasser zurückgeführt werden konnten (PEBODY et al., 1997). Auch in Schweden (ANDERSSON et al., 1997), Dänemark (LAURSEN et al., 1994), Frankreich (BEAUDEAU et al., 1999) und Kanada (PAYMENT, 1997), können gastrointestinale Infektionen immer wieder in Zusammenhang mit fäkal verunreinigtem Trink- oder Badewasser gebracht werden.

Beim Auftreten einer trinkwasserbürtigen Campylobacteriose-Epidemie 1995 in Schweden wurde neben der Ausbruchsuntersuchung auch eine Erhebung der sozioökonomischen Kosten durchgeführt. Die Gesamtsumme der finanziellen Verluste betrug 4.749.625 Schwedische Kronen (0,7 Mio. €). Die höchsten Kosten traten bei der medizinischen Versorgung und der Betreuung erkrankter Kinder sowie durch die Anschaffung einer UV-Desinfektion für die Trinkwasseraufbereitung auf (ANDERSSON et al., 1997).

In Dänemark erkrankten in einer kleinen Stadt 1.600 Personen an Gastroenteritis, die durch fäkale Kontamination eines Grundwasserwerks verursacht worden waren. Insgesamt blieben die betroffenen Personen 1.658 Tage ihrer Arbeit fern. Die dadurch entstandenen Produktivitätsverluste betragen 1.600.000 Dänische Kronen (215.000 €). Demgegenüber waren die Kosten für Renovierungen im Wasserwerk (600.000 Dänische Kronen, 81.000 €) und die Erschließung eines neuen Brunnens (ein Brunnen wurde stillgelegt) für 400.000 Dänische Kronen (54.000 €) vergleichsweise gering (LAURSEN et al., 1994).

In Kanada wird mit jährlich 5 bis 7,5 Millionen Durchfallerkrankungen bei einem geschätzten trinkwasserbürtigen Anteil von 25% bis 50% gerechnet. Wird ein 25%iger Anteil veranschlagt, belaufen sich die jährlichen Kosten zur Behandlung der trinkwasserbürtigen Gastroenteritiden auf 269-403 Millionen US\$. Das Fehlen bei der Arbeit schlägt mit 40 bis 54 Millionen US\$ zu Buche (PAYMENT, 1997).

Zur Abschätzung des gesamten Ausmaßes eines trinkwasserbürtigen Ausbruchs gehört neben den epidemiologischen Untersuchungen auch die Ermittlung der Kosten. Diese können je nach Größe des betroffenen Versorgungsgebietes sehr stark variieren. Von der IAMFES (1996) wird empfohlen, alle Kosten, die in Beziehung zu einem Ausbruch stehen, zu dokumentieren. Dabei wird zwischen direkten und indirekten Kosten unterschieden. Direkte Kosten entstehen durch die medizinische Versorgung, die epidemiologische Abklärung durch Experten, mikrobiologische Untersuchungen und Ausgaben für Labortechnik. Für die Wasserversorgung müssen Umstellungen des Trinkwasserbezugs, weitere Aufbereitungsmaßnahmen, Stilllegung von Hochbehältern oder Brunnen und Reparaturen einkalkuliert werden (IAMFES, 1996).

Der Verlust der Produktivität der erkrankten Arbeitnehmer wird über die Fehltagerechnung berechnet. Information der Bevölkerung über die Medien und Aufklärungskampagnen stellen ebenso Kostenfaktoren dar. Zusätzliche finanzielle Verluste können Städten und Gemeinden im Tourismus durch ein schlechtes Image aufgrund schlechter Wasserversorgung entstehen. Mit indirekten Kosten sind Kosten gemeint, die durch

Verlust von Schul- und Studienzeiten entstehen oder die als Folge von dauerhafter Erwerbsunfähigkeit, chronischen Beschwerden und Tod auftreten (IAMFES, 1996).

Die Untersuchung der wirtschaftlichen Bedeutung trinkwasserbürtiger Ausbrüche in Deutschland kann nur indirekt über die Ermittlung der lebensmittelbedingten gastrointestinalen Infektionen abgeleitet werden.

Da lediglich etwa 10% der Fälle gemeldet werden, liegt die wirtschaftliche Bedeutung der gastrointestinalen Infektionen in Deutschland in den **nicht** gemeldeten Fällen. Aufgrund der hohen Dunkelziffer treten die individuellen Kosten eines Patienten kaum in Erscheinung. Die Erkrankten bleiben u. U. zwar der Arbeit fern, suchen evtl. einen Arzt auf, helfen sich durch Selbstmedikation oder übernehmen die Betreuung erkrankter Kinder. Eine Registrierung findet nicht statt und eine Auswertung der Ereignisse entfällt. Dies führt nicht nur zu einer Unterschätzung der epidemiologischen Situation, sondern auch zur Unterschätzung der wirtschaftlichen Belastung durch (trinkwasserbedingte) gastrointestinale Infektionen.

6.7 Möglichkeiten der Kontrolle und Bekämpfung von trinkwasserbedingten GI

6.7.1 Risikomanagement und Risikokommunikation

Die in Kapitel 3 beschriebenen Risk Assessment Module bilden die Grundlage für Strategien des Risikomanagements. Dabei sind besonders die Ergebnisse der Expositionsermittlung und -bewertung interessant. Diese untersuchen, unter welchen Umständen, wann und wie, eine oder mehrere Personen einer Kontamination ausgesetzt sind oder sein können. Verschiedene Modelle des Risikomanagements wurden in den letzten Jahren entwickelt, deren Ziele darauf hinauslaufen, mögliche Risiken in einem komplexen System aufzuspüren und zu kontrollieren. Im Risikomanagement werden Strategien für die Erschaffung einer Informationsbasis zur Entscheidungsfindung in Krisensituationen und in der Prävention und Kontrolle entwickelt (DEERE et al., 2001; YOUNES & BARTRAM, 2001). Die Risikokommunikation ist ein wichtiger Bestandteil solcher Modelle. In einigen wird der Risikokommunikation eine zentrale Stelle zugeordnet, wie Abbildung 16 verdeutlicht.

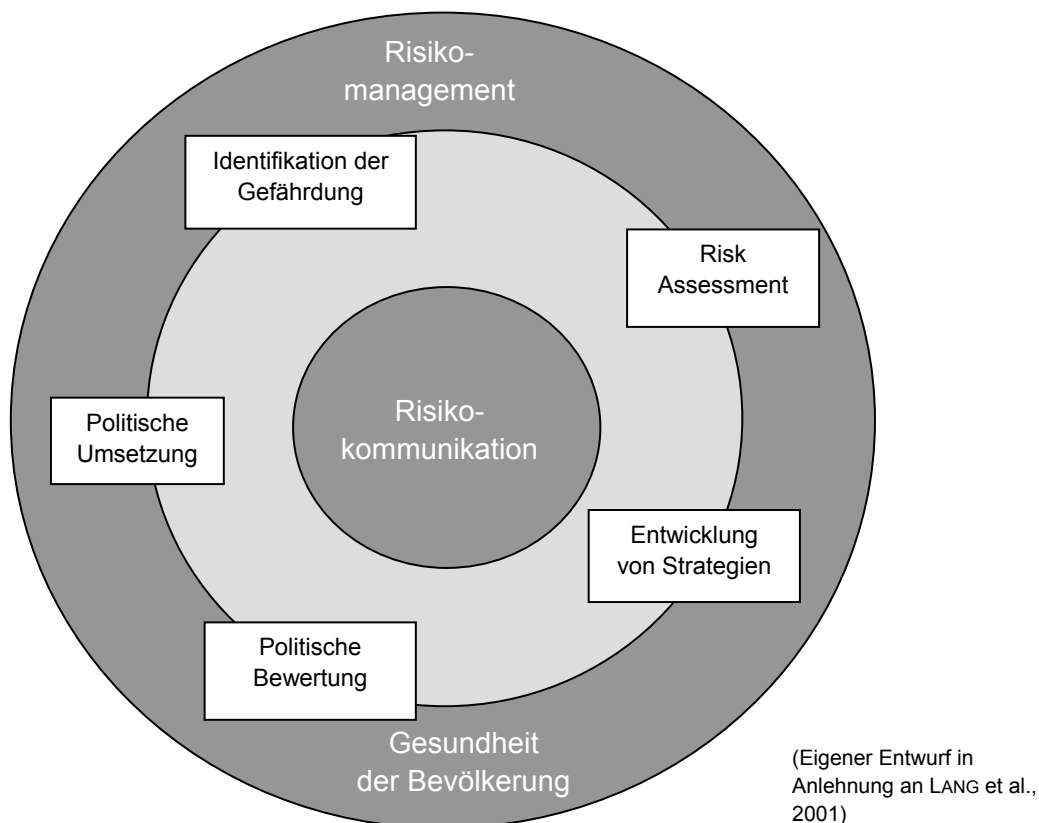


Abbildung 16: Risk Management Zyklus

Der Prozess der Risikokommunikation als Entscheidungshilfe in den Umweltwissenschaften ist noch relativ neu. Er hat vor allem durch die wachsende Besorgnis der Bevölkerung hinsichtlich der Umweltveränderungen an Bedeutung gewonnen. Risiko-Manager haben erkannt, dass die Risikokommunikation einen systematischen Prozess zur Rücksprache zwischen den Betroffenen und den Produzenten von Risikoinformationen und nicht nur den letzten Schritt bei der Entscheidungsfindung darstellt. Die Verbindung von Risikoabschätzung und Risikokommunikation ergibt ein effektives Risikomanagement (UMIS, 2001).

In der Trinkwasserversorgung umfasst das Risk Management den gesamten Prozess der Trinkwasserproduktion beginnend bei der Beschaffenheit der Einzugsgebiete bis hin zum Endverbraucher, der durch persönliche Verhaltensweisen mehr oder weniger einer mögliche Kontamination ausgesetzt ist. Das Prinzip von Managementstrategien liegt in der Identifizierung möglicher Kontaminationsquellen und in der Implementierung von verschiedenen Barrieren zum Schutz der Verbraucher (DEERE et al., 2001).

Ist jedoch der Schutz der Verbraucher nicht mehr gewährleistet, kann es zu Erkrankungsfällen kommen. Hier setzen weitere Managementstrategien an, die den Prozess von der Erfassung trinkwasserbürtiger GI bis zur Entwicklung von Präventionsmaßnahmen kontrollieren und validieren.

Die Etablierung erfolgreicher Managementstrategien zur Bekämpfung und Kontrolle trinkwasserbürtiger gastrointestinaler Infektionen hängt im wesentlichen von den genauen Kenntnissen über die Epidemiologie und Ökologie der wasserübertragbaren

Erreger, deren Eintragspfade und Verhalten während der Trinkwasseraufbereitung, dem Konsumentenverhalten und der Sensitivität der bestehenden Surveillance-Systeme ab.

6.7.1.1 Risikomanagement in Einzugsgebieten von Trinkwasserressourcen

Ein systematischer Ansatz zum Management von Risiken in der Trinkwasserproduktion ist das HACCP-Konzept (s. Kapitel 4), welches zunehmend als akzeptables Instrument zur Auffindung von Schwachstellen im Trinkwasserproduktionsprozess gesehen wird (DEERE et al., 2001; HAVELAAR, 1994; KISTEMANN et al., 2001; MEDEMA et al., 2002). Das Prinzip des HACCP-Konzepts basiert auf sieben Schritten, die sich auf einer Vorbereitungsphase aufbauen. Die Vorbereitungsphase umfasst die Bildung eines verantwortlichen Teams, welches zunächst eine Beschreibung des Produkts erstellt, auf dessen Basis ein Flussdiagramm der Produktionsschritte entwickelt wird.

Anhand des Flussdiagramms werden dann in einem ersten Schritt im HACCP-Konzept mögliche Gefährdungspotenziale abgeschätzt und Präventivmaßnahmen vorgeschlagen. Darauf folgt die Identifizierung der kritischen Kontrollpunkte (CCP's). An diesen Kontrollpunkten werden kritische Limits festgelegt. Anschließend werden Überwachungsmöglichkeiten identifiziert, die im fünften Schritt als Korrektivmaßnahmen etabliert werden. Die beiden letzten Schritte umfassen die Validierung und Verifizierung des HACCP-Plans mit der Implementierung von Dokumentation und Datenhaltung (DEERE et al., 2001; MEDEMA et al., 2002).

Für jedes WVU oder WW muss das HACCP-Konzept den spezifischen Gegebenheiten angepasst werden. Grundwasserwerke unterscheiden sich in den Produktionsschritten wesentlich von denen der Oberflächenwasseraufbereitungsanlagen. Bei beiden beginnt jedoch die Identifizierung von kritischen Punkten im Einzugsgebiet mit Festlegung von Überwachungsmöglichkeiten. In der vorliegenden Arbeit wurde schon mehrfach auf die Gefahrenquellen in Einzugsgebieten hingewiesen. Zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials mikrobiologischer Verunreinigungen des Rohwassers durch das Einzugsgebiet können Risikoindikatoren festgelegt werden. Ein wichtiger Risikoindikator ist das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Wasserschutzzonen.

Eine Präventivmaßnahme nach dem HACCP-Konzept wäre die Ausweisung von Wasserschutzzonen und Nutzungsbeschränkungen in der Umgebung der Wasserfassung. Als Korrektivmaßnahme sollte die Verschmutzungsquelle beseitigt werden (HAVELAAR, 1994). Je nach Herkunft des Wassers liegen bestimmte Prioritäten einiger Indikatoren vor (s. Abbildung 17). So spielen besonders das Klima und Wetterbedingungen in Einzugsgebieten von Talsperren eine zentrale Rolle. In Verbindung mit Gewässerbelastungen durch Abwassereinleitungen oder diffusen Kontaminationen der Zuläufe durch landwirtschaftliche Nutzungen erhöht sich das Risiko mikrobieller Belastungen des Rohwassers (KISTEMANN et al., 2002a; KISTEMANN et al., 1998).

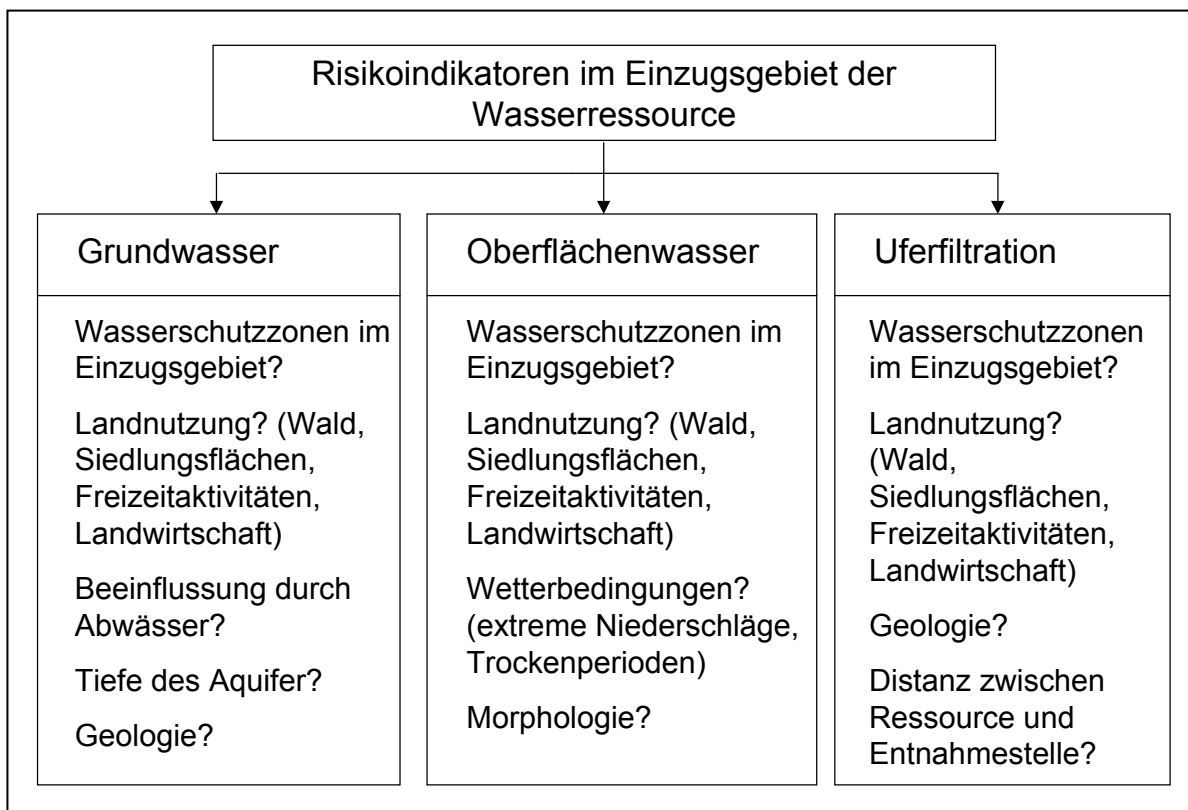


Abbildung 17: Risikoindikatoren je nach Herkunft des Rohwassers

Ein praktischer Ansatz zum Management von Umweltrisiken ist die Kategorisierung der Risikofaktoren. Eine Kategorisierung kann über die Gruppierung bestimmter Faktoren nach gemeinsamen Kriterien vorgenommen werden. Die identifizierten Kategorien werden je nach Gefährdungsgrad gewichtet (MORGAN et al., 2000). Als Managementstrategie ist die Wichtung der Risiken (risk ranking) ist ein relativ neues Instrument.

Auch innerhalb des HACCP-Konzeptes gibt es verschiedene Ansätze der Kategorisierung von Risiken. Bezogen auf die Gefährdung in Einzugsgebieten können die identifizierten Risikoindikatoren nach der Periode, in der sie auftreten, unterteilt werden. Als Kategorie könnte also ein permanentes Risiko von einer Ausnahmesituation unterschieden werden. Eine Einteilung könnte auch nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens nach „täglich“, „wöchentlich“, „monatlich“, „jährlich“ und „sehr selten“ erfolgen (DEERE et al., 2001).

In Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren ist das Nichtvorhandensein von Wasserschutzzonen ein permanentes Risiko. Seltenerere Problemsituationen entstehen durch starke Niederschläge, lange Trockenzeiten oder Überschwemmungen.

In einer Studie zur mikrobiellen Belastung von Talsperrenzuläufen in drei verschiedenen Einzugsgebieten wurde neben mikrobiologischen und chemischen Wasserproben eine geoökologische Charakterisierung der Einzugsgebiete durchgeführt. Dabei wurde der Anteil der Siedlungsflächen, der Waldbestände und der landwirtschaftlichen Nutzflächen an der Gesamtfläche ermittelt. Die geringste Gewässerbelastung trat in dem Gebiet auf, dessen Fläche zu 98% mit Wald bedeckt war (KISTEMANN et al., 1998). Über Kalkulationen des zunehmenden Anteils von

Siedlungsflächen mit Gefahren durch Abwässer oder der Zunahme von landwirtschaftlichen Nutzflächen könnte ein risk ranking abgeleitet werden, dass in einfacher Weise eine Abschätzung der Gefährdung des Rohwassers erlaubt.

Für die Abschätzung von Risiken gibt es technische Hilfsmittel. Foster & MacDonald (2000) entwickelten ein GIS zur Bewertung von Kontaminationsrisiken eines Oberflächengewässers, das zur Trinkwasserversorgung dient. Die Konzeption des GIS-Systems stützte sich auf vier etwas abgewandelte Stufen des Risk Assessments. Dabei wurde die Hazard Identifikation ergänzt durch das Hazard Mapping sowie das Risk Management um die Komponente des Einzugsgebietsmanagements erweitert. Zur Abschätzung der Gefährdung wurden außerdem das Rohwasser mikrobiologisch überwacht und die Testergebnisse mit den gesetzlichen Richtlinien abgeglichen. GIS wurde auf allen Stufen des Risk Assessment Prozesses eingesetzt, um die Beziehungen zwischen Charakteristiken des Einzugsgebiets und der Wasserqualität zu bewerten. Über ein integriertes mathematisches Modell konnten die Autoren Verschmutzungsrisiken nach Rangstufen kalkulieren und visualisieren. Als Ergebnis wurde eine Karte mit markierten Risiko-Rangstufen einer Kontamination des Oberflächengewässers mit Cryptosporidien präsentiert (FOSTER & MCDONALD, 2000).

Das Ziel des Einzugsgebiets-Management ist, dass das Rohwasser möglichst geringe Konzentrationen von chemischen und mikrobiologischen Schadstoffen enthält, bevor der Prozess der Trinkwasseraufbereitung beginnt. Die Ausgangsbelastung, die chemische und biologische Beschaffenheit sowie die Herkunft des Rohwassers bestimmen die anzuwendenden Aufbereitungstechniken (DAMRATH & CORD-LANDWEHR, 1998).

6.7.1.2 Risikomanagement in der Trinkwasseraufbereitung

Zur Überwachung der mikrobiologischen Qualität des Rohwassers werden i. d. R. Indikatorparameter verwendet. Die am häufigsten verwendeten Indikatoren sind Koloniezahl, Gesamtcoliforme, Fäkalstreptokokken, Clostridien und Trübung. Ein Anstieg der Konzentrationen der Indikatoren zeigt fäkale Verunreinigungen an. Das Ziel ist, über den Anstieg der Konzentration der Fäkalindikatoren einen Hinweis auf die Konzentration von pathogenen Mikroorganismen zu erhalten (GLEESON & GRAY, 1997). Verschiedene Studien zeigten, dass jedoch ein Anstieg der Konzentrationen der Fäkalindikatoren nicht unbedingt den Anstieg von Pathogenen indizieren (ASHBOLT et al., 2002; LECHEVALLIER et al., 1997). Dies gilt ebenso umgekehrt: Indikatorbakterien steigen nicht an, jedoch die Konzentration von Krankheitserregern (TEUNIS & HAVELAAR, 1999).

Die quantitative Charakterisierung der Trinkwasseraufbereitung wird nach ihrer Reduktionsleistung ermittelt. Die Reduktionsleistung wird wiederum durch die Messung der Indikatorparameter ermittelt, die nach einzelnen Aufbereitungsschritten durchgeführt werden (Abbildung 18)

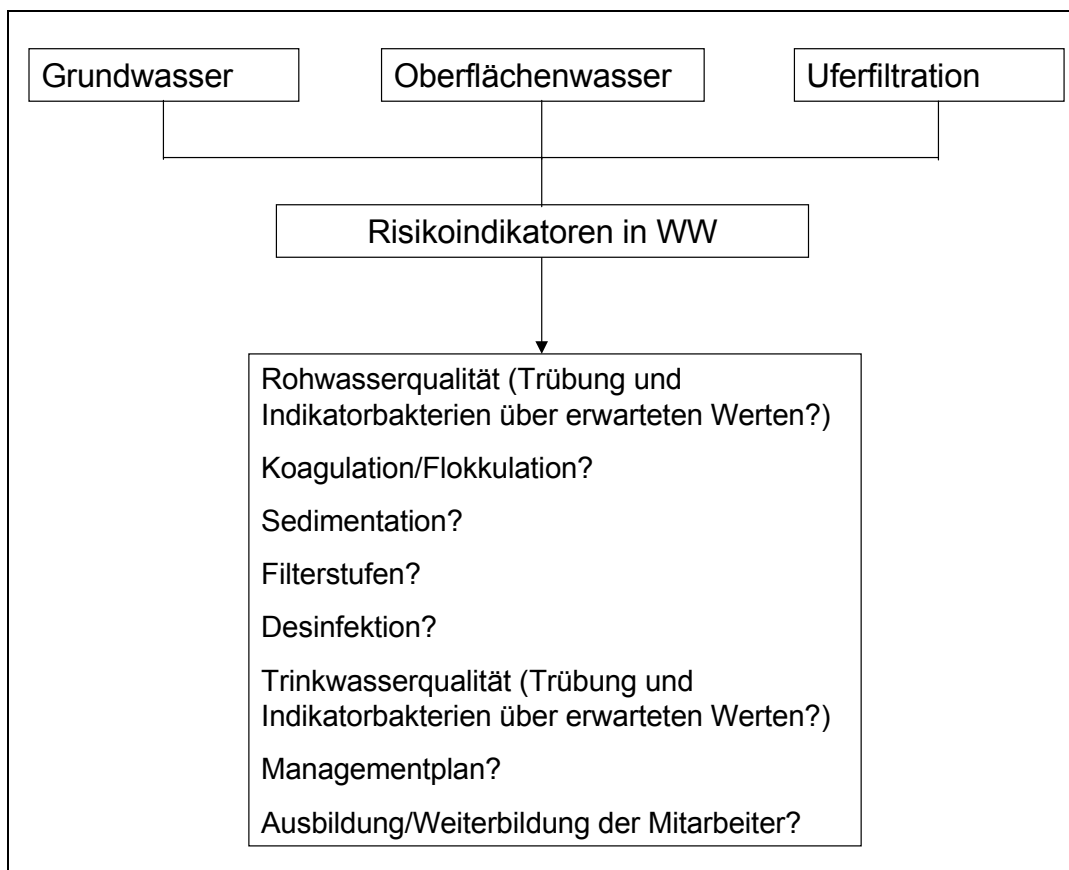


Abbildung 18: Risikoindikatoren in Wasserwerken

Risikoindikatoren, die auf mögliche Störfälle hinweisen, sind in Abbildung 18 zusammengestellt: Ergebnisse der Rohwasserüberwachung, die angewendeten Aufbereitungsverfahren, Ergebnisse der mikrobiologischen Trinkwasserüberwachung, das Vorhandensein von Managementplänen und der Ausbildungsstand der MitarbeiterInnen. Fehler können durch defekte Filterstufen, unzureichender Flockung oder zu geringer Dosierung von Chlor auftreten. Als korrektive Maßnahmen gelten nach dem HACCP-Konzept: Reinigung der Filteranlagen, höhere Dosierung von Koagulantien und die Optimierung von Chlordosis und Einwirkzeit (HAVELAAR, 1994). Mit Koagulation und Sedimentation werden 40% bis 99% der Bakterien reduziert, was einer Reduktionsleistung von 0,2 bis 2 log-Stufen entspricht. Jedoch liegt bei dieser Methode die Reduktionsleistung für Viren unter 1 log-Stufe.

Im Gegensatz dazu wurden für *Cryptosporidium* eine Reduzierung um mehr als 2-log Stufen beobachtet. Mit Filtration ist die physikalische Entfernung der Organismen zusammen mit anderen Partikeln gemeint. Es gibt verschiedene Filterverfahren. Bei der Koagulation mit Schnellfiltration konnten Reduktionsleistungen für Bakterien und *Cryptosporidien* zwischen 2 und 3 log-Stufen und für Viren zwischen 1 bis 3 log-Stufen festgestellt werden. Die Langsamsandfiltration wird ohne Vorbehandlung durch Koagulation durchgeführt und ist für ihre hohe Effizienz zur Entfernung von Bakterien und Parasiten bekannt (STANSFIELD et al., 2002).

Als Kontrollparameter zur Überwachung der Reduktionsleistung der verschiedenen Filterverfahren, einschließlich der Aktivkohlefilter und Membranfiltration, wird allgemein

die on-line Überwachung der Trübstoffe empfohlen (HAVELAAR, 1994; STANSFIELD et al., 2002).

Zur chemischen Deaktivierung von Krankheitserregern werden Chlorverbindungen, Ozon und UV-Licht verwendet. Die Effizienz dieser Aufbereitungsschritte ist abhängig von der Dosierung und der Kontaktzeit des verwendeten Agens. Darmviren gelten i. d. R. als chlorresistenter als Darmbakterien. Sind Viren dazu an organische Partikel gebunden, werden aufgrund der Schutzwirkung der Teilchen höhere Dosierungen notwendig. Auch Cryptosporidien und Giardia haben eine hohe Chlorresistenz. Zur Validierung der Wirksamkeit der verschiedenen Methoden sind als Kontrollparameter Temperatur, pH-Wert, chemische Zusammensetzung und Einwirkungszeit zu beachten (STANSFIELD et al., 2002).

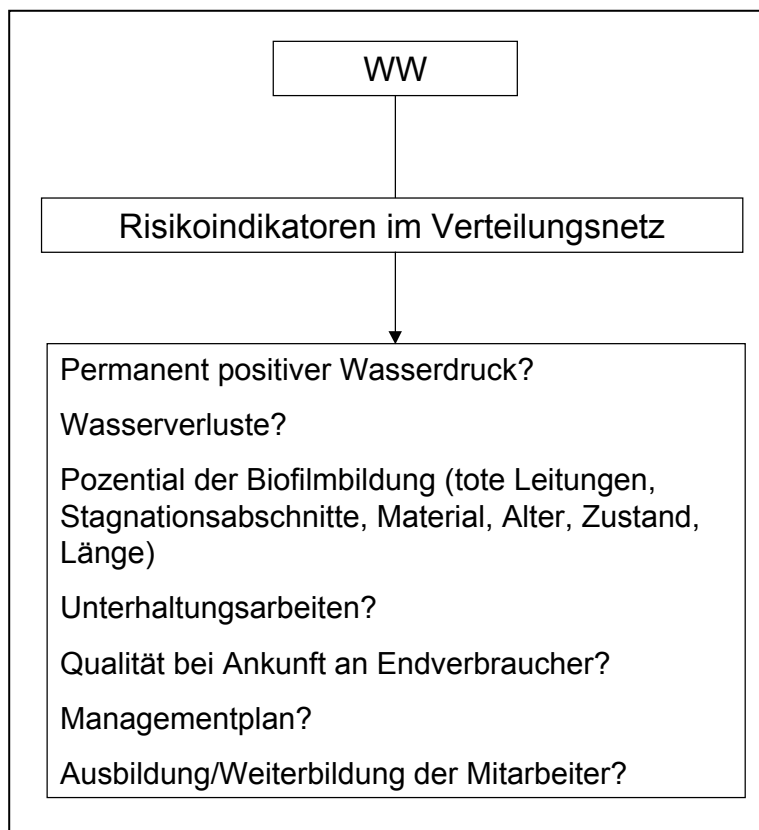
Die Auswahl der einzelnen Methoden zur Aufbereitung von Rohwasser zu Trinkwasser ist von vielen Faktoren abhängig. So z. B. von der Herkunft (Oberflächen-Grundwasser), vom Gewässertyp, von den Inhaltsstoffen und von der mikrobiellen Ausgangsbelastung (DAMRATH & CORD-LANDWEHR, 1998). Als angemessene mikrobiologische Parameter für die Validierung des Aufbereitungsprozesses werden *E. coli*, coliforme und heterotrophe Bakterien und Clostridien im Trinkwasser untersucht. Allerdings muss betont werden, dass mit dieser Verifikation die Abwesenheit von Krankheitserregern nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann (STANSFIELD et al., 2002).

Auch innerhalb der technischen Abläufe der Trinkwasseraufbereitungsanlagen können durch Risk-Ranking Handlungsstrategien abgeleitet werden. Ein Managementplan in der Trinkwasseraufbereitung beinhaltet die Identifizierung der gefährlichen Stellen im System und Festlegung der Kontrollpunkte, Beachtung von Grenzwerten, das Monitoring der Indikatorparameter und die Bereitstellung von Korrektivmaßnahmen. Zur Validierung des Systems werden die systemspezifischen Beobachtungen mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen kombiniert und ggf. neue Handlungsstrategien formuliert. Die Umsetzung des Managementplans sollte durch eine regelmäßige Dokumentation verifiziert werden (DEERE et al., 2001).

6.7.1.3 Risikomanagement im Trinkwasserversorgungsnetz

Nach der Aufbereitung des Rohwassers zu Trinkwasser wird das Wasser in das Verteilungsnetz oder die Speicher gepumpt. Dabei kann es unter bestimmten Bedingungen jedoch zur Rekontaminierung kommen. In Kapitel 6.4.2 wurden die Risiken innerhalb des Rohrnetzbetriebes ausführlich behandelt. Einige Risikoindikatoren, die eine Abschätzung der Trinkwasserqualität im Verteilungsnetz ermöglichen, sind in Abbildung 19 dargestellt.

Regelmäßige mikrobiologische Überwachung der Trinkwasserqualität im Leitungsnetz an wandernden oder festen Probenahmestellen dient zur Kontrolle der Trinkwasserqualität. Bei einem relativen Anstieg der Koloniezahlen zwischen Wasserproben beim Eintritt ins Netz zu weiter entfernten Probenahmestellen muss berücksichtigt werden, dass es sich 1. um eine Kontamination von außen, 2. eine Kontamination aus stärker besiedelten Abschnitten oder 3. um eine tatsächliche Vermehrung von Bakterien im Netz handeln kann (TUSCHEWITZKI, 2001).



Eine häufige Rekontaminierung des Trinkwassers erfolgt über Infiltration. D. h., über Korrosion oder starke mechanische Beanspruchung der Rohre können Rohrbrüche und Risse auftreten, so dass von außen unbehandeltes Wasser eindringen kann. Besonders gefährlich ist die Situation, wenn in der Nähe oberflächenbeeinflusstes Wasser versickert oder defekte Abwasserleitungen verlaufen. Auch in gut geführten Versorgungsnetzen muss mit einer Rohrbruch-Rate von 10% bis 20% gerechnet werden. Mikrobielle Kontaminationen können auch in offenen

Abbildung 19: Risikoindikatoren im Versorgungsnetz

Speicherbecken entstehen, z. B. durch Vögel oder Wachstum von toxinbildenden Cyanobakterien.

Bei Reparaturarbeiten müssen strengste Vorkehrungen getroffen werden, damit das Trinkwasser nicht beeinträchtigt wird. Spülen und Desinfektion sowie bakteriologische Kontrollen müssen vor Inbetriebnahme des Rohrabschnittes durchgeführt werden. Die Biofilmbildung ist von verschiedenen Faktoren abhängig: hydraulische Bedingungen, Stagnation, pH-Wert, Chlorung und Material des Rohrnetz (s. Kapitel 6.4.2).

Zur Überwachung der Trinkwasserqualität in Hochbehältern und Rohrnetzen ist die Auswahl der Probenahmestellen und die Messfrequenz von ausschlaggebender Bedeutung und wird meistens in den nationalen Richtlinien vorgeschrieben. Unter den Fäkalindikatoren wird besonders die Überwachung von *E. coli* empfohlen, da davon ausgegangen wird, dass unter „normalen“ Bedingungen die Wassertemperatur und Nährstoffkonzentration nicht ausreichend für ein Wieder-Wachstum von *E. coli* ist und daher eine Erhöhung der *E. coli*-Konzentrationen fäkale Verunreinigungen anzeigt.

Zum qualitativen Management von Versorgungsnetzwerken wurden in neuerer Zeit Modelle entwickelt, die unter Annahme verschiedener hydraulischer, chemischer, physikalischer und biologischer Bedingungen im Netz sowie der Lebensfähigkeit von Bakterien, diejenigen Leitungsabschnitte identifizieren, die das höchste Risiko zur Biofilmbildung und Wachstum von Pathogenen aufweisen. PIRIOU et al. (1997) entwickelten ein Modell, das u. a. die hydrologischen Bedingungen, das Wachstum von Bakterien und Biofilmen sowie den Einfluss des Restchloranteils auf die Sterblichkeit der Biomasse im Rohrnetz berücksichtigt.

Nach Kartierung und Digitalisierung des gesamten Versorgungsnetzes einschließlich der Probenahmestellen verwendeten PIRIOU et al. (1997) für die Modellbildung eine Software zur Visualisierung der Wasserqualität am Bildschirm. Über verschiedene Farbcodes konnte die Variation der Koloniezahlen unter verschiedenen Bedingungen über das Versorgungsnetz simuliert werden (PIRIOU et al., 1997). Dieser Ansatz im Zusammenhang mit der digitalen Aufnahme der Lokation gefährdeter Endverbraucher könnte für das Management von Störfällen ein wichtiges Instrument zur Veranlassung von Präventivmaßnahmen werden.

6.7.1.4 Störfallmanagement

Trotz aller Vorsichtsmaßnahmen ist es möglich, dass unter ungünstigen Bedingungen Krankheitserreger den Wasserhahn im Haushalt erreichen. Die Menge des getrunkenen, unabgekochten Leitungswassers durch die Endverbraucher bestimmt dann maßgeblich die Dauer und das Ausmaß der Exposition gegenüber wasserübertragbaren Krankheitserregern. Das individuelle Risiko aufgrund einer mikrobiellen Belastung des Trinkwassers zu erkranken wird jedoch durch zahlreiche Faktoren bestimmt, die bereits an anderer Stelle dargelegt wurden (s. Kapitel 3). Zur Beurteilung einer Gesundheitsgefährdung in der Bevölkerung sind die unterschiedlichen Altersgruppen und der Gesundheitszustand von Risikogruppen zu beachten. Außerdem spielt die Virulenz und Infektiosität der Erreger eine wichtige Rolle.

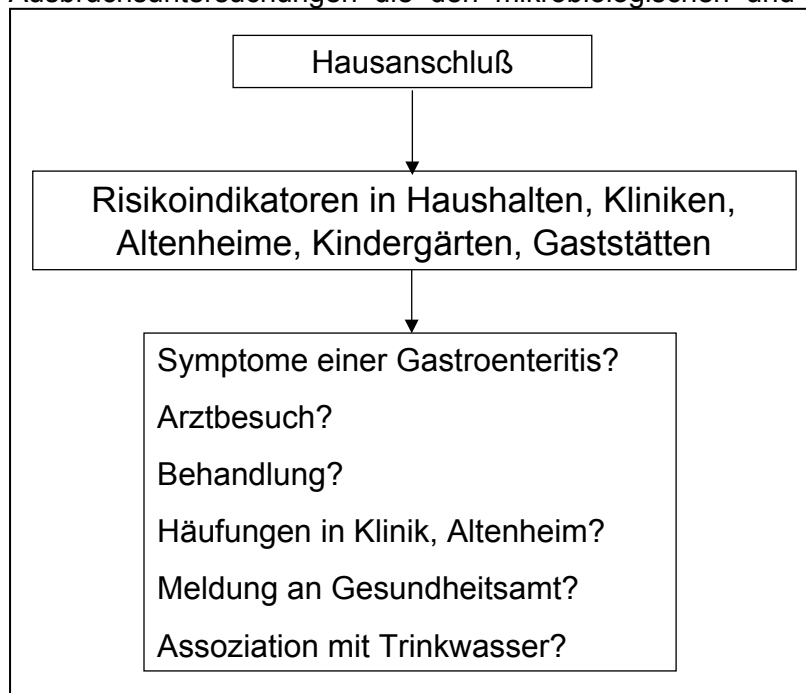
Erkrankt nun jemand an Gastroenteritis, die wahrscheinlich im Zusammenhang mit Trinkwasser aufgetreten ist, so kann dies nur über eine gute Surveillance aufgedeckt werden (s. Kapitel 4). In der Regel sind die nationalen Surveillance-Systeme nicht sensitiv genug, um frühzeitig eine Häufung von Fällen zu registrieren. Die Konsequenz ist, dass die bestehenden Surveillance-Systeme die akuten Ausbrüche und endemische Fälle extrem unterschätzen. Selbst in Schweden, mit einem seit den 80iger Jahren entwickelten Meldesystem für trinkwasserbürtige Erkrankungen, welches zwei parallele, gesetzlich vorgeschriebene Meldewege vorschreibt (Labors, Gesundheitsbehörden), werden Ausbrüche häufig erst nach ein bis zwei Wochen aufgespürt (ANDERSSON & BOHAN, 2001). Die Entdeckung von wasserbürtigen Ausbrüchen ist häufig zufällig, da die erkrankten Personen oft keinen Arzt aufsuchen. Bei Symptomen einer akuten Gastroenteritis ist den Patienten und auch den Ärzten die Assoziation zwischen Durchfallerkrankung und fäkal kontaminiertem Trinkwasser nicht bewusst und in Folge dessen der Informationsverlust an der Basis enorm ist.

Zur besseren Kontrolle trinkwasserbürtiger GI müssen Optimierungsmaßnahmen daher schon an dieser Stelle einsetzen:

- Ärzte in Praxen sollten darüber informiert sein, dass infektiöse Durchfallerkrankungen über das Trinkwasser erworben werden können. Dabei sollte besonderes Gewicht auf wasserassoziierte Krankheitserreger mit Leitfunktion gelegt werden wie *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *E. coli* O157:H7, Legionellen (*L. pneumophila*) und Pseudomonaden (*P. aeruginosa*).
- Bei infektiöser Durchfallsymptomatik sollten Stuhlproben angeordnet werden.
- Eine Meldung an das Gesundheitsamt kann bereits vor dem labordiagnostischen Nachweis erfolgen, damit evtl. Häufungen rechtzeitig registriert werden.
- Der Arzt/die Ärztin muss die Patienten informieren und über Verhaltensweisen aufklären und

- evtl. durch Patienten identifizierte Kontaktpersonen ebenfalls untersuchen.

Die größten Probleme bei der Überwachung von trinkwasserbürtigen GI stellt die Zeitverzögerung in der Aufdeckung eines Ausbruchs dar. Daraus folgen verspätete Ausbruchsuntersuchungen die den mikrobiologischen und statistischen Nachweis aus



Stuhlproben oder aus Trinkwasser meistens nicht mehr ermöglichen.

Im Anschluss an den Milwaukee Cryptosporidiose-Ausbruch wurden acht verschiedene Datenquellen auf ihre Tauglichkeit für die Surveillance wasserbürtiger GI analysiert. Es wurde untersucht, ob während des Ausbruchs Peaks in den in verschiedenen Zusammenhängen gesammelten Daten abzulesen waren (PROCTOR et al., 1998). Die zur Verfügung stehenden Datenquellen

Abbildung 20: Risikoindikatoren der Surveillance

umfassten die Trübungsmessergebnisse am Auslass der Wasseraufbereitungsanlage, ein Logbuch über Konsumentenbeschwerden, Unterlagen über Schulabwesenheit, Daten über Durchfallerkrankungen in Altenheimen und in der Notfallaufnahme von Krankenhäusern, Labordaten, telephonische Befragung in Haushalten und Verkaufsunterlagen von Anti-Durchfallmedikamenten in Apotheken (PROCTOR et al., 1998).

Die Daten aus den Altenheimen, Notfallambulanzen und Labors standen am schnellsten für die Ausbruchsuntersuchung zur Verfügung. Als permanente Datenbasis haben sie den Vorteil, wöchentlich und bei Bedarf abrufbar zu sein. Die Angaben über Schulabwesenheiten erreichten die Epidemiologen z. T. erst einen Monat nach dem Ausbruch. Die Datengrundlage der Konsumentenbeschwerden war relativ schwach, da nur wenige Konsumenten sich tatsächlich beschwerten. Die telefonische Befragung war am teuersten und langwierigsten durchzuführen, jedoch konnten hier alle Altersgruppen beobachtet werden. Die Daten von den Schulen und Altenheimen lieferten altersspezifische Angaben. Über den Verkauf von Durchfallmedikamenten, die eine Apotheke kurz nach dem Ausbruch zur Verfügung stellte, konnte ein Zusammenhang mit der epidemiologischen Kurve der Cryptosporidiose festgestellt werden. Als permanentes Surveillance-System kann sie jedoch nur begrenzt eingesetzt werden, da die meisten Apotheken keine EDV-gestützten Verkaufszahlen liefern und nur monatliche Ergebnisse zur Verfügung stellen (PROCTOR et al., 1998).

Eine zuverlässige Surveillance sollte verschiedene Datenquellen zur Information heranziehen. Diese können regional verschieden sein und sollten bereits in der proaktiven Phase eines Störfallmanagements evaluiert werden (s. Kapitel 4).

Aber selbst wenn ein Ausbruch relativ zeitnah erkannt wurde, ist es schwierig einen Zusammenhang mit Trinkwasser nachzuweisen. Die Durchführung einer epidemiologischen Studie erfordert Zeit und Anstrengungen, so dass nach der Vorbereitungsphase retrospektiv Daten erhoben werden müssen. Dies kann zu Informations-Bias führen. Wenn das Studiendesign in großer Hast vorbereitet wurde, können Fehler auftreten, die keine schlüssigen Ergebnisse zulassen (CRAUN et al., 2001). Außerdem sind Wasserproben vom Zeitpunkt der Exposition selten verfügbar. Zusätzlich sind einige Krankheitserreger labordiagnostisch nicht leicht nachzuweisen (TILLET et al., 1998).

Aus diesem Grunde wurden Klassifikationssysteme entwickelt, um den Nachweis eines Zusammenhangs zwischen akuten GI und Trinkwasser zu bewerten. Die Klassifikationssysteme wichten die epidemiologischen Befunde stärker als die Ergebnisse aus der Trinkwasserüberwachung oder technischen Daten. Die amerikanische Klassifikation umfasst vier Kategorien, wobei Kategorie I einen statistischen Zusammenhang durch eine epidemiologische Untersuchung sowie zufriedenstellende Daten aus den Trinkwasserversorgungsunternehmen beinhaltet. Kategorie II beinhaltet zufriedenstellende epidemiologische Daten, jedoch keine adäquaten Daten aus der Trinkwasserüberwachung. Begrenzt aussagekräftige epidemiologische Daten aber zufriedenstellende Ergebnisse aus der Trinkwasserversorgung werden als Kategorie III eingestuft. Bei Kategorie IV sind beide Datenquellen nicht zufrieden stellend (CRAUN et al., 2001).

Ein weiteres Kategorisierungsmodell wurde durch das Communicable Disease Surveillance Centre (CDSC) für England und Wales entwickelt. Das CDSC erhält Informationen aus verschiedenen Quellen über Cluster von Krankheitsfällen. In manchen Fällen wächst der Verdacht der Übertragung von Infektionskrankheiten durch Trink- oder Badewasser. Zur Abschätzung der Situation werden epidemiologische und mikrobiologische Informationen und Daten zur Trinkwasserqualität erhoben. Die Ausbrüche werden in drei Klassen eingestuft: „Strongly associated“, „probably associated“ und „possibly associated“ (STANWELL-SMITH et al., 2002). Als Managementstrategie unterstützen die Klassifikationsmodelle die Bewertung der trinkwasserepidemiologischen Situation in einer Bevölkerung.

Die Anforderungen an eine Surveillance für trinkwasserbedingte gastrointestinale Infektionen unter Nutzung von Geographischen Informationssystemen wurde bereits in Kapitel 4 ausführlich behandelt. Deshalb soll an dieser Stelle im Besonderen auf das Störfallmanagement und die Risikokommunikation eingegangen werden.

Als Störfälle werden Ereignisse verstanden, „durch die eine nachhaltige Veränderung der Trinkwasserqualität mit einer möglichen gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkung für die Bevölkerung hervorgerufen wird.“(LACOMBE, 2001, 405).

Störfälle in der Trinkwasserversorgung bedeuten in der Regel für alle Beteiligten erheblichen Stress. Es müssen kurzfristig Entscheidungen über die Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung und daraus resultierenden Maßnahmen getroffen werden. Bei Mangel notwendiger Organisationsstrukturen kann es im Ernstfall zu Fehlentscheidungen und Fehlinformationen kommen (EXNER & KISTEMANN, unveröffentlicht).

Für ein sicheres Management von Störfällen in der Trinkwasserversorgung ist deshalb die Etablierung von Handlungsstrukturen vor dem Störfall notwendig (LACOMBE, 2001). In einer als proaktiv zu bezeichnenden Phase sollten Managementpläne in Zusammenarbeit der Wasserversorgungsunternehmen und Gesundheitsbehörden

ausgearbeitet werden, die im Falle eines Ausbruchs unverzüglich (reaktiv) umgesetzt werden können (IAMFES, 1996; LACOMBE, 2001). Für das gesamte STI müssen die Verantwortlichkeiten und Meldewege im Vorfeld klar geregelt sein. Empfehlenswert ist der Aufbau eines ständigen Teams aus Experten der verschiedenen Einrichtungen, die auch am Wochenende einsatzbereit sind (WHO, 1996). Zum Team sollten Vertreter aus den WVU, Wasserbehörden, Hygiene-Instituten, Gesundheitsbehörden, Umweltbehörden ggf. auch Polizei und Feuerwehr einbezogen werden (EXNER & KISTEMANN, unveröffentlicht; LACOMBE, 2001).

In Abhängigkeit der charakteristischen Gegebenheiten in einem Versorgungsgebiet müssen so genannte Auslöseereignisse (incident-trigger) festgelegt werden. Als Auslöseereignisse können der Anstieg von Durchfallerkrankungen in Altenheimen, Krankenhäusern oder Privathaushalten sowie ungewöhnlich hohe Konzentrationen der Indikatorparameter im Roh- und Trinkwasser bezeichnet werden. Für den sicheren Ablauf der Handlungsstrategien im Ernstfall muss auch die Fortbildung der Beteiligten, nicht nur im Experten-Team, sondern auch der MitarbeiterInnen in den WVU und Behörden gewährleistet sein (HUNTER et al., 2002).

Bei Auftreten eines Störfalls setzt die reaktive Phase des Managementplans ein. Es muss schnell eine Abschätzung der gesundheitlichen Gefährdung getroffen und Maßnahmen zur weiteren Verhütung von Erkrankungen eingeleitet werden. In diesem Zusammenhang können die o. g. Klassifikationsmodelle angewendet werden. Die Wasserversorgung muss evtl. umgestellt werden oder/und es muss ein Abkochgebot an die Bevölkerung ergehen. Außerdem müssen besonders die Risikogruppen berücksichtigt und benachrichtigt werden.

Die Kommunikation in Notfallsituationen spielt eine große Rolle für die sichere Aufklärung der Bevölkerung und für die Entscheidungsfindung von Verantwortlichen. Deshalb müssen die Kommunikationswege im Vorfeld festgelegt werden. Wichtige Adressaten sind Entscheidungsträger in der Politik, lebensmittelverarbeitende Betriebe, Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Kindergärten u. a. (LACOMBE, 2001). Die Kommunikation zur Presse und anderen Medien muss gut vorbereitet werden. Damit einheitliche Informationen überbracht werden, empfiehlt es sich einen Sprecher zu bestimmen. Der Inhalt der Mitteilungen sollte den Sachverhalt klar darstellen, eine Beurteilung des Gesundheitsrisikos beinhalten und die vorgesehenen Maßnahmen erklären. Nur so kann eine Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft in der Bevölkerung erreicht werden (EXNER & KISTEMANN, unveröffentlicht; LANG et al., 2001).

Im Verlauf des Ausbruchs sollte untersucht werden, ob die getroffenen Maßnahmen erfolgreich waren. Dies kann anhand von Wasseruntersuchungen (keine Grenzwertüberschreitung) und durch aktive Fallfindungen (keine weiteren Fälle) festgestellt werden. Das Abkochgebot kann evtl. aufgehoben werden (LACOMBE, 2001).

Nach Normalisierung der Situation sollte das Ereignis analysiert und evaluiert werden. Erfahrungen und Erkenntnisse, die im Verlauf eines Ausbruchs gemacht werden, sollten als „lessons learned“ in den Managementplan übernommen werden (LACOMBE, 2001). Die folgende Abbildung (Abbildung 21) beschreibt die wichtigsten Anforderungen an einen Störfallmanagementplan.

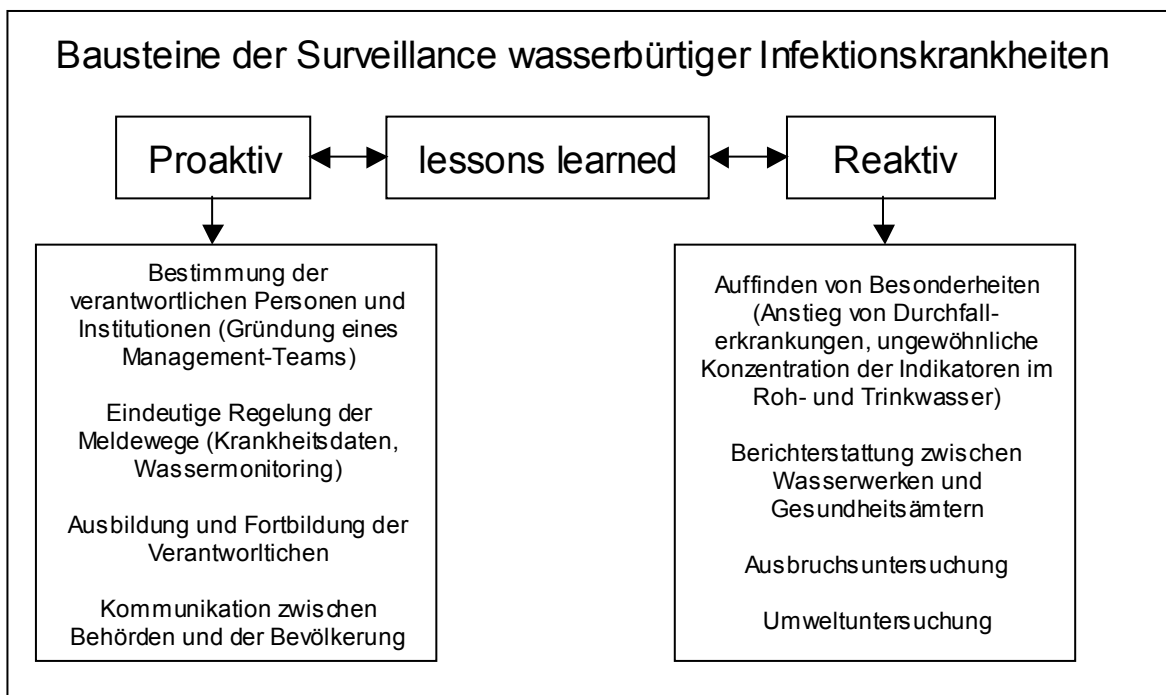


Abbildung 21: Die wichtigsten Bausteine des Störfallmanagementplans

Das bisher in Kapitel 4 vorgestellte GIS-Konzept wurde in erster Linie zur Bewertung der endemischen Situation in einem Gebiet entwickelt. Mit zunehmender Ausnutzung des GIS-Potenzials und durch die Entwicklung von spezifischen Applikationen stellt das GIS-STI-Konzept eine optimale Grundlage für das Daten- und Informationsmanagement in der Störfallplanung dar. Ansätze zur Entwicklung von Frühwarnsystemen trink- und badewasserbedingter Erkrankungen bestehen bereits (BLACK & FAIRLEY, 2002).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Prävention und Kontrolle trinkwasserbürtiger Infektionen sowohl Risikofaktoren aus der Trinkwasserversorgungsstruktur als auch Defizite der Infektionssurveillance zu berücksichtigen sind, die durch die verschiedenen Strategien des Risikomanagements kontrolliert werden können. Ziel ist die Sicherstellung von sauberem Trinkwasser unter den Prinzipien der Vorsorge und Nachhaltigkeit.

6.8 Globale Bedeutung der trinkwasserbürtigen Gesundheitsrisiken

Abschließend soll nun ein kurzer Blick auf die weltweite Situation der trinkwasserübertragbaren Erkrankungen geworfen werden.

Am Beginn des 21. Jahrhunderts sind nach Angaben der WHO 1,1 Milliarden Menschen ohne Zugang zu sauberem Wasser und 2,4 Milliarden Menschen ohne ausreichende sanitäre Anlagen. Überwiegend sind Menschen in Asien und Afrika betroffen (WHO, 2000). Etwa die Hälfte der Frauen, Männer und Kinder in den ärmsten Ländern leidet an mindestens einer der 6 häufigsten wasserbedingten Krankheiten: Durchfallerkrankungen, Ascariasis, Dracunculiasis, Schistosomiasis, Trachoma und die Hakenwurmkrankheit.

Trinkwasserbürtige Durchfallerkrankungen verursachen 2,2 Millionen der 3,4 Millionen wasser-assoziierten Krankheiten. Diarrhöen sind bei Kindern weltweit gesehen die häufigste Todesursache und könnten zum größten Teil durch sauberes Trinkwasser verhindert werden. Nach der mittleren Projektion der Vereinten Nationen wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2025 von z. Z. knapp 6,2 auf rund 8 Milliarden Menschen anwachsen. Dieses Wachstum findet vor allem in Entwicklungsländern statt, die bereits unter chronischem oder wiederkehrendem Wassermangel leiden (WHO, 2000).

An anderen Orten ist zwar Wasser vorhanden, jedoch sind die Gewässer schwerwiegend durch Abfälle, darunter Schwermetalle und Abwässer, belastet. Der in vielen Regionen langjährige, weit verbreitete Einsatz von Nitraten und Pestiziden hat zu einer so starken Verunreinigung von Oberflächengewässern und Grundwasser geführt, dass diese heute für die Trinkwasserversorgung ungeeignet sind. Schlechte Ressourcenbewirtschaftung im Zusammenhang mit Bewässerungsprojekten, Industrialisierung und zunehmendem Fremdenverkehr tragen ebenfalls zur Wasserverknappung bei (WHO, 1999b).

Die Abwasserentsorgung steht im engem Kontakt zur der Qualität des Trinkwassers. Ungeklärte Siedlungsabwässer verursachen bei Einleitung in Oberflächengewässer eine starke fäkale Verunreinigung. Selbst in einigen südlichen EU-Staaten sind teilweise nur 50% der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation und an Abwasserbehandlungsanlagen angeschlossen (EXNER, 2000).

Vor dem Hintergrund der rapide wachsenden Weltbevölkerung wird sich ohne verstärkte Investitionen in den Bau von Wasserver- und entsorgungsanlagen die Situation eher noch verschärfen. Insbesondere in den Megastädten wird die Wasserverschmutzung und -verknappung zukünftig große sozioökonomische und gesundheitliche Probleme bereiten (WHO, 2000).

Angesichts dieser Zahlen stellt sich die Frage, wie dieser Situation begegnet werden kann. Nicht nur große finanzielle Investitionen sind notwendig, um die Trinkwasserversorgung zu verbessern. Es müssen länderspezifische Barrieren beseitigt werden, die durch fehlenden politische Willen, geringes Prestige der Maßnahmen, fehlende infrastrukturelle und informelle Rahmenbedingungen und geringe Akzeptanz durch die Bevölkerung entstehen.

Die Wasserver- und entsorgung muss als interaktiver Prozess gesehen werden. Grundlegend ist die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser und sanitären Anlagen (Waschgelegenheit und Toiletten). Um den fäkal-oralen Übertragungsweg von Krankheitserregern zu unterbrechen, muss Wasser für die persönliche und häusliche Hygiene vorhanden sein. Mindestens 20 bis 40 Liter Wasser sollten pro Person und Tag in akzeptabler Entfernung (nicht mehr als 1 km) vom Haushalt zur Verfügung stehen (WHO, 2000). Die Ausscheidungen der Menschen sollten so entsorgt werden, dass sie nicht mit dem Trinkwasser, den Lebensmitteln oder in direkten Kontakt mit der Bevölkerung kommen. Allein das Händewaschen nach dem Toilettengang würde die Infektionsrate beträchtlich senken.

Ein weiterer Baustein zur Verbesserung der Gesundheit ist der Wissenstransfer zur Errichtung und Unterhaltung von Wasserver- und entsorgungseinrichtungen. Die Bevölkerung muss angeleitet werden, die Einrichtungen zu benutzen und das Hygieneverhalten zu verbessern. Langfristig kann dies nur über die Unterstützung durch den Staat und die Kommunen umgesetzt werden. Es müssen politische

Rahmenbedingungen geschaffen werden, um vor allem in den ländlichen Gebieten Verbesserungen zu erreichen.

Ein steigender Standard in der Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung hat einen direkten Effekt auf den Gesundheitszustand der Menschen. Es wird geschätzt, dass durch verbesserte hygienische Bedingungen weltweit 20% bis 40% der Morbidität und Mortalität der wasser-assoziierten Erkrankungen verhindert werden könnten (WHO, 2000).

7 Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden gesundheitliche Aspekte der Trinkwasserversorgung am Beispiel des Rheinisch-Bergischen Kreis untersucht. Anlass der Studie war die Frage, ob vor dem Hintergrund der weltweit zunehmenden Registrierung trinkwasserbedingter Erkrankungen auch in Deutschland trinkwasserbürtige Erkrankungen auftreten können. Als Indikatorerkrankung wurden gastrointestinale Infektionen (GI) herangezogen.

Die am Beginn der Studie angenommene These, dass in Deutschland weniger Leitungswasser getrunken wird als in anderen Ländern, und dass in Folge dessen das Infektionsrisiko geringer ist, konnte nicht bestätigt werden. Die empirische Studie zum Trinkwasserkonsumverhalten der Bevölkerung des Rheinisch-Bergischen Kreises (Kapitel 3) zeigte, dass der Trinkwasserkonsum mit der Verbreitung von Wassersprudlern seit den 1995er Jahren immens gestiegen ist. Besonders in Familien mit Kindern werden Wassersprudler eingesetzt, so dass Kinder als eine wachsende Risikogruppe identifiziert werden konnte.

Das individuelle Infektionsrisiko ließ sich aufgrund der vielen epidemiologischen und ökologischen Faktoren nur schwer bestimmen. Jedoch konnte das Infektionsrisiko einiger relevanter trinkwasserübertragbarer gastrointestinale Krankheitserreger durch zahlreiche publizierte QMRA-Studien charakterisiert werden. Alle in diesem Zusammenhang beschriebenen Krankheitserreger sind in Deutschland meldepflichtig, werden jedoch vom Öffentlichen Gesundheitswesen hauptsächlich als lebensmittelbedingt angesehen.

Zu Beginn der Arbeit stellte sich die Frage, ob die derzeitige Infektionssurveillance in Deutschland sensitiv genug ist, um trinkwasserbürtige GI, da über einen Zeitraum von 20 Jahren keine Fälle gemeldet wurden. Aus der vorhandenen Datenlage zu gastrointestinalen Infektionen sowie aufgrund fehlender gesetzlicher Regelungen zur Erfassung trinkwasserbürtiger GI muss davon ausgegangen werden, dass die Surveillance unzureichend ist. Die Aufdeckung eines trinkwasserbedingten Ausbruchs bleibt eher zufällig. Zukünftig kann evtl. das neue IfSG mit der Aufnahme der als wasserübertragbaren Parasiten *Cryptosporidium* und *Giardien* in die Meldepflicht eine bessere Datengrundlage zur Einschätzung der trinkwasserepidemiologischen Situation in der Bevölkerung beitragen.

Zur Verbesserung der Erfassung wurde in der vorliegenden Studie ein Vorschlag zur effizienten Überwachung wasserbedingter Erkrankungen ausgearbeitet. Zur Konzeption einer GIS-gestützten Surveillance (GIS-STI) wurden Daten zur Trinkwasserversorgungsstruktur und epidemiologischen Daten im Rheinisch-Bergischen Kreis erhoben. Die retrospektiv erhobenen Datensätze konnten durch das UGB, das LUA, die AOK Rhein-Berg, das Labor Dr. Lembke & Co und eigenen Erhebungen gewonnen werden. Die verschiedenen Datenbasen sollten als Komponenten eines Geographischen Informationssystems in einer relationalen Datenbank gespeichert, verwaltet und analysiert sowie mit Objektdaten verbunden werden. Daher wurden die Daten unterschiedlicher Herkunft auf ihre Tauglichkeit für die Integration in ein GIS untersucht und mit ausgewählten GIS-Werkzeugen ausgewertet.

Es zeigte sich, dass die Zusammenführung wasserversorgungsrelevanter Daten aus TEIS und HYGRIS mit Daten zur Enteritis-Inzidenz aus der amtlichen Meldestatistik in

einem GIS eine sehr geeignete instrumentelle Basis zur Surveillance trinkwasserbürtiger GI darstellt.

Im dritten Teil der Arbeit sollte untersucht werden, ob es mit üblichen statistischen Methoden ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von GI und der Trinkwasserherkunft nachgewiesen werden kann. Dazu wurde mit uni- und multivariaten Korrelations- bzw. Regressionsmodellen die räumliche Verbreitung der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ in Relation zu den Trinkwasserversorgungsstrukturen analysiert. Zur statistischen Absicherung wurden sozioökonomische und demographische Parameter in die Analyse mit einbezogen.

Mit verschiedenen Methoden des Disease Mapping konnte statistisch nachgewiesen werden, dass tatsächlich räumliche Heterogenität bezüglich der Verbreitung der altersstandardisierten Enteritis-Inzidenz besteht. Diese Erkenntnis erlaubte die Durchführung der Ökologischen Studie.

Bei Anwendung der einfachen als auch der partiellen Korrelationsanalyse ergab sich, dass die Inzidenzen in vornehmlich oberflächenwasserversorgten Gemeinde- bzw. Stadtteilen unterdurchschnittlich war. Mit anderen Worten, in grundwasserversorgten Gebieten traten höhere Inzidenzraten auf. Dieses Ergebnis wurde auch durch die schrittweise multiple Regressionsanalyse bestätigt.

Das Resultat war allerdings insofern überraschend, dass Oberflächenwasser allgemein als gefährdeter gegenüber fäkalen Verunreinigungen gilt als Grundwasser. Bei Betrachtung der Trinkwasserversorgungsstrukturen zeigte sich jedoch, dass zwischen den Wasserwerken beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Größe und Aufbereitungsmethoden besteht. Zwei der Grundwasserwerke sind nach der Zahl der Mitarbeiter und Abgabemenge sehr viel kleiner als die Anlagen zur Aufbereitung von Talsperrenwasser. Auch wird nur in einem der insgesamt drei Grundwasserwerke das Trinkwasser mit Chlor desinfiziert. Es kann daher angenommen werden, dass die großen Trinkwasseraufbereitungsanlagen bessere finanzielle Möglichkeiten der Ausstattung und Aufrechterhaltung der Funktionen bereitstellen und daher die Trinkwasserqualität permanenter auf hohem Niveau halten können.

Fazit der Studie ist, dass auch in Deutschland, wie in anderen Ländern mit ähnlich hohen Standards in der Trinkwasserversorgung, jederzeit mit trinkwasserbürtigen GI gerechnet werden muss. Es gibt keine vollständig sichere Trinkwasserversorgung. Störfälle im Einzugsgebiet und während der Trinkwasseraufbereitung sowie menschliches Versagen können immer wieder auftreten und nur durch geeignete Managementstrategien kontrolliert werden.

Die Feststellung, dass die räumliche Verbreitung von GI offensichtlich mit Parametern assoziiert ist, die die Trinkwasserversorgungsstruktur betreffen, kann dahingehend interpretiert werden, dass ein Teil der jährlich in Deutschland gemeldeten GI mit großer Wahrscheinlichkeit auf verunreinigtes Trinkwasser zurückgeführt werden kann.

Aus dieser Erkenntnis heraus leiten sich interessante Aspekte für zukünftige wissenschaftliche Arbeiten ab. Da die Sicherstellung „sauberen“ Trinkwassers auch im 21. Jahrhundert eine Herausforderung für alle Bereiche der Wasserversorgung und des Öffentlichen Gesundheitswesens bleibt, wird die Entwicklung GIS-gestützter Frühwarnsysteme eine zentrale Bedeutung für das Risikomanagement und die Risikokommunikation bekommen.

8 Literaturliste

- AHLBOHM, A. & NORELL, S. (1991): Einführung in die moderne Epidemiologie. München, MMV Medizin.
- ANDERSSON, Y. (1991): A waterborne disease outbreak. *Water Science Technology*, 24:13-15.
- ANDERSSON, Y. & BOHAN, P. (2001): Disease surveillance and waterborne outbreaks. In: *Water quality: guidelines, standards and health* (Hrsg.: L. Fewtrell & J. Bartram). London, IWA Publishing, 115-133.
- ANDERSSON, Y., DE YONG, B. & STUDAHL, A. (1997): Waterborne *Campylobacter* in Sweden: The cost of an outbreak. *Water Science Technology*, 35:11-14.
- ARAL, M. M. & MASLIA, M. L. (1996): Evaluation of human exposure to contaminated water supplies using GIS and modelling. In: *Assessing and managing health risks from drinking water contaminants: Approaches and applications* (Proceedings of the Rome Symposium, September 1994) (Hrsg.: K. Kovar & H. P. Nachtnebel). Oxfordshire, IAHS Publ., 243-253.
- ASHBOLT, N. J., ROSER, D., LEEMING, R., STEVENS, M., LAVER, P., MAGYAR, C., WADE, A., GROOBY, W. & STEFFENSEN, D. (2002). Dry weather quality of protected versus developed surface water catchments. *Third world water congress (IWA)*. Melbourne, 2002, 1-9.
- ATKINSON, P. J. & UNWIN, D. J. (1998): The use of density estimation techniques in mapping the distribution of Hepatitis A. In: *GEOMED '97, Proceedings of the workshop on geomedical systems*, Rostock, Germany, September 1997 (Hrsg.: L. Gierl, A. D. Cliff, A.-J. Valleron, P. Farrington & M. Bull). Leipzig, Teubner, 70-82.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & NIPPER, J. (1992): *Statistische Methoden in der Geographie 2: Multivariate Statistik*. Stuttgart, Teubner Studienbücher.
- BALES, S. & BAUMANN, H. G. (2001): *Infektionsschutzgesetz: Kommentar und Vorschriftensammlung*. Stuttgart, Kohlhammer.
- BALLESTER, F. & SUNYER, J. (2000): Drinking water and gastrointestinal disease: need of better understanding and an improvement in public health surveillance. *J Epidemiol Community Health*, 54:3-5.
- BARRETT, F. A. (1993): A medical geographical anniversary. *Soc Sci Med*, 37:701-710.
- BARRETT, F. A. (2000): *Disease & geography: the history of an idea*. Toronto, Ontario, Geography Department, York University.
- BARTELME, N. (1995): *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen*. Berlin, Springer.
- BARTRAM, J. & HUEB, J. (2000): 'Safe' drinking water worldwide. In: *Trinkwasserhygiene ein weltweites Problem* (Hrsg.: A. Grohmann). Berlin, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, 24-38.
- BARWICK, R. S., LEVY, D. A., CRAUN, G. F., BEACH, M. J. & CALDERON, R. L. (2000): Surveillance for waterborne-disease outbreaks - United States, 1997-1998. *Mor Mortal Wkly Rep CDC Surveill Summ*, 49:1-21.
- BEAUDEAU, P., PAYMENT, P., BOURDERONT, D., MANSOTTE, F., BOUDHABAY, O., LAUBIÉ, B. & VERDIÈRE, J. (1999): A time series study of anti-diarrheal drug sales and tap-water quality. *International J Environ Health Research*, 9:293-311.
- BECK, E. G. & SCHMIDT, P. (1994): *Hygiene und Umweltmedizin*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag.

- BECK, L. R., RODRIGUEZ, M. H., DISTER, S. W., RODRIGUEZ, A. D., REJMANKOVA, E., ULLOA, A., MEZA, R. A., ROBERTS, D. R., PARIS, J. F., SPANNER, M. A. & ET AL. (1994): Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg*, 51:271-280.
- BECKER, N. & WAHRENDORF, J. (1998): Krebsatlas der Bundesrepublik Deutschland 1981-1990. Heidelberg, Springer.
- BEHR, F.-J. (1998): Strategisches GIS-Management - Grundlagen und Schritte zur Systemeinführung. Heidelberg, Wichmann.
- BERAL, V. (1974): Cancer of the cervix: a sexually transmitted infection? *Lancet*, 1:1037-1040.
- BERKELMAN, R. L. (1994): Emerging infectious diseases in the United States, 1993. *J Infect Dis*, 170:272-277.
- BGVV. (1998): Fragen und Antworten zum Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)-Konzept. Eine Information des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV).
- BGW. (1996): Entwicklung der öffentlichen Wasserversorgung 1990-1995. Bonn, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- BIGGERI, A., DIVINO, F., FRIGESSI, A., LAWSON, A. B., BÖHNING, D., LESAFFRE, E. & VIEL, J. F. (1999): Introduction to spatial models in ecological analysis. In: Disease mapping and risk assessment for Public Health (Hrsg.: A. Lawson, A. Biggeri, D. Böhning, E. Lesaffre, J. F. Viel & R. Bertolini). Chichester, John Wiley&Sons, 181-192.
- BILL, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme: Hardware, Software und Daten. Heidelberg, Wichmann.
- BITHELL, J. F. (1990): An application of density estimation to geographical epidemiology. *Stat Med*, 9:691-701.
- BLACK, J. & FAIRLEY, C. K. (2002): Early detection of water-related disease outbreaks. In: Drinking water and infectious disease: establishing the links (Hrsg.: P. R. Hunter, M. Waite & E. Ronchi). London, CRC Press; IWA Publishing, 67-78.
- BLASER, M. J. (1995): Campylobacter and related species. In: Principles and practice of infectious diseases (Hrsg.: G. L. Mandell, J. E. Bennett & R. Dolin). New York, Livingstone, 1948-1954.
- BLOCK, J. C. & SCHWARTZBROD, L. (1989): Viruses in water systems. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft.
- BOTZENHART, K. & HAHN, T. (1989): Vermehrung von Krankheitserregern im Wasserinstallationssystem. *gwf Wasser Abwasser*, 130:432-439.
- BOWIE, W. R., KING, A. S., WERKER, D. H., ISAAC-RENTON, J. L., BELL, A., ENG, S. B. & MARION, S. A. (1997): Outbreak of toxoplasmosis associated with municipal drinking water. The BC Toxoplasma Investigation Team [Kommentar]. *Lancet*, 350:173-177.
- BRACKEMANN, H. (2001): Strukturentwicklung in der Wasserwirtschaft. *gwf Wasser Abwasser*, 142:20-26.
- BRETAS, G. (1995): Geographical Information Systems for the study and control of Malaria. In: GIS for health the environment (Proceedings of an international workshop held in Colombo, Sri Lanka, 5 -10 September 1994) (Hrsg.: D. de Savigny & P. Wijeyaratne). Ottawa, International Development Research Center, 89-96.

- BRIECHLE, D. & BUCHNER, B. (1998): Geographisches Informationssystem - ein Instrument für die Wasserversorgung. *gwf Wasser Special*, 139:10-14.
- BRODY, H., RIP, M. R., VINTEN-JOHANSEN, P., PANETH, N. & RACHMAN, S. (2000): Map-making and myth-making in Broad Street: the London cholera epidemic, 1854. *Lancet*, 356:64-68.
- BUEHLER, J. W. (1998): Surveillance. In: Modern epidemiology (Hrsg.: K. J. Rothman & S. Greenland). Philadelphia, Lippincott-Raven, 435-458.
- BULLERMANN, M. (1992): Möglichkeiten und Grenzen der Wasserversorgung. Darmstadt.
- BUTLER, T. (1995): Yersinia species (including plague). In: Principles and practice of infectious diseases (Hrsg.: G. L. Mandell, J. E. Bennett & R. Dolin). New York, Livingstone, 2070-2078.
- BUZBY, J. C. & ROBERTS, T. (1997): Economic costs and trade impacts of microbial foodborne illness. *World Health Stat Q*, 50:57-66.
- CANNISTRA, J. R. (1999): Converting utility - data for a GIS. *JAWWA*, 91:55-64.
- CASEMORE, D. P. (1991): The epidemiology of human Cryptosporidiosis and the water route of infection. *Water Science Technology*, 24:157-164.
- CASTELL-EXNER, C. (2001): Das Multi-Barrieren-System: Basis für sicher und nachhaltige Trinkwasserversorgung. *Energie Wasser Praxis*, 52:24-29.
- CHIN, J. (2000): Control of communicable diseases - manual. Washington, American Public Health Association.
- CHRISTIAN, R. R. & PIPES, W. O. (1983): Frequency distribution of coliforms in water distribution systems. *Appl Environ Microbiol*, 45:603-609.
- CLAYTON, D. & KALDOR, J. (1987): Empirical bayes estimates of age-standardized relative risks for use in disease mapping. *Biometrics*, 43:671-681.
- CLIFF, A. D. & HAGGETT, P. (1988): Atlas of disease distributions: analytical approaches to epidemiological data. Cambridge.
- COLFORD, J. M., JR., REES, J. R., WADE, T. J., KHALAKDINA, A., HILTON, J. F., ERGAS, I. J., BURNS, S., BENKER, A., MA, C., BOWEN, C., MILLS, D. C., VUGIA, D. J., JURANEK, D. D. & LEVY, D. A. (2002): Participant blinding and gastrointestinal illness in a randomized, controlled trial of an in-home drinking water intervention. *Emerg Infect Dis*, 8:29-36.
- COTRUVO, J. A. & TREVANT, C. (2000): Sichere Trinkwasserversorgung in ländlichen Gebieten: ein Vergleich zwischen entwickelten und weniger entwickelten Ländern. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg*, 108:104-133.
- CRABTREE, K. D., GERBA, C. P., ROSE, J. B. & HAAS, C. N. (1997): Waterborne adenovirus: a risk assessment. *Water Science Technology*, 35:1-6.
- CRAUN, G. F., FROST, F. J., CALDERON, R. L., HILBORN, E. D., FOX, K. R., REASONER, D. J., POOLE, C. L., REXING, D. J., HUBBS, S. A. & DUFOUR, A. P. (2001): Improving waterborne disease outbreak investigations. *Int J Environ Health Res*, 11:229-243.
- CRONER, C. M., SPERLING, J. & BROOME, F. R. (1996): Geographic information systems (GIS): new perspectives in understanding human health and environmental relationships. *Stat Med*, 15:1961-1977.
- CUBITT, D. W. (1991): A review of the epidemiology and diagnosis of waterborne viral infections. *Water Science Technology*, 24:197-203.
- CUMMINS, S. & MILLIGAN, C. (2000): Taking up the challenge: new directions in the geographies of health and impairment. *Area*, 32:7-9.

- DAMRATH, H. & CORD-LANDWEHR, K. (1998): Wasserversorgung. Stuttgart, Teubner.
- DANGENDORF, F., FUCHS, C. & KISTEMANN, T. (2001): Bedeutungswandel der Infektionskrankheiten. In: Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland: Bevölkerung (Hrsg.: I. f. Länderkunde). Leipzig, Spektrum, 121-122.
- DANGENDORF, F., HERBST, S., REINTJES, R. & KISTEMANN, T. (2002): Spatial patterns of diarrhoeal illnesses with regard to water supply structures--a GIS analysis. *Int J Hyg Environ Health*, 205:183-191.
- DAVIS, L. J., ROBERTS, H. L., JURANEK, D. D., FRAMM, S. R. & SOAVE, R. (1998): A survey of risk factors for cryptosporidiosis in New York City: drinking water and other exposures. *Epidemiol Infect*, 121:357-367.
- DEERE, D., STEVENS, M., DAVISON, A., HELM, G. & DUFOUR, A. P. (2001): Management strategies. In: Water quality: guidelines, standards and health (Hrsg.: L. Fewtrell & J. Bartram). London, IWA Publishing.
- DEN BOER, J. W., YZERMAN, E. P., SCHELLEKENS, J., LETTINGA, K. D., BOSUIZEN, H. C., VAN STEENBERGEN, J. E., BOSMAN, A., VAN DEN HOF, S., VAN VLIET, H. A., PEETERS, M. F., VAN KETEL, R. J., SPEELMAN, P., KOOL, J. L. & CONYN-VAN SPAENDONCK, M. A. (2002): A large outbreak of legionnaires' disease at a flower show, the Netherlands, 1999. *Emerg Infect Dis*, 8:37-43.
- DOYLE, M. P. (1990): Pathogenic Escherichia coli, Yersinia enterocolitica, and Vibrio parahaemolyticus. *Lancet*, 336:1111-1115.
- DUNN, C. (1992): GIS and Epidemiology. London, Association for Geographic Information (AGI).
- DWI. (2001): Drinking Water Inspectorate (DWI): Annual Report 2001. www.dwi.gov.uk.
- ELENDER, F., BENTHAM, G. & LANGFORD, I. H. (1998): Tuberculosis mortality in England and Wales during 1982 - 1992: its association with poverty, ethnicity and AIDS. *Soc Sci Med*, 46:673-681.
- ELKANA, Y., GAL, N. & RISHPON, S. (1996): Study of the association between waterborne diseases and microbial water quality in Israel. *Public Health Rev*, 24:49-63.
- ENG, S. B., WERKER, D. H., KING, A. S., MARION, S. A., BELL, A., ISSAC-RENTON, J. L., IRWIN, G. S. & BOWIE, W. R. (1999): Computer-generated dot maps as an epidemiologic tool: investigating an outbreak of toxoplasmosis. *Emerg Infect Dis*, 5:815-819.
- ENGLISH, D. (1992): Geographical epidemiological and ecological studies. In: Geographical and environmental epidemiology - methods for small area studies (Hrsg.: P. Elliott, J. Cuzick, D. English & R. Stern). Oxford, Oxford University Press, 3-13.
- ERDOGAN, Y. (2000): Sauberes Trinkwasser - GIS-gestütztes Ressourcenmanagement bei einem Wasserversorger. *Geobit*, 8:30-32.
- EXNER, M. (1996): Risikobewertung und Risikovermeidung bei Infektionskrankheiten. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 199:188-226.
- EXNER, M. (1997): Grundlagen der Infektionssurveillance. *Gesundheitswesen*, 59:686-695.
- EXNER, M. (2000): Hygiene des Trinkwassers im 21. Jahrhundert - Was ist zu tun? In: Trinkwasserhygiene eine weltweites Problem (Hrsg.: A. Grohmann). Berlin, Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg, 125-132.

- EXNER, M. & GORNIK, V. (1991): Cryptosporidiosis--Charakterisierung einer neuen Infektion mit besonderer Berücksichtigung des Wassers als Infektionsquelle. *Offentl Gesundheitswes*, 53:309-310.
- EXNER, M., GORNIK, V. & KISTEMANN, T. (2001): Charakterisierung, Risikoeinschätzung und Prävention wasserassoziierter Parasitosen. *Bundesgesundheitsblatt*, 44:358-363.
- EXNER, M. & KISTEMANN, T. (2000): Medizinische Risikobewertung von Infektionskrankheiten. In: Irrationalität und Risiko (Hrsg.: R. Bergler, D. Haase & B. Schneider). Köln, Kölner Universitätsverlag.
- EXNER, M. & KISTEMANN, T. (2002): Zur Bedeutung der Wasserhygiene in der Trinkwasserversorgung. *gwf Wasser Abwasser*, 143:12-14.
- EXNER, M. & KISTEMANN, T. (unveröffentlicht): Strukturelle Voraussetzungen und Maßnahmen zur Kontrolle der Weiterverbreitung übertragbarer Krankheiten durch Wasser für den menschlichen Gebrauch - Maßnahmepläne und Störfallmanagement.
- EXNER, M. & TUSCHEWITZKI, G. J. (1994): Aktuelle hygienisch-mikrobiologische Aspekte der Trinkwasserhygiene. *Forum Städte-Hygiene*, 45:57-63.
- FAIRLEY, C. K., SINCLAIR, M. I. & RIZAK, S. (1999): Monitoring not the answer to cryptosporidium in water. *Lancet*, 354:967-969.
- FEUERPFEL, I., VOBACH, V. S. & SCHULZE, E. (1997): Campylobacter und Yersinia-Vorkommen im Rohwasser und Verhalten in der Trinkwasseraufbereitung. In: Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen und Viren im Trinkwasser. Bonn, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, 63-89.
- FLAHAULT, A., PARSONS, D. F., GARNERIN, P. & VALLERON, A. J. (1998): Information systems for the surveillance of communicable diseases. In: GEOMED ' 97, Proceedings of the workshop on geomedical systems, Rostock, Germany, September 1997 (Hrsg.: L. Gierl, A. D. Cliff, A.-J. Valleron, P. Farrington & M. Bull). Leipzig, Teubner, 157-165.
- FLAHAULT, A., TOUBIANA, L., VIBOUD, C., LENGLOS, D. & VALLERON, A. J. (2000): Electronic monitoring of diseases. In: Geography and medicine (Geomed'99, Proceedings of the second international workshop on geomedical systems, Paris, 22.-23. November 1999) (Hrsg.: A. Flahault, L. Toubiana & A. J. Valleron). Amsterdam, Elsevier, 81-91.
- FLEMMING, H.-C. (1998): Biofilme in Trinkwassersystemen - Teil I: Übersicht. *gwf Wasser Special*, 139:65-71.
- FORHAMMAR, M., BRUCE, A. & ERLANDSSON, B. (1986): Dricksvattenkonsumtion i olika aldrar. *Var Föda*, 38:86-91.
- FOSTER, J. A. & McDONALD, A. T. (2000): Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS). *Environmental Modelling & Software*, 15:225-234.
- FRICKE, W. (1987): Geographische Erklärungsansätze für die Geomedizinische Forschung. In: Räumliche Persistenz und Diffusion von Krankheiten (Hrsg.: W. Fricke & E. Hinz). Heidelberg, Geographisches Institut der Universität, 3-13.
- FROST, F. J., FEA, E., GILLI, G., BIORCI, F., MULLER, T. M., CRAUN, G. F. & CALDERON, R. L. (2000): Serological evidence of Cryptosporidium infections in southern Europe. *Eur J Epidemiol*, 16:385-390.

- FURTADO, C., ADAK, G. K., STUART, J. M., WALL, P. G., EVANS, H. S. & CASEMORE, D. P. (1998): Outbreaks of waterborne infectious intestinal disease in England and Wales, 1992-5. *Epidemiol Infect*, 121:109-119.
- GAIL, M. (1978): The analysis of heterogeneity for indirect standardized mortality ratios. *Journal Royal Statistical Society, Series A*, 141:224-234.
- GALE, P. (1996): Developments in microbiological risk assessment models for drinking water--a short review. *J Appl Bacteriol*, 81:403-410.
- GATRELL, A. C. & LÖYTÖNEN, M. (1998): GIS and health research: an introduction. In: GIS and health (Hrsg.: A. C. Gatrell & M. Löytönen). London, Taylor&Francis, 3-16.
- GERBA, C. P., ROSE, J. B. & HAAS, C. N. (1996a): Sensitive populations: who is at the greatest risk? *Int J Food Microbiol*, 30:113-123.
- GERBA, C. P., ROSE, J. B., HAAS, C. N. & CRABTREE, K. D. (1996b): Waterborne rotavirus: a risk assessment. *Water Research*, 30:2929-2940.
- GESLER, W. (1986): The uses of spatial analysis in medical geography: a review. *Soc Sci Med*, 23:963-973.
- GFK. (2001). *Wassersprudler: Modeerscheinung oder ernsthafte Bedrohung?* Nürnberg: GFK-Gruppe, 2001.
- GIBSON, C. J., HAAS, C. N. & ROSE, J. B. (1998): Risk assessment of waterborne protozoa: current status and future trends. *Parasitology*, 117:205-212.
- GIESECKE, J. (1994): *Modern infectious disease epidemiology*. London, Arnold.
- GLEESON, C. & GRAY, N. (1997): *The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment*. London, E&FN Spon.
- GOODCHILD, M. F. (2000): Communicating geographic information in a digital age. *Annals of the Association of American Geographers*, 90:344-355.
- GORNIK, V., BEHRINGER, K., KÖLB, B. & EXNER, M. (2000): First Giardiasis-outbreak associated with contaminated water supply in Germany. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz*, 44:351-357.
- GREINER, G., KUNDT, G. & GIERL, L. (2000): TeCoMed - Online consulting of acute health risk aspects of geographic information systems use. In: *Geography and medicine (Geomed'99, Proceedings of the second international workshop on geomedical systems, Paris, 22-23. November 1999)* (Hrsg.: A. Flahault, L. Toubiana & A. J. Valleron). Amsterdam, Elsevier.
- GUO, H. R., LIPSITZ, S. R., HU, H. & MONSON, R. R. (1998): Using ecological data to estimate a regression model for individual data: the association between arsenic in drinking water and incidence of skin cancer. *Environ Res*, 79:82-93.
- HAAS, C. N., CROCKETT, C. S., ROSE, J. B. & GERBA, C. P. (1996): Assessing the risk posed by oocysts in drinking water. *JAWWA*, 88:131-136.
- HAAS, C. N. & EISENBERG, J. (2001): Risk assessment. In: *Water Quality: guidelines, standards and health* (Hrsg.: L. Fewtrell & J. Bartram). London, IWA Publishing, 161-183.
- HAAS, C. N. & ROSE, J. B. (1995): Developing an action level for *Cryptosporidium*. *JAWWA*, 87:81-84.
- HAAS, C. N., ROSE, J. B. & GERBA, C. P. (1999): *Quantitative microbial risk assessment*. New York, Wiley&Sons.
- HAAS, C. N., ROSE, J. B., GERBA, C. P. & CROCKETT, C. S. (1997): What predictive food microbiology can learn from water microbiology. *Food-Technology*, 51:91-97.

- HADJICHRISTODOULOU, C., ACHILEAS, G., YIANIS, P. & YIANIS, T. (1998): Outbreak of giardiasis among English tourists in Crete [letter; comment]. *Lancet*, 351:65-66.
- HAGGETT, P. (1994): Geographical aspects of the emergence of infectious diseases. *Geografiska Annaler*, 76 B:91-103.
- HALLORAN, M. E. (1998): Concepts of infectious disease epidemiology. In: Modern epidemiology (Hrsg.: K. J. Rothman & S. Greenland). Philadelphia, Lippincott-Raven, 529-554.
- HAVELAAR, A. H. (1994): Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control*, 5:145-152.
- HEIN, A. & NEUMANN, F. (2001): Wasserwirtschaft als Zukunfts- und internationaler Wachstumsmarkt. *gwf Wasser Abwasser*, 142:279-286.
- HEINEMANN, L. & SINNECKER, H. (1994): Epidemiologische Arbeitsmethoden. Jena, Gustav Fischer.
- HERBST, S. (1999): GIS-gestützte Darstellung und Analyse der Trinkwasserversorgungsstruktur des Rheinisch-Bergischen Kreises als Grundlage für ein Microbiological Risk Assessment, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Diplomarbeit, unveröffentlicht.
- HERMES, K. & MÜLLER-MINY, H. (1974): Der Rheinisch-Bergische Kreis - Regierungsbezirk Köln. Bonn, Stollfuß.
- HESEKER, H. (2001): Untersuchungen zur ernährungsphysiologischen Bedeutung von Trinkwasser in Deutschland. Paderborn, Universität.
- HÖLLWARTH, M. (1992): Gewässergüte: Grundlage einer sicheren Zukunft. Darmstadt.
- HOORNSTRA, E. & NOTERMANS, S. (2001): Quantitative microbiological risk assessment. *Int J Food Microbiol*, 66:21-29.
- HOWE, G. M. (1963): National atlas of disease mortality in the United Kingdom. London.
- HSU, B. M., HUANG, C. & HSU, C. L. (2001): Analysis for Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in water samples from small water systems in Taiwan. *Parasitol Res*, 87:163-168.
- HÜHN, W. (1993): Der Stellenwert des Trinkwassers in der Ernährung des Menschen. Inaugural-Dissertation, Justus-Liebig Universität. Unpublished.
- HUNTER, P. R., ANDERSSON, Y., VON BONSDORF, C. H., CHALMERS, R. M., CIFUENTES, E., DEERE, D., ENDO, T., KADAR, M., KROGH, T., NEWPORT, L., PRESCOTT, A. & ROBERTSON, W. (2002): Surveillance and investigation of contamination incidents and outbreaks. In: Safer drinking water: improving the assessment of microbiological safety (Hrsg.: OECD), Organisation for Economic Co-operation and Development, 149-167.
- HUNTER, R. (1997): Waterborne disease: epidemiology and ecology. Chichester, Wiley&Sons.
- IAMFES. (1996): Procedures to investigate waterborne illness, International Association of Milk, Food and Environmental Sanitarians, Inc (IAMFES).
- IWW. (1996a). TEIS Trinkwasserdatenerfassungs- und Informationssystem. Mülheim an der Ruhr, 1996a.
- IWW. (1996b). TWDB - Trinkwasserdatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen. Duisburg: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserchemie und Wassertechnologie (IWW), 1996b, 1-4.
- JANSSEN, J. & LAATZ, W. (1997): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Berlin, Springer.

- JOHL, M., KERKMANN, M.-L., KRAMER, U. & R., W. (1991): Virological investigation of the river Elbe. *Water Science Technology*, 24:205-208.
- JOHN, J. & WINKELHAKE, O. (1997): Räumliche Gesundheitsberichterstattung und Gesundheitspolitik. *Geographische Rundschau*, 49:216-219.
- JURANEK, D. D., ADDISS, D. G., BARTLETT, M. E., ARROWOOD, M. J., COLLEY, D. G., KAPLAN, J. E., PERCIASEPE, R., ELDER, J. R., REGLI, S. E. & BERGER, P. S. (1995): Cryptosporidiosis and public health: workshop report. *JAWWA*, 87:69-80.
- JUSATZ, H. J. (1984): Grundlagen und Grundbegriffe der Geomedizin. In: Theorie und Praxis der der medizinischen Geographie und Geomedizin (Hrsg.: H. J. Jusatz & H. Wellmer). Wiesbaden, Franz Steiner, 11-24.
- JÜTTE, R. (1997): Seuchen im Spiegel der Geschichte. *Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Seuchen*, 3:6-13.
- KAIMER, H. & PUPHAL, T. (1993): Rohwasserüberwachung in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, Landesamt für Wasser und Abfall in Nordrhein-Westfalen.
- KARANIS, P. (2000): Wasser und Parasitosen. *Med Welt*, 12:46-51.
- KARANIS, P. & SEITZ, H. M. (1996): Vorkommen und Verbreitung von Giardia und Cryptosporidium im Roh- und Trinkwasser von Oberflächenwasserwerken. *gwf Wasser Abwasser*, 137:94-99.
- KISTEMANN, T., CLASSEN, T., KOCH, C., DANGENDORF, F., FISCHEDER, R., GEBEL, J., VACATA, V. & EXNER, M. (2002a): Microbial Load of Drinking Water Reservoir Tributaries during Extreme Rainfall and Runoff. *Appl Environ Microbiol*, 68:2188-2197.
- KISTEMANN, T., DANGENDORF, F., KOCH, C., FISCHEDER, R. & EXNER, M. (1998): Mikrobielle Belastung von Trinkwassertalsperrenzuläufen in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet. *gwf Wasser Abwasser (Special Talsperren)*, 139:17-21.
- KISTEMANN, T., HERBST, S., DANGENDORF, F. & EXNER, M. (2001): GIS-based analysis of drinking-water supply structures: a module for microbial risk assessment. *Int J Hyg Environ Health*, 203:301-310.
- KISTEMANN, T., MUNZINGER, A. & DANGENDORF, F. (2002b): Spatial patterns of tuberculosis incidence in Cologne (Germany). *Soc Sci Med*, 55:7-19.
- KITRON, U. & KAZMIERCZAK, J. J. (1997): Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am J Epidemiol*, 145:558-566.
- KITRON, U., PENER, H., COSTIN, C., ORSHAN, L., GREENBERG, Z. & SHALOM, U. (1994): Geographic information system in malaria surveillance: mosquito breeding and imported cases in Israel, 1992. *Am J Trop Med Hyg*, 50:550-556.
- KOOL, J. L., CARPENTER, J. C. & FIELDS, B. S. (1999): Effect of monochloramine disinfection of municipal drinking water on risk of nosocomial Legionnaires' disease. *Lancet*, 353:272-277.
- KRAMER, M. H., QUADE, G., HARTEMANN, P. & EXNER, M. (2001): Waterborne diseases in Europe - 1986-96. *Journal AWWA*:48-53.
- KREIENBROCK, L. & SCHACH, S. (2000): Epidemiologische Methoden. Heidelberg, Springer.
- KURTH, R. (1997): Infektionskrankheiten im Wandel. *Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Seuchen*, 3:22-27.
- LACOMBE, M. (2001): Das Störfall-Konzept des Landes Nordrhein-Westfalen. *Berichte aus dem IWW, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung*:405-413.

- LACOMBE, M. & FEHR, R. (1999): Development of a comprehensive drinking water surveillance system. In: Environmental Health Surveillance (Results of an international workshop, 11-12 March 1997 at the University of Bielefeld) (Hrsg.: R. Fehr, J. Berger & U. Ranft). Landsberg, ecomed, 135-146.
- LANG, S., FEWTRELL, L. & BARTRAM, J. (2001): Risk communication. In: Water quality: guidelines, standards and health (Hrsg.: L. Fewtrell & J. Bartram). London, IWA Publishing, 317-332.
- LANGFORD, I. H. (1994): Using empirical Bayes estimates in the geographical analysis of disease risk. *Area*, 26:142-149.
- LAURSEN, E., MYGIND, O., RASMUSSEN, B. & RONNE, T. (1994): Gastroenteritis: a waterborne outbreak affecting 1600 people in a small Danish town. *J Epidemiol Community Health*, 48:453-458.
- LAUTNER, G. & NEBEL, H. (1992): Wasser unter umweltrechtlichen Aspekten. Darmstadt.
- LAWSON, A. B. (2001): Statistical methods in spatial epidemiology. Chichester, Wiley.
- LECHEVALLIER, M. W. & NORTON, W. D. (1995): Giardia and Cryptosporidium in raw and finished water. *JAWWA*, 87:54-67.
- LECHEVALLIER, M. W., NORTON, W. D. & ATHERHOLT, T. B. (1997): Protozoa in open reservoirs. *JAWWA*, 89:84-96.
- LEIST, H.-J. & MAGOULAS, G. (2000): Bewertung der Nachhaltigkeit der Trinkwasserversorgung. *gwf Wasser Abwasser*, 141:146-141.
- LEVY, D. A., BENS, M. S., CRAUN, G. F., CALDERON, R. L. & HERWALDT, B. L. (1998): Surveillance for waterborne-disease outbreaks - United States, 1995-1996. *Mor Mortal Wkly Rep CDC Surveill Summ*, 47:1-34.
- LUND, V. (1996): Evaluation of E. coli as an indicator for the presence of campylobacter jejuni and Yersinia enterocolitica in chlorinated and untreated oligotrophic lake water. *Water Research*, 30:1528-1534.
- 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. & ET AL. (1994): A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *N Engl J Med*, 331:161-167.
- MANDELL, G. L., BENNETT, J. E. & DOLIN, R. (1995): Principles and practice of infectious diseases. New York, Churchill Livingstone.
- MARRE, R., TRAUTMANN, M., MERTENS, T. & VANEK, E. (2000): Klinische Mikrobiologie. München, Urban&Fischer.
- MARSHALL, R. J. (1991): A review of methods for the statistical analysis of spatial patterns of disease. *J Royal Statist Soc A*, 154:421-441.
- MAY, J. M. (1950): Medical geography: its methods and objectives. *The Geographical Review*: 9-41.
- MAY, J. M. (1954): Cultural aspects of tropical medicine. *J Tropical Medicine and Hygiene*: 422-429.
- MAYER, J. D. (1982): Relations between two traditions of medical geography: health systems planning and geographical epidemiology. *Progress in Human Geography*, 6:216-230.
- MAYER, J. D. (1983): The role of spatial analysis and geographic data in the detection of disease causation. *Soc Sci Med*, 17:1213-1221.
- MAYER, J. D. (2000): Geography, ecology and emerging infectious diseases. *Soc Sci Med*, 50:937-952.

- MAYER, J. D. & MEADE, M. S. (1994): A reformed Medical Geography reconsidered. *Professional Geographer*, 46:104-106.
- MCLEOD, K. S. (2000): Our sense of Snow: the myth of John Snow in medical geography. *Soc Sci Med*, 50:923-935.
- MEAD, P. S. & GRIFFIN, P. M. (1998): Escherichia coli O157:H7. *Lancet*, 352:1207-1212.
- MEADE, M. S. (1977): Medical geography as human ecology: the demension of population movement. *The Geographical Review*, 67:379-395.
- MEDEMA, G. J., PAYMENT, P., DUFOUR, A. P., ROBERTSON, W., WAITE, M., HUNTER, P. R., KIRBY, R. & ANDERSSON, Y. (2002): Safe drinking water - an ongoing challenge. In: Safer drinking water: improving the assessment of microbiological safety (Hrsg.: OECD), Organisation for Economic Co-operation and Development, 10-35.
- MEDEMA, G. J., TEUNIS, P. F., HAVELAAR, A. H. & HAAS, C. N. (1996): Assessment of the dose-response relationship of Campylobacter jejuni. *Int J Food Microbiol*, 30:101-111.
- MEDEMA, G. J., TEUNIS, P. F. M., GORNIK, V., HAVELAAR, A. H. & EXNER, M. (1995): Estimation of the Cryptosporidium infection risk via drinking water. In: Protozoan Parasites and Water (Hrsg.: W. B. Betts), Letchwork, 53-56.
- MEHLHORN, H. (2002): Wasserwirtschaft heute und morgen. *gwf Wasser Abwasser*, 143:8-11.
- MERTEN, K. (1994): Kann man Leitungswasser trinken? Die Trinkwassergüte in den Medien. *gwf Wasser Abwasser*, 135:621-628.
- MICHAELIS, P. (2002): Liberalisierung der deutschen Wasserversorgung? Eine kritische Bestandsaufnahme. *gwf Wasser Abwasser*, 143:399-405.
- MORAN, P. A. P. (1950): Notes on stochastic phenomena. *Biometrika*, 37:17-23.
- MORGAN, M. G., FLORIG, H. K., DEKAY, M. L. & FISCHBECK, P. (2000): Categorizing risks for risk ranking. *Risk Anal*, 20:49-58.
- MORGENSTERN, H. (1998): Ecological studies. In: Modern Epidemiology (Hrsg.: K. J. Rothman & S. Greenland). Philadelphia, Lippincott-Raven, 459-480.
- MORRIS, R. D. & LEVIN, R. (1995): Estimating the incidence of waterborne infectious disease related to drinking water in the United States. In: Assessing and managing health risks from drinking water contamination: Approaches and applications (Proceedings of the Rome Symposium, September 1994) (Hrsg.: E. Reichard & G. Zapponi). Oxfordshire, IAHS Publ., 75-88.
- MORRIS, S. E. & WAKEFIELD, J. C. (2000): Assessment of disease risk in relation to a pre-specified source. In: Spatial epidemiology: methods and applications (Hrsg.: P. Elliott, J. C. Wakefield, N. G. Best & D. J. Briggs). London, Oxford University Press.
- MOTT, K. E., NUTTALL, I., DESJEUX, P. & CATTAND, P. (1995): New geographical approaches to control of some parasitic zoonoses. *Bull World Health Organ*, 73:247-257.
- MÜLLER, O. (2000): Russland - Vormarsch der Seuchen. *Deutsches Ärzteblatt*, 97:2222-2224.
- MÜLLER-TRIMBUSCH, P. (1998): Einwandfreie Hausinstallation: Voraussetzung für die Sicherung der Trinkwasserqualität bis zum Zapfhahn. *gwf Wasser Special*, 139:27-31.
- NELSON, K. E., MASTERS, W. C. & GRAHAM, N. M. H. (2001): Infectious disease epidemiology: theory and practice. Maryland, Aspen Publisher.

- NERINGER, R., ANDERSSON, Y. & EITREM, R. (1987): A water-borne outbreak of giardiasis in Sweden. *Scand J Infect Dis*, 19:85-90.
- NICKE, H. (1981): Reliefgeneration im südlichen Bergischen Land zwischen Wupper und Sieg. *Decheniana*, 134:302-310.
- NICKE, H. (1997): Untereschbach und Immekeppel im mittleren Sülzta. Wiehl, Galunder.
- NUCKOLS, J. R., STALLONES, L., REIF, J. & CALDERON, R. (1995): Evaluation of the use of a geographic information system in drinking water epidemiology. In: Assessing and managing health risks from drinking water contamination: Approaches and applications (Proceedings of the Rome Symposium 1994) (Hrsg.: E. Z. Reichard, G.). Oxfordshire, IAHQ Publ., 111-121.
- NUTALL, I., RUMISHA, D. W., PILATWE, T. R. K., ALI, H. I., MOKGWEETSINYANA, S. S., SYLLA, A. H. & TALLA, I. (1995): GIS management tools for the tropical diseases: applications in Botswana, Senegal and Morocco. In: GIS for health and the environment (Proceedings of an international workshop held in Colombo, Sri Lanka, 5 -10 September 1994) (Hrsg.: D. Savigny & P. Wijeyaratne). Ottawa, International Development Research Center, 59-73.
- NWW. (1999): The use of geographical information systems (GIS) within NWW. *North West Water Water & Health*, 27:6-9.
- O'CONNOR, D. R. (2001). Report of the Walkerton inquiry: the events of May 2000 and related issues. Walkerton/Ontario, 2001, www.walkertoninquiry.com.
- ODEN, N., JACQUEZ, G. & GRIMSON, R. (1996): Realistic power simulations compare point- and area-based disease cluster tests. *Stat Med*, 15:783-806.
- OFFIT, P. A. & CLARK, H. F. (1995): Rotavirus. In: Principles and practice of infectious diseases (Hrsg.: G. L. Mandell, J. E. Bennett & R. Dolin). New York, Livingstone, 1448-1452.
- OLSEN, S. F., MARTUZZI, M. & ELLIOTT, P. (1996): Cluster analysis and disease mapping-- why, when, and how? A step by step guide. *Bmj*, 313:863-866.
- OPENSHAW, S. (1996): Geographical information systems and tropical diseases. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 90:337-339.
- PAYMENT, P. (1997): Epidemiology of endemic gastrointestinal and respiratory diseases: Incidence, fraction attributable to tap water and costs of society. *Water Science Technology*, 35:7-10.
- PAYMENT, P., BERTE, A. & FLEURY, C. (1997a): Sources of variation in isolation rate of Giardia lamblia cysts and their homogeneous distribution in river water entering a water treatment plant. *Can J Microbiol*, 43:687-689.
- PAYMENT, P., FRANCO, E. & FOUT, G. S. (1994): Incidence of Norwalk virus infections during a prospective epidemiological study of drinking water-related gastrointestinal illness. *Can J Microbiol*, 40:805-809.
- PAYMENT, P., FRANCO, E., RICHARDSON, L. & SIEMIATYCKI, J. (1991a): Gastrointestinal health effects associated with the consumption of drinking water produced by point-of-use domestic reverse-osmosis filtration units. *Appl Environ Microbiol*, 57:945-948.
- PAYMENT, P., FRANCO, E. & SIEMIATYCKI, J. (1993): Absence of relationship between health effects due to tap water consumption and drinking water quality parameters. *Water Science Technology*, 27:137-143.
- PAYMENT, P. & HUNTER, P. R. (2001): Endemic and epidemic infectious intestinal disease and its relationship to drinking water. In: Water quality: guidelines, standards and health (Hrsg.: L. Fewtrell & J. Bartram). London, IWA Publishing.

- PAYMENT, P., RICHARDSON, L., EDWARDES, M., FRANCO, E. & SIEMIATYCKI, J. (1991b): A prospective epidemiological study of drinking water related gastrointestinal illnesses. *Water Science Technology*, 24:27-28.
- PAYMENT, P., RICHARDSON, L., SIEMIATYCKI, J., DEWAR, R., EDWARDES, M. & FRANCO, E. (1991c): A randomized trial to evaluate the risk of gastrointestinal disease due to consumption of drinking water meeting current microbiological standards. *Am J Public Health*, 81:703-708.
- PAYMENT, P., SIEMIATYCKI, J., RICHARDSON, L., RENAUD, G., FRANCO, E. & PRÉVOST, M. (1997b): A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *International J Environ Health Research*, 7:5-31.
- PEBODY, R. G., RYAN, M. J. & WALL, P. G. (1997): Outbreaks of campylobacter infection: rare events for a common pathogen. *Commun Dis Rep CDR Rev*, 7:R33-37.
- PIRIOU, P., DUKAN, S., LEVI, Y. & JARRIGE, P. A. (1997): Prevention of bacterial growth in drinking water distribution systems. *Water Science Technology*, 35:283-287.
- PLEISCHL, S., ENGELHART, S., BAILLY, E. & EXNER, M. (2001): Klinische und rechtliche Aspekte der Prävention und Kontrolle von Legionella-Infektionen. *Umweltmed Forsch Prax*, 6:193-201.
- POINCARÉ, L. (1884): Prophylaxie et Géographie Médicale. Paris, L' Academie de Médecine.
- PROCTOR, M. E., BLAIR, K. A. & DAVIS, J. P. (1998): Surveillance data for waterborne illness detection: an assessment following a massive waterborne outbreak of *Cryptosporidium* infection. *Epidemiol Infect*, 120:43-54.
- QUIGLEY, C., GIBSON, J. J. & HUNTER, P. R. (2002): Local surveillance systems. In: Drinking water and infectious disease: establishing the links (Hrsg.: P. R. Hunter, M. Waite & E. Ronchi). London, CRC Press; IWA Publishing, 13-20.
- QUIGLEY, C. & HUNTER, P. R. (2002): A system approach to the investigation and control of waterborne outbreaks. In: Drinking water and infectious disease: establishing the links (Hrsg.: P. R. Hunter, M. Waite & E. Ronchi). London, CRC Press; IWA Publishing, 53-66.
- REGLI, S., ROSE, J. B., HAAS, C. N. & GERBA, C. P. (1991): Modeling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water. *JAWWA*, 83:76-84.
- RIGBY, J. B. & GATRELL, A. C. (2000): Spatial patterns in breast cancer incidence in north-west Lancashire. *Area*, 32:71-78.
- RIVM. (2000): Health risks of water and sanitation. Bilthoven, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM).
- RKI. (1996a): Aufbau einer infektionsepidemiologischen Surveillance in Deutschland. *Infektionsepidemiologische Forschung*, A/96 Sonderheft:1.
- RKI. (1996b): Überlegungen des Robert Koch Instituts zu einer Surveillance von Infektionen. *Infektionsepidemiologische Forschung*, A/96 Sonderheft:2-12.
- RKI. (1998a): Zur Situation bei ausgewählten meldepflichtigen Infektionskrankheiten im Jahr 1997. Teil 1: Gastroenteritiden (II). *Epidemiologisches Bulletin*, 9:55-59.
- RKI. (1998b): Zur Situation bei ausgewählten meldepflichtigen Infektionskrankheiten im Jahr 1997- Teil 1: Gastroenteritiden (I) - Salmonellose. *Epidemiologisches Bulletin*, 8:47-48.
- RKI. (1999): Zur Situation bei wichtigen Infektionskrankheiten im Jahr 1998. *Epidemiologisches Bulletin*, 15:100-106.

- RKI. (2000a): Einsatz der RKI-Falldefinition zur Übermittlung von Einzelmeldungen. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 43:839-843.
- RKI. (2000b): Falldefinitionen des Robert Koch-Instituts zur Übermittlung von Erkrankungs- oder Todesfällen und Nachweisen von Krankheitserregern. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 43:845-869.
- RKI. (2000c): Surveillance übertragbarer Krankheiten in der Perspektive des Infektionsschutzgesetzes. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 43:836-838.
- RKI. (2000d): Umsetzung der Übermittlung der meldepflichtigen Infektionen nach dem Infektionsschutzgesetz. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz*, 43:870-874.
- RKI. (2000e): Wichtige Infektionskrankheiten in Deutschland - zur Situation 1999, Teil 1: Darminfektionen (Gastroenteritiden) - 2. Folge: Enterohämorrhagische Escherichia-coli-Infektionen (EHEC). *Epidemiologisches Bulletin*, 34:271-274.
- RKI. (2000f): Wichtige Infektionskrankheiten in Deutschland - zur Situation im Jahr 1999, Teil 1 : Darminfektionen (Gastroenteritiden) - 1. Folge. *Epidemiologisches Bulletin*:183-187.
- RKI. (2001): Forschungsnetzwerk "Lebensmittelinfektionen in Deutschland". *Epidemiologisches Bulletin*:17-19.
- RKI. (2002): Aktuelle Statistik meldepflichtiger Infektionskrankheiten. *Epidemiologisches Bulletin*:250.
- RODENWALDT, E. & JUSATZ, H. J. (1952-1956): Welt-Seuchen-Atlas I-III. Hamburg.
- ROSE, J. B. & BOTZENHART, K. (1990): Cryptosporidium und Giardia im Wasser - Nachweisverfahren, Häufigkeit und Bedeutung als Krankheitserreger. *gwf Wasser Abwasser*, 131:563-572.
- ROSE, J. B., DAESCHNER, S., CURRIERO, F. C., LELE, S. & PATZ, J. A. (2000): Climate and waterborne disease outbreaks. *JAWWA*, 92:77-87.
- ROSE, J. B. & GERBA, C. P. (1991): Use of risk assessment for development of microbial standards. *Water Science Technology*, 24:29-34.
- ROTHMAN, K. J. & GREENLAND, S. (1998a): The emergence of modern epidemiology. In: Modern epidemiology (Hrsg.: K. J. Rothman & S. Greenland). Philadelphia, Lippincott-Raven, 3-6.
- ROTHMAN, K. J. & GREENLAND, S. (1998b): Measures of disease frequency. In: Modern epidemiology (Hrsg.: K. J. Rothman & S. Greenland). Philadelphia, Lippincott-Raven, 29-47.
- SACHS, L. (1990): Statistische Methoden: Planung und Auswertung (2). Berlin, Springer.
- SACHS, L. (1997): Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden. Berlin, Springer.
- SAMET, J. M., SCHNATTER, R. & GIBB, H. (1998): Epidemiology and risk assessment. *Am J Epidemiol*, 148:929-936.
- SATCHER, D. (1995): Emerging infections: getting ahead of the curve. *Emerg Infect Dis*, 1:1-6.
- SCHAERSTRÖM, A. (1996): Pathogenic Paths? A time geographical approach in medical geography. *Meddelanden från Lunds Universitets Geographiska Institutioner, Avhandlingar*, 125.
- SCHLATTMANN, P. (1994): Statistische Methoden zur Darstellung der räumlichen Verteilung von Krankheiten unter besonderer Berücksichtigung von

- Mischverteilungen. Berlin, Dissertation, Medizinische Fachbereiche der Freien Universität.
- SCHLEUPEN, E. (1996): *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia*. *gwf Wasser Abwasser*, 137:83-93.
- SCHMIDT, R. F. (1990): *Physiologie des Menschen*. Berlin, Springer.
- SCHNELL, R., HILL, P. B. & ESSER, E. (1999): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. München, Oldenbourg.
- SCHNEPF, R. (1998): Probleme der kleineren Wasserversorgungsunternehmen. *gwf Wasser Abwasser - Wasser spezial*, 139:21-23.
- SCHOENEN, D. (1996): Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser. *gwf Wasser Abwasser*, 137:72-82.
- SCHOENEN, D. & KARANIS, P. (2001): Beobachtungen über parasitenbedingte Ausbrüche durch Trinkwasser und Maßnahmen zu deren Vermeidung: Teil II: Literaturüberblick über trinkwasserbedingte Ausbrüche durch *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum* und *Toxoplasma gondii*. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch- Gesundheitsschutz*, 44:371-376.
- SCHOLTEN, H. J. & DE LEPPER, M. J. (1991): The benefits of the application of geographical information systems in public and environmental health. *World Health Stat Q*, 44:160-170.
- SCHWARTZ, J., LEVIN, R. & GOLDSTEIN, R. (2000): Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia [see comments]. *J Epidemiol Community Health*, 54:45-51.
- SCHWARTZ, J., LEVIN, R. & HODGE, K. (1997): Drinking water turbidity and pediatric hospital use for gastrointestinal illness in Philadelphia. *Epidemiology*, 8:615-620.
- SCHWEIKART, J. (1999): Daten zur Gesundheit in der Karte. Möglichkeiten und Perspektiven. *geoinformatik_online*, <http://gio.uni-muenster.de>:1-10.
- SCHWEIKART, J., KISTEMANN, T. & LEISCH, H. (1998): Der Arbeitskreis "Medizinische Geographie". Eine interdisziplinäre Antwort auf gesundheitsrelevante Fragestellungen. In: *Geographie: Tradition und Fortschritt*. Festschrift zum 50jährigen Bestehen der Heidelberger Geographischen Gesellschaft (Hrsg.: H. Karrasch). Heidelberg, Heidelberger Geographische Gesellschaft, 245-250.
- SEMENZA, J. C., ROBERTS, L., HENDERSON, A., BOGAN, J. & RUBIN, C. H. (1998): Water distribution system and diarrheal disease transmission: a case study in Uzbekistan. *Am J Trop Med Hyg*, 59:941-946.
- SHIMOKURA, G. H., SAVITZ, D. A. & SYMANSKI, E. (1998): Assessment of water use for estimating exposure to tap water contaminants. *Environ Health Perspect*, 106:55-59.
- SINCLAIR, M. I. & FAIRLEY, C. K. (2000): Drinking water and endemic gastrointestinal illness. *J Epidemiol Community Health*, 54:728.
- SINNECKER, H. (1994): Historische Wurzeln der Epidemiologie: übertragbare Krankheiten. In: *Epidemiologische Arbeitsmethoden* (Hrsg.: L. Heinemann & H. Sinnecker). Jena, Fischer, 17-24.
- SLIFKO, T. R., SMITH, H. V. & ROSE, J. B. (2000): Emerging parasite zoonoses associated with water and food. *Int J Parasitol*, 30:1379-1393.
- SLUTSKER, L., RIES, A. A., MALONEY, K., WELLS, J. G., GREENE, K. D. & GRIFFIN, P. M. (1998): A nationwide case-control study of *Escherichia coli* O157:H7 infection in the United States. *J Infect Dis*, 177:962-966.

- SMALLMAN-RAYNOR, M. R., CLIFF, A. D. & HAGGETT, P. (1992): London international atlas of AIDS. Oxford.
- SONNTAG, H.-G. (1997): Infektionsgefahren nehmen zu. *Spektrum der Wissenschaft, Dossier: Seuchen*, 3:110-113.
- STADTFELD, R. (1991): Die Entwicklung der öffentlichen Wasserversorgung 1970-1990. *gwf Wasser Abwasser*, 132:660-670.
- STANSFIELD, G., LECHEVALLIER, M. W. & SNOZZI, M. (2002): Treatment efficiency. In: Safer drinking water:improving the assessment of microbiological safety (Hrsg.: OECD), Organisation for Economic Co-operation and Development, 117-128.
- STANWELL-SMITH, R., ANDERSSON, Y. & LEVY, D. A. (2002): National Surveillance Systems. In: Drinking water and infectious disease: establishing the links (Hrsg.: P. R. Hunter, M. Waite & E. Ronchi). London, CRC Press, 25-40.
- SWEENEY, M. W. (1998): Geographic information systems. *Water Environ Res*, 70:424-427.
- SWEENEY, M. W. (1999): Geographic information systems. *Water Environ Res*, 71:551-556.
- SWERDLOW, D. L., WOODRUFF, B. A., BRADY, R. C., GRIFFIN, P. M., TIPPEN, S., DONNELL, H. D., JR., GELDREICH, E., PAYNE, B. J., MEYER, A., JR., WELLS, J. G. & ET AL. (1992): A waterborne outbreak in Missouri of Escherichia coli O157:H7 associated with bloody diarrhea and death [Kommentar]. *Ann Intern Med*, 117:812-819.
- SZEWZYK, U., SZEWZYK, R., MANZ, W. & SCHLEIFER, K. (2000): Microbiological safety of drinking water. *Annu Rev Microbiol*, 54:81-127.
- TANGO, T. (1998): Adjusting Moran's I for population density. *Stat Med*, 17:1055-1062.
- TEUNIS, P. F. & HAVELAAR, A. H. (1999): Cryptosporidium in drinking water: Evaluation of the ILSI/RSI quantitative risk assessment framework. Bilthoven, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM).
- TEUNIS, P. F., MEDEMA, G. J., KRUIDENIER, L. & HAVELAAR, A. H. (1997): Assessment of the risk of infections by Cryptosporidium or Giardia in drinking water from a surface water source. *Water Research*, 31:1333-1346.
- TEUNIS, P. F., NAGELKERKE, N. J. & HAAS, C. N. (1999): Dose response models for infectious gastroenteritis. *Risk Anal*, 19:1251-1260.
- THOMSSSEN, R. (1994): Infektionen im Wandel. In: Bursfelder Universitätsreden (Hrsg.: L. Perlitt). Göttingen, Göttinger Tageblatt.
- TILLET, H. E., DE LOUVOIS, J. & WALL, P. G. (1998): Surveillance of outbreaks of waterborne infectious disease: categorizing levels of evidence. *Epidemiol Infect*, 120:37-42.
- TOMPKINS, D. S., HUDSON, M. J., SMITH, H. R., EGLIN, R. P., WHEELER, J. G., BRETT, M. M., OWEN, R. J., BRAZIER, J. S., CUMBERLAND, P., KING, V. & COOK, P. E. (1999): A study of infectious intestinal disease in England: microbiological findings in cases and controls. *Commun Dis Public Health*, 2:108-113.
- TROLL, C. (1953): Ein Markstein in der Entwicklung der medizinischen Geographie. *Erdkunde*, 7:60-63.
- TUSCHEWITZKI, G. J. (2001): Mikrobiologische Anforderungen. In: Die neue Trinkwasserverordnung (15. Mülheimer Wassertechnisches Seminar 16.-17. Mai 2001). Mülheim an der Ruhr, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, 61-74.
- UMIS. (2001): Umwelt-Management-Internet-Service, www.umis.de, 2001.

- UNTERMANN, F. (1996): Risiko-Bewertung und Risikomanagement nach dem HACCP-Konzept: Ein Weg zu sicheren Lebensmitteln. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 199:119-130.
- VACCHINO, M. N. (1999): Poisson regression in mapping cancer mortality. *Environ Res*, 81:1-17.
- VALLERON, A. J. & GARNERIN, P. (1992): Computer networking as a tool for public health surveillance: the French experiment. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 41:101-110.
- VAN DEN BERG, N. & VON DER AHÉ, K.-R. (1997): Geoinformationssysteme in der Epidemiologie. *Karthographische Nachrichten*:52-59.
- VAN DEN BERG, N., VON DER AHÉ, K.-R., RUDOLPH, P. & KRAMER, A. (1999): Developing an epidemiological spatial information system with ArcView/Avenue. *geoinformatik_online*, <http://gio.uni-muenster.de>, 1.
- VERMEHREN, P. (1991): Die öffentliche Wasserversorgung in Dänemark. *gwf Wasser Abwasser*, 132:264-267.
- VINE, M. F., DEGNAN, D. & HANCHETTE, C. (1997): Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. *Environ Health Perspect*, 105:598-605.
- VON DER AHÉ, K.-R., VAN DEN BERG, N., RUDOLPH, R., RUDOLPH, P. & KRAMER, A. (1999): The epidemiological spatial information system ERIS: an interdisciplinary approach to geographic information systems and epidemiology. In: Environmental Health Surveillance (Results of an international workshop, 11-12 March 1997 at the University of Bielefeld) (Hrsg.: R. B. Fehr, J.; Ranft, U.). Landsberg, ecomed.
- WAGNER, C. & KIMMIG, P. (1992): Cryptosporidium parvum und Giardia lamblia - Vorkommen in Oberflächen- und Trinkwasser - Bedeutung und Nachweisverfahren. *Gesundheitswesen*, 54:662-665.
- WAKEFIELD, J. & ELLIOTT, P. (1999): Issues in the statistical analysis of small area health data. *Stat Med*, 18:2377-2399.
- WAKEFIELD, J., KELSALL, J. K. & MORRIS, S. E. (2000): Clustering, cluster detection and spatial variation in risk. In: Spatial epidemiology: methods and applications (Hrsg.: P. Elliott, J. C. Wakefield, N. G. Best & D. J. Briggs). London, Oxford University Press.
- WALTER, S. D. (1991): The ecologic method in the study of environmental health. II. Methodologic issues and feasibility. *Environ Health Perspect*, 94:67-73.
- WALTER, S. D. (1992): The analysis of regional patterns in health data. II. The power to detect environmental effects. *Am J Epidemiol*, 136:742-759.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. A., MUIR, K. R. & MANN, J. R. (1994): Kriging the local risk of a rare disease from a register of diagnosis. *Geographical Analysis*, 26:165-185.
- WELLIE, O., DUHME, H., STREIT, U., VON MUTIUS, E., KEIL, U. & WEILAND, S. K. (2000): Der Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) in epidemiologischen Studien dargestellt am Beispiel der ISAAC-Studie München. *Gesundheitswesen*, 62:423-430.
- WHO. (1996): Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Genf, World Health Organization.
- WHO. (1997). Disease mapping and risk assessment for public health decision-making. Rom: WHO Regional Office for Europe, 1997, 1-15.
- WHO. (1999a): Geographical Information Systems (GIS). Mapping for epidemiological surveillance. *Wkly Epidemiol Rec*, 74:281-285.

- WHO. (1999b): Gesundheit 21 - Gesundheit für alle im 21. Jahrhundert.
- WHO. (1999c): Water and health - need for concerted national and international actions. *European Bulletin*, 6:2-4.
- WHO. (1999d): Water and health in Europe: third ministerial conference on environment and health in Europe, 16-19 June 1999. London, World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe.
- WHO. (2000): Global water supply and sanitation assessment 2000 report. Genf, New York, World Health Organization, United Nations Children's Fund.
- WIRTH, E. (1979): Theoretische Geographie. Stuttgart, UTB.
- WÜSTEFELD-WÜRFEL, M. (1999): Mineralwasser aus Konsumentensicht. *Bonner Studien zur Wirtschaftssoziologie*, 13.
- WYN-JONES, A. P., PALLIN, R., DEDOISSIS, C., SHORE, J. & SELLWOOD, J. (2000): The detection of small round-structured viruses in water and environmental materials. *J Virol Methods*, 87:99-107.
- YAZIZ, M. I. & PILLAY, S. M. (1995): Managing potential health risks associated with drinking water supplies: some issues and approaches. In: Assessing and managing health risks from drinking water contaminants: Approaches and applications (Proceedings of the Rome Symposium, September 1994) (Hrsg.: E. Z. Reichard, G.). Oxfordshire, IAHS Publ., 43-54.
- YOUNES, M. & BARTRAM, J. (2001): Waterborne health risks and the WHO perspective. *Int J Hyg Environ Health*, 204:255-263.
- ZHANG, Z. & GRIFFITH, D. A. (1997): Developing user-friendly spatial statistical analysis modules for GIS: An example using ArcView. *Comput Environ and Urban Systems*, 21:5-29.
- ZMIROU, D., FERLEY, J. P., COLLIN, J. F., CHARREL, M. & BERLIN, J. (1987): A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. *Am J Public Health*, 77:582-584.

8.1 Zeitungsartikel

Aachener Nachrichten vom 06.11.1993: Mit Trinkwasserschutz unverzüglich beginnen.

Aachener Volkszeitung vom 27.10.1993: Stadt Aachen: Die Bevölkerung ist unnötig beunruhigt worden.

Bergischer Volksbote vom 30.12.1993: Gesundheit war und ist nicht in Gefahr.

Bonner Generalanzeiger vom 04.07.00: Gesundheitsamt warnt vor dem Baden in der Wied.

Die Zeit vom 19.04.2000: Kampf um den Hahn.

Hamburger Abendblatt vom 05.09.2000: Stille Wasser sind kostenlos.

Kölner Stadtanzeiger vom 23.05.2000: Gesundheitsamt warnt: Kolibakterien verschmutzen Trinkwasser.

Kölner Stadtanzeiger vom 26.10.2000: Bedenken gegen Leitungswasser.

Kölner Stadtanzeiger, Ausgabe Bergisches Land vom 10.08.2001: Strenge und häufige Kontrollen

Kölner Stadtanzeiger, Ausgabe Rhein-Berg vom 13.01. 1994: Aus dem Kran strömt medizinischer Geruch.

Kölner Stadtanzeiger, Ausgabe Rhein-Berg vom 19.01. 1994: Wasser-Brunnen stillgelegt.

Rheinzeitung vom 03.11.2000: Seltener Erreger hat Wasser verseucht.

Ruhrnachrichten vom 05.10.1993: Abkochen in Aachen – noch mindestens drei Tage.

Ruhrnachrichten vom 05.10.1993: Durch viel Regen Aachener Trinkwasser verseucht?

8.2 Kartenmaterial und Atlanten

AOK-Gesundheitsatlas, Ein Beitrag zur regionalen Gesundheitsberichterstattung, AOK-Bundesverband, Abt. Analysen, Prognosen, 1992

Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen: Kreiskarte Rheinisch-Bergischer Kreis, Stadt Leverkusen, Maßstab 1:50.000, Nr. 47, 4. Auflage, 1983.

Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, gescannte Topographische Karten 1:25.000:

Blatt 4808 Solingen, 15. Auflage 1995

Blatt 4809 Remscheid, 17. Auflage 1995

Blatt 4908 Burscheid, 19. Auflage 1995

Blatt 4909 Kuerten, 17. Auflage 1995

Blatt 5008 Köln-Mülheim, 17. Auflage 1995

Blatt 5009 Overath, 14. Auflage 1995

Blatt 5010 Engelskirchen, 14. Auflage 1996

Blatt 5108 Köln-Porz, 18. Auflage 1995

Blatt 5109 Lohmar, 15. Auflage 1995

Rheinisch-Bergischer Kreis und Solingen-Remscheid, Leverkusen, Planmappe Nr. 14, Bleesverlag, (o. J.).

Stadtplan Leichlingen mit Umgebungs- und Freizeitkarte, Maßstab 1:18.000, 3. Aufl., Städteverlag Wagner u. Mitterhuber, Fellbach (o.J.).

Strukturatlas Regio Rheinland, Richter B. & Vetterelin U. (Hrsg.), Vereinigung von Wirtschaftskammern zur Förderung der Region Köln, Bonn. Köln, 1996.

8.3 Statistiken

Arbeitsamt Bergisch Gladbach (1997): Pendler 1997 der Städte und Gemeinden im Arbeitsamtbezirk Bergisch Gladbach. Sachgebiet Statistik.

BGW (1990). 104. Statistik Nordrhein-Westfalen, Berichtsjahr 1990, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (1991). 103. Statistik Nordrhein-Westfalen, Berichtsjahr 1991, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (1992). 104. Statistik Nordrhein-Westfalen, Berichtsjahr 1992, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (1993). 105. Statistik Nordrhein-Westfalen, Berichtsjahr 1993, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (1996). Entwicklung der öffentlichen Wasserversorgung 1990-1995, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (2000). 110. Statistik Bundesrepublik Deutschland, Berichtsjahr 1998, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (2001): 111. Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland, Berichtsjahr 1999/2000, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

BGW (o. J.): Entwicklung der öffentlichen Wasserversorgung 1990-1995, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Bonn

Gesundheitspartner-Verzeichnis der AOK Rheinland: Die Gesundheitskasse, Ausgabe 1999, Regionaldirektion Rheinisch-Bergischer Kreis.

Kreisverwaltung Rheinisch-Bergischer Kreis (1999), Abteilung 67, Statistik: Informationen zur Einwohnerentwicklung.

Kreisverwaltung Rheinisch-Bergischer Kreis (1998, 2001 und 2002), Abteilung 67, Statistik: Zahlen, Daten, Fakten.

LDS NRW (Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen): Entwicklungen in Nordrhein-Westfalen, Statistischer Jahresbericht 1998, Düsseldorf, 1999.

LDS NRW (Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen):

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung der Gemeinde Overath, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung der Gemeinde Kürten, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung der Gemeinde Rösrath, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung der Gemeinde Odenthal, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung für Burscheid Stadt, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung für Wermelskirchen Stadt, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung für Leichlingen (Rhld.) Stadt, Stand 1998, Düsseldorf.

Datenspektrum, statistische Zahlen zur Struktur und Entwicklung für Bergisch Gladbach Stadt, Stand 1998, Düsseldorf.

LDS NRW (Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen): Statistische Rundschau für die Kreise Nordrhein-Westfalens: Rheinisch-Bergischer Kreis, Stand 1995, Düsseldorf.

Statistikdienststelle Stadt Bergisch Gladbach: Statistisches Jahrbuch 1998, Bergisch Gladbach.

Statistikdienststelle Stadt Bergisch Gladbach: Statistisches Jahrbuch 2000, Bergisch Gladbach.

Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung vom 26. September 2000, <http://www.statistik-bund.de>.

8.4 Gesetze

AMTSBLATT FÜR DEN REGIERUNGSBEZIRK KÖLN (1991): Verordnung zur Änderung der Verordnung zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes für die Gewässer im Niederschlagsgebiet der Naafbachtalsperre des Aggerverbandes (Wasserschutzgebietsverordnung Naafbachtalsperre), 171, 50, S. 323.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 22.12. 2000, Veröffentlichungsbedürftige Rechtsakte: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Luxemburg, L327/-L327/72.

- Bundesgesetzblatt Jg. 2000, Teil I, Nr. 33: Gesetz zur Neuordnung seuchenrechtlicher Vorschriften (Seuchenrechtsneuordnungsgesetz – SeuchRNeuG) vom 20. Juli 2000, Bonn, 1045-1077, Artikel I: Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG).
- Bundesgesetzblatt Jg. 2001, Teil I, Nr. 24: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, Bonn, 959-980.
- Bundesgesetzblatt Jg. 1990, Teil III: Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten beim Menschen (Bundes-Seuchengesetz) vom 18. Dezember 1979, zuletzt geändert am 12. September 1990, Bonn, 2126-1.
- GESETZ- UND VERORDNUNGSBLATT FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (1997): Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 75/440/EWG des Rates vom 16. Juni 1975 über die Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten sowie der Richtlinie 79/869/EWG des Rates vom 9. Oktober 1979 über die Meßmethoden sowie über die Häufigkeit der Probenahmen und der Analysen des Oberflächenwassers für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten vom 29. April 1997, Nr. 17 vom 28. Mai.
- Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen Jg. 44, Nr. 27: Richtlinie für die Rohwasserüberwachung von Grundwasser, Quellwasser, Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser nach § 50 des Landeswassergesetzes (Rohwasserüberwachungsrichtlinie) vom Mai 1991, Düsseldorf, 575-583.

8.5 Sonstige Quellen

AGGERVERBAND (1993): Bericht für die Jahre 1988-1992, Gummersbach.

BELKAW GmbH (HRSG.)(o.J.): 75 Jahre Energie und Wasser.

WASSERVERSORGUNGSVERBAND RHEIN-WUPPER (1995): Wasserverband Rhein-Wupper – Zweckverband. (Informationsbroschüre).

Persönliche Mitteilungen durch:

Herrn Heinz Lang, AOK Rheinland, Regionaldirektion Rheinisch-Bergischer Kreis, Bergisch Gladbach.

Frau Dr. Britt Hornei, Labor Dr. Lempke & Co, Köln.

Herrn Dr. Petruschke, Untere Gesundheitsbehörde des Rheinisch-Bergischen Kreises, Bergisch Gladbach.

9 Annex

- Annex I: Glossar**
- Annex II: Administrative Abgrenzungen im Untersuchungsgebiet**
- Annex III: Fragebogen zum Trinkwasserkonsum**
- Annex IV: Entwicklung der Wasserversorgung 1991-1997 im RBK**
- IVa: BELKAW - Entwicklung der Wasserversorgung
 - IVb: Stadtwerke Burscheid - Entwicklung der Wasserversorgung
 - IVc: Stadtwerke Leichlingen - Entwicklung der Wasserversorgung
 - IVd: Stadtwerke Overath - Entwicklung der Wasserversorgung
 - IVe: Stadtwerke Rösrath - Entwicklung der Wasserversorgung
- Annex V: Absolute Fallzahlen der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ der UGB**
- Annex VI: Altersverteilung der Enteritis-Inzidenz (1988-99) ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises**
- Annex VII: Lage-und Streuungsmaße der IRst 1988-1999 ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises**
- Annex VIII: SMR der Enteritis-Inzidenz 1988-1999 ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises**
- Annex IX: Erwartete Enteritis-Inzidenz (IRer) 1988-1999 ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises**
- Annex X: Berechnung der Empirischen Bayes Schätzung zur Verbreitung der Enteritis-Inzidenz im Rheinisch-Bergischen Kreis**

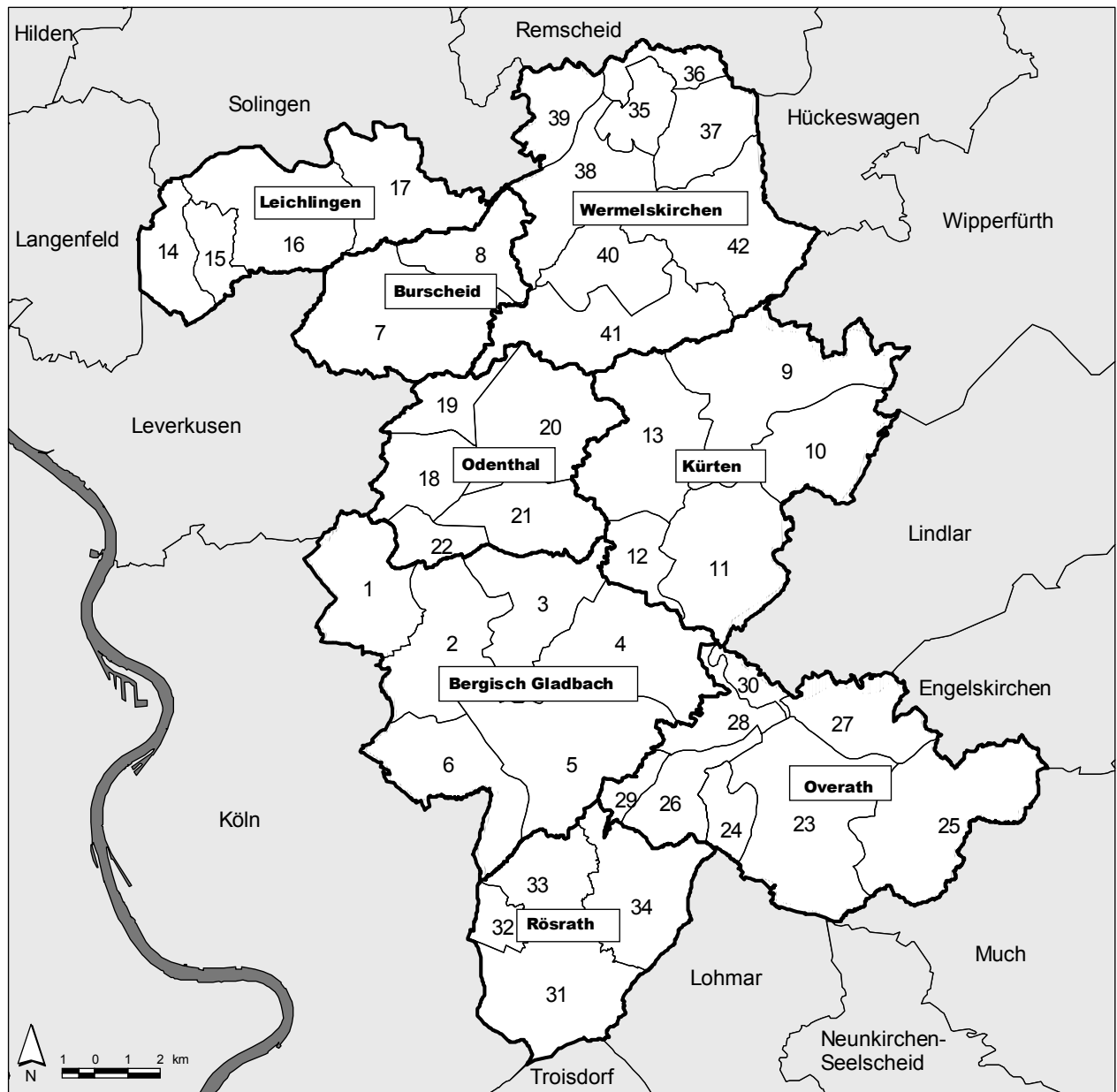
Annex I: Glossar

(Die Definitionen sind folgender Fachliteratur entnommen: Ahlbohm & Norell, 1991; Beck & Schmidt, 1994; BgVV, 1998; Damrath & Cord-Landwehr, 1998; Marre et al., 2000; Exner, 1997; Gale, 1998; Giesecke, 1994 und der TrinkWV)

Attack rate	Der Anteil, der aus der Exposition gegenüber einem infektiösen Agens klinisch Erkrankten
Bias	Die Bias in epidemiologischen Studien reflektiert den Fehler, der durch falsche Auswahl von Stichproben, Überschätzung bestimmter Effekte oder durch falsche Angaben von Probanden entsteht
Confounder	Um den Einfluss einer Variablen auf eine andere möglichst „rein“ darzustellen, wird versucht, den Einfluss dritter Variablen, die als Störgrößen oder als Confounder bezeichnet werden können, auszuschalten
Endemie	Räumlich begrenztes Auftreten einer Infektionskrankheit
Epidemie	Gehäuftes Auftreten einer Infektionskrankheit örtlich und zeitlich begrenzt, sprunghaftes Ansteigen aber auch kontinuierlich langsamer Anstieg möglich.
Exposition (in der Trinkwasserepidemiologie)	Die Exposition ist definiert als die Anzahl der Mikroorganismen, die ein Individuum täglich mit dem Trinkwasser konsumiert
Fall-Kontroll-Studie (Case-Conrol study)	Die Erkrankungsfälle in einer Studienpopulation werden mit einer Vergleichsgruppe (Kontrollen) als repräsentative Stichprobe aus der Studienpopulation verglichen, wobei die Expositionsverteilung der Kontrollgruppe die Grundgesamtheit charakterisieren sollte
gastrointestinale Infektionen (Magen-Darm-Infektionen)	Die Enteritis ist eine Dünndarmentzündung, die bei Mitbeteiligung des Magens auch als Gastroenteritis bezeichnet wird. Ist der Dickdarm ebenfalls betroffen, spricht man von Gastroenterokolitis. Als allgemeine Benennung von Infektionen des Magen-Darmtraktes wird häufig von gastrointestinalen Infektionen gesprochen. Als Leitsymptom der Magen-Darm-Infektionen gilt die Diarrhöe.
HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point)	Managementstrategie: Als Hazard Analysis wird die Gefahrenanalyse verstanden, welche den Vorgang des Sammelns, Aus- und Bewertens von Informationen über Gefahren und Situationen während der Produktion beinhaltet, um zu entscheiden, welche bedeutend für den gesundheitlichen Verbraucherschutz und daher in den HACCP-Plan einzubeziehen sind. Ein Critical Control Point (CCP) ist „eine Stufe, auf der es möglich und von entscheidender Bedeutung ist, eine gesundheitliche Gefahr durch Lebensmittel zu vermeiden, zu beseitigen oder auf ein annehmbares Maß zu reduzieren“ (BGVV, 1998, 5)
Infektion, Infektionskrankheit	Infektion ist nicht gleich Infektionskrankheit: Dringen Infektionserreger in einen Makroorganismus (Mensch oder Tier) ein, vermehren sie sich (einschließlich Besiedlung von Haut und Schleimhäuten) und führen sie nachfolgend zu speziellen Wirkungen (Abwehr und/oder gewebliche Schädigungsreaktionen), besteht eine Infektion . Von einer Infektionskrankheit wird erst gesprochen, wenn entsprechende Symptome auftreten und sie klinisch und labordiagnostisch nachweisbar ist.
Infektiosität	Die Fähigkeit der Mikroorganismen: <ul style="list-style-type: none">- übertragen zu werden,- in den Makroorganismus einzudringen,- sich dort zu verhalten, zu vermehren und auszubreiten.

Inkubationszeit	Die Periode zwischen der Infektion und dem Auftreten der ersten Symptome.
Inzidenz	Grundlegendes Maß für die Krankheitshäufigkeit, sie ist definiert durch die Anzahl der Neuerkrankungen in einer bestimmten Bevölkerung über einen bestimmten Zeitraum, der Zeitraum wird auch oft in Personenjahren angegeben
Kohortenstudie (follow-up-Studie)	Über einen definierten, meist längeren, Zeitraum werden Neuerkrankungen in einer exponierten und nichtexponierten Bevölkerungsgruppe (Kohorte) beobachtet
Kontamination	Sind Gegenstände, Lebensmittel, Wasser, Boden, Luft sowie Makroorganismen, ohne das eine Infektion vorliegt, mit Erregern behaftet, spricht man von einer Kontamination.
Öffentliche Wasserversorgung	Wasserversorgung, die der Versorgung der Allgemeinheit dient, unabhängig von der Rechtsform
pathogen, Pathogene	krankheitsauslösend, Krankheitserreger
Prävalenz	Die Prävalenz entspricht dem Anteil der Bevölkerung, welche an der Krankheit zu einem bestimmten Zeitpunkt erkrankt sind
Risiko (risk)	Darunter ist die zu erwartende Häufigkeit unerwünschter Effekte bei Menschen zu verstehen, die durch Exposition gegenüber gesundheitsgefährdenden Substanzen und Mikroorganismen entstehen können
Risk Assessment (Risikoabschätzung)	der systematische Prozess zur Beschreibung und Quantifizierung von Gesundheitsrisiken, Ziel ist die Bereitstellung evidenter Daten als Grundlage zur Entwicklung von Präventionsstrategien
Verbundwasserversorgung	Mehrere zentrale Wasserversorgungen, deren Rohrnetze miteinander verbunden sind
Wasserversorgungsunternehmen	Ein Unternehmen, das öffentliche Wasserversorgung betreibt, unabhängig von Unternehmensform und Trägerschaft
Wasserwerk	Betriebseinheit aus Anlagen zur Gewinnung, Aufbereitung, Förderung, Speicherung, dem Transport und der Verteilung von Wasser
Zoonosen	Zoonosen sind Infektionen, die über Tiere auf den Menschen übertragen werden können
Klinisch, Klinik	Bezeichnung für die gesamte Symptomatik und den Verlauf einer Krankheit

Annex II: Administrative Abgrenzungen im Untersuchungsgebiet



- Gemeinde-/Stadtteile des Rheinisch-Bergischen Kreises
- Gemeinden und Städte des Rheinisch-Bergischen Kreises
- Rhein
- benachbarte Gemeinden und Städte

Datenquelle: Statistikdienststelle des Rheinisch-Bergischen Kreises
Kartographie: F. Dangendorf, Bonn 2002

**Gemeinde-/Stadtteilebene
des Rheinisch-Bergischen
Kreises**

Nr	Name
1	Paffrath
2	Gladbach
3	Sand
4	Herkenrath
5	Bensberg
6	Refrath
7	Burscheid I
8	Hilgen II
9	Kürten
10	Olpe
11	Biesfeld
12	Dürscheid
13	Bechen

14	Westl d. Wupper
15	Östl d. Wupper
16	Aussenortschaften
17	Witzhelden
18	Odenthal
19	Altenberg/Blecher
20	Neschen/Scheuren
21	Eikamp/Höffe
22	Voiswinkel
23	Overath
24	Heiligenhaus
25	Marialinden
26	Steinenbrück
27	Vilkerath
28	Immekeppel
29	Untereschbach
30	Brombach
31	Rösrath
32	Hoffnungstal

33	Forsbach
34	Kleineichen
35	Wermelskirchen
	Innenstadt
36	Wüstenhof
37	Eipringhausen
38	Tente
39	Hünger
40	Dabringhausen
41	Dabringhausen Süd
42	Dhünn

Annex III: Fragebogen zum Trinkwasserkonsum

Fragebogen zum Trinkwasserkonsum der Bevölkerung

im Rheinisch-Bergischen Kreis

TELEFONISCHES INTERVIEW

laufende Nummer: _____ Datum _____

Guten Tag Frau/Herr..... Mein Name ist _____ Ich arbeite am Hygiene-Institut der Universität in Bonn. Zusammen mit dem Gesundheitsamt des Rheinisch-Bergischen Kreises führen wir eine Telefonumfrage zum Gebrauch von Trinkwasser durch. Ihre Telefonnummer wurde nach einem Zufallsverfahren per Computer ermittelt. Wir haben einige Fragen, die wir Ihnen gerne stellen würden. Insgesamt wird das Interview etwa 3-4 Minuten dauern. Wären Sie bereit, an der Studie teilzunehmen?

Die erste Frage betrifft die Wasserversorgung:

1. Sind Sie an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen?

öffentliche Wasserversorgung: private Wasserversorgung
sonstiges:

2. Wohnen Sie in einem Einfamilien- oder Mehrfamilienhaus?

Haustyp: Einfamilienhaus: Mehrfamilienhaus
sonstiges (z.B. Bauernhof):

3. Wissen Sie, welcher Herkunft Ihr Trinkwasser ist? ja nein

Wenn ja, welcher: Talsperrenwasser Grundwasser Quelle
Sonstiges:

4. Wissen Sie, welches Wasserversorgungsunternehmen Ihr Trinkwasser liefert?

Wenn ja, welches:

ja nein

Fragebogen zum Trinkwasserkonsum der Bevölkerung

im Rheinisch-Bergischen Kreis

TELEFONISCHES INTERVIEW

5. Nutzen Sie das Leitungswasser als Trinkwasser? z.B. (Alternativen vorlesen)

Pur, ja nein selten
Verdünnen von Säften, ja nein selten
Tee, ja nein selten
Kaffee, ja nein selten
Salatwaschen, ja nein selten
Zähneputzen, ja nein selten
Zur Medikamenteneinnahme, ja nein selten
Sonstiges

6. Benutzen Sie einen Wassersprudler, z. B. Sodastreamer, Wassermaxe o.ä.?

ja nein

wenn ja, seit wann?

7. Wieviel Leitungswasser konsumieren Sie Ihrer Meinung nach pro Tag incl. Tee,

Kaffee, verdünnte Säfte u.s.w.? (Alternativen vorlesen: mit 2 oder 3 Tassen beginnen und nachfragen ob mehr oder weniger)

1 Tasse/Tag (ca. 150 ml)
2 Tassen/Tag (ca. 300 ml)
3 Tassen/Tag (450 ml)
etwa 0,5 Liter
etwa 1 Liter
bis 1,5 Liter
bis 2 Liter
bis 2,5 Liter
über 2,5 Liter
Sonstiges
Weiß nicht

Annex III: Fragebogen zum Trinkwasserkonsum (Forts.)

8. Wiewiel Leitungswasser trinken Sie Ihrer Meinung nach ohne Kaffee oder Tee, also Leitungswasser, das nicht gekocht wurde? (ggf. Alternativen vorlesen: mit 2 oder 3 Tassen beginnen, nachfragen, ob mehr oder weniger)

1 Tasse/Tag (ca. 150 ml)

2 Tassen/Tag (ca. 300 ml)

3 Tassen/Tag (450 ml)

etwa 0,5 Liter

etwa 1 Liter

bis 1,5 Liter

bis 2 Liter

bis 2,5 Liter

über 2,5 Liter

Sonstiges:.....

Weiß nicht

9. Bevorzugen Sie Mineralwasser gegenüber Leitungswasser? ja nein

(wenn ja, dann zu Punkt 11 weitertreten, wenn nein, mit Punkt 10 fortfahren)

10. Wenn Sie Leitungswasser bevorzugen:

Gibt es einen bestimmten Grund? ja nein

Wenn ja, welchen: (Antworten abwarten, nicht vorlesen)

Leitungswasser schmeckt besser ja nein

Leitungswasser ist gestünder ja nein

Leitungswasser ist bequemer zu besorgen ja nein

sonstiges:.....

weiß nicht

11. Wenn Sie Mineralwasser bevorzugen:

Gibt es einen bestimmten Grund? ja nein

Wenn ja, welchen: (Antworten abwarten, nicht vorlesen)

Mineralwasser schmeckt besser ja nein

Mineralwasser ist gestünder ja nein

Mineralwasser ist sauberer ja nein

sonstiges:.....

weiß nicht

12. Zum Schluß noch einige Angaben zur Person

Berufstätig: ja nein

wenn ja: verlassen Sie dafür das Kreisgebiet? ja nein

Geschlecht: männlich weiblich

Alter: _____ Jahre

Haushaltsgröße: _____ Person/en, davon _____ Kinder (<18 J.)

Postleitzahl: _____

Gemeindeteil: _____

dort Wohnhaft seit: _____

Vielen Dank für Ihre Mithilfe.

Ich versichere Ihnen, dass wir die Daten streng vertraulich behandeln und nicht an Dritte weiterleiten.

Annex IV: Entwicklung der Wasserversorgung 1991-1997 im RBK

IVa: BELKAW - Entwicklung der Wasserversorgung

Wasserversorgungsunternehmen	BGW-Statistik	BGW-Statistik	BGW-Statistik
BELKAW	1991	1994	1997
Wassergewinnung und -bezug [1000 m³]	7,982	7,882	k.A.
eigene Wassergewinnung insgesamt [1000 m³]	3,534	3,479	k.A.
Wasserbezug [1000 m³]	4,448	4,403	k.A.
Trinkwasserabgabe an Verbraucher insgesamt [1000 m³]	6,864	6,786	k.A.
Haushalte und Kleingewerbe [1000 m³]	6,082	6,119	k.A.
Industrie [1000 m³]	450	437	k.A.
Sonstige Verbraucher [1000 m³]	332	230	k.A.
Wasserabgabe an andere Unternehmen [1000 m³]	157	155	k.A.
durchschnittliche Trinkwasserabgabe pro Tag [1000 m³]	21,9	21,3	k.A.
Rohrnetz insgesamt in km	524	529	k.A.
Trinkwasserspeicher nutzbares Fassungsvermögen in m³	16,900	18,700	k.A.
Hausanschlüsse	22,846	23,680	k.A.
Beschäftigte	56	61	k.A.
versorgte Einwohner in 1000	110	111	k.A.

IVb: Stadtwerke Burscheid - Entwicklung der Wasserversorgung

Wasserversorgungsunternehmen	BGW-Statistik	BGW-Statistik	BGW-Statistik
Stadtwerke Burscheid	1991	1994	1997
Wassergewinnung und -bezug [1000 m³]	1,157	1,101	1,151
eigene Wassergewinnung insgesamt [1000 m³]	0	0	0
Wasserbezug [1000 m³]	1,157	1,101	1,151
Trinkwasserabgabe an Verbraucher insgesamt [1000 m³]	1,099	1,052	1,085
Haushalte und Kleingewerbe [1000 m³]	827	830	868
Industrie [1000 m³]	178	107	119
Sonstige Verbraucher [1000 m³]	94	115	98
Wasserabgabe an andere Unternehmen [1000 m³]	0	0	0
durchschnittliche Trinkwasserabgabe pro Tag [1000 m³]	3,1	3	3,2
Rohrnetz insgesamt in km	73	75	76
Trinkwasserspeicher nutzbares Fassungsvermögen in m³	0	0	0
Hausanschlüsse	3,351	3,568	3,927
Beschäftigte	14	15	18
versorgte Einwohner in 1000	18	18	18

IVc: Stadtwerke Leichlingen - Entwicklung der Wasserversorgung

Wasserversorgungsunternehmen	BGW-Statistik	BGW-Statistik	BGW-Statistik
Stadtwerke Leichlingen	1991	1994	1997
Wassergewinnung und -bezug [1000 m³]	1,306	1,180	1,198
eigene Wassergewinnung insgesamt [1000 m³]	0	0	0
Wasserbezug [1000 m³]	1,306	1,180	1,198
Trinkwasserabgabe an Verbraucher insgesamt [1000 m³]	1,194	1,151	1,107
Haushalte und Kleingewerbe [1000 m³]	981	978	1,090
Industrie [1000 m³]	159	129	0
Sonstige Verbraucher [1000 m³]	54	44	17
Wasserabgabe an andere Unternehmen [1000 m³]	0	0	0
durchschnittliche Trinkwasserabgabe pro Tag [1000 m³]	3.6	3.2	3.3
Rohrnetz insgesamt in km	85	86	87
Trinkwasserspeicher nutzbares Fassungsvermögen in m³	4,000	4,000	4,000
Hausanschlüsse	4,079	4,312	4,461
Beschäftigte	14	14	15
versorgte Einwohner in 1000	26	26	22

IVd: Stadtwerke Overath - Entwicklung der Wasserversorgung

Wasserversorgungsunternehmen	BGW-Statistik	BGW-Statistik	BGW-Statistik
Stadtwerke Overath	1991	1994	1997
Wassergewinnung und -bezug [1000 m³]	1,140	1,209	k.A.
eigene Wassergewinnung insgesamt [1000 m³]	0	0	k.A.
Wasserbezug [1000 m³]	1,140	1,209	k.A.
Trinkwasserabgabe an Verbraucher insgesamt [1000 m³]	1,038	1,035	k.A.
Haushalte und Kleingewerbe [1000 m³]	952	975	k.A.
Industrie [1000 m³]	35	41	k.A.
Sonstige Verbraucher [1000 m³]	51	19	k.A.
Wasserabgabe an andere Unternehmen [1000 m³]	0	0	k.A.
durchschnittliche Trinkwasserabgabe pro Tag [1000 m³]	3.1	3.3	k.A.
Rohrnetz insgesamt in km	189	188	k.A.
Trinkwasserspeicher nutzbares Fassungsvermögen in m³	6,000	6,000	k.A.
Hausanschlüsse	5,336	5,645	k.A.
Beschäftigte	30	9	k.A.
versorgte Einwohner in 1000	31	22	k.A.

IVe: Stadtwerke Rösrath - Entwicklung der Wasserversorgung

Wasserversorgungsunternehmen	BGW-Statistik	BGW-Statistik	BGW-Statistik
Gemeinde Rösrath	1991	1994	1997
Wassergewinnung und -bezug [1000 m ³]	1,433	1,420	k.A.
eigene Wassergewinnung insgesamt [1000 m ³]	1,428	1,410	k.A.
Wasserbezug [1000 m ³]	5	10	k.A.
Trinkwasserabgabe an Verbraucher insgesamt [1000 m ³]	1,311	1,285	k.A.
Haushalte und Kleingewerbe [1000 m ³]	1,296	1,257	k.A.
Industrie [1000 m ³]	15	28	k.A.
Sonstige Verbraucher [1000 m ³]	0	0	k.A.
Wasserabgabe an andere Unternehmen [1000 m ³]	9	26	k.A.
durchschnittliche Trinkwasserabgabe pro Tag [1000 m ³]	3.9	3.9	k.A.
Rohrnetz insgesamt in km	130	134	k.A.
Trinkwasserspeicher nutzbares Fassungsvermögen in m ³	3,650	3,500	k.A.
Hausanschlüsse	6,520	6,586	k.A.
Beschäftigte	17	19	k.A.
versorgte Einwohner in 1000	22	24	k.A.

Annex V: Absolute Fallzahlen der Enteritis infectiosa „übrige Formen“ der UGB

Nr	Name	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Summe	Mittelwert
1	Paffrath	1	2	8	10	14	5	7	20	19	9	16	35	146	12.17
2	Gladbach	1	4	4	4	20	15	15	16	13	32	26	31	181	15.08
3	Sand	1	1	2	3	4	2	2	6	8	4	3	3	39	3.25
4	Herkenrath	4	1	2	3	2	2	1	2	8	5	7	7	44	3.67
5	Bensberg	5	8	9	6	8	8	11	15	12	41	19	31	173	14.42
6	Refrath	5	2	9	5	10	6	11	18	13	31	27	26	163	13.58
7	Burscheid I	0	1	1	1	7	1	1	1	1	3	3	2	22	1.83
8	Hilgen II	4	1	1	1	7	0	2	1	1	3	3	7	31	2.58
9	Kuerten	1	2	2	1	4	3	1	3	5	6	1	7	36	3.00
10	Olpe	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3	2	8	0.67
11	Biesfeld	0	0	2	5	7	3	5	3	4	6	8	12	55	4.58
12	Duerscheid	0	0	3	1	1	2	0	2	2	8	3	1	23	1.92
13	Bechen	1	1	2	0	4	1	3	1	0	3	4	7	27	2.25
14	Westl d. Wupper	1	1	2	1	5	3	10	2	3	3	4	7	42	3.50
15	Oestl d. Wupper	1	3	1	2	2	4	1	2	1	2	2	9	30	2.50
16	Aussenortschaften	0	1	0	1	1	5	0	3	0	1	5	6	23	1.92
17	Witzhelden	1	0	1	0	3	2	8	5	2	0	1	5	28	2.33
18	Odenthal	0	0	2	0	3	0	0	0	3	1	2	5	16	1.33
19	Altenberg/Blecher	0	0	1	0	0	0	0	1	3	1	1	2	9	0.75
20	Neschen/Scheuren	0	0	5	1	0	2	2	0	0	1	4	6	21	1.75
21	Eikamp/Hoeffe	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	0	0	6	0.50
22	Voiswinkel	0	3	0	3	2	1	2	3	3	2	3	3	25	2.08
23	Overath	2	3	4	4	8	0	3	3	8	7	12	14	68	5.67
24	Heiligenhaus	1	1	0	1	1	2	4	6	5	9	8	10	48	4.00
25	Marialinden	0	0	0	2	0	0	2	2	3	4	5	8	26	2.17
26	Steinenbrueck	2	3	2	5	3	2	0	2	8	4	9	11	51	4.25
27	Vilkerath	2	1	2	4	1	2	2	2	6	4	3	7	36	3.00
28	Immekeppel	3	0	1	0	1	1	0	0	1	0	3	2	12	1.00
29	Untereschbach	0	0	0	0	2	0	1	1	4	2	3	1	14	1.17
30	Brombach	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3	0.25
31	Roesrath	3	3	8	7	12	5	12	6	6	12	11	15	100	8.33
32	Kleineichen	0	0	1	2	1	0	0	2	0	1	3	0	10	0.83
33	Forsbach	1	0	1	4	1	5	4	11	14	10	12	17	80	6.67
34	Hoffnungstal	2	1	3	0	5	3	5	4	3	13	6	3	48	4.00
35	Innenstadt	0	2	3	4	3	4	5	3	1	4	4	2	35	2.92
36	Wuestenhof	0	0	0	0	1	3	0	0	1	0	0	0	5	0.42
37	Eipringhausen	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1	2	7	0.58
38	Tente	0	1	1	1	2	2	3	0	0	0	3	4	17	1.42
39	Huenger	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	5	0.42
40	Dabringhausen	0	0	0	1	2	3	2	2	4	4	1	2	21	1.75
41	Dabringhausen Sued	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	3	0.25
42	Dhuenn	1	1	1	1	1	1	2	1	5	1	4	0	19	1.58

1756

Annex VI: Altersverteilung der Enteritis-Inzidenz (1988-99) ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises

Nr	Name	<18J IRst 88-99	18-65J IRst 88-99	>65J IRst 88-99	IRst 88-99
1	Paffrath	97,83	41,98	15,54	48,62
2	Gladbach	108,36	42,54	19,87	51,65
3	Sand	155,27	72,38	13,80	78,75
4	Herkenrath	137,12	35,83	81,77	62,02
5	Bensberg	210,78	49,40	25,51	76,91
6	Refrath	192,65	36,64	20,58	64,08
7	Burscheid I	46,81	8,90	4,93	15,05
8	Hilgen II	137,05	18,61	10,03	39,91
9	Kuerten	157,47	30,50	0,00	50,49
10	Olpe	71,78	27,25	0,00	31,78
11	Biesfeld	153,09	82,54	0,00	83,26
12	Duerscheid	127,54	70,59	0,00	70,59
13	Bechen	124,59	50,32	0,00	56,68
14	Westl d. Wupper	97,32	28,49	10,97	39,02
15	Oestl d. Wupper	82,99	20,74	25,63	33,35
16	Aussenortschaften	153,81	25,78	0,00	46,47
17	Witzhelden	163,83	21,41	0,00	45,32
18	Odenthal	80,79	14,48	47,81	32,37
19	Altenberg/Blecher	101,25	3,67	0,00	21,88
20	Neschen/Scheuren	276,02	52,92	0,00	86,95
21	Eikamp/Hoeffe	0,00	39,76	0,00	25,99
22	Voiswinkel	128,14	58,99	18,94	66,20
23	Overath	146,95	60,34	47,63	74,80
24	Heiligenhaus	357,27	106,87	21,70	141,90
25	Marialinden	126,23	42,79	14,91	54,43
26	Steinenbrueck	239,41	42,04	53,03	96,02
27	Vilkerath	246,66	78,50	33,74	114,64
28	Immekeppel	232,85	19,79	0,00	78,05
29	Untereschbach	249,65	26,48	109,01	82,69
30	Brombach	43,63	14,25	0,00	17,88
31	Roesrath	229,43	40,72	46,60	77,33
32	Kleineichen	116,64	39,16	28,25	52,34
33	Forsbach	221,31	89,34	49,13	108,73
34	Hoffnungstal	79,84	6,43	0,00	59,41
35	Innenstadt	79,84	6,43	0,00	19,44
36	Wuestenhof	51,28	18,94	0,00	22,19
37	Eipringhausen	61,82	26,60	0,00	28,98
38	Tente	48,58	24,34	0,00	25,29
39	Huenger	33,28	8,67	21,53	15,32
40	Dabringhausen	109,68	26,72	0,00	38,27
41	Dabringhausen Sued	36,08	12,90	0,00	15,31
42	Dhuenn	110,87	33,23	0,00	43,17

Annex VII: Lage- und Streuungsmaße der IRst 1988-1999 ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises

Nr	Name	rohe IR	IRst88_99	IRroh	IRst	IRer88_99	IRst	IRer	IRstStab	IRstMed	IRstMin	IRstMax	IRstLQ	IRstVko	Q 25%	Q 75%	Q_absta	KI 95% +
1	Paffrath	47,43	48,62	-1,18	52,46	-3,85	35,54	39,04	3,90	137,37	0,89	73,11	25,97	67,32	41,35	20,11		
2	Gladbach	50,77	51,65	-0,88	52,66	-1,02	34,86	51,41	3,58	109,91	0,95	67,49	14,20	73,15	58,95	19,72		
3	Sand	79,15	78,75	0,40	67,86	10,89	45,75	72,41	24,88	188,17	1,44	58,10	48,67	94,76	46,10	25,89		
4	Herkenrath	62,09	62,02	0,07	65,14	-3,12	38,53	45,88	17,21	133,25	1,14	62,12	32,35	87,47	55,13	21,80		
5	Bensberg	75,29	76,91	-1,61	54,22	22,69	56,80	52,74	26,88	220,24	1,41	73,86	42,39	85,14	42,75	32,14		
6	Refrath	58,84	64,08	-5,24	50,78	13,30	44,41	49,40	10,13	148,86	1,17	69,31	25,96	93,39	67,43	25,13		
7	Burscheid I	15,92	15,05	0,87	55,16	-40,11	15,30	8,33	0,00	60,68	0,28	98,68	8,25	18,60	10,35	8,65		
8	Hilgen II	41,13	39,91	1,22	58,54	-18,63	35,29	21,93	0,00	103,81	0,73	88,43	13,40	56,40	43,00	19,97		
9	Kuerten	54,83	50,49	4,34	57,67	-7,18	31,18	44,77	16,14	112,79	0,92	61,77	19,95	70,02	50,07	17,64		
10	Olpe	35,02	31,78	3,25	59,97	-28,19	48,60	0,00	0,00	145,24	0,58	152,94	-	63,57	63,57	27,50		
11	Biesfeld	86,79	83,26	3,53	57,06	26,20	57,73	82,14	0,00	207,16	1,52	69,34	49,40	113,37	63,97	32,66		
12	Duerscheid	73,89	70,59	3,30	58,00	12,59	78,49	53,47	0,00	299,53	1,29	111,20	24,76	82,79	58,03	44,41		
13	Bechen	60,97	56,88	4,28	57,69	-1,00	47,36	42,90	0,00	169,03	1,04	83,55	25,03	83,74	58,72	26,80		
14	Westl. d. Wupper	37,57	39,02	-1,45	52,23	-13,21	28,35	32,20	11,69	107,58	0,71	72,66	19,73	48,47	28,74	16,04		
15	Oestl. d. Wupper	31,67	33,35	-1,68	51,33	-17,98	31,46	25,06	12,27	130,95	0,61	94,35	13,48	30,60	17,12	17,80		
16	Aussenortschaften	45,37	46,47	-1,10	53,54	-7,07	52,99	22,43	0,00	150,65	0,85	114,01	-	85,24	85,24	29,98		
17	Witzhelden	45,39	45,32	0,07	54,26	-8,94	45,97	30,17	0,00	153,89	0,83	101,44	14,21	67,20	52,99	26,01		
18	Odenthal	31,41	32,37	-0,97	73,91	-41,54	38,13	11,32	0,00	112,72	0,59	117,78	-	55,72	55,72	21,57		
19	Altenberg/Bleicher	23,35	21,88	1,47	77,33	-55,45	26,98	13,89	0,00	88,79	0,40	123,33	-	30,47	30,47	15,27		
20	Neschen/Scheuren	94,56	86,95	7,60	77,99	8,96	98,28	55,93	0,00	278,73	1,59	113,03	-	124,52	124,52	55,61		
21	Eikamp/Hoeffe	26,91	25,99	0,93	77,09	-51,10	32,89	0,00	0,00	98,27	0,48	126,56	-	54,50	54,50	18,61		
22	Voiswinkel	65,28	66,20	-0,93	74,58	-8,37	35,98	75,04	0,00	103,00	1,21	54,35	54,14	95,95	41,81	20,36		
23	Overath	75,50	74,80	0,70	55,39	19,41	50,03	60,53	0,00	177,48	1,37	66,88	40,35	98,18	57,83	28,30		
24	Heiligenhaus	141,04	141,90	-0,86	53,62	88,28	119,57	105,87	0,00	355,00	2,60	84,26	37,31	221,83	184,52	67,65		
25	Marialinden	56,07	54,43	1,63	55,86	-1,42	60,28	49,66	0,00	200,64	1,00	110,74	-	84,79	84,79	34,11		
26	Steinbrück	82,56	96,02	-13,47	54,80	41,22	69,93	68,28	0,00	215,18	1,76	72,83	42,51	160,71	118,20	39,57		
27	Vilkerath	115,92	114,64	1,28	61,37	53,27	64,29	85,45	32,44	225,86	2,10	56,08	72,85	173,33	100,48	36,38		
28	Immekeppel	55,01	78,05	-23,04	53,90	24,15	94,01	54,40	0,00	309,60	1,43	120,45	-	118,88	118,88	53,19		
29	Unterschbach	82,14	82,69	-0,55	56,72	25,97	86,05	63,23	0,00	257,39	1,51	104,06	-	151,43	151,43	48,69		
30	Brombach	19,23	17,88	1,35	57,91	-40,03	40,03	0,00	0,00	112,23	0,33	223,89	-	-	-	22,65		
31	Roesrath	80,06	77,33	2,74	55,68	21,65	32,57	74,59	31,13	130,08	1,42	42,12	51,87	107,76	55,89	18,43		
32	Kleineichen	51,10	52,34	-1,24	52,52	-0,17	59,62	32,35	0,00	168,59	0,96	113,90	-	82,52	82,52	33,73		
33	Forsbach	107,67	108,73	-1,06	53,46	55,27	89,16	76,28	0,00	272,22	1,99	82,01	18,64	185,55	166,90	50,45		
34	Hoffnungstal	56,75	59,41	-2,66	52,24	7,17	44,49	45,72	0,00	183,68	1,09	74,88	40,96	73,77	32,81	25,17		
35	Innenstadt	18,08	19,44	-1,36	51,88	-32,44	9,24	19,77	0,00	33,00	0,36	47,55	13,35	26,68	13,33	5,23		
36	Wuestenhof	21,16	22,19	-1,03	52,03	-29,84	47,30	0,00	0,00	166,74	0,41	213,16	-	12,42	12,42	26,76		
37	Eipringhausen	30,19	28,98	1,21	56,18	-27,20	37,98	0,00	0,00	102,01	0,53	131,04	-	48,93	48,93	21,49		
38	Tente	26,66	25,29	1,37	57,89	-32,60	21,97	21,81	0,00	61,72	0,46	86,88	-	42,54	42,54	12,43		
39	Huenger	14,87	15,32	-0,45	53,39	-38,07	23,72	0,00	0,00	74,67	0,28	154,86	-	33,99	33,99	13,42		
40	Dabringhausen	38,60	38,27	0,32	54,43	-16,16	29,66	41,55	0,00	86,75	0,70	77,50	16,26	52,49	36,22	16,78		
41	Dabringhausen Sued	16,40	15,31	1,08	57,96	-42,65	34,41	0,00	0,00	100,10	0,28	224,68	-	-	-	19,47		
42	Dhuern	45,35	43,17	2,18	56,78	-13,61	36,28	28,85	0,00	134,03	0,79	84,05	26,05	37,45	11,40	20,53		

Annex VIII: SMR der Enteritis-Inzidenz 1988-1999 ermittelt aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises

Nr	Name	SMR1988	SMR1989	SMR1990	SMR1991	SMR1992	SMR1993	SMR1994	SMR1995	SMR1996	SMR1997	SMR1998	SMR1999	SMR88_99	SMR [%]
1	Paffrath	0,2513	0,4455	1,0243	1,2466	1,0335	0,5447	0,5873	1,4251	1,1732	0,4008	0,7554	1,2312	0,8432	84,32
2	Gladbach	0,2299	0,8189	0,4315	2,0907	1,2189	1,3658	1,1517	0,9814	0,6964	1,2214	1,0628	0,9308	1,0167	101,67
3	Sand	1,5274	1,5692	1,6074	2,2784	1,7478	1,2991	0,2542	2,5820	2,9976	1,1047	0,6336	0,6472	1,5207	152,07
4	Herkentath	3,8738	1,0433	1,0040	1,5016	0,5958	0,8729	0,1204	0,5884	2,0359	0,9237	1,0787	0,9857	1,2185	121,85
5	Bensberg	1,6734	2,5015	1,4605	0,9651	0,7475	1,1417	1,0212	1,4061	0,9962	2,4344	1,1532	1,4440	1,4121	141,21
6	Reifrath	1,5055	0,5560	1,3175	0,7027	0,8421	0,7426	0,9795	1,4562	0,9066	1,5940	1,4739	1,0794	1,0963	109,63
7	Burscheid I	0,0000	0,5131	0,2690	0,2688	1,0724	0,2290	0,1794	0,1496	0,1310	0,2766	0,2934	0,1461	0,2940	29,40
8	Hilgen II	3,7086	0,8701	0,4563	0,4659	1,8467	0,0000	0,6379	0,2630	0,3222	0,4635	0,4939	0,8567	0,8579	85,79
9	Kuerten	1,1014	2,1299	1,0901	0,5458	1,2332	1,3790	0,3581	0,9061	1,3270	1,1084	0,1983	1,0319	1,0341	103,41
10	Olpe	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,3390	0,0000	0,0000	0,0000	1,0520	1,6647	0,8230	0,4066	40,66
11	Biestfeld	0,0000	0,0000	1,1745	2,9226	2,3115	1,4748	1,9162	0,9533	1,1253	1,1679	1,6402	1,8325	1,3766	137,66
12	Duerscheid	0,0000	0,0000	3,4383	1,1521	0,6501	1,9498	0,0000	1,2765	1,1315	3,1224	1,2570	0,3119	1,1908	119,08
13	Bechen	1,6904	1,6386	1,6582	0,0000	1,8723	0,6963	1,6199	0,4462	0,0000	0,8187	1,1445	1,4876	1,0894	108,94
14	Westl d. Wupper	0,6845	0,6629	0,9969	0,3418	0,9870	1,0286	2,2851	0,3914	0,5116	0,3698	0,5235	0,6880	0,7643	76,43
15	Oestl d. Wupper	0,7892	2,3668	0,4033	0,7900	0,4616	0,9986	0,2660	0,4637	0,2046	0,3026	0,3246	1,1011	0,7060	70,60
16	Aussenortschaften	0,0000	1,3503	0,0000	0,6950	0,4057	1,0085	0,0000	1,2577	0,0000	0,2732	1,4508	1,3117	0,6461	64,61
17	Witzhelden	1,2840	0,0000	0,6160	0,0000	1,0336	0,9709	3,1811	1,7046	0,6031	0,0000	0,2294	0,8566	0,8733	87,33
18	Odenthal	0,0000	0,0000	1,5345	0,0000	1,3133	0,0000	0,0000	0,0000	1,0882	0,2531	0,5419	0,9987	0,4775	47,75
19	Altenberg/Blecher	0,0000	0,0000	0,9750	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1027	1,4381	0,3320	0,3392	0,4969	0,3070	30,70
20	Neschen/Scheuren	0,0000	0,0000	8,8377	1,8026	0,0000	2,9409	2,3245	0,0000	0,0000	0,6012	2,0789	2,3617	1,7456	174,56
21	Eikamp/Hoeffe	0,0000	0,0000	0,0000	1,7180	0,0000	0,0000	1,1422	0,1890	0,7769	1,0374	0,0000	0,0000	0,4053	40,53
22	Voiswinkel	0,0000	5,9271	0,0000	3,1199	1,2271	0,8912	1,3708	0,3376	1,4883	0,6851	1,0671	0,7636	1,4065	140,65
23	Overath	1,6834	2,4854	1,7468	1,7054	1,9097	0,0000	0,7888	0,6708	1,6146	0,9972	1,8340	1,5968	1,4194	141,94
24	Heiligenhaus	2,2198	2,2118	0,0000	1,1149	0,6439	1,9209	2,8942	3,7173	2,7608	3,3588	3,3790	3,1551	2,2961	229,61
25	Marialinden	0,0000	0,0000	0,0000	1,6586	0,0000	0,0000	1,0712	0,9086	1,2073	1,1389	1,4420	1,7210	0,7623	76,23
26	Steinbrueck	2,5335	3,8346	1,2914	3,1479	1,0818	1,0570	0,0000	0,6793	2,3320	0,8198	1,9477	1,7742	1,7083	170,83
27	Vilkerath	4,9135	2,4513	2,5088	4,8445	0,6521	1,8845	1,4479	1,2057	3,0545	1,3807	1,0854	1,8727	2,2751	227,51
28	Immekeppel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,2668	1,4994	0,0000	0,0000	1,2831	0,8547	0,4639	0,4473	44,73
29	Unterschbach	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,6373	0,0000	1,3799	1,1659	4,1849	1,4564	2,3153	0,5734	1,1428	114,28
30	Brombach	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,2658	0,0000	0,0000	1,1731	0,0000	0,0000	0,2866	28,66
31	Roesrath	1,9173	1,8278	2,5113	2,1452	2,0702	1,2653	2,3212	0,9583	0,8411	1,1875	1,1342	1,1538	1,6111	161,11
32	Kleinleichen	0,0000	0,0000	2,0855	4,0335	1,1710	0,0000	0,0000	2,2414	0,0000	0,6788	2,1191	0,0000	1,0274	102,74
33	Forsbach	1,1142	0,0000	0,5548	2,1509	0,3095	2,2710	1,3729	3,1738	3,5178	1,7908	2,2768	2,4106	1,7453	174,53
34	Hoffnungstal	1,9195	0,9218	1,4684	0,0000	1,3580	1,1960	1,5114	1,0242	0,6611	2,0710	1,0170	0,3817	1,1275	112,75
35	Innenstadt	0,0000	0,7430	0,6014	0,7793	0,3401	0,6787	0,6551	0,3410	0,0999	0,2933	0,3123	0,1175	0,4135	41,35
36	Wuesterhof	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9467	4,2843	0,0000	0,0000	0,8215	0,0000	0,0000	0,0000	0,5044	50,44
37	Eipringhausen	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9067	0,0000	0,0000	0,0000	0,7899	1,0981	0,5780	0,8620	0,3529	35,29
38	Tente	0,0000	1,2237	0,5990	0,6051	0,6643	0,9934	1,1872	0,0000	0,0000	0,0000	0,5483	0,5432	0,5304	53,04
39	Huenger	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9935	0,0000	1,2892	0,5579	0,0000	0,0000	0,3091	0,2625	26,25
40	Dabringhausen	0,0000	0,0000	0,0000	0,6761	0,8066	1,8059	0,9228	0,7817	1,3648	0,9544	0,2533	0,3777	0,6619	66,19
41	Dabringhausen Sued	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,4728	1,0173	0,0000	0,0000	0,2075	20,75
42	Dhuenn	1,7018	1,6311	0,8405	0,8302	0,4896	0,7279	1,1424	0,4850	2,1411	0,3012	1,2738	0,0000	0,9637	96,37

**Annex IX: Erwartete Enteritis-Inzidenz (IRer) 1988-1999 ermittelt
aus dem Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises**

Nr	Name	IRer1988	IRer1989	IRer1990	IRer1991	IRer1992	IRer1993	IRer1994	IRer1995	IRer1996	IRer1997	IRer1998	IRer1999	IRerMiW
1	Paffrath	16,03	17,95	30,98	31,71	53,86	36,33	47,12	54,79	62,80	87,08	81,90	109,01	52,46
2	Gladbach	15,96	16,84	31,68	31,94	54,78	36,81	43,80	55,27	63,16	88,23	82,34	111,15	52,66
3	Sand	16,80	16,41	31,81	32,61	55,72	37,70	190,67	56,46	64,31	85,91	113,58	112,35	67,86
4	Herkenrath	18,87	17,01	34,13	34,04	57,87	39,17	141,68	58,28	66,09	90,28	107,42	116,83	65,14
5	Bensberg	16,01	16,91	32,38	32,64	56,01	36,91	57,05	55,78	63,31	87,96	85,15	110,48	54,22
6	Refrath	14,68	15,79	30,01	30,97	52,11	35,23	48,71	53,46	61,35	83,80	79,15	104,14	50,78
7	Burscheid I	17,55	17,95	33,50	33,49	57,69	38,25	48,66	57,20	64,94	91,54	86,01	115,12	55,16
8	Hilgen II	18,90	19,28	36,41	35,46	61,87	40,55	50,56	60,15	67,70	97,42	91,31	122,83	58,54
9	Kuerten	18,43	18,66	35,70	34,93	60,82	39,87	50,20	59,52	67,03	96,30	89,86	120,89	57,67
10	Olpe	19,42	19,74	37,66	36,28	63,57	41,49	51,41	61,44	68,89	100,06	93,52	126,12	59,97
11	Blesfeld	18,29	18,66	35,15	34,60	60,03	39,54	49,75	58,88	66,50	94,91	88,99	119,48	57,06
12	Duerscheid	18,75	19,23	35,92	35,16	61,31	40,24	50,18	59,60	67,24	96,25	90,51	121,57	58,00
13	Bechen	18,37	18,50	35,74	34,93	60,54	39,83	50,29	59,61	67,07	96,56	89,85	120,96	57,69
14	Westl. d. Wupper	16,26	16,31	31,05	31,66	54,26	36,39	47,20	54,83	62,61	86,48	81,38	108,36	52,23
15	Oestl. d. Wupper	16,19	16,11	31,17	31,70	53,95	36,06	46,98	54,22	61,81	84,12	78,91	104,69	51,33
16	Aussenortschaften	16,78	17,65	32,55	33,25	57,54	38,13	48,08	56,03	63,64	87,01	82,43	109,40	53,54
17	Witzhelden	17,22	15,82	32,93	32,66	55,82	37,21	48,34	56,67	64,43	90,98	85,12	113,98	54,27
18	Odenthal	16,22	16,94	32,32	32,41	54,98	37,95	49,26	287,68	65,44	92,41	85,98	115,49	73,91
19	Altenberg/Blecher	17,51	17,93	33,74	33,62	58,74	37,95	50,20	310,61	66,06	93,85	88,72	119,05	77,33
20	Neschen/Scheuren	18,26	18,92	35,01	34,20	58,98	39,86	50,55	306,39	67,25	96,27	90,29	119,95	77,99
21	Eikamp/Hoeffe	17,64	18,01	33,34	33,00	56,75	38,62	49,74	299,36	66,52	97,52	91,19	123,34	77,09
22	Voiswinkel	16,68	17,14	32,37	32,46	54,93	37,78	48,88	290,77	64,77	91,94	88,11	119,09	74,58
23	Overath	18,08	18,36	34,84	34,16	58,52	38,49	49,12	57,76	64,84	91,86	84,89	113,75	55,39
24	Heiligenhaus	16,70	16,76	32,35	32,55	55,21	37,09	48,19	56,28	63,66	89,47	83,45	111,72	53,62
25	Marialinden	17,81	18,27	33,94	33,85	58,56	38,76	49,14	57,93	65,29	92,28	87,34	117,09	55,86
26	Steinenbrueck	16,83	16,68	33,02	33,06	56,42	37,62	48,85	57,28	65,11	92,60	85,46	114,67	54,80
27	Vilkerath	18,65	18,69	36,52	35,95	63,66	42,06	52,44	62,98	71,22	105,04	97,46	131,80	61,37
28	Immekeppel	15,82	15,68	30,87	31,87	54,49	36,89	48,50	56,73	64,63	91,66	85,29	114,39	53,90
29	Untereschbach	17,91	18,07	34,76	32,20	59,57	39,42	50,19	59,40	66,56	95,63	88,21	118,72	56,72
30	Brombach	17,78	17,59	35,13	34,76	60,63	40,22	51,02	60,71	67,63	98,21	89,91	121,37	57,91
31	Roesrath	17,70	18,02	33,96	33,78	58,26	38,56	49,01	57,71	65,38	92,62	86,78	116,32	55,68
32	Kleineichen	16,51	16,96	31,22	31,95	54,46	36,47	47,15	54,88	62,77	86,86	81,88	109,08	52,52
33	Forsbach	16,65	16,78	32,10	32,46	55,28	36,92	47,94	55,95	63,62	89,27	83,20	111,32	53,46
34	Hoffnungstal	16,35	16,74	31,00	31,78	54,06	36,24	47,05	54,69	62,57	86,54	81,42	108,47	52,24
35	Innenstadt	16,60	16,91	30,75	31,64	54,11	36,22	46,90	54,38	62,23	85,27	80,56	107,02	51,88
36	Wuestenhof	16,60	16,54	30,95	31,70	53,16	35,58	46,66	54,24	62,26	86,44	81,52	108,67	52,03
37	Elpringhausen	17,50	17,62	33,05	33,14	58,92	39,03	49,39	58,35	66,08	94,03	88,45	118,62	56,18
38	Tente	17,55	18,05	34,41	34,07	60,08	39,85	50,02	59,64	67,53	97,63	92,01	123,85	57,89
39	Huenger	16,69	16,79	32,60	32,30	55,10	36,87	47,93	55,88	63,54	88,91	83,05	111,01	53,39
40	Dabringhausen	16,67	16,66	32,77	32,85	55,48	37,02	48,29	56,64	64,45	91,59	85,77	115,01	54,43
41	Dabringhausen Sued	18,41	18,85	35,53	34,89	62,29	40,62	50,40	59,83	67,29	95,99	90,25	121,15	57,96
42	Dhuenn	18,12	18,57	35,17	34,13	59,60	38,43	48,97	57,96	66,00	94,33	89,72	120,29	56,78

Annex X: Berechnung der Empirischen Bayes Schätzung zur Verbreitung der Enteritis-Inzidenz im Rheinisch-Bergischen Kreis

Ident.-Nr der Gebietseinheit	beobachtete Fälle	erwartete Fälle nach Altersstandardisierung	SMR	Empirische Bayes/SMR
1	146	173.15	84.32	84.69
2	181	178.03	101.67	101.64
3	39	25.65	152.05	145.00
4	44	36.11	121.85	119.69
5	173	122.51	141.21	139.91
6	163	148.68	109.63	109.39
7	22	74.83	29.40	33.05
8	31	36.13	85.80	87.28
9	36	34.81	103.42	103.11
10	8	19.68	40.65	50.86
11	55	39.96	137.64	134.21
12	23	16.65	138.14	130.75
13	27	19.31	139.82	132.99
14	42	54.95	76.43	78.08
15	30	42.49	70.60	73.20
16	23	35.60	64.61	68.27
17	28	32.06	87.34	88.80
18	16	33.51	47.75	53.43
19	9	29.32	30.70	39.16
20	21	12.03	174.56	155.88
21	6	13.25	45.28	58.20
22	25	17.77	140.69	133.21
23	68	47.91	141.93	138.69
24	48	20.91	229.56	208.59
25	26	34.10	76.25	78.81
26	51	29.90	170.57	162.19
27	36	15.82	227.56	201.63
28	12	7.67	156.45	137.08
29	14	12.25	114.29	110.84
30	2	6.99	28.61	54.97
31	100	62.10	161.03	157.32
32	10	9.73	102.77	102.08
33	80	45.84	174.52	168.50
34	48	42.57	112.76	111.68
35	35	84.64	41.35	44.05
36	5	9.91	50.45	64.96
37	7	19.84	35.28	46.33
38	17	32.05	53.04	58.36
39	5	19.05	26.25	39.26
40	21	31.72	66.20	70.08
41	2	9.64	20.75	44.33
42	19	19.72	96.35	97.04

Datenquelle: Melderegister der UGB des Rheinisch-Bergischen Kreises 1988-1999