

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. H. Karch -

Untersuchung der Elektrolytgehalte
des Wassers in privaten Wasserversorgungsanlagen
im Bereich Paderborn / Gütersloh

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von:

Ulrich Robert Zimmer

aus Grimma

2003

**Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. W. Mathys

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. Ott

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Januar 2004

Meiner Mutter

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. H. Karch -
Referent: Priv.-Doz. Dr. rer.nat. W. Mathys
Koreferent: Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. Ott

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung der Elektrolytgehalte des Wassers in privaten Wasserversorgungsanlagen im Bereich Paderborn/ Gütersloh

Zimmer, Ulrich Robert

In der vorliegenden Studie wurden 200 Wasserproben aus privaten Eigenwasserversorgungen in Ostwestfalen-Lippe entnommen und anschließend analysiert. Das Ziel dieser Studie ist es, Regionen mit erhöhten Fluoridkonzentrationen abzugrenzen und durch entsprechende Publikationen in der Bevölkerung ein stärkeres Interesse und höheres Bewußtsein für den Sachverhalt zu schaffen. Da keine flächendeckende öffentliche Trinkwasserversorgung zur Verfügung steht, bietet das Brunnenwasser die einzige Alternative, private Haushalte mit Wasser zu versorgen.

Bei 200 Eigenwasseranlagen wurden die jeweiligen Anionen und Kationen bestimmt. Es handelt sich dabei um Konzentrationen von Bor, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Kalium, Kalzium, Magnesium, Lithium, Strontium, Ammonium und Natrium. Bei 1 % der untersuchten Brunnen stellt sich das Problem, daß die Fluoridkonzentration den durch die Trinkwasserverordnung festgelegten Richtwert von 1,5 mg/l übersteigt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass in 3 % der Fälle erhöhte Fluoridkonzentrationen im Sinne der Richtwerte der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde von über 1 mg/l vorliegen. In 1 % der analysierten Wasserproben traten Spitzenwerte von über 2 mg/l auf. Der Durchschnitt der Fluoridkonzentration zeigt gegenüber der öffentlichen Wasserversorgung keinen Unterschied. Vereinzelt ließen sich sehr hohe Konzentrationen an Ammonium (2,5 mg/l), Kalium (43 mg/l), Natrium (619 mg/l), Chlorid (635 mg/l) und Bor (2,2 mg/l) ermitteln, die die Nutzung des Brunnenwassers entweder einschränken oder es als Trinkwasser nicht zulassen.

Um zukünftig gesundheitliche Schäden zu vermeiden, wie sie in der Vergangenheit bereits aufgetreten sind, gilt es, flächendeckende Untersuchungen durchzuführen.

Tag der mündlichen Prüfung:

Inhaltsverzeichnis

1 Fluoride	1
1.1 Vorkommen in der Natur und heutige Verwendung	1
1.2 Vorkommen in Lebensmitteln.....	3
1.3 Quantitative Aufnahme.....	7
1.4 Metabolismus.....	9
1.5 Reaktions- und Wirkmechanismus.....	14
1.5.1 Kariesprophylaktische Wirkmechanismen des Fluorids.....	14
1.5.2.1 Chemische Wirkung	14
1.5.2.2 Antibakterielle Wirkung.....	16
1.5.2.3 Lokale und systemische Fluoridierung	17
1.6 Toxikologische Aspekte.....	21
1.6.1 Akute Toxizität.....	21
1.6.2 Chronische Toxizität.....	22
2 Zielsetzung	25
3 Material und Methoden	27
3.1 Untersuchungsgebiet und Probenentnahme.....	27
3.2 Aufbereitung der Wasserproben und Standards	30
3.3 Durchführung der Messung.....	34
4 Ergebnisse.....	36
4.1 Geographische Einordnung	36
4.2 Unterscheidung der Brunnen nach Lokalisation und Tiefe.....	38
4.3 Möglichkeiten der Wasseraufbereitung	40
4.4 Betrachtung der Fluoridwerte.....	41
4.5 Statistische Angaben zur Wassernutzung.....	49
4.6 Ergebnisse der ermittelten Anionen- und Kationenkonzentrationen	53
4.7 Korrelationen zwischen Anionen, Kationen und Fluorid.....	66

Inhaltsverzeichnis

5 Diskussion	79
6 Schlußfolgerung.....	86
7 Zusammenfassung	88
8 Literaturverzeichnis	90
9 Danksagung.....	107
10 Lebenslauf	108
11 Anhang.....	I
11.1 Abbildungsverzeichnis.....	I
11.2 Tabellenverzeichnis.....	II
11.3 Abkürzungsverzeichnis.....	III
11.4 Gesamtübersicht der Ergebnisse in Tabellenform.....	IV

1 Fluoride

1.1 Vorkommen in der Natur und heutige Verwendung

Zusammen mit Chlor, Brom und Jod bildet Fluor im periodischen System der Elemente die Gruppe der Halogene. Fluor besitzt eine hohe Elektronegativität und dadurch eine sehr gute chemische Aktivität – ein Grund dafür, daß Fluor in der Natur nie in elementarer Form vorkommt. Liegt eine Verbindung mit anderen Elementen vor, bezeichnet man es als Fluorid [Gaciri und Davies 1993].

Verbindungen des Fluors kommen überall in der Natur entweder als leicht lösliches Salz (Natrium- und Kaliumfluorid) oder als schwer lösliches Mineral (Flußspat und Fluorapatit) vor: im Boden, in der Luft und im Wasser. Die häufigsten Verbindungen sind Flußspat (CaF_2), Kryolith (Na_3AlF_6) und Apatit ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{F}$).

Der Name des Elements leitet sich aus dem Lateinischen her (fluere: lat. fließen). Im Mittelalter verwendete man Fluor beim Schmelzen von Erzen als Flußmittel. Heute finden Fluorverbindungen in der Schädlingsbekämpfung Anwendung [Schmidt 1967]. Außerdem benutzte man Fluor als Kälte- und Treibmittel (Fluorchlorkohlenwasserstoffe), bei der Isotopentrennung für Kernbrennstoffe (Uranhexafluorid), als Blutersatzmittel (perfluorierte Alkane) und in Form von Fluorkohlenstoffen (Fluorkarbonsäuren, Fluoralkohole, Fluortenside) [Hellwig 1996].

Für die Verwendung in optischen Linsen für Mikroskope und Fernrohre ist Flußspat bekannt geworden [Naujoks 1987].

Fluor gehört unter anderem zu den Bestandteilen, aus denen die ca. 16 km dicke Erdkruste besteht. Mit 0,03 % Anteil aller die Erdkruste zusammensetzenden Elemente liegt Fluor damit an siebzehnter Stelle [Naujoks 1987]. Über Vulkantätigkeit, durch Erosion und Verdunstung von Mineral- bzw. Wasserpartikeln gelangt es in die Biosphäre. In Form von Staub, Nebel, Regen

oder Schnee wird es vom Boden, dem Grundwasser und in den Gewässern wieder aufgenommen. In der Natur findet sich Fluor ubiquitär. Im Erdboden werden Konzentrationen von 80 bis 1100 mg/l erfaßt, der Mittelwert liegt bei 530 mg/l.

Abhängig vom Verschmutzungsgrad herrschen in der Luft Deutschlands zwischen 0,5 und 1,3 mg F/m³; in der Nähe von Aluminiumhütten und phosphatverarbeitender Industrie sogar Werte bis zu 3,0 mg F/m³ [Czarnowski et al. 1996; Schneider 1968].

Fluoride finden sich auch in allen Wasserarten. Im Grundwasser liegt die Konzentration oft unter 0,1mg/l, in Flüssen unter 0,5 mg/l und im Meerwasser bei etwa 1,2 bis 1,6 mg/l [Arad 1988]. Je nach Verschmutzung enthält Regenwasser zwischen 2 und 20 µg F/l [Hellwig 1996].

Fluoride, als natürliche Bestandteile in Pflanzen und tierischen Organismen vorkommend [Henschler 1968], gelangen somit durch den Nahrungskreislauf auch in den Körper des Menschen [Smith und Ekstrand 1988].

Bei Wirbeltieren liegt der Gehalt in den Knochen und Zähnen etwa 1.000- bis 10.000-fach höher als in den Körperflüssigkeiten [Henschler 1968]. Fluorid gehört zu der Gruppe der essentiellen Spurenelemente, ohne die eine Bildung von Knochen und Zähnen nicht möglich ist [World Health Organization 1970]. Es hat dabei als Kristallisationskeim für die Bildung von Knochen und Zähnen eine hohe Bedeutung [Karlson 1984]. Bei Ratten konnten im Tierversuch durch Fluoridkarenz Wachstumsbeeinträchtigungen gezeigt werden. Die jeweilige Verzögerung des Wachstums stand in Abhängigkeit zur Höhe der Fluoridgabe [Schwarz und Milne 1972].

Etwa 99 % des Fluorids im menschlichen Körper finden sich im Knochen und den Zähnen [Ekstrand und Whitford 1988], der Rest verteilt sich auf alle Gewebe des Körpers. Der Körper eines Erwachsenen enthält etwa 2,6 g Fluorid [Hopfenzitz 1996]. Es hat eine große Bedeutung für die Stabilität des Knochens, vor allem spielt es eine entscheidende Rolle für die Kariesprophylaxe.

1.2 Vorkommen in Lebensmitteln

In vielen Lebensmitteln ist eine sehr hohe Fluoridkonzentration zu erkennen, dazu zählen Fisch und schwarzer Tee. Im Fischfleisch ist der Gehalt an Fluorid relativ niedrig, jedoch in der Haut (10 mg/l) und den Gräten (bis 300 mg/l) sehr hoch. Bei Fischfertigernahrungen (Fischstäbchen) kann der Fluoridwert durch die Verwendung von Fischgräten sehr hoch sein. Tee hat im Gegensatz zu anderen Pflanzen einen extrem hohen Fluoridgehalt, der bis einige 100 mg/l betragen kann [Strübig und Gülzow 1981]. Beim Teeaufguß variiert der Gehalt zwischen 0,6 und 2,7 mg/l.

Die im folgenden dargestellten Beispiele in Tabelle 1 zeigen die unterschiedlichen Fluoridkonzentrationen einiger Nahrungsmittel.

Produkt	mg Fluorid /kg Frischgewicht
Mettwurst	0,21
Hackfleisch	0,30
Fleischwurst	0,74
Würstchen (Dose)	1,02
Ölsardinen (ohne Haut und Gräten)	4,00
Ölsardinen (mit Haut und Gräten)	18,00
Fischmehl	245,00
Krill	970,00
Schwarzer Tee (Aufguß)	0,7-3,00

TABELLE 1: Fluoridgehalt verschiedener Nahrungsmittel [88]

In Trink- und Mineralwässern schwankt der Fluoridgehalt deutlich [Schulte et al. 1996]. Nach der EG-Trinkwasserdirektive wird ein temperaturabhängiger Wert von 0,7-1,5 mg F/l als Grenzkonzentration angegeben.

Die Trinkwasserleitlinien der WHO setzen einen Leitwert von 1,5 mg F/l an. 80 % der Gemeinden in den alten Bundesländern zeigen Fluoridkonzentrationen von unter 0,25 mg/l [Eberle 1985].

Heil- und Mineralwässer enthalten meist mehr Fluorid [Schulte et al. 1996; Toumba et al. 1994; Wetzels und Wolf 1991].

< 0,1 mg Fluorid /l	
Aproz*	Mathilden-Quelle
Assinda	Perrier*
Aven*	Renata-Quelle
Bad Pyrmont	Rheinfels-Quelle
Celtic*	Rhodium Mineralwasser
Contell*	Rosbacher Diana
Evian*	Rosbacher Mineralwasser
Extaler Mineralquelle	Rosbacher Urquell
Franken-Hochsteinquelle	Schönborn-Quelle
Gloria	Sole*
Heerbacher Mineralbrunnen	St. Gero
Hella	Stolzenbacher Tafelwasser
Henniez*	Tönissteiner
Kastell	Ty Nant*
Königsteiner-Haderheck-Quelle	Ursteiner
Löwensteiner Mineralquelle	Violetta Allg. Alpenwasser
Lohberg	Vittel*
Maresca*	Wenden-Quelle

< 0,2 mg Fluorid /l	
Alaska	Irisquelle
Bonaqua	Quintus Quellwasser
Brohler Classic	Sankt Gero Heilwasser
Burgwallbrunn	Sankt Martin
Caspar-Heinrich-Quelle	Schloss-Quelle Mellis
Contrex*	Staatl. Bad Brückenauer
Eichenzeller Natur-Brunnen	Stiftsquelle
Frankenbrunnen	Vilsa Brunnen
Fürstenbrunn	Vilsa Stiller Quell
Germeta Mineralbrunnen	Vogelsberger
Gerolsteiner Sprudel	Volvic*
Gerolsteiner Stille Quelle	Werretaler
Graf-Meinhard-Quelle	

* Produkt aus ausländischer Mineralquelle

< 0,3 mg Fluorid /l	
Azur	Römer-Brunnen
Bad Nauheimer	Salinger
Bad Salzschlirfer M.-Brunnen	Selzer Mineralbrunnen
Burg-Quelle	Spessart-Quelle
Carolinen	St. Margareten Heilwasser
Centgraf-Brunnen	Staatl. Bad Meinberger
for U Quellwasser	Staatl. Fachinger
Germeta-Urquelle	Steinsieker
Hessische Fortuna-Quelle	Taunusquelle
Kronia-Quelle	Volkmarsener Urquell
Ried-Quelle	

* Produkt aus ausländischer Mineralquelle

TABELLE 2a: Fluoridkonzentrationen verschiedener Mineralwassersorten

[Schulte, Schiefer, Stoll, Pieper (1996)]

Die Fluoridkonzentration deutscher Mineralwässer liegt im Durchschnitt bei 0,58 mg/l [Schulte et al. 1996]. Schweizer Mineralwasser weisen hingegen nur 0,57 mg/l auf [Marthaler und Schait 1967]. In England scheint es keine einheimischen Mineralwässer mit erhöhten Fluoridkonzentrationen zu geben [Levy et al. 1993]. Nach LEVY et al. läßt sich dort ein Mittelwert von 0,20 mg/l errechnen. Zu beachten ist, daß der Verbrauch an Mineralwässern in den letzten zehn Jahren auf das Doppelte pro Person angestiegen ist [Schulte et al. 1996] und im Einzelfall im Mineralwasser ein hoher Fluoridgehalt vorliegen kann.

Ab einer Konzentration von 1,5 mg/l muß Mineralwasser laut Mineralwasserverordnung als fluoridhaltig gekennzeichnet, ab 5 mg/l mit einem Warnhinweis versehen werden [Trinkwasserverordnung 1984]. Dennoch können bei unsachgemäßem Gebrauch von fluoridreichen Mineralwässern, bei Kindern im Einzelfall, und gleichzeitiger Supplementierung von Fluoridtabletten Dentalfluorosen auftreten [Wetzel und Wolf 1991]

Der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch an Erfrischungsgetränken ist seit 1960 bis 1990 von 13,6 l auf 85,0 l angestiegen [Statistisches Bundesamt 1995].

Apollinaris	0,7		
Altmühltaler	0,6		
Arkia	0,5		
Augusta Viktoria	0,7	Heilwässer	
Bad Driburger Mineralquelle	0,6		
Bad Hersfelder Naturquelle	0,7	Badoit	1,3
Bad Pyrmonter Heilwasser	0,4	Bad Vilbeler Elisabethenbrunnen	1,1
Bad Vilbeler Hermanns-Quelle	0,6	Förstina Sprudel	1,2
Bad Vilbeler Urquelle	0,4	Fortuna (Rhön)	1,4
Carl von Linne*	0,5	Hirschquelle	1,2
Diemeltaler Quelle	0,5	Kellerwald-Quelle	1,5
Emstaler Brunnen	0,4	Kronthal-Quelle	1,0
Felsensteiner Quelle	0,4	Lavaredo*	1,4
Frauenholzer Mineralbrunnen	0,6	Selters-Mineralquelle	1,0
Hassia	0,8	St. Maria Brunnen	1,4
Heppinger	0,7	Teinacher	1,0
Hessenquelle	0,5	Zwestener Löwenquelle Heilwasser	1,4
Irenen-Mineralquelle	0,5		
Johannis-Quell	0,4		
Juwel-Brunnen	0,8		
König-Ludwig-Quelle	0,5		
Kaiser-Friedrich-Quelle	0,4	Astra Quelle	2,8
Kaiser-Friedrich-Heilquelle	0,6	Birgy Bronn	3,8
Luisenbrunnen	0,5	Christinen Brunnen	3,5
Marien Brunnen	0,4	Hardenstein Brunnen	3,3
Mönchsbrunnen	0,4	Redinger Mineralbrunnen	3,1
Neuselters-Mineralquelle	0,6	Schwarzwald-Sprudel	2,2
Oberselters	0,8	St. Lambertus Altmühltaler Heilquelle	5,1
Odenwald-Quelle	0,8	Überkinger Mineralwasser	2,9
Radenska*	0,6	Zwestener Löwensprudel	1,6
Räzünser*	0,5		
Redinger Dachsberg Quelle	0,4		
Rheinfels-Urquelle	0,5		
Rhenser	0,9		
Ritter Bechtram Ried-Quelle	0,4		
Rhönsprudel	0,7		
Romanis	0,4		
Römerwall Stille Quelle	0,6		
St. Johannis-Quelle	0,4		
San Pellegrino*	0,7		
Saturn-Quelle	0,9		
Stelonia Lahnfels-Quelle	0,5		
Ulmtalquelle	0,5		
Venus-Ried-Quelle	0,4		
Waldecker	0,4		
Zack Romanis Quelle	0,5		

* Produkt aus ausländischer Mineralquelle

TABELLE 2b: Fluoridkonzentrationen einiger Mineralwässer > 0,3 mg/l und Heilwässer [Schulte, Schiefer, Stoll, Pieper (1996)]

1.3 Quantitative Aufnahme

Nach OELSCHLÄGER nimmt ein Erwachsener täglich im Durchschnitt 0,3 - 0,7 mg Fluorid auf, davon 0,265 mg durch feste Nahrung und ca. 0,3 mg in Form von Getränken inkl. Trinkwasser. Die Bioverfügbarkeit liegt nur bei 60 bis 80%. Dem gegenüber steht ein täglicher Fluoridverbrauch von 0,4 mg bei Frauen und 0,55 mg bei Männern [Trautner und Siebert 1983].

Die tägliche Fluoridaufnahme beträgt bei Männern durchschnittlich 0,57 mg.

	DGE 1980	Oelschläger 1983
Fleisch, Fisch	0,222	0,0058
Eier, Milch, Fett	0,102	0,0350
Backwaren, Nahrungsmittel	0,156	0,0980
Gemüse, Kartoffeln	0,056	0,0570
Obst	0,020	0,0230
Zucker, Süßigkeiten	0,008	0,0040
Feste Nahrung gesamt	0,564	0,2650
Getränke	0,238	0,1750
Gesamt ohne Trinkwasser	0,802	0,4400
Trinkwasser	keine Angaben	0,1300
Total	0,802	0,5700

TABELLE 3: tägliche Fluoridaufnahme erwachsener männlicher Personen in mg
[Trautner 1991]

Für die individuelle Fluoridaufnahme spielen Ernährungs- und Trinkgewohnheiten eine entscheidende Rolle. Daher können diese Werte zum Beispiel bei einem hohen Fischkonsum oder im Falle einer Nutzung von Trinkwasser mit überdurchschnittlichem Fluoridgehalt erhöht sein.

In der heutigen Zeit sind Dentalprodukte ebenfalls als Fluoriddonatoren zu berücksichtigen. Dazu zählen Kariostatika mit variablem Fluoridgehalt, das eventuelle Verschlucken von Alginaten und die Aufnahme aus Restaurationsmaterialien wie Glasionomerzementen und Kompomeren.

In Bezug auf Dentalhygieneprodukte läßt sich feststellen, daß bei entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen die systemische Fluoridaufnahme durch Zahnpasten, Mundspülungen und Gele gering ist. Eine besondere Vorsicht gilt bei Kindern, die diese Produkte anwenden, da deutlich überhöhte Dosen in der Entwicklungsphase zu Vergiftungen führen können.

Die Konzentrationen einiger Fluoridsupplementierungen finden sich in der folgenden Tabelle.

Darreichungsform	Konzentration	Übliche Dosierung	Fluoridmenge [mg/d]
Kochsalz	250 mg/kg	4 g Salz/d	1
Kinderzahnpasta	250 mg/l	2 g/d	0,5
Zahnpasta	1000-1500 mg/l	2 g/d	2
Mundspüllösung	250 mg/l	10 ml/Anwendung	2,5
Duraphat-Lack	22600 mg/l	0,5-1 g/Anwendung	11,0-23,0
Elmex Gelee	12500 mg/l	5 ml/Anwendung	61,5

TABELLE 4: Fluoridsupplemente und deren Fluoridgehalte

1.4 Metabolismus

Viele Medikamente enthalten Fluorid. Nach Anästhesien mit den fluoridhaltigen Narkotika Enfluran, Methoxyfluran und Sevofluran konnten beispielsweise KARASCH et al. (1995) deutlich erhöhte Fluoridkonzentrationen bis 50 μM im Plasma feststellen. Sie fanden auch heraus, daß aufgrund schneller Metabolisierung und Elimination in der Leber nicht mit Organschädigungen zu rechnen ist [Karasch et al. 1995].

Die Fluoridaufnahme aus der Atemluft über die Lunge ist außerordentlich gering und erhöht den Fluoridspiegel im Blutplasma nicht wesentlich. Fluorid wird vorwiegend im Gastrointestinaltrakt resorbiert [Whitford 1994].

Die Fluoridaufnahme im menschlichen Körper hängt nicht allein von der Fluoridkonzentration der Nahrung, sondern auch von der Bioverfügbarkeit ab. So können Mageninhalt, Säurekonzentration, Art der Fluoridierung und das Vorhandensein komplexierender Ionen wie Aluminium, Magnesium, Kalzium usw. die Fluoridresorption beeinträchtigen. Leicht lösliche Verbindungen wie NaF , HF , H_2SiF_6 und SnF_2 werden schnell und nahezu komplett aufgenommen [Ekstrand und Ehrnebo 1980]. Schwer lösliche Verbindungen wie CaF_2 , MgF_2 und AlF_3 werden inkomplett und langsam resorbiert [Spak et al. 1982]. Einige Ionen (z.B. Kalzium und Aluminium) können im Magen unlösliche Fluoridverbindungen bilden und somit die Bioverfügbarkeit herabsetzen [Ekstrand und Ehrnebo 1980].

Die Resorption ist ein Prozeß, der über passive Diffusion abläuft. Ionische Fluoride werden durch die Magensäure in eine schwach dissoziierte Säure (HF) umgewandelt, die die biologische Membran dann schnell passieren kann.

Die Permeabilität und der darauffolgende Konzentrationsanstieg im Plasma hängen also vom Säuregehalt des Magens ab [Whitford und Pashley 1984]. Für HF ist die Permeabilität ca. eine Million Mal größer als für ein reines geladenes Fluoridion [Ekstrand und Whitford 1988].

Die Bioverfügbarkeit reinen Fluorids liegt allerdings nur bei 60 bis 80 % [Oelschläger 1983]. Anorganisches Fluorid, welches in der Kariesprophylaxe Verwendung findet, wird zu 80 bis 100 % aufgenommen [Hellwig et al. 1995].

Im Duodenum kann ebenfalls ein geringer Anteil des Fluorids resorbiert werden. Geschieht dies in diesem Bereich nicht vollständig, erfolgt die Ausscheidung über die Faeces.

Findet die Aufnahme per os statt, kommt es zu einem kurzfristigen Anstieg des Plasmafluoridgehalts mit einem Spitzenwert nach ca. 30 - 60 Minuten, abhängig vom Körpergewicht, der Resorptionsrate und dem metabolischen Zustand des Körpers [Hefti 1986]. Dabei ist zu beachten, daß sich der Zeitfaktor in Bezug auf die aufgenommene Fluoridmenge unabhängig verhält. Wenn Dentalprodukte NaF und SnF₂ enthalten, wird Fluorid fast komplett resorbiert. Bei der Gabe von Natriummonofluorophosphat wird weniger aufgenommen. Saure Fluoridgele erreichen im Plasma Extremwerte bis zu 100 µM [Ekstrand et al. 1981].

Im Blut ist Fluorid nur zu einem geringen Teil gebunden. Toxikologische Aspekte beziehen sich im zahnmedizinischen Bereich vorwiegend auf das ionisch frei vorliegende Fluorid. Der Normalwert variiert hier zwischen 0,7 und 2,7 µM [Taves 1966]. Die relativ hohe Spanne hängt von verschiedenen Untersuchungsmethoden, der unterschiedlichen, individuellen täglich variierenden Fluoridaufnahme der Probanden sowie dem jeweiligen Metabolismus ab. Eine standardisierte physiologische Konzentration gibt es daher nicht. Im Allgemeinen kann man sagen, daß der Blutwert numerisch mit dem Wert für den Trinkwasserfluoridgehalt gleichgesetzt werden kann, wenn man den Plasmawert in µM und den Wert für das Trinkwasser in ppm ausdrückt [Whitford 1990]. Trotzdem unterliegt der Plasmawert starken Schwankungen, da dieser sowohl durch die vorherige Fluoridaufnahme als auch die Aufnahme oder Abgabe des Knochens und die renale Clearancerate beeinflusst wird.

Neben den ionisch vorliegenden Fluoriden enthält das Plasma auch gebundene Fluoridionen. Sie werden als nichtionische bzw. organische Komponente bezeichnet.

Offensichtlich sind mehrere Moleküle für die starke Bindung verantwortlich [Whitford 1990]. Bisher ist nicht bekannt, ob ein Austausch zwischen ionischem und festgebundenem Fluorid existiert. Über einen toxischen Effekt der gebundenen Fluoridverbindungen liegen keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen vor.

Eine Plazentaschranke für Fluoridionen gibt es nicht, da im fetalen Blut die Fluoridkonzentration nur geringfügig niedriger ist als im mütterlichen Blut [Shen und Taves 1974]. Die Serumkonzentration beträgt 75 % des Fluoridgehalts des mütterlichen Blutes.

Nach Aufnahme einer Einzeldosis unterscheidet man drei Phasen :

Während der **Resorptionsphase** kommt es zu einem schnellen initialen Anstieg und einem Spitzenwert im Blutplasma nach ca. 30 Minuten. Das Zeitintervall ist dabei von der aufgenommenen Menge unabhängig.

In der zweiten Phase, der **Phase der Verteilung (α -Phase)** kommt es zu einem Abfall der Konzentration [Ekstrand und Whitford 1988]. Das Fluorid wird zuerst in zentrale, gut durchblutete Organe verteilt. Dazu gehören das Herz, die Nieren und die Leber. Schnell geschieht die Resorption in den Knochen. Langsam erfolgt dann die Aufnahme in die peripheren Körperkompartimente, in das Fett, die Muskeln und die Haut. Es entsteht eine mengenmäßig konstante Verteilung zwischen Blutplasma und Weichgeweben, auch wenn eine schnelle Änderung der Plasmafluoridkonzentration eintritt [Whitford 1990].

Diese Gleichgewichtsreaktion ähnelt dem Resorptionsprinzip in Magen und Duodenum. Eine HF-Bindung ist für die passive Diffusion notwendig. Differente Gewebe sind durch eine unterschiedliche Gewebe-Plasma-Relation gekennzeichnet. Das Gehirn mit einer Relation von 0,084 hat somit eine sehr geringe, die Haut (0,43) und die Leber (0,98) eine mittelmäßige und der Knochen (7,52) und die Niere (4,16) eine sehr hohe Permeabilität für Fluorid.

Das Skelett dient bei Zufuhr von Fluoriddosen, die das Ausscheidungsvermögen der Nieren übersteigen, als Auffang- und Ausgleichsreservoir. Existiert ein hohes Fluoridangebot, erhöht sich reversibel auch die Einbaurate. In Zeiten schlechter Fluoridversorgung kann dann eine Abgabe in das Blut erfolgen und somit das Fluoridgleichgewicht aufrechterhalten werden.

Während der Wachstumsphase werden 45 % des Fluorids retiniert. Es liegt eine positive Bilanz vor. Der Rest wird in Form von Schweiß und Speichel (1 %), Urin (49 %) und Faeces (4 %) abgegeben.

30 % der Fluoridionen werden bei ausgeglichener Bilanz in das Skelett eingelagert, wobei die Freisetzung der gleichen Menge entspricht.

Nach Aufnahme hoher Fluoridkonzentrationen über einen längeren Zeitraum ergibt sich eine erhöhte Freisetzung und Ausscheidung und somit eine negative Bilanz [Büttner 1968].

Körperflüssigkeiten, die von Epithelien abgesondert werden, zeigen einen eigenen Transportmechanismus [Whitford 1990]. Daraus resultieren andere Fluoridkonzentrationen als im Plasma. So ist der Fluoridgehalt in reinem Parotisspeichel um 76 % und im Submandibularisspeichel um 87 % geringer.

Der Fluoridgehalt in der Gingivalsulkusflüssigkeit ist gegenüber dem des Plasmas leicht erhöht (10 %). Direkt an den Ausführungsgängen gemessene Fluoridkonzentrationen verhalten sich proportional zum Gehalt an Fluorid im Plasma. Zwischen dem Plasmagehalt und dem Gesamtspeichel existiert keine Korrelation, da exogene Einwirkungen durch Speisen, Getränke und Dentalpflegemittel starke Schwankungen nach oben hervorrufen können.

Reduziert sich der Fluoridgehalt im Plasma durch die renale Clearance, nimmt die Fluoridkonzentration gleichzeitig in der Peripherie ab und kann dann über die Niere ausgeschieden werden.

Diese Phase wird als **Eliminationsphase (β-Phase)** bezeichnet. Somit besteht eine Abhängigkeit von der Stoffwechsellage, dem pH-Wert des Urins und der aufgenommenen Fluoridmenge [Patz 1975]. Die Halbwertszeit im Plasma liegt je nach Individuum und Höhe der Dosis bei zwei bis neun Stunden.

Da der größte Teil des absorbierten Fluorids durch die Nieren ausgeschieden wird, läßt sich die Fluoridhomöostase aufrechterhalten [Hodge und Smith 1965].

Im Zustand einer Alkalose (pH >7 - 8) werden die F⁻-Ionen nicht hydratisiert und somit schneller ausgeschieden. Liegt eine Azidose vor (pH 5 - 6,2), werden sie über die Tubuluszellen aufgenommen. Es findet eine Hydratisierung statt [Whitford et al. 1976].

Bei einer vegetarischen Ernährungsweise ist der Urin alkalischer, das bedeutet, daß weniger Fluorid für den Einbau in den Knochen und die Zähne während der Entwicklung zur Verfügung steht [Ekstrand et al. 1982].

Das Gegenteil findet sich bei Kleinkindern, die Fertignahrung mit einem hohen Gehalt an Säuren zu sich nehmen [Kodali et al. 1994]. Ein geringer Teil des aufgenommenen Fluorids wird dauerhaft im Skelett retiniert, um die Löslichkeit herabzusetzen und der Stabilisierung zu dienen. Mit steigendem Lebensalter nimmt der Fluoridanteil zu, durch Knochenresorptionen werden jedoch wieder verstärkt Fluoride freigesetzt.

1.5 Reaktions- und Wirkmechanismus

1.5.1 Kariesprophylaktische Wirkmechanismen des Fluorid

Fluorid wirkt antibakteriell und chemisch. Die chemische Wirkung ist mit großem Abstand die wichtigste.

1.5.1.1 Chemische Wirkung

Ein Zahn verhält sich wie ein schwerlösliches Salz in einer wässrigen Lösung (Schmelz und Dentin im Speichel). Im Idealfall besteht an der Zahnoberfläche ein Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation. Durch zuckerreiche Ernährung und Plaquebesiedelung gerät dieses Gleichgewicht aufgrund bakterieller Säureproduktion jedoch in Richtung Demineralisation. Mikroskopisch kommt es zu Bildung kleiner kariöser Läsionen, aus denen schließlich sichtbare Kavitäten entstehen können.

Durch die Protonierung des Phosphats im Apatit von Schmelz oder Dentin beginnt die Demineralisierung.

Kalzium kann dadurch nicht mehr genügend gebunden werden und geht verloren [König 1987]. Existiert Fluorid, verschiebt dieses die Reaktion in Richtung Remineralisation und kann damit den beginnenden Substanzverlust aufhalten, bevor er mikroskopisch sichtbar wird. Selbst wenn ein kreidiger Fleck vorliegt, der als klinisch sichtbare Läsion gewertet werden kann, besitzt das Fluorid die Eigenschaft der Heilung.

Die wichtigste kariesprophylaktische Funktion des Fluorids besteht in der Fähigkeit, Protonen in Form von H^+ -Ionen aus der demineralisierten Zahnschmelzsubstanz zu entfernen und somit die Wiedereinlagerung von Kalzium zu ermöglichen [König 1987].

Eine weitere Funktion des Fluorids ist die Stabilisierung der bestehenden Zahnschubstanz. Apatit ist kein chemisch reiner Hydroxylapatit, sondern kann im Idealfall bei Mangel an OH⁻-Ionen fluoridiert werden. Es entsteht zu einem geringen Teil Fluorapatit, der um den Faktor 10 säurestabiler ist als Hydroxylapatit [König 1987; Featherstone und Ten Cate 1988; Ten Cate 1979].

Nach MORENO et al. (1977) sind in der äußersten Schmelzschicht weniger als zehn Prozent der (OH)⁻-Gruppen durch F⁻ ersetzt. In der Tiefe von 50 µm ist es bereits nur noch ein Prozent.

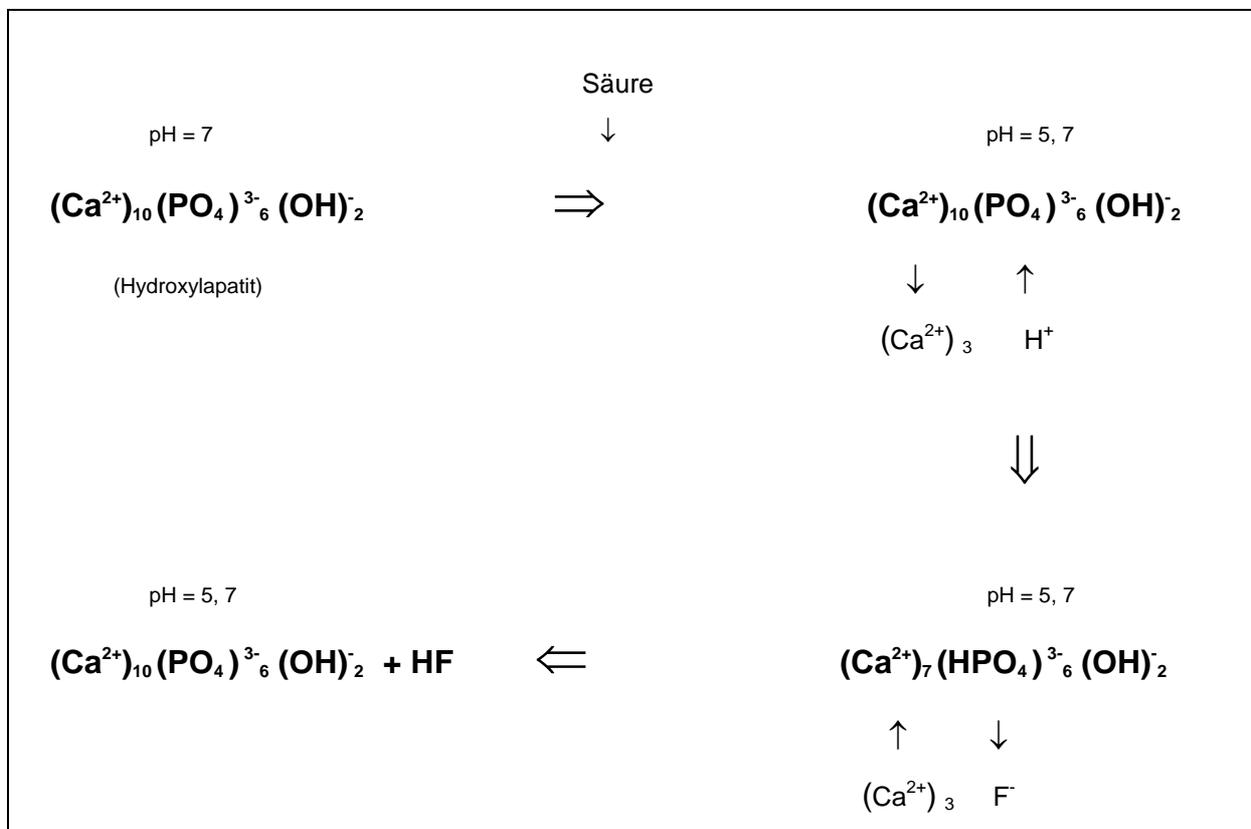


ABBILDUNG 1: Wirkmechanismus des Fluorids

Abbildung 1 zeigt, daß eine kariesprophylaktische Funktion des Fluorids die Entfernung der Protonen aus der demineralisierten Zahnhartsubstanz ist [König 1987].

Früher nahm man an, der präeruptive Einbau in den Schmelz sei der Grund für die kariesprophylaktische Wirkung. Heute ist man sich einig, daß der posteruptive lokale Effekt von Fluoridierungsmaßnahmen eine bedeutendere Rolle spielt. Man spricht von „sekundärer“ Schmelzreifung [Hellwig et al. 1995; Hotz 1996].

Vier Fluoridverbindungen (Natriumfluorid, Natriummonofluorophosphat, Aminfluorid und Zinnfluorid) haben sich zur lokalen Fluoridierung in Form von Mundspüllösungen, Zahnpasten und Fluoridlacken bewährt.

Die Bandbreite der Kariesreduktionsraten schwankt in der Literatur für Mundspüllösungen zwischen 20 und 40 %, für Zahnpasten zwischen 3 und 48 %. Eine unterschiedliche Compliance der Patienten erklärt die Streubreite [Hellwig et al. 1995].

1.5.1.2 Antibakterielle Wirkung

Als wichtige Keime bei der Entstehung eines kariösen Defekts gelten Streptokokken (Strept. Mutans). Es konnte nachgewiesen werden, daß Fluorid die Stoffwechselfunktion dieser Plaquebakterien behindert. Durch einen passiven Diffusionsmechanismus können sie Fluorid in Form von HF aufnehmen. Aufgrund dessen kommt es im Zytoplasma zur Übersäuerung und damit zu einer unspezifischen Hemmung der Glykolyse, da verschiedene Enzyme ihr pH-Optimum im basischen Bereich haben.

Fluorid hemmt außerdem spezifisch das Glykolyse-Enzym Enolase und damit die Umwandlung von Phosphoglyzerat zu Phosphoenolpyruvat. Die Folge ist sowohl die Reduktion der Energiegewinnung der Bakterienzelle als auch die verringerte Produktion von Milchsäure [Hamilton und Bowden 1988; Chilvers 1982].

Insgesamt ist die antimikrobielle Aktivität des Fluorids von untergeordneter Bedeutung. Bei hoher Kariesaktivität mit kontinuierlich stark erniedrigtem pH-Wert muß also festgestellt werden, daß die kariostatische Wirksamkeit von Fluorid schwach ausgeprägt ist [Attin et al. 1992; Lehmann 1991].

1.5.1.3 Lokale und systemische Fluoridierung

In der Annahme, daß die entscheidende kariesprophylaktische Wirkung in der Bildung von Fluorapatit bestehe, entwickelte sich der Gedanke der systemischen oder internen Fluoridierung. Eine Verabreichung von Fluoridtabletten, lange vor dem Durchbruch der Zähne in die Mundhöhle, war die Folge.

In-vitro-Studien an Haifischzähnen, die aus reinem Fluorapatit mit einem Fluoridgehalt von 32.000 ppm bestehen, widerlegen diesen Gedanken. Zum Vergleich verwendete man menschlichen Zahnschmelz, dessen Oberfläche einen Fluoridgehalt von 1.270 ppm hatte, der aber mit zunehmender Tiefe schnell abnahm [Ögaard et al. 1988]. Im kariogenen Milieu zeigte sich, daß beide Zähne in gleicher Geschwindigkeit und Intensität von Karies befallen wurden [Ögaard et al. 1988].

Die Ansicht, daß die lokale Wirkung des Fluorids bei Vorgängen der De- und Remineralisation viel bedeutsamer ist als die Erhöhung der Säureresistenz, wurde damit gestärkt.

Eine prospektive Studie von REICH et al. (1992) an Neugeborenen ergab, daß eine Fluoridsupplementierung in Tablettenform keinen Unterschied in der Kariesresistenz an Milchzähnen zeigte, ganz gleich, ob diese direkt nach der Geburt oder erst ab dem siebten Monat mit dem Durchbruch der ersten Milchzähne begonnen wurde.

Heute wird empfohlen, der lokalen Fluoridzufuhr gegenüber der systemischen den Vorzug zu geben [Riordan 1999; Limeback 1999; DGZMK 2000].

Lokale Maßnahmen können auch systemisch wirksam werden, da gewisse Mengen Dentalpflegeprodukte verschluckt werden können. Bei der Duraphat-Applikation wird beispielsweise im Blutplasma eine Fluoridkonzentration ähnlich der Einnahme einer Fluoridtablette mit 1 mg erreicht. Aus der konsistenzbedingten langsamen Abgabe

aus dem Lack in die Mundhöhle und der daraus langsam folgenden Resorption resultiert ein niedrigerer Plasmaspiegel als bei anderen hochkonzentrierten Fluoridpräparaten [Ekstrand et al.1980].

Dentalfluorosen sind bei häuslichen Fluoridanwendungen in den üblichen Dosierungen in Gebieten mit geringem Fluoridgehalt im Trinkwasser (< 0,5 ppm) nicht zu erwarten [Schmeiser et al. 1996].

Bei systemischer Zufuhr findet man zusätzlich lokale Effekte. Nimmt man beispielsweise fluoridiertes Salz ein, passiert es die Mundhöhle und kommt zum ersten Mal mit bereits durchgebrochenen Zähnen in Kontakt. Später wird das Fluorid im Magen oder Duodenum resorbiert, im Blutkreislauf transportiert und gelangt schließlich in den Speichel. Das Fluorid steht dann zwar nur in sehr geringen Konzentrationen zur Verfügung, dafür aber für einen längeren Zeitraum. In-vitro-Daten machen deutlich, daß bereits eine Fluoridkonzentration von 0,1 ppm im Speichel ausreicht, um kariesprophylaktisch wirken zu können [Amjad und Nancollas 1979; DenBesten 1994].

Verwendet man fluoridiertes Salz (250 ppm Fluoridgehalt), wird diese Konzentration während des Verzehrs in der Mundhöhle erreicht [Macpherson und Stephen 2001; Hetzer und Korn 1997; Sjørgen und Birkhed 1993]. Durch den täglichen Genuß von fluoridhaltigem Salz wird eine kontinuierliche Dosis aufrechterhalten, die sehr effektiv der Kariesprophylaxe dient. Aus mehreren Studien geht allerdings hervor, daß die Fluoridaufnahme durch fluoridiertes Salz in Deutschland suboptimal ist [Hetzer und Walde 1994; Schulte et al. 1995].

Diese minimale Dosis ist toxikologisch unbedenklich und zeigt in der Schweiz seit der Einführung der Salzfluoridierung (1955 im Kanton Zürich) einen beispiellosen Kariesrückgang (DGZMK). Auch in Frankreich, Spanien, Ungarn, Kolumbien und Costa Rica sammelte man positive Erfahrungen [Hetzer 1991; Hetzer et al. 1996; Hetzer et al. 1994]. In Deutschland hat fluoridiertes Salz seit seiner Einführung 1991 einen Marktanteil von 51 % (2001).

Neben der Salzfluoridierung ist die Trinkwasserfluoridierung ebenfalls eine systemische Fluoridierungsmöglichkeit, die zudem als wirkungsvollste und billigste Methode

der Kariesprophylaxe mit optimaler Kosten-Nutzen-Relation gilt [Marthaler und Schait 1967; Naujoks 1987; Saxer 1983]. Sie wird ebenfalls als unbedenklich eingestuft. Eine Karieshemmung von 50 bis 60 % wird in der Literatur angegeben [Dean et al. 1942].

Seit Einführung der Trinkwasserfluoridierung in den USA und Kanada im Jahr 1945 stellte man sich oft die Frage der optimalen Konzentration. Das Ziel sollte eine große Wirkung mit möglichst geringen Nebenwirkungen sein.

Untersuchungen ergaben ein Konzentrationsoptimum von 0,7 bis 1,2 mg/l im Trinkwasser bei mittlerer Tagestemperatur; hierbei besteht kaum das Risiko einer Dentalfuriose. Etwa 320 Millionen Menschen auf der Welt erhalten derzeit natürlicherweise oder durch künstliche Beeinflussung optimale Fluoridkonzentrationen mit dem Trinkwasser [Mellberg und Ripa 1983].

Bei der systemischen Fluoridsupplementierung sollte stets nur eine Form angewendet werden (Fluoridtabletten, Fluoridsalz oder fluoridreiches Mineralwasser).

Die DGZMK gibt als Standardempfehlung einen „Fluoridfahrplan“ an, der einen optimalen Kariesschutz bei allenfalls geringem Fluoroserisiko zeigt.

Hierbei sollen Fluoridtabletten nur noch in Ausnahmefällen verabreicht werden. Es muß darauf geachtet werden, daß die empfohlene Tagesdosis nicht überschritten und die benötigte Gesamtzufuhr gesichert wird.

Die DGZMK hat folgende Richtlinien veröffentlicht :

Alter	Fluoridkonzentration in Trinkwasser		
	0,3 mg/l	0,3-0,7 mg/l	0,7 mg/l
0-6 Monate	0	0	0
6-12 Monate	0,25	0	0
1 bis unter 3 Jahre	0,25	0	0
3 bis unter 6 Jahre	0,5	0,25	0
über 6 Jahre	1	0,5	0

TABELLE 5: Richtwerte für Fluoridsupplemente

In Deutschland hatte sich die Tablettenfluoridierung mit der kombinierten Vitamin-D-Gabe etabliert. Eine Tablette enthält meist 2,2 mg Natriumfluorid, dies entspricht etwa 1 mg Fluorid.

Trotz einer Kariesreduktion von 28 - 61 % [Hellwig et al. 1995] sollen Tabletten laut DGZMK nur noch von Kindern eingenommen werden, die weder Fluoridzahnpasten noch fluoridiertes Salz benutzen.

Da eine Wirkung des Fluorids auf noch nicht durchgebrochene Milchzähne nach dem heutigen Erkenntnisstand nicht existiert (Reich et al. 1992), macht eine Fluoridgabe zu diesem Zeitpunkt keinen Sinn.

Daher sollten erst ab dem sechsten Monat Fluoridierungsmaßnahmen getroffen werden. Tägliches Putzen ein Mal pro Tag mit einer erbsengroßen Menge fluoridhaltiger Kinderzahnpaste (maximal 500 ppm Fluorid) ist ausreichend.

Ab dem zweiten Geburtstag sollte mit der gleichen Zahnpaste zwei Mal täglich Mundhygiene betrieben und fluoridiertes Salz verwendet werden.

Ab dem siebten Lebensjahr empfiehlt es sich, regelmäßig eine Zahnpaste mit einem Fluoridgehalt von 1.000 - 1.500 ppm zu benutzen.

Liegt eine hohe Kariesaktivität vor, können nach vorheriger Absprache mit dem Zahnarzt Fluoridgelees und Mundspülungen zum Einsatz kommen. Hochdosierte Fluoridlacke sind nur vom Zahnarzt anzuwenden.

1.6 Toxikologische Aspekte

Vergleicht man Fluorid mit anderen Stoffen, die wir regelmäßig zu uns nehmen, hat es eine hohe therapeutische Sicherheit. Die letale Dosis liegt bei 32 bis 64 mg pro kg Körpergewicht und wird als LD₁₀₀ bezeichnet [Hodge und Smith 1965]. Dies entspricht einer Dosis von 5 bis 10 g bei einem 70 kg schweren Erwachsenen [Mühlen-dahl et al. 1995]. Zwischen der von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung empfohlenen täglichen Gesamtaufnahme für einen Erwachsenen (3,5 mg [Przyrembel 1998]) und der Letaldosis liegt also ein Mindestfaktor von 1.000. Im Vergleich dazu ist beispielsweise Kochsalz gefährlicher. Die übliche Aufnahmemenge pro Tag beträgt 8 bis 10 g, wobei die Letaldosis bei 40 bis 75 g liegt. Zwischen der empfohlenen Gesamtaufnahme und der Letaldosis liegt also nicht einmal das Zehnfache [Mühlen-dahl et al. 1995].

Viel wichtiger ist die Frage, ab welcher Dosis unerwünschte Nebenwirkungen eintreten. Aufnahmemenge und Körpergewicht des Patienten spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Auch die Unterscheidung zwischen akuter und chronischer Toxizität muß getroffen werden.

1.6.1 Akute Toxizität

Die Probably Toxic Dose (PTD) liegt bei Kindern bei 5 mg Fluorid pro kg Körpergewicht [Bayless und Tinanoff 1985; Whitford 1990; Whitford 1996].

Durch die vermehrte Bildung von Flußsäure wird die Magenschleimhaut erosiv angegriffen. Symptome wie Übelkeit, Erbrechen und Schmerzen im Abdominalbereich können bereits einige Minuten nach Vergiftungen beobachtet werden. Hyperaktivität bei Kindern [Monsour et al. 1984], Speichelfluß, Tränenfluß, Kopfschmerz und kalte feuchte Hände treten als allgemeine Vergiftungssymptome auf. Als Folge wurden Schwächungen bis hin zur Tetanie beschrieben.

Innerhalb weniger Stunden können durch den fallenden Kalzium- und steigenden Kaliumgehalt im Plasma, Pulsrasen, Blutdruckabfall, Herzarrhythmien und eine Depression des Atemzentrums mit respiratorischer Azidose den Tod verursachen [Monsour et al. 1968].

Als Beispiel kann man ein Kind mit etwa 20 kg Körpergewicht nennen, das entweder eine große Tube Erwachsenenzahnpasta oder 400 g fluoridiertes Salz (250 ppm) einnehmen müßte, bis die Letaldosis erreicht würde. Um die relativ geringe Gefährlichkeit des Fluorids zu zeigen, muß hiermit noch einmal daran erinnert werden, daß die Letaldosis für Kochsalz bei einem Kind in diesem Alter mit 15 bis 20 g erreicht wäre [Mühlendahl et al. 1995].

1.6.2 Chronische Toxizität

Werden über einen längeren Zeitraum überhöhte Fluoriddosen aufgenommen, können Veränderungen in Form von Fluorosen an Zähnen und Knochen auftreten.

Nimmt man bis zu einem Alter von acht Jahren täglich mehr als 1,5 mg Fluorid pro Tag auf, kann es im bleibenden Gebiß zu ästhetisch beeinträchtigenden weißen Schmelzflecken kommen. Ebenfalls können einmalige Spitzenwerte, zum Beispiel bei Kindern durch das Verschlucken von Zahnpasta, solche Erscheinungen verursachen. Liegt der Plasmawert bei 10 µM Fluorid, der bei Erwachsenen nach einer einmaligen Dosis von 6 mg Fluorid auftritt, scheinen Dentalfluorosen wahrscheinlich [Angmar-Mansson und Whitford 1982; Angmar-Mansson et al. 1976; Patz 1975]. Dentalfluorosen werden durch eine Störung der Ameloblastentätigkeit verursacht. Zähne werden an der Oberfläche stellenweise porös. Es handelt sich um nichtmineralisierte Mikrobezirke im Schmelz. Während des Zahndurchbruchs sind diese Bereiche noch kreidig-weiß; durch Einlagerung organischer Stoffe aus der Mundflüssigkeit kommt es schließlich zu einer bräunlichen Verfärbung [König 1987].

Bei geringer Ausprägung ist die Kariesresistenz nicht eingeschränkt. Liegt eine starke Ausprägung vor, ist sowohl die Ästhetik durch Veränderung der Transluzenz ge-

stört als auch die Schmelzhärte verringert und die Frakturgefahr erhöht. Verstärkte Abnutzungen, die hypoplasieartigen Defekten ähneln, sind die Folge [Fejerskov et al. 1988].

Nicht nur die Dosis, sondern auch der Zeitpunkt während der Zahnentwicklung und die Dauer der inkorrekten Einnahme tragen zu dem Ausmaß der Erkrankung bei [DenBesten 1994; DenBesten und Thariani 1992].

In den USA [Pendrys und Stamm 1990; Clark 1994] beobachtet man im Gegensatz zu Deutschland [Reich und Beermann 1996] einen Anstieg der Schmelzfluorosen. In Deutschland sind die Ausprägungen eher gering [Dünninger und Pieper 1991]. Nach einer Untersuchung von HAWLEY et al. (1996) werden die Erscheinungen einer leichten Schmelzfluorose als nicht störend empfunden, mittelstarke dahingegen schon.

Bei chronischer Überschreitung der zulässigen Dosis sind auch Skelettschädigungen möglich, die durch Dickenzunahme der Kortikalis und erhöhte Frakturanfälligkeit gekennzeichnet sind [Diesendorf et al. 1997; Turner et al. 1997]. Besonders im Becken- und Lendenbereich können Osteosklerosen entstehen [Felsenfeld und Roberts 1991], die bis hin zu Rückenmarkskompressionen führen [Fisher et al. 1989]. Nach HENSCHLER reicht eine tägliche Dosis von 10 bis 20 mg Fluorid für eine Skelettfluorose aus [Henschler 1968]. Erst nach zehn Jahren kommt es bei permanenter Einnahme von 10 mg täglich zu den ersten radiologischen Veränderungen, die noch ohne Krankheitswert sind [Whitford 1996].

Andere Wirkungen und Nebenwirkungen des Fluorids sind im letzten Jahrhundert eingehend untersucht worden.

BLACK et al. (1949) stellten eine Tendenz der Blutdruckabnahme bei Hypertonikern fest. Sie untersuchten außerdem die Wirkung größerer Fluoridmengen auf Patienten mit malignen Tumoren. Bei einigen Tumoren wurde das Wachstum eingeschränkt.

HAGAN et al. (1954) bestätigten die Unabhängigkeit erhöhter Trinkwasserfluoridkonzentrationen von der Anzahl verstorbener Personen an Herzerkrankungen, Nierenerkrankungen, Leberzirrhose und intrakraniellen Läsionen.

CHILVERS (1982) widerlegte die in den 70er Jahren erneut aufkommenden Warnungen der Krebsgefährdung durch Fluoride.

ERICKSON et al. (1980) fanden heraus, daß kein Zusammenhang zwischen kongenitalen Mißbildungen (z. B. Down-Syndrom) und Trinkwasserfluoridierung besteht.

Zusammenhänge mit allergischen Reaktionen wurden 1971 von der American Academy of Allergy überprüft und als unbegründet bezeichnet [Austen et al. 1971].

2 Zielsetzung

Die Paderborner Hochfläche im Grenzbereich zwischen Münsterland und Ostwestfalen-Lippe ist das größte zusammenhängende verkarstete Kalksteingebiet Nordrhein-Westfalens. Beim Eintritt in die verkarsteten Bereiche versickern Bäche in Bachschwinden, werden zu Karstgrundwasser und treten zum Beispiel in Bad Lippspringe, Borchten und Paderborn in großen Quellgruppen zutage. In diesem Gebiet kommen Süß- und Mineralwasser, die sich qualitativ und quantitativ deutlich unterscheiden, auf engstem Raum nebeneinander vor. Es herrschen Kluftgrundwasserleiter, aber auch gipsführende Mergel- und Tonsteine vor. Die Grundwasservorkommen der Festgesteine liegen meist in größeren Tiefen als die Lockergesteine. Natürliche Faktoren schränken die Nutzung des Wassers ein. Durch Löslichkeit von Gips oder Steinsalz wird das Wasser hoch mineralisiert (z. B. mit Fluorid) und ist meist als Trinkwasser ungeeignet. Auch die Agrarwirtschaft (Anwenden von Fäkalien als Düngemittel) trägt zur Kontamination des Brunnenwassers bei (z. B. Nitrat).

In den Vordergrund der Studie soll jedoch vorerst die Erfassung der Fluoridkonzentrationen gestellt werden.

Fluoride sind nach wie vor ein unabdingbarer, zentraler Bestandteil der Kariesprophylaxe. In den 60er Jahren war Karies mit einer Frequenz von 98 % noch Volkskrankheit Nummer eins [Gülzow 1995] und stellte damit ein gesundheitliches und wirtschaftliches Problem dar.

Obwohl die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in den letzten zwei Jahrzehnten in Deutschland erheblich gesunken ist, sind zusätzliche präventative Maßnahmen angebracht. Bei ca. 25 % der Kinder und Jugendlichen sowie vielen Erwachsenen ist heute noch eine hohe Kariesaktivität zu beobachten. Aus diesem Grund wurden mit Erfolg verstärkt prophylaktische Maßnahmen ergriffen, um neu entstehende Karies zu vermeiden [Stamm 1994]. Trotzdem besteht in der Bevölkerung nach wie vor ein starker Handlungs- und Aufklärungsbedarf.

Die Erkenntnis, daß das Element Fluor in seiner Verbindungsform Fluorid einen hohen Schutz vor Karies bietet und regenerativ wirken kann, spielt bei der Prophylaxe eine große Rolle. Dabei wird empfohlen, auf die Einhaltung der Richtwerte zu achten, da bei einer Unter- wie auch Überdosierung Schäden an Zähnen, aber auch am Skelett die Folge sein können.

Weiten Bevölkerungskreisen ist dieser Sachverhalt und das Vorkommen von Fluoriden nicht bewußt. Da in der Region um Mastholte erhöhte Fluoridkonzentrationen im Brunnenwasser entdeckt wurden, soll im Folgenden dieser Teil der Region Ostwestfalen-Lippe näher untersucht werden.

Nach Studien in anderen deutschen Bundesländern (Bayern, Rheinland-Pfalz) soll nun auch Nordrhein-Westfalen flächendeckend untersucht werden.

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist es, das Eigenwasser auf erhöhte Anionen- und Kationenkonzentrationen zu untersuchen und der Bevölkerung Klarheit über deren Wasserqualität zu verschaffen. Eine möglichst gründliche Erhebung sowie anschließende Kartierung, Probenentnahme und labortechnische Untersuchung der einzelnen Eigenwasseranlagen des oben genannten Landschaftsgebiets sollen durchgeführt werden.

Betroffene Gebiete werden somit genauer eingegrenzt und Maximalwerte erfaßt. Die ermittelten Ausgangsdaten dienen weiterführenden Maßnahmen und dem Bewußtsein der Bevölkerung für die umfassende Problematik.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet und Probenentnahme

Das im Zeitraum von Juli bis August 1999 untersuchte Gebiet erstreckt sich von Wadersloh im Westen, über Langenberg, Rietberg im Norden, Mastholte und Delbrück im Süden bis Hövelhof im Osten. Die ca. 10 km breite (Nord-Süd-Entfernung) und ca. 3 km lange (West-Ost-Entfernung) Region gehört zu Ostwestfalen-Lippe. Das Gebiet umfaßt ca. 300 km².

Die Proben wurden in unterschiedlichen Abständen entnommen. Es handelte sich dabei um Trinkwasserbrunnen, die als alleinige Trinkwasserentnahmestellen dem täglichen Gebrauch der Anwohner dienen. Eine Möglichkeit, an das Trinkwassersystem angeschlossen zu werden, bestand bei keinem der untersuchten Wohnhäuser. Das Wasser eines Brunnens oder Bohrlochs wird maximal von mehreren kleinen Haushalten verwendet. Insgesamt sind von 200 privaten Eigenwasseranlagen Wasserproben entnommen worden.

Bei der Entnahme wurde darauf geachtet, daß diese an einem von den Besitzern häufig genutzten Entnahmestelle geschah. Nach einer Vorlaufzeit von 30 Sekunden wurde dann eine Polypropylenflasche mit einem Volumen von 100 ml gefüllt.

Bis zur Analyse erfolgte die Lagerung der Proben bei - 24 °C. Die Analyse fand nach Beendigung der Probensammlung ca. vier Wochen später statt.

Es folgte eine Befragung der Benutzer zur jeweiligen Wasserquelle mit einem standardisierten zweiseitigen Bogen.

Probe Nr.: _____

PstellenNr.: _____

ADRESSE	Rechtswert: _____ Hochwert: _____ Entnahmedatum: _____
---------	--

Angaben zum Brunnen/Bohrloch:

Bohrbrunnen Schachtbrunnen unbekannt

Lage des Brunnens:

Nähe Haus im Garten im Feld im Wald

Entfernung vom Haus: _____m Brunnentiefe: _____m

Filterstrecke (soweit bekannt): von _____m bis _____m

Baujahr _____ Firma _____

Riecht das Wasser, z.B. nach faulen Eiern? ja nein

Existiert eine Wasseraufbereitung? ja nein

Wenn ja, welche?

einstufige mehrstufige offen geschlossen

Enteisenung Entmanganung Nitrifizierung

Enthärtung Umkehrosmose Hersteller _____

Trübung des Wassers _____ keine

Leitfähigkeit vor Ort: _____ μ S/cm

3.2 Aufbereitung der Wasserproben und Standards

Man versetzt 20 ml der jeweiligen aufgetauten, der Raumtemperatur angepaßten Wasserprobe mit einem Gesamt-Ionen-Stärke-Einstell-Puffer (TISAB = Total Ionic Strength Adjustment Buffer). Auch einem Standard werden 2 ml TISAB-III beigelegt. Der Puffer setzt sich aus NaCl, Eisessig sowie Cyclohexylen-Dinitrilo-Tetra-Essigsäure (CDTA) zusammen. Er wird mit 5 M NaOH versetzt und auf einen pH-Wert zwischen 5,0 und 5,5 eingestellt.

Durch die TISAB-III-Zugabe erreicht man zwei Grundvoraussetzungen für die Messung. Zum ersten wird der pH-Wert der Lösung angepaßt und zum zweiten wird ein konstanter Ionenstärke-Hintergrund erreicht, welcher zum Dekomplexieren von Fluorid notwendig ist.

Der pH-Wert über 5 ist nötig, um eine Komplexbildung durch Hydroxid zu vermeiden. Desweiteren käme es bei niedrigeren pH-Werten in der Lösung zu eventuellen Komplexen zwischen Wasserstoff- und Fluoridionen. Denkbare Ergebnisse sind zum einen die undissoziierte Säure HF und zum anderen das Ion HF_2^- . Ein pH-Wert über 7 sollte nicht erreicht werden, da dann Störungen durch das Hydroxid zu erwarten wären.

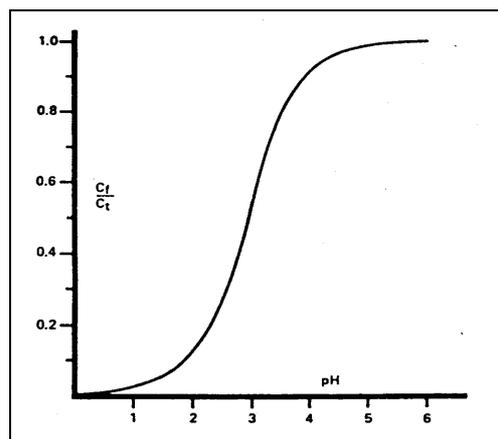


ABBILDUNG 2: Anteil der freien Fluoridionen in Abhängigkeit des pH-Werts einer Lösung, wobei nur Wasserstoffionen Komplexe bilden
[Bedienungsanleitung für Orion Fluorid-Elektroden]

Zu beachten ist, daß die Elektrodenansprechgeschwindigkeit auf Fluorid durch die Existenz von Hydroxidionen bei 10 % Überschuß derselben, gegenüber der Fluoridionen, gestört wird.

Im Gegensatz dazu stören Kationen und viele Anionen, zum Beispiel Cl^- , Br^- , J^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{NO}_3)^-$, $(\text{PO}_4)^{3-}$ und Acetat, die ebenfalls in den Wasserproben neben den Fluoridionen vorkommen, die Funktion und die Geschwindigkeit der Elektrode nicht.

Abhängig von der Konzentration der Komplexbildner, wie Silizium, Aluminium und Eisen, können Fluoridionen auch Komplexe mit diesen eingehen.

Zusätzliche Bedingungen für die Komplexbildung sind die Fluoridgeamtkonzentration, der pH-Wert der Lösung und die Gesamtionenstärke.

Um eine Komplexbildung zu verhindern, welche die Messung verfälscht, gibt man der Wasserprobe einen Dekomplexierer zu. Es handelt sich dabei um TISAB-III, der für ein geeignetes Milieu sorgt. Die Komplexe, die Fluorid mit Aluminium und Eisen bildet, werden dabei durch den TISAB-III-Zusatz CDTA zerstört.

Jede Wasserprobe wird mit TISAB-III im Verhältnis 10:1 versetzt, um die Gesamtionenstärke einzustellen.

Standards und deren Aufbereitung

Eine Zuordnung der gemessenen Elektrodenpotentiale erfolgt über Eichkurven. Aus diesen können dann die Fluoridkonzentrationen abgelesen werden. Für das Erstellen der Eichkurven ist die Herstellung von drei Standard-Lösungen notwendig. Jede Standard-Lösung enthält eine andere Fluoridkonzentration (0,1 ppm, 1,0 ppm, 10 ppm). Die Lösungen sind aus Natriumfluorid, Aqua bidestillata und TISAB-III zusammengesetzt.

Zur Messung der Konzentration der Fluoridionen in mg/l wurde eine selektiv fluorid-sensitive Elektrode vom Typ „Orion Modell 96-06“ verwendet. Die Hauptbestandteile dieser Elektrode sind eine Lanthan-Fluorid-Einkristallmembran und eine innere Referenzableitung, die von einem Epoxy-Schutzmantel umgeben ist. Es handelt sich dabei um einen Kristall, der in seiner Funktion ein Ionenleiter ist, in dem nur die Fluorid-

ionen beweglich sind. Bei Kontakt mit einer fluoridhaltigen Lösung entsteht an der Membran ein Ionenpotential, welches von den freien Fluoridionen und deren Konzentration in Lösung abhängt.

Das Potential wird dabei gegen ein Referenzpotential gemessen. Dieses befindet sich extern, ist konstant und wird im digitalen pH-/mV-Meter gemessen. Die Nernst'sche Gleichung zeigt den Zusammenhang zwischen Elektrodenpotential und Konzentration an freien Fluoridionen. Die Erfassungsgrenze der Elektrode liegt bei ca. 0,02 mg/l Fluorid (ORION INSTRUCTION 1974).

$$E = E_0 - S \log A$$

E = gemessenes Elektrodenpotential

E₀ = Referenzpotential (Konstante)

A = Fluoridgehalt in der Lösung

S = Elektrodensteilheit

Die Elektrode spricht lediglich auf freie Fluoridionen in Lösung an. Es befinden sich zusätzlich sowohl gebundene als auch komplexierte Ionen in Lösung, die zusammen mit den freien Fluoridionen der Gesamtfluoridkonzentration entsprechen.

$$C_{\text{frei}} = C_{\text{gesamt}} - C_{\text{gebunden/komplexiert}}$$

Die Fluoridaktivität steht mit den freien Fluoridionen über den Aktivitätskoeffizienten γ in Zusammenhang.

$$A = \gamma C_{\text{frei}}$$

Der Ionenaktivitätskoeffizient ist von der Gesamtionenstärke abhängig. Außerdem ist dieser veränderlich.

Die Ionenstärke ist folgendermassen definiert:

$$\text{Ionenstärke} = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$$

C_i = Konzentration des Ion i

Z_i = Ladung des Ion i

Wird die Hintergrundstärke (hoch und konstant) auf die erfaßte Ionenkonzentration bezogen, dann ist der Aktivitätskoeffizient eine Konstante und die Aktivität proportional zur Konzentration.

3.3 Durchführung der Messung

Da das Elektrodenpotential durch Temperaturveränderungen beeinflusst wird, erfolgte die Messung der Wasserproben und der Standards in klimatisierten Räumen. Die Wasserproben und Standardlösungen sollten die gleiche Temperatur haben. Ein Temperaturunterschied von 1 °C kann einen Meßfehler von ca. 2 % verursachen.

Zuerst wurde die Elektrode mit einer äquitransferenten Fülllösung beschickt und an einen Orion-Ionalyser 901 angeschlossen.

Es handelt sich hierbei um ein Digital-pH-/mV-Meter.

Kurz darauf erfolgte die Eichung. Dabei wurde die Elektrode für jeweils fünf Minuten in den drei verschiedenen Standardlösungen belassen. Beim Wechsel zur nächsten Standardlösung erfolgte die Säuberung mit destilliertem Wasser und einem sauberen Filterpapier, um eine Konzentrationsänderung der vorher genau hergestellten Standardlösungen zu verhindern.

Bei der Messung der Proben und Standards rührte ein Magnet die Lösungen. Es mußte darauf geachtet werden, eine Strudelwirkung zu verhindern. Diese hätte zu einer Erwärmung der Lösungen geführt.

Durch die erstellte Eichkurve kann man nun die gemessenen Elektrodenpotentiale den entsprechenden Fluoridkonzentrationen zuordnen. Zuvor wurde diese bei der Direktmessung mittels des pH-/mV-Meters auf halblogarithmischem Papier aufgezeichnet. Die Elektrodenpotentiale der Standards wurden gemessen und gegen die Fluoridionenkonzentration auf der logarithmischen Achse eingetragen.

Die ermittelten Potentiale konnten somit auf der Eichkurve in ppm F^- abgelesen werden.

Borat:

Die Boratkonzentration wurde photometrisch mit Azomethin-H nach DIN 384050 D 17 bestimmt. In einer gepufferten Lösung mit Azomethin-H ergeben Borationen einen gelben Farbstoff, welcher photometrisch bei einer Wellenlänge von 414 nm gemessen wird [DIN 384050 D17, 1981].

Kationen:

Die Untersuchung des Wassers auf Kationen (Kalium, Natrium, Magnesium, Kalzium, Lithium, Ammonium und Strontium) fand mit Hilfe der Ionenchromatographie nach DIN EN ISO 14911 statt. Dabei werden die Kationen durch Elution mit verdünnter Schwefelsäure an einer Kationenaustauscher-Trennsäule aufgetrennt und mit einem Leitfähigkeitsdetektor bestimmt [DIN EN ISO 14911(1999); Jensen(2000)].

Anionen:

Die Bestimmung der Anionen (Chlorid, Nitrat und Sulfat) erfolgte mit der Ionenchromatographie nach DIN EN ISO 14911. An einer Anionenaustauscher-Trennsäule als stationärer Phase werden Anionen durch Elution mit verdünnter KOH aufgetrennt und mit einem Leitfähigkeitsdetektor bestimmt.

4 Ergebnisse

4.1 Geographische Einordnung

Das untersuchte Gebiet erstreckt sich von Wadersloh im Westen, über Langenberg, Rietberg im Norden, Mastholte und Delbrück im Süden bis Hövelhof im Osten. Dieser ca. 10 km breite (Nord-Süd-Entfernung) und ca. 30 km lange (West-Ost-Entfernung) Landstreifen gehört zu Ostwestfalen-Lippe. Das Gebiet umfaßt ca. 300 km².

Insgesamt sind von 200 privaten Eigenwasseranlagen Wasserproben entnommen und im Zeitraum August 1999 untersucht worden. Im folgenden ist die Verteilung der Entnahmestellen nach Ortschaften in der Region dargestellt.

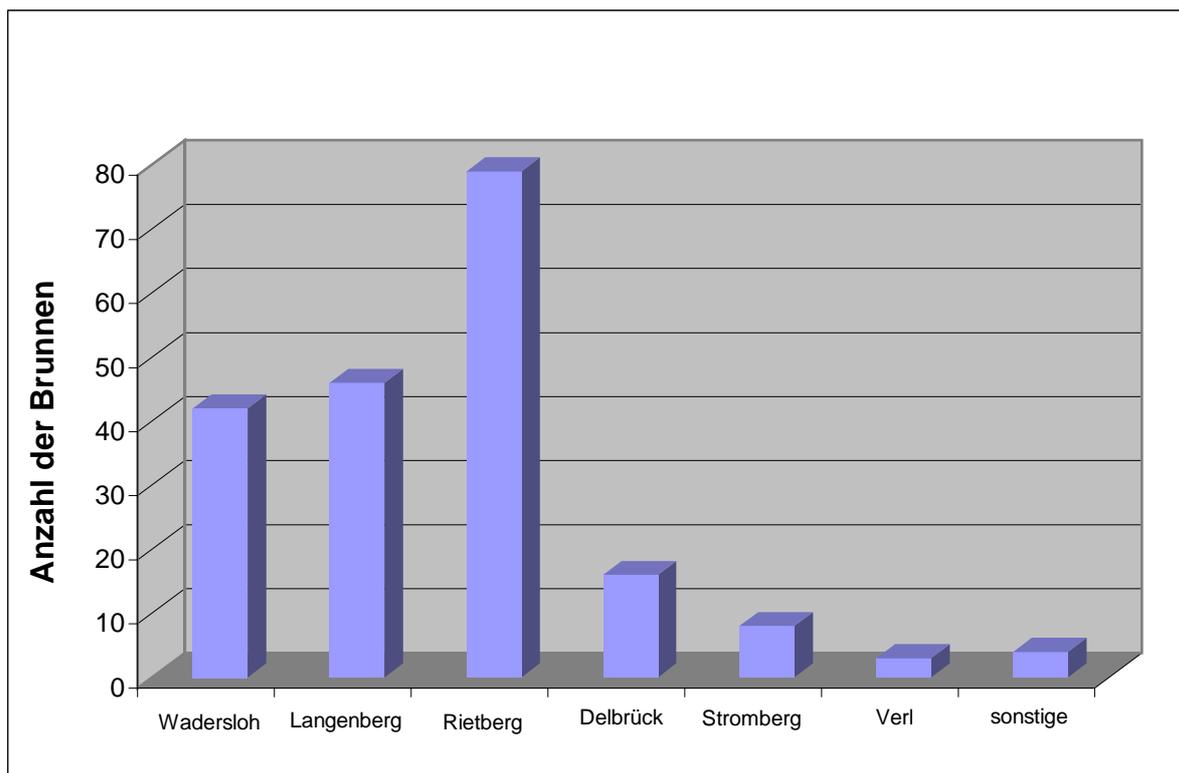


ABBILDUNG 3: Ortsverteilung der untersuchten Brunnen

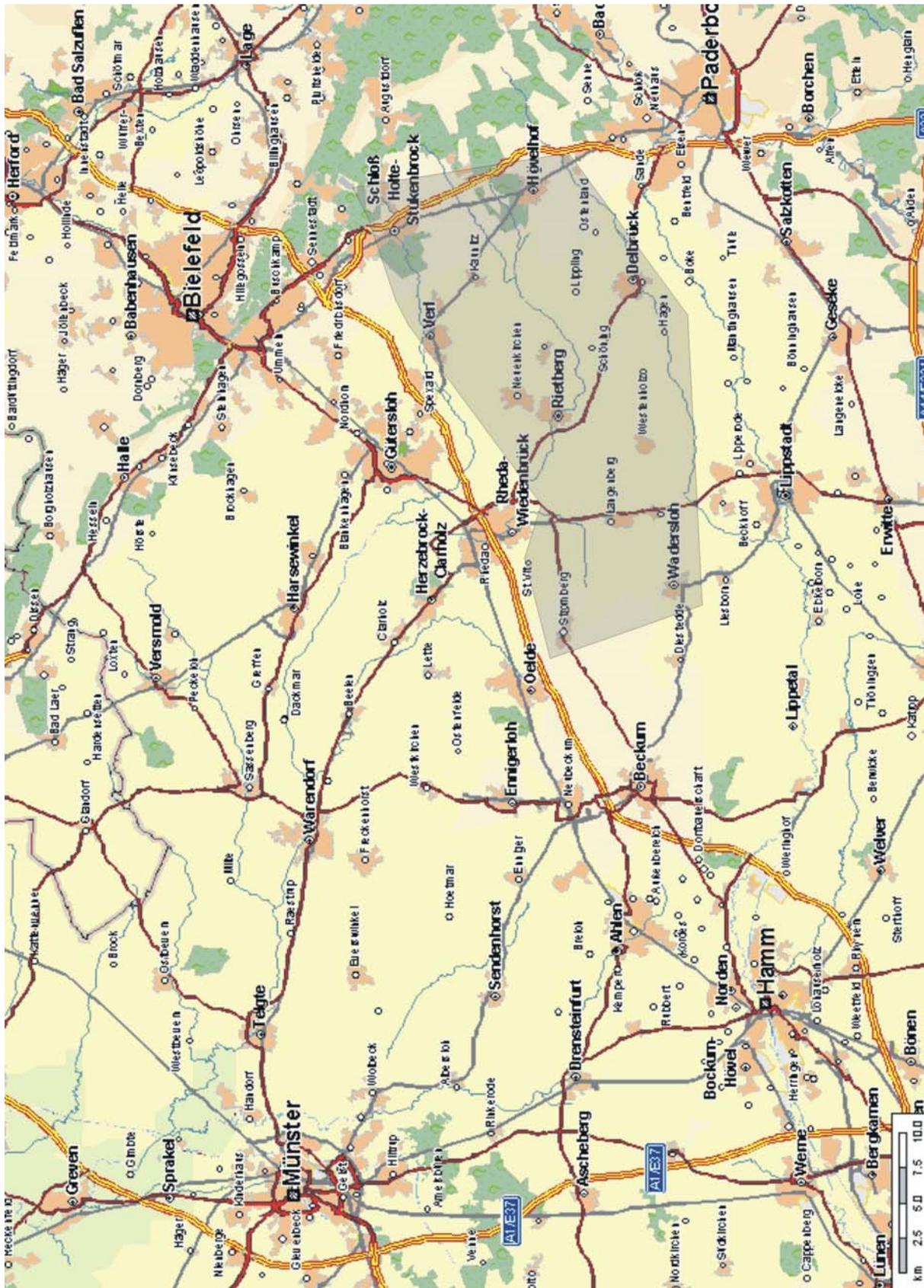


ABBILDUNG 4: Untersuchte Region

4.2 Unterscheidung der Brunnen nach Lokalisation und Tiefe

Bei den untersuchten privaten Wasserversorgungsanlagen handelte es sich meist um Bohrbrunnen. An zweiter Stelle stehen Schachtbrunnen. Der Rest ist durch Bohrbrunnen-Schachtbrunnen-Kombinationen und unbekannte Wasserversorgungsanlagen vertreten (s. Abb. 5)

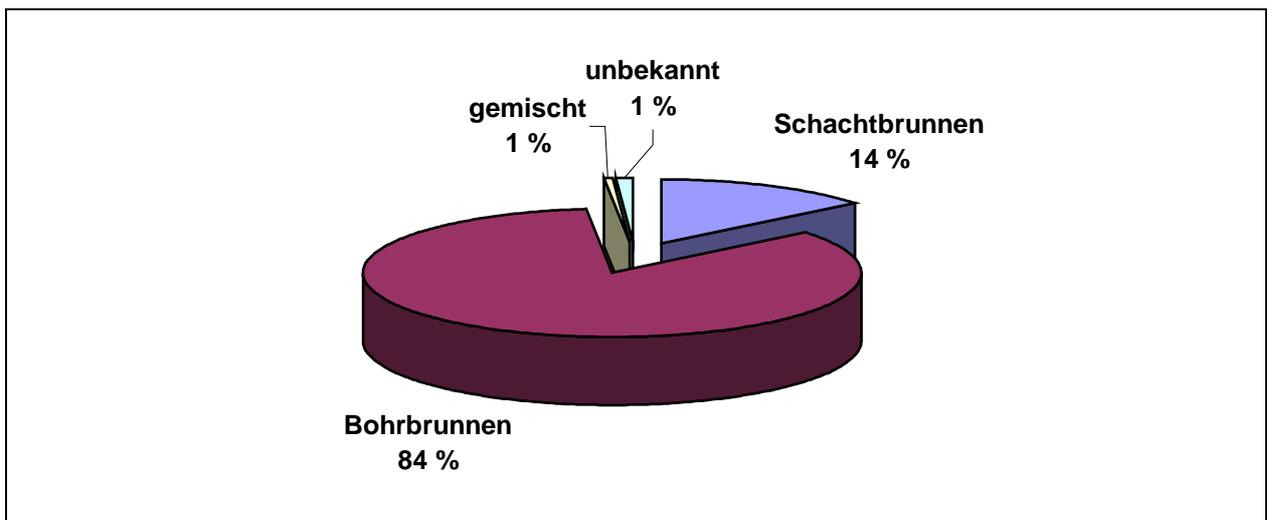


ABBILDUNG 5: Art der Brunnen

Die durchschnittliche Brunnentiefe lag im Untersuchungsgebiet bei 28,4 Meter, wobei die Tiefe der Brunnen deutlich variierte. So reichte die Bandbreite von einem Minimum von 3,5 Meter bis zu einem Maximum von 80 Metern (s. Abb. 6).

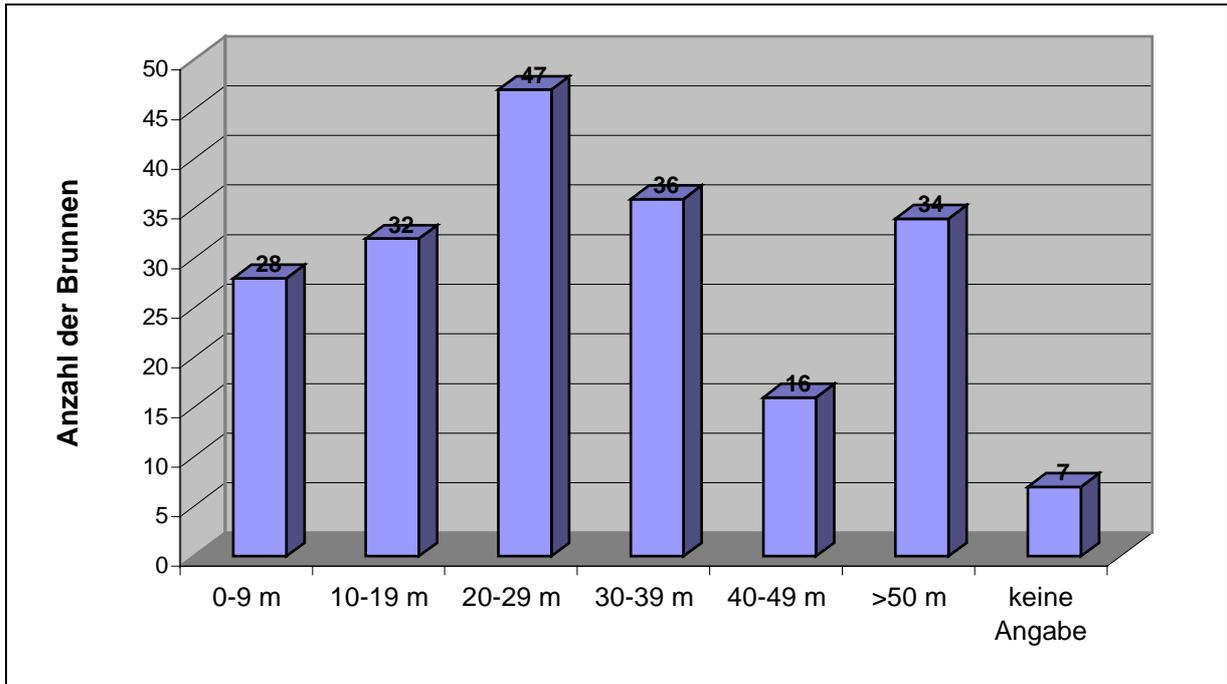


ABBILDUNG 6: Brunnentiefen

Bei der Befragung über die Lage des jeweiligen Brunnen stellte sich heraus, daß die Mehrzahl im Garten, 16 % auf dem Hof, 14 % im Feld und ein Prozent im Wald lokalisiert sind. Ca. 26 % der Befragten konnte keine Auskunft über die Lokalisation der Wasserversorgung geben (s. Abb. 7). In den meisten Fällen handelte es sich hierbei um Mieter.

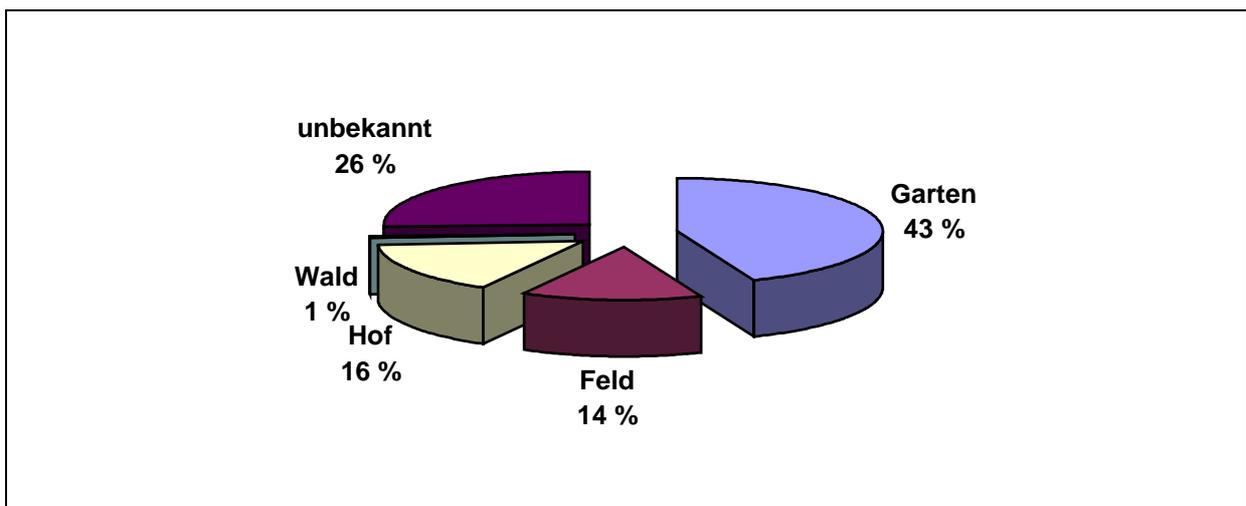


ABBILDUNG 7: Lokalisation der Brunnen

Die Brunnen sind in unterschiedlichen Entfernungen zu den Häusern angeordnet. So lag die kürzeste Entfernung vom Haus unter einem Meter (Brunnen unter dem Haus); die weiteste betrug 500 Meter. Die durchschnittliche Entfernung ergab 41,93 Meter.

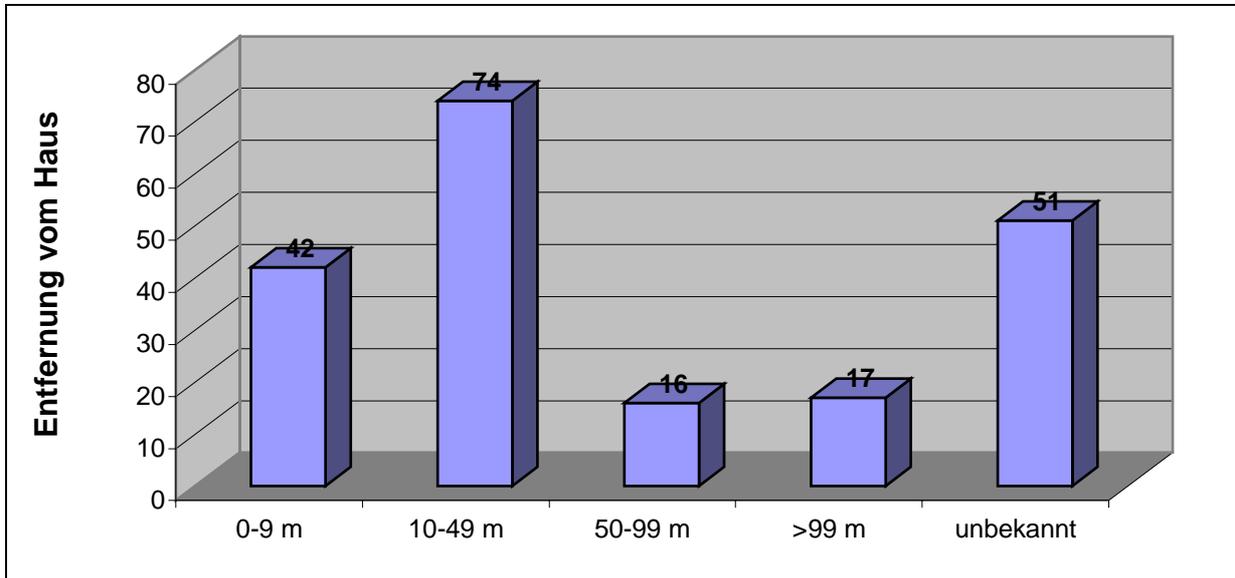


ABBILDUNG 8: Entfernung der Brunnen vom Haus

4.3 Möglichkeiten der Wasseraufbereitung

Über knapp die Hälfte der 200 untersuchten Eigenwasseranlagen verfügen über eine Wasseraufbereitung.

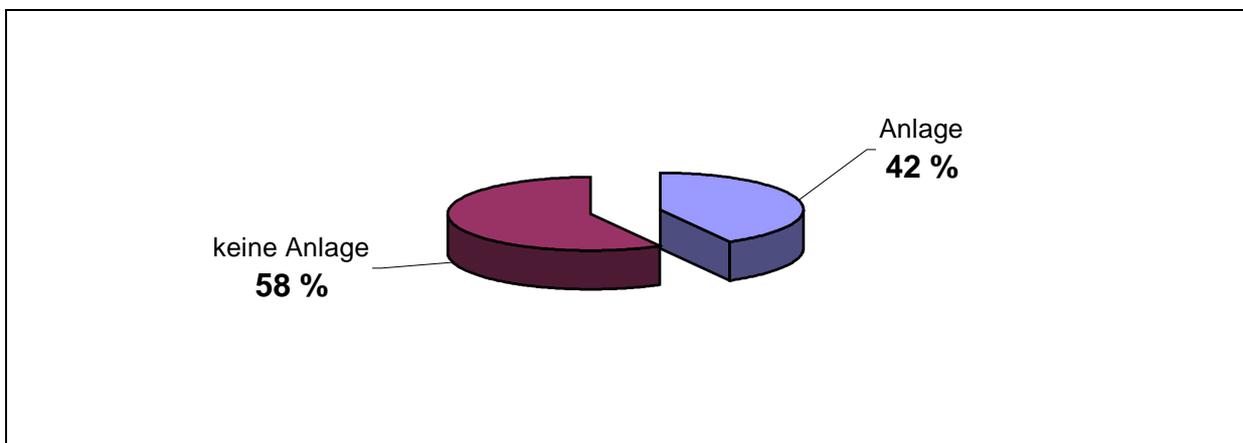


ABBILDUNG 9: Prozentualer Anteil der Wasseraufbereitungsanlagen

Die häufigste Art der Aufbereitung ist die Enteisenung. Die Enthärtung als alleinige Maßnahme ist eher selten. Man findet sie eher unter den kombinierten Aufbereitungsanlagen (Abbildung 10). Denitrifizierung, Entmanganung und Umkehrosmose liegen sehr selten vor. In der folgenden Abbildung werden die 42 % Aufbereitungsanlagen (88 von 200 untersuchten Wasseraufbereitungsanlagen) nach ihrer Anzahl und Art dargestellt.

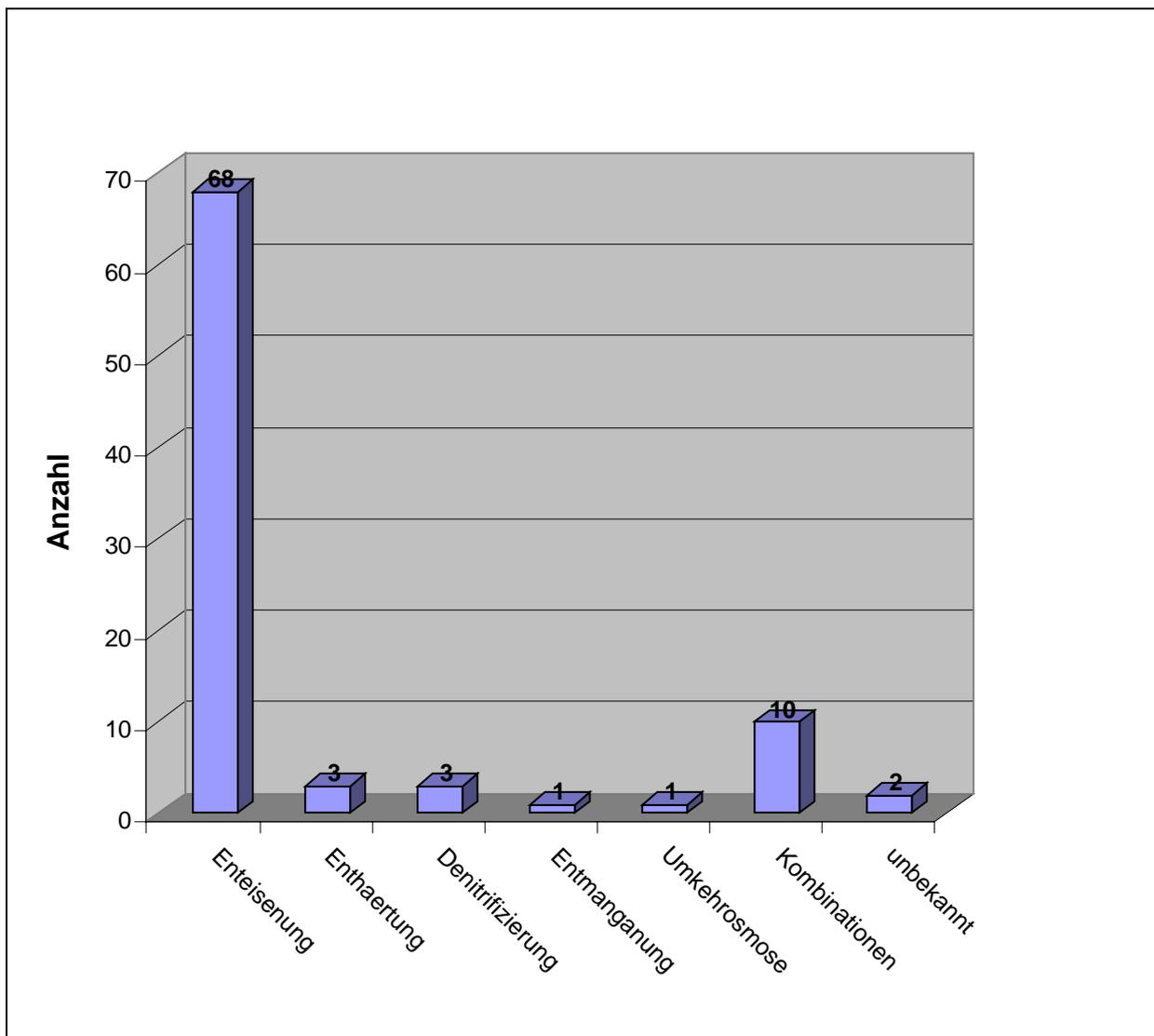


ABBILDUNG 10: Verteilung der 88 Wasseraufbereitungsanlagen

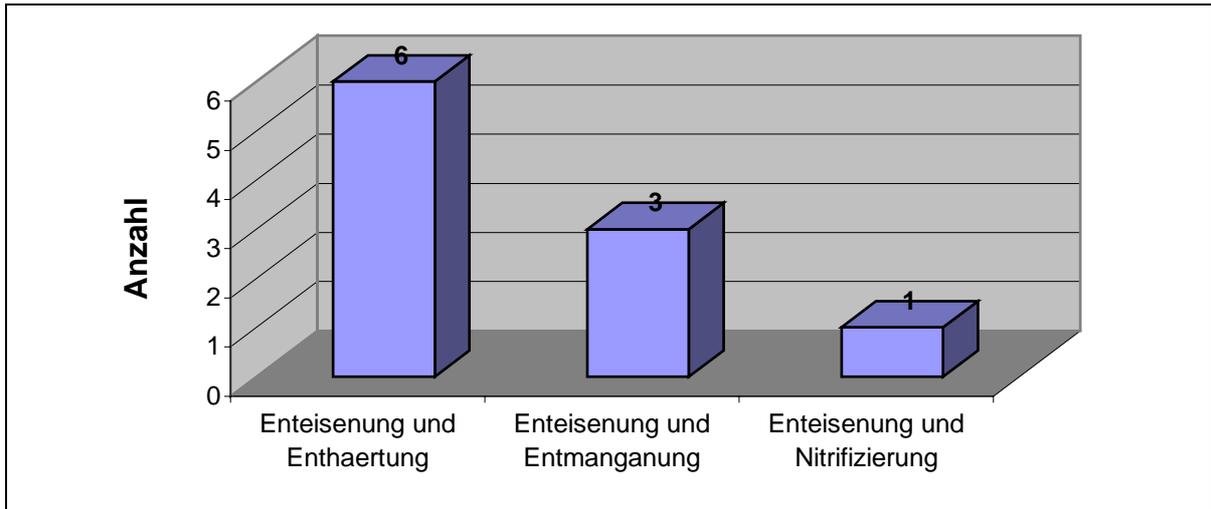


ABBILDUNG 10a: Verteilung der 10 kombinierten Wasseraufbereitungsanlagen

Bei 92 % der entnommenen Wasserproben konnte man keine Trübung feststellen. 13 von 200 Wasserproben waren gelblich verfärbt. Nur zwei Proben davon stammen aus einer Wasserversorgungsanlage mit Wasseraufbereitung. Es handelte sich dabei um Anlagen zur Enteisenung. Zusätzlich wiesen zwei entnommene Wasserproben eine dunkeltrübe Farbe auf. Beide wurden aus Brunnen ohne jegliche Wasseraufbereitung entnommen. Eine Probe davon zeichnete sich durch einen schlechten Geruch aus.



ABBILDUNG 11: Sichtbare Wasserqualität

4.4 Betrachtung der Fluoridwerte

Bei der Betrachtung der Fluoridwerte gab es deutliche Unterschiede. So schwankten die Meßwerte zwischen 0,0 mg F⁻/l und einem Maximum von 2,95 mg F⁻/l. Der Mittelwert der untersuchten Region betrug 0,21 mg F⁻/l.

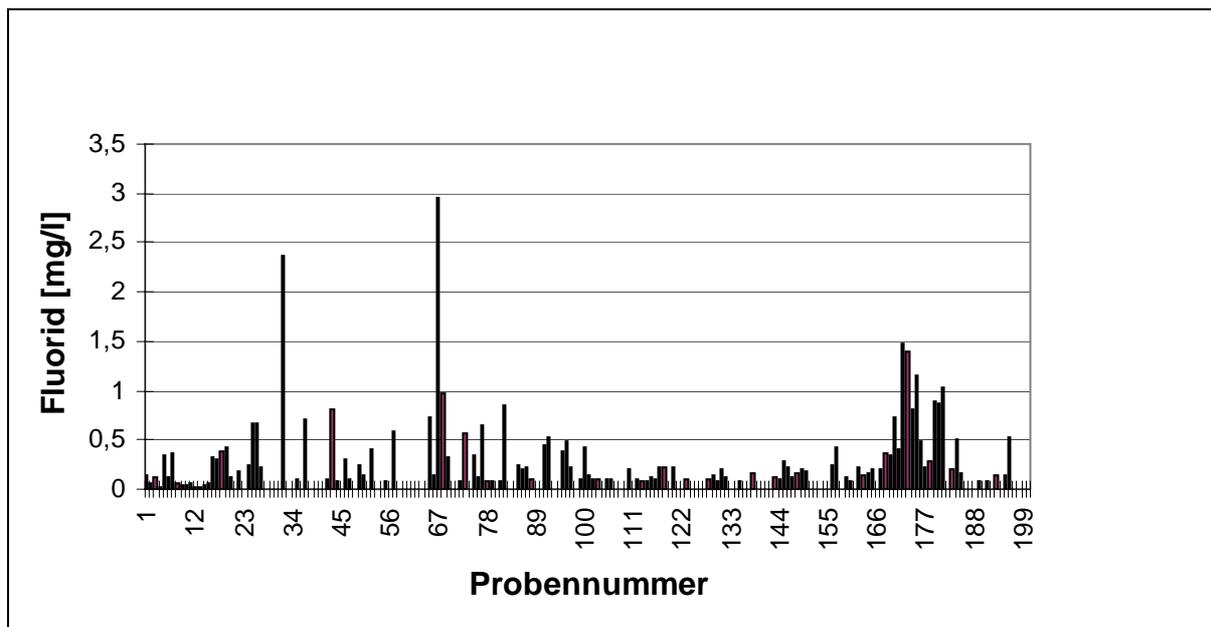


ABBILDUNG 12: Darstellung der Fluoridkonzentrationen bezogen auf die Gesamtprobenzahl

	<i>Fluorid</i>
Mittelwert	0,21
Median	0,10
Minimum	<0,10
Maximum	2,95
Standardfehler	0,026
Standardabweichung	0,360
Stichprobenvarianz	0,1305
Unteres Quartil	0
Oberes Quartil	0,23
Anzahl	200

In der folgenden Abbildung 13 werden die ermittelten Fluoridkonzentrationen in einzelne Kategorien eingeteilt. Zu erkennen ist das breite Spektrum der Ergebnisse. Stark vertreten sind Konzentrationen unter 0,25 ppm. Hohe Konzentrationen sind selten. Nur sechs Wasserproben wiesen einen Wert über 1,0 ppm auf.

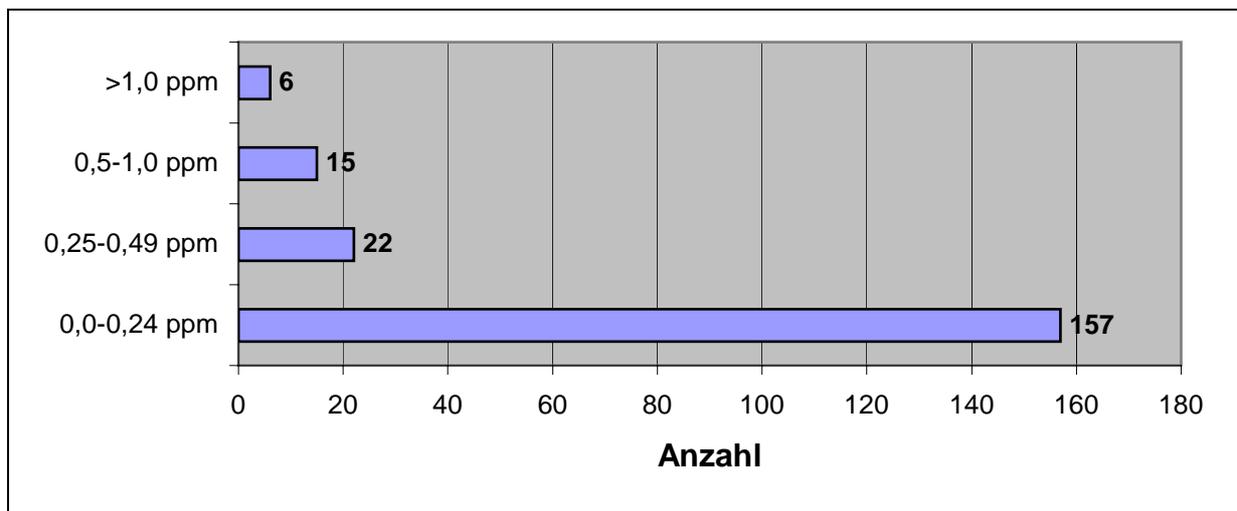


ABBILDUNG 13: Häufigkeiten der Fluoridkonzentrationen

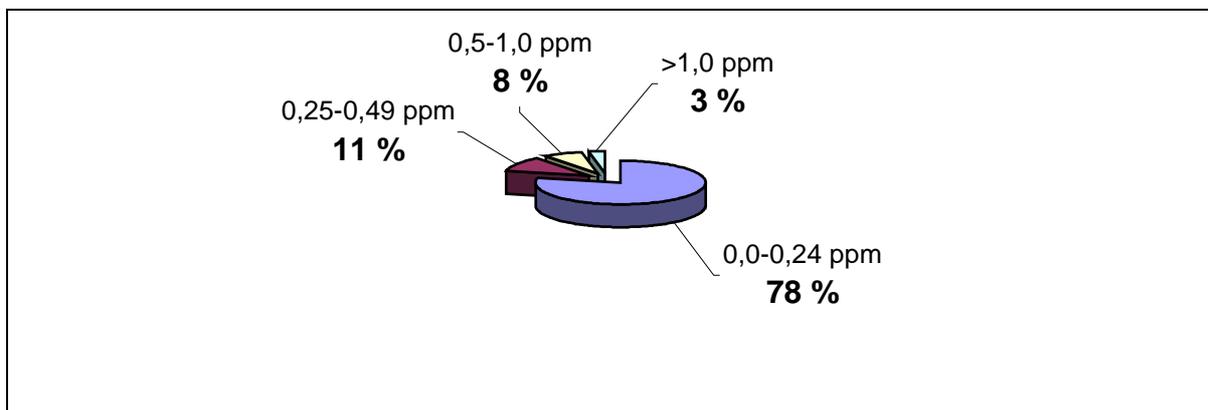


ABBILDUNG 14: prozentuale Verteilung im Bezug zur WHO-Einteilung

Im folgenden werden alle ermittelten Fluoridkonzentrationen nach Entnahmestellen und Straßenbezeichnung dargestellt. Bei allen Entnahmestellen wurden zusätzlich die Koordinaten (Rechtswert – Hochwert) nach Gauß-Krüger mit Hilfe des Computerprogramms Top 50, Version 1.0, dokumentiert.

1. Untersuchungen im Bereich Wadersloh

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert [ppm]
Dorenbrink	81	3447915	5737065	0,09	0,26
	82	3447990	5736995	0,84	
	103	3447470	5736290	0,11	
	104	3447535	5736260	< 0,05	
In der Haue	73	3447014	5737580	0,56	0,30
	74	3447359	5737445	< 0,05	
	75	3447469	5737755	0,35	
Kleyweg	102	3447179	5736455	0,11	0,10
	105	3447570	5736155	0,10	
	106	3447635	5736170	0,11	
	107	3447695	5736185	< 0,05	
	108	3447790	5736200	< 0,05	
	109	3447840	5736415	< 0,05	
	110	3447865	5736605	0,20	
	111	3447945	5736195	< 0,05	
	112	3448025	5736195	0,10	
	113	3448210	5736145	0,08	
	114	3448320	5736190	0,09	
	115	3448425	5736220	0,12	
	116	3448505	5736245	0,10	
	117	3448745	5736040	0,23	
	118	3448680	5736605	0,22	
	119	3448975	5736115	< 0,05	
120	3449030	5736265	0,22		
Kuhlheide	76	3447694	5737335	0,12	0,19
	77	3447559	5737250	0,65	
	78	3447329	5737195	0,09	
	79	3447574	5737130	0,09	
	80	3447459	5736995	< 0,05	
Langenberger Str.	89	3449365	5736995	< 0,05	0,24
	90	3449885	5737135	< 0,05	
	91	3449855	5737465	0,44	
	92	3449970	5737440	0,52	
Norrenkamp	83	3448390	5737220	< 0,05	0,13
	84	3448455	5737415	< 0,05	
	85	3448795	5737715	0,25	
	86	3448620	5737835	0,21	
	87	3448409	5737845	0,23	
	88	3448915	5737225	0,11	
Stromberger Str.	71	3446371	5738389	< 0,05	0,08
	72	3446414	5737829	0,09	
	101	3446559	5736830	0,14	
Gesamt	42				0,19

2. Untersuchungen im Bereich Langenberg

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Flouridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Ackfelder Str.	121	3450665	5737235	< 0,05	< 0,05
	127	3450960	5737390	< 0,05	
Alte Feldstr.	128	3451420	5737905	0,11	0,10
	129	3451480	5737895	0,15	
	130	3451560	5737975	0,09	
	131	3451845	5738015	0,21	
	132	3451930	5738025	0,12	
	134	3452290	5737935	< 0,05	
	133	3452005	5738080	< 0,05	
Forthbach Str.	98	3449980	5738680	< 0,05	0,05
	99	3450170	5738715	0,10	
Hoechte Str.	48	3450705	5739175	< 0,05	0,20
	49	3451180	5739045	0,25	
	50	3451365	5731365	0,14	
	100	3449960	5739134	0,42	
Im Felde	122	3450760	5737370	< 0,05	0,02
	123	3450600	5737395	0,11	
	124	3450820	5737320	< 0,05	
	125	3450815	5737260	< 0,05	
	126	3450970	5737200	< 0,05	
Linzeler Str.	44	3449464	5732579	0,09	0,13
	45	3449869	5739629	< 0,05	
	46	3450235	5739694	0,30	
	47	3450525	5739115	0,11	
Reckenberger Str.	191	3454256	5737850	0,08	0,08
Rennefelder Weg	93	3450405	5737775	< 0,05	< 0,05
	94	3450585	5737775	< 0,05	
Rietberger Str.	52	3453936	5733936	0,41	0,10
	53	3454081	5738340	< 0,05	
	54	3454186	5738310	< 0,05	
	55	3454416	5738315	0,09	
	56	3454656	5738315	< 0,05	
Schildbreite	95	3450260	5737900	0,38	0,43
	96	3450155	5737735	0,48	
Schlingfeldweg	135	3453546	5737655	0,08	0,04
	136	3453706	5737630	< 0,05	
StrombergerStr.	38	3448564	5738460	< 0,05	0,12
	97	3449600	5738565	0,23	
Vier Hoefe	51	3452240	5738320	< 0,05	< 0,05
Vornholzstr.	30	3455762	5735464	< 0,05	< 0,05
	31	3454786	5736068	< 0,05	
Weidekamp	192	3454461	5737950	< 0,05	< 0,05
Westfeldstr.	39	3449320	5738570	< 0,05	< 0,05
Westkampstr.	40	3448854	5738899	< 0,05	0,23
	41	3448784	5739134	< 0,05	
	42	3448759	5739234	0,11	
	43	3448864	5739314	0,80	
Gesamt	46				0,09

3. Untersuchungen im Bereich Rietberg (1. Teil)

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Am Blanken	179	3457382	5737163	0,90	0,70
	180	3457407	5737158	0,87	
	181	3457127	5737188	1,04	
	182	3456687	5737301	< 0,05	
Am Eichenhof	14	3460207	5739511	0,04	0,06
	15	3461242	5739189	0,07	
Am Hohen Land	153	3460822	5739028	< 0,05	0,06
	154	3460822	5738988	< 0,05	
	155	3460602	5738978	< 0,05	
	156	3460572	5738793	0,24	
Am Reiling	64	3457396	5738644	< 0,05	0,37
	65	3457617	5738356	0,73	
Bresser Str.	145	3460668	5737604	0,28	0,17
	146	3460523	5737434	0,23	
	147	3460528	5737544	0,12	
	148	3460487	5737624	0,17	
	149	3459997	5738224	0,20	
	150	3460107	5738434	0,18	
	161	3460002	5738608	< 0,05	
	162	3459952	5738503	0,23	
	163	3459897	5738738	0,15	
	164	3459802	5738808	0,16	
Brockstr.	59	3456216	5739405	< 0,05	0,07
	193	3456101	5730035	0,14	
	194	3456076	5740125	< 0,05	
	195	3455916	5740430	0,14	
Gluepkerheide	166	3459027	5738378	< 0,05	< 0,05
Graswinkel	60	3456526	5739685	< 0,05	< 0,05
	61	3457096	5739130	< 0,05	
	62	3457266	5739025	< 0,05	
	63	3457331	5738896	< 0,05	
Hammoor	57	3456321	5738286	0,58	0,15
	58	3456201	5738306	< 0,05	
	139	3456066	5738151	< 0,05	
	140	3456476	5738101	< 0,05	
Jagdweg	196	3455686	5740410	0,53	0,27
	197	3455806	5740280	< 0,05	
Katthagen	183	3456577	5737231	0,21	0,36
	184	3456551	5737351	0,51	
Kaunitzer Str.	5	3466948	5743603	0,34	0,34
Kroegerstr.	198	3455971	5740770	< 0,05	< 0,05
	199	3456111	5740840	< 0,05	
	200	3456096	5740650	< 0,05	

4. Untersuchungen im Bereich Rietberg (2.Teil)

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Loefkenfeld	68	3458312	5737748	0,96	0,68
	167	3458927	5738208	0,20	
	168	3459012	5738053	0,36	
	169	3458822	5738133	0,34	
	170	3458897	5738043	0,72	
	171	3458882	5737998	0,41	
	172	3458857	5737933	1,47	
	173	3458662	5737848	1,40	
	174	3458427	5737893	0,80	
	175	3458487	5737781	1,16	
	176	3458062	5737603	0,48	
	177	3457867	5737328	0,22	
	178	3457727	5737358	0,28	
Mastholter Str.	187	3455961	5737006	< 0,05	0,02
	188	3455761	5736961	< 0,05	
	189	3455711	5736991	0,09	
	190	3455501	5737191	< 0,05	
Meschemkeweg	16	3461672	5739054	0,33	0,36
	17	3461458	5738669	0,31	
	18	3460943	5738044	0,39	
	19	3460512	5738059	0,42	
Triftstr.	66	3457637	5737961	0,14	1,55
	67	3457637	5737961	2,95	
Unter den Eichen	137	3455616	5737901	< 0,05	0,09
	138	3455526	5737985	0,17	
Westenholzer Str.	28	3458508	5733994	< 0,05	< 0,05
	29	3457912	5734389	< 0,05	
Wimmelheide	185	3456306	5737236	0,17	0,09
	186	3456176	5737091	< 0,05	
Wulfhorstweg	151	3460592	5739491	< 0,05	0,12
	152	3460547	5739536	< 0,05	
	157	3460297	5738798	0,42	
	158	3460167	5738893	< 0,05	
	159	3460087	5738968	0,13	
	160	3460377	5739033	0,08	
	165	3459682	5738478	0,21	
Gesamt	79				0,26

5. Untersuchungen im Bereich Delbrueck

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Brinkort	23	3461723	5736279	< 0,05	0,15
Hoevelhofer Str.	1	3471866	5737993	0,15	0,15
Im Knaeppen	21	3462928	5736449	< 0,05	< 0,05
Koettmers Kamp	24	3460798	5735844	0,24	< 0,05
Landstr.	4	3468279	5742309	0,03	< 0,05
Moorlake	25	3460583	5735559	0,67	0,46
	26	3460813	5734849	0,66	
Neubrueckstr.	3	3468183	5742789	0,12	0,12
Osterloher Str.	2	3472295	5741125	0,06	0,06
Pulsweg	22	3471866	5737993	0,15	< 0,05
Rendelweg	20	3461028	5737304	0,13	0,11
	141	3461728	5737229	< 0,05	
	142	3461688	5737244	< 0,05	
	143	3461808	5737584	0,13	
	144	3461108	5737199	0,11	
Seitenweg	27	3460088	5734999	0,22	0,66
Gesamt	16				0,16

6. Untersuchungen im Bereich Stromberg

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Coellentrup	32	3446216	5739784	2,37	0,53
	33	3446864	5739619	< 0,05	
	34	3447097	5738654	< 0,05	
	35	3447544	5738674	0,10	
	36	3447924	5738554	< 0,05	
	37	3448164	5738499	0,7	
Wadersloher Str.	69	3459742	5737949	0,33	0,17
	70	3446011	5739204	< 0,05	
Gesamt	8				0,35

7. Untersuchungen im Bereich Verl

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Kattener Heide	8	3471998	5747444	0,07	0,07
Rietberger Landstr.	7	3470163	5745704	0,37	0,37
Schulstr.	6	3468157	5745936	0,13	0,13
Gesamt	3				0,19

8. Untersuchungen in sonstigen Gebieten (Hoevelhof, Schloss-Holte-Stukenbrock)

Strasse	Pr.-nr.	Rechtswert	Hochwert	Fluoridkonz.[ppm]	Mittelwert[ppm]
Detmolder Str,	9	3475769	5747040	0,05	0,05
Sennestr.	12	3479347	5744518	0,03	0,03
	13	3478351	5743948	0,03	
Am Fuhrlbach	11	3477139	5748685	0,06	0,06
Lippstaedter Weg	10	3476575	5747435	0,04	0,04
Gesamt	4				0,05

Die vorhergehenden Tabellen ergeben zusammengefaßt folgende Übersicht.

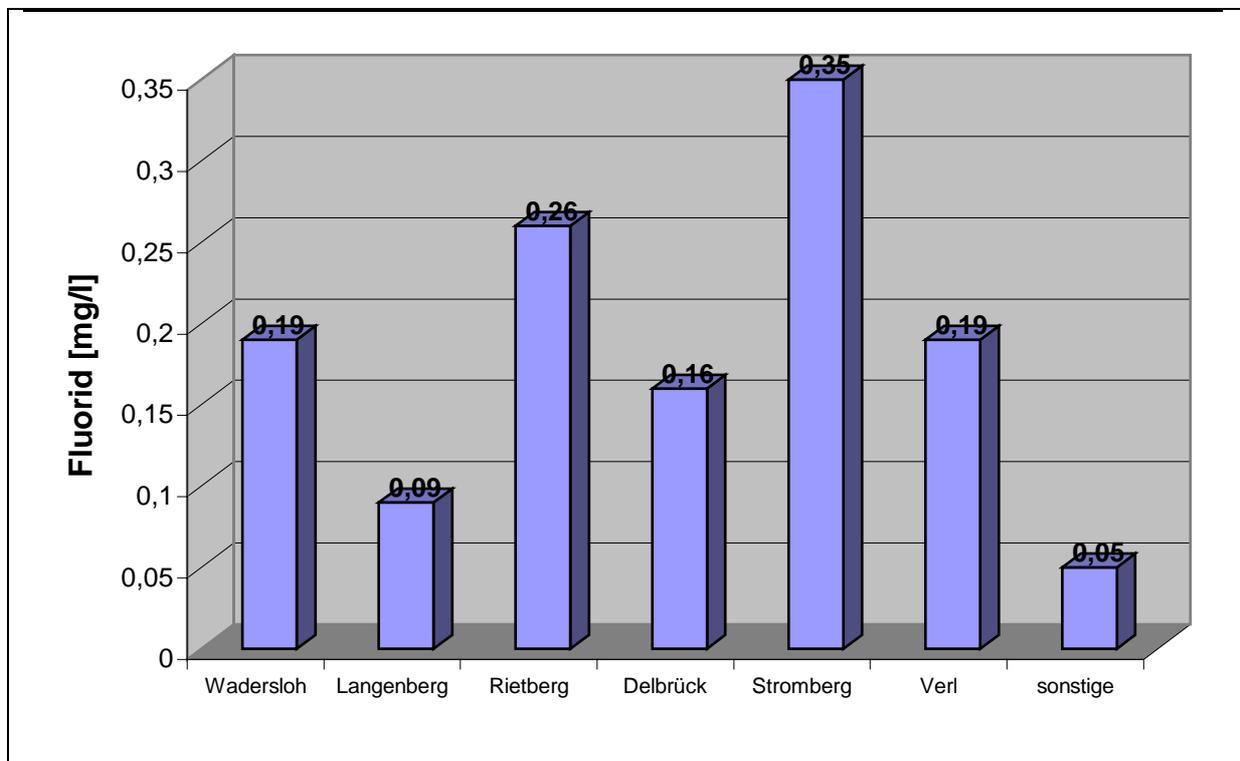


ABBILDUNG 15: Durchschnittliche Fluoridkonzentrationen der einzelnen Orte

Unter der Rubrik „Sonstige“ sind die Orte Hoevelhof und Schloss-Holte-Stukenbrock zusammengefaßt. Im Bereich Wadersloh, Langenberg, Delbrück und Verl zeigen die gemessenen Konzentrationen vorwiegend Werte unter 0,25 ppm. In Rietberg und Stromberg sind höhere Konzentrationen auffällig, wobei der Durchschnittswert nicht die empfohlene Höchstkonzentration an Fluoridionen im Eigenwasser erreicht.

Es fällt auf, daß vier Werte im Bereich Rietberg zwischen 1,0-1,5 ppm und ein Wert bei 2,95 ppm lagen. Hierbei handelte es sich um die höchste Konzentration aller untersuchten Wasserproben. Eine einzelne Wasserprobe ergab in Stromberg eine Fluoridkonzentration von 2,37 ppm.

4.5 Statistische Angaben zur Wassernutzung

Insgesamt werden durch die 200 Eigenwasseranlagen im Untersuchungsgebiet 279 Familien mit Trinkwasser versorgt. Die durchschnittliche Familiengröße beträgt 3,35 Personen. Im folgenden ist die Anzahl der Familien, die jeweils durch das Wasser eines Brunnens versorgt werden, dargestellt.

1 Familie	64 %
2 Familien	32 %
3 Familien	4 %

TABELLE 6: Anzahl der Familien, die jeweils einen Brunnen nutzen

Bei knapp 2/3 der Fälle nutzt nur eine Familie das Wasser des jeweiligen Brunnens. In knapp 1/3 nutzen zwei Familien einen Brunnen. Nur vier Prozent teilen sich mit zwei anderen Familien die Wasserversorgung.

Da die Größe der Familien deutlich zwischen einer und zwölf Personen schwankt, gibt die Anzahl aller Eigenwasserverbraucher in der untersuchten Region ein objektiveres Bild. So werden die 200 Eigenwasseranlagen von 936 Personen genutzt. Es kommen durchschnittlich 4,68 Personen auf eine Wasserquelle.

Von der Gesamtpersonenzahl sind 234 Personen unter 18 Jahre alt. Somit nutzen 3,51 Erwachsene und 1,17 Minderjährige jeweils einen Brunnen. Das Durchschnittsalter der Minderjährigen betrug 8,61 Jahre.

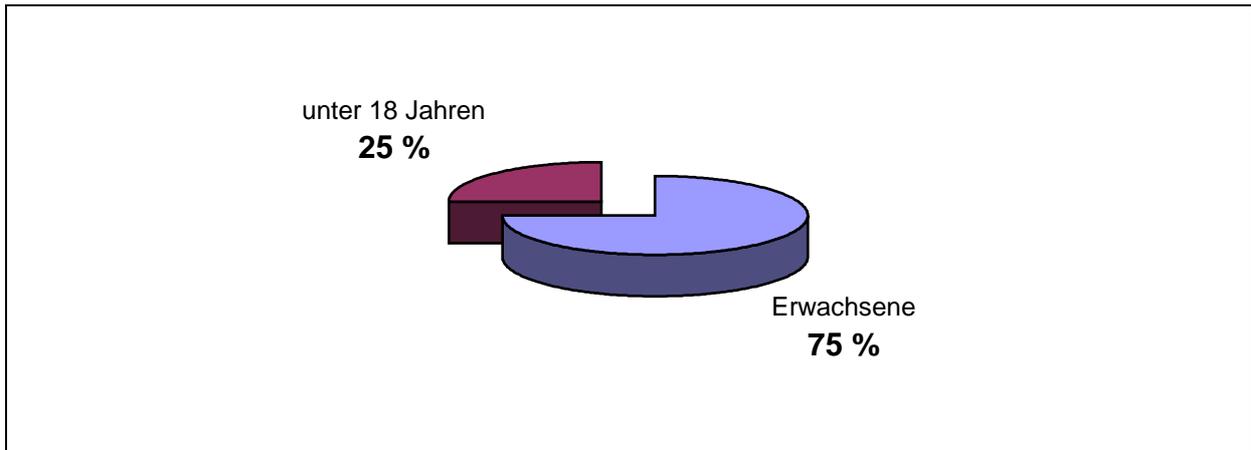


ABBILDUNG 16: Verhältnis aller Erwachsenen und Minderjährigen der untersuchten Region

In 63 % der Fälle stellte sich heraus, daß der Verbraucher neben dem Eigenwasser auch Mineralwasser verwendet. Es läßt sich erkennen, daß diese Haushalte bevorzugt Eigenwasser für die Zubereitung von Tee und Kaffee benutzen.

11 % der Bevölkerung geben an, nur aus dem eigenen Brunnen Wasser zu beziehen. Bei 26 % stellte sich heraus, daß sie das eigene Brunnenwasser nicht trinken.

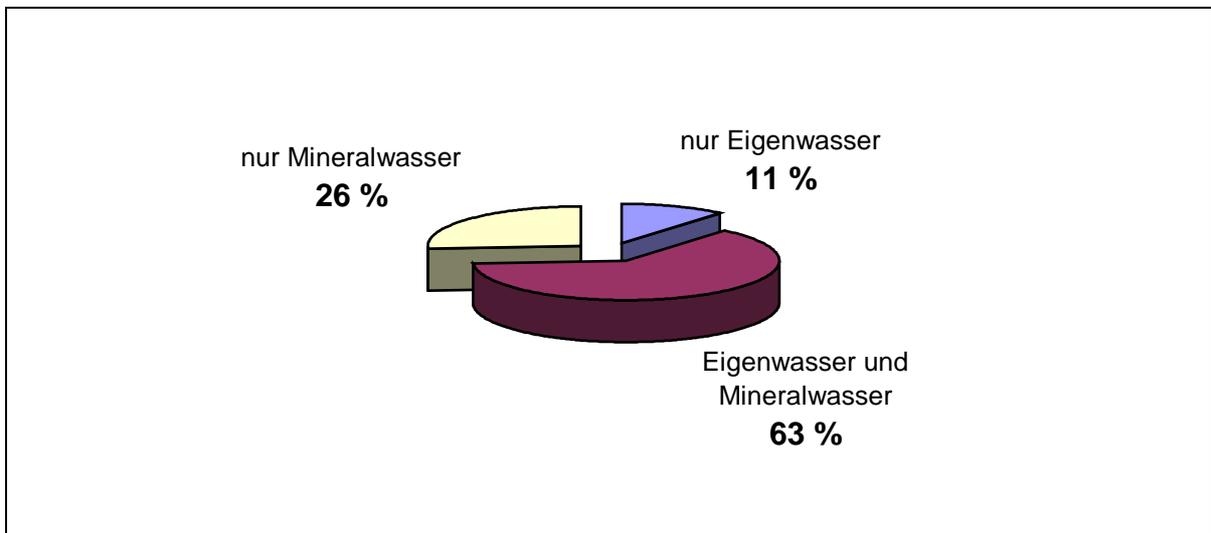


ABBILDUNG 17: Trinkgewohnheiten der Verbraucher

Die durchschnittliche Trinkmenge an Eigenwasser beträgt 1,5 l pro Tag und Person. Berücksichtigt wurden dabei nur jene Verbraucher, die ihr Eigenwasser auf unterschiedlichste Weise zu sich nehmen. Nur 15 % aller untersuchten Haushalte verwenden ein sogenanntes Sodastreamgerät, mit dem Kohlensäure dem Leitungswasser zugesetzt werden kann. Mit einem Gerät dieser Art kann man das Mineralwasser aus käuflichen Flaschen ersetzen. 2/3 davon geben an, ausschließlich Eigenwasser zu trinken. Dies entspricht 10 % von 200 untersuchten Wasseranlagen, was in der vorhergehenden Abbildung (Abb. 17) verdeutlicht wurde. Ein Prozent gibt an, das Sodastreamgerät nicht regelmäßig zu verwenden.

4.6 Ergebnisse der ermittelten Anionen- und Kationenkonzentrationen

Im Folgenden werden die jeweiligen Anionen und Kationen der 200 untersuchten Eigenwasseranlagen aufgeführt. Es handelt sich dabei um Konzentrationen von Bor, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Kalium, Kalzium, Magnesium, Lithium, Strontium, Ammonium und Natrium. Zu jeder Meßreihe werden in einer zusätzlichen Tabelle der Mittelwert, der Median und der Maximalwert der Studie dargestellt.

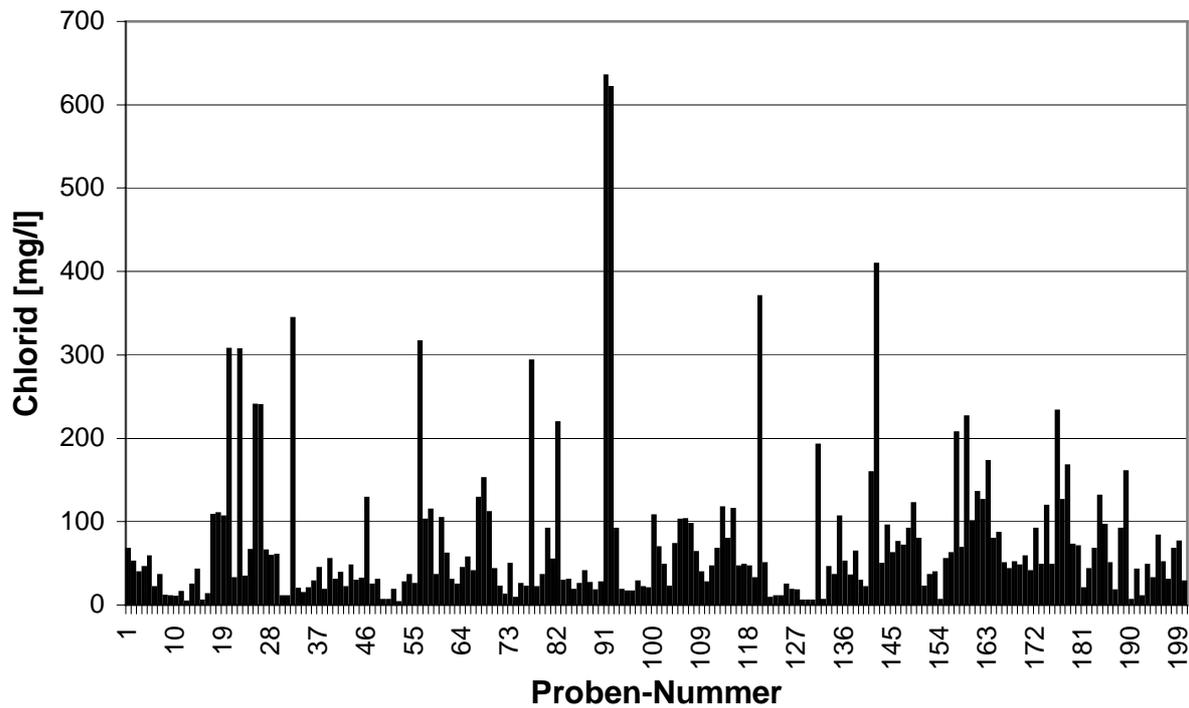


ABBILDUNG 18: Chloridkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Chlorid</i>
Mittelwert	73
Median	46
Minimum	3,5
Maximum	635
Standardfehler	6,4
Standardabweichung	90,1
Stichprobenvarianz	8112,11
Unteres Quartil	24
Oberes Quartil	91
Anzahl	200

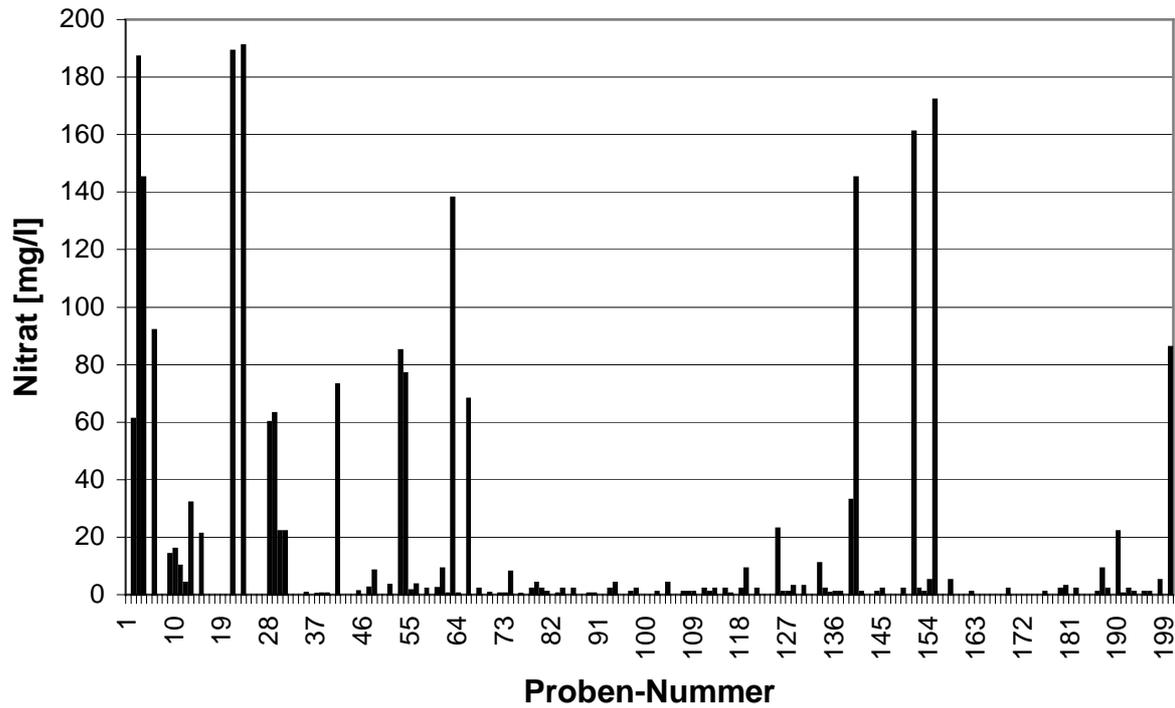


ABBILDUNG 19: Nitratkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Nitrat</i>
Mittelwert	11,9
Median	<1
Minimum	<1
Maximum	191
Standardabweichung	35,55
Stichprobenvarianz	1263,5738
Standardfehler	2,51
Unteres Quartil	<1
Oberes Quartil	2,0
Anzahl	200

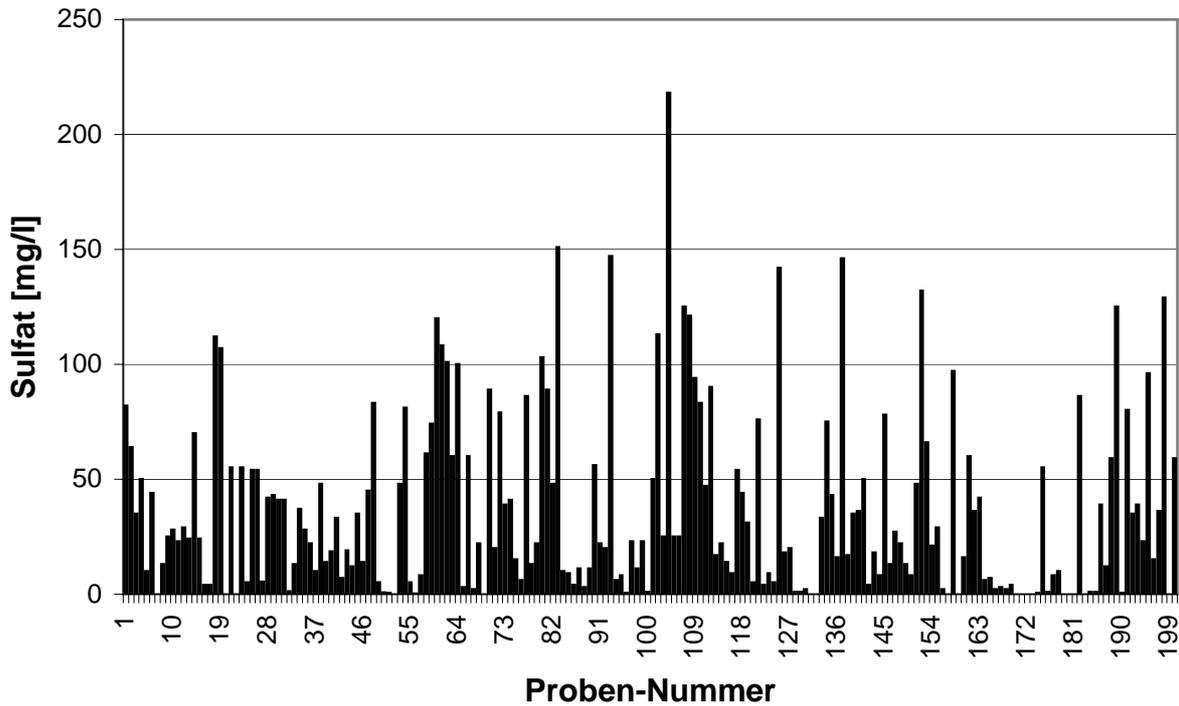


ABBILDUNG 20: Sulfatkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Sulfat</i>
Mittelwert	36
Median	22
Minimum	<1
Maximum	218
Standardabweichung	39,2
Stichprobenvarianz	1539,91
Standardfehler	2,8
Unteres Quartil	5
Oberes Quartil	54
Anzahl	200

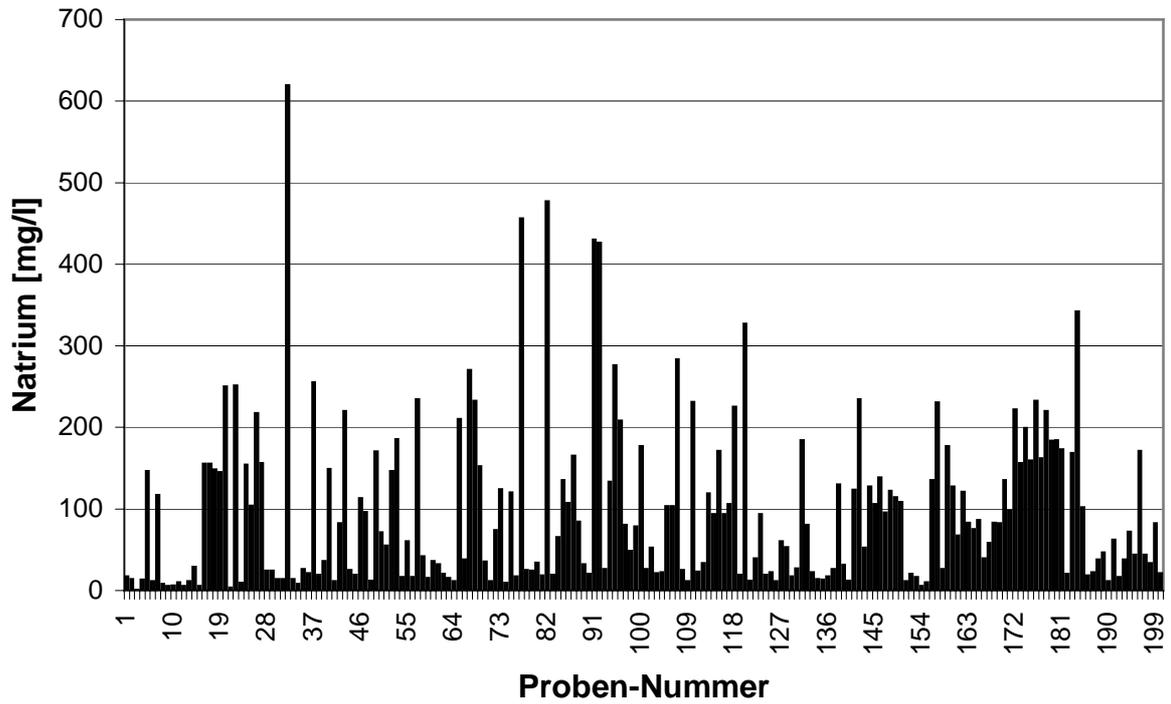


ABBILDUNG 21: Natriumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Natrium</i>
Mittelwert	95
Median	61
Minimum	0,7
Maximum	619
Standardabweichung	99,5
Stichprobenvarianz	9909,27
Standardfehler	7,0
Unteres Quartil	20
Oberes Quartil	146
Anzahl	200

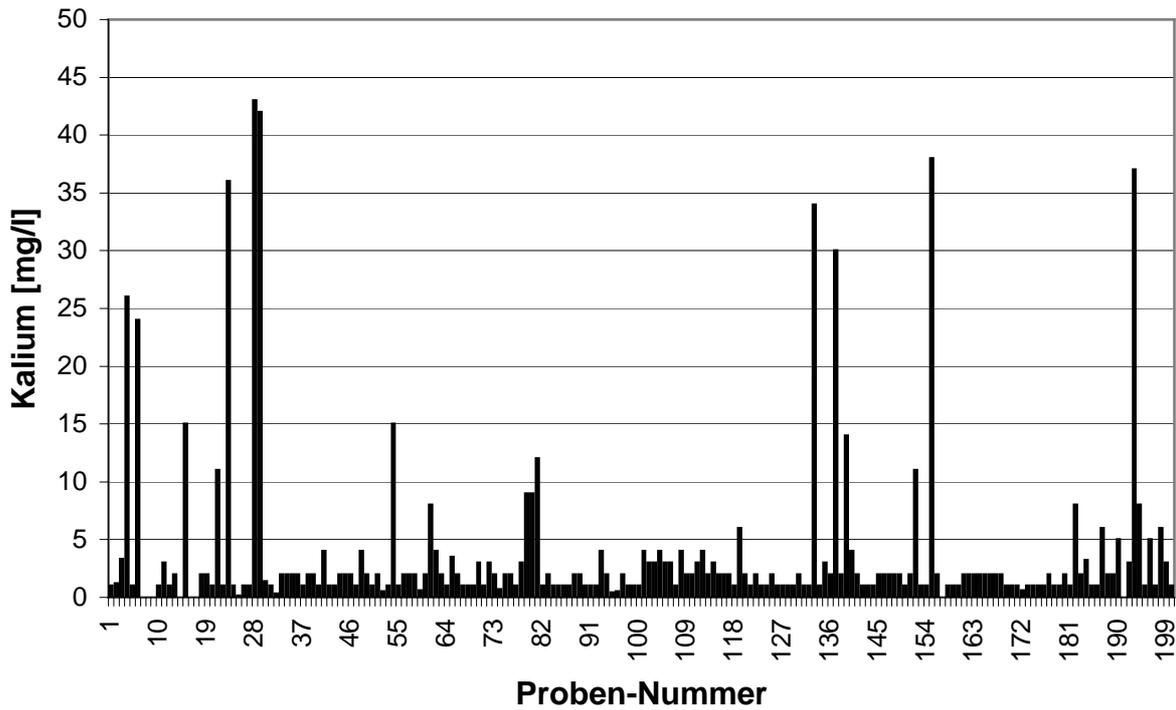


ABBILDUNG 22: Kaliumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Kalium</i>
Mittelwert	4
Median	2
Minimum	<0,5
Maximum	43
Standardabweichung	7,2
Stichprobenvarianz	52,43
Standardfehler	0,5
Unteres Quartil	1
Oberes Quartil	2,25
Anzahl	200

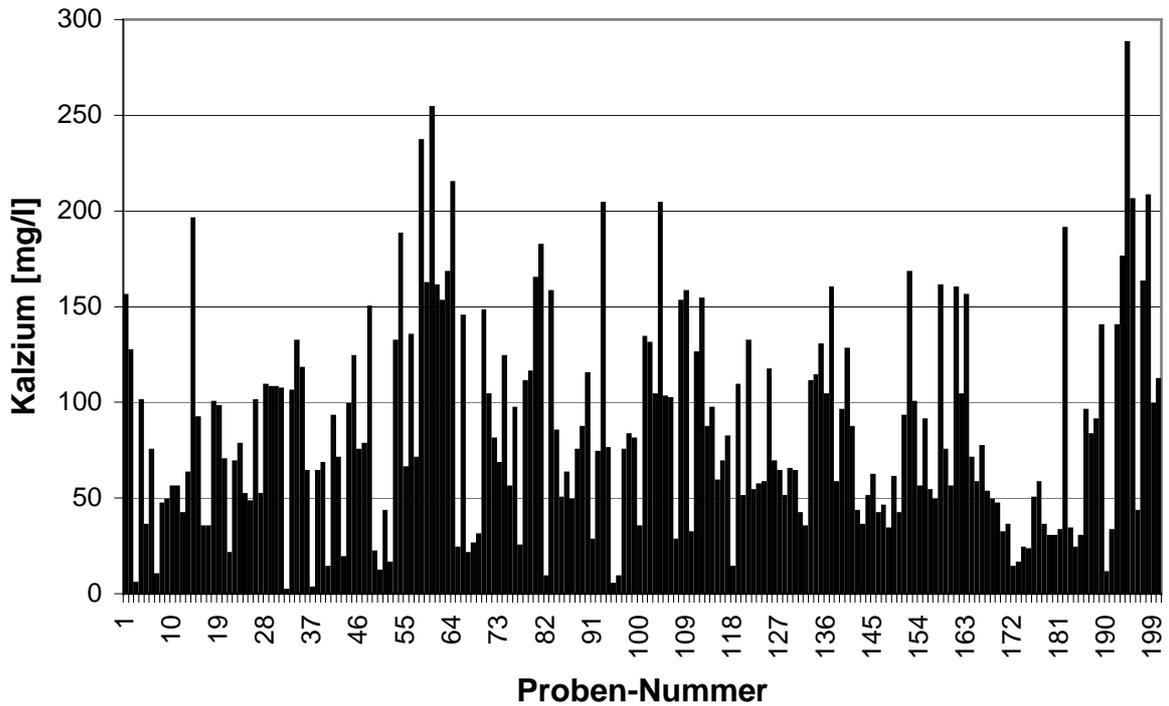


ABBILDUNG 23: Kalziumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Kalzium</i>
Mittelwert	85
Median	74
Minimum	2
Maximum	288
Standardabweichung	54,4
Stichprobenvarianz	2957,34
Standardfehler	3,8
Unteres Quartil	43
Oberes Quartil	112
Anzahl	200

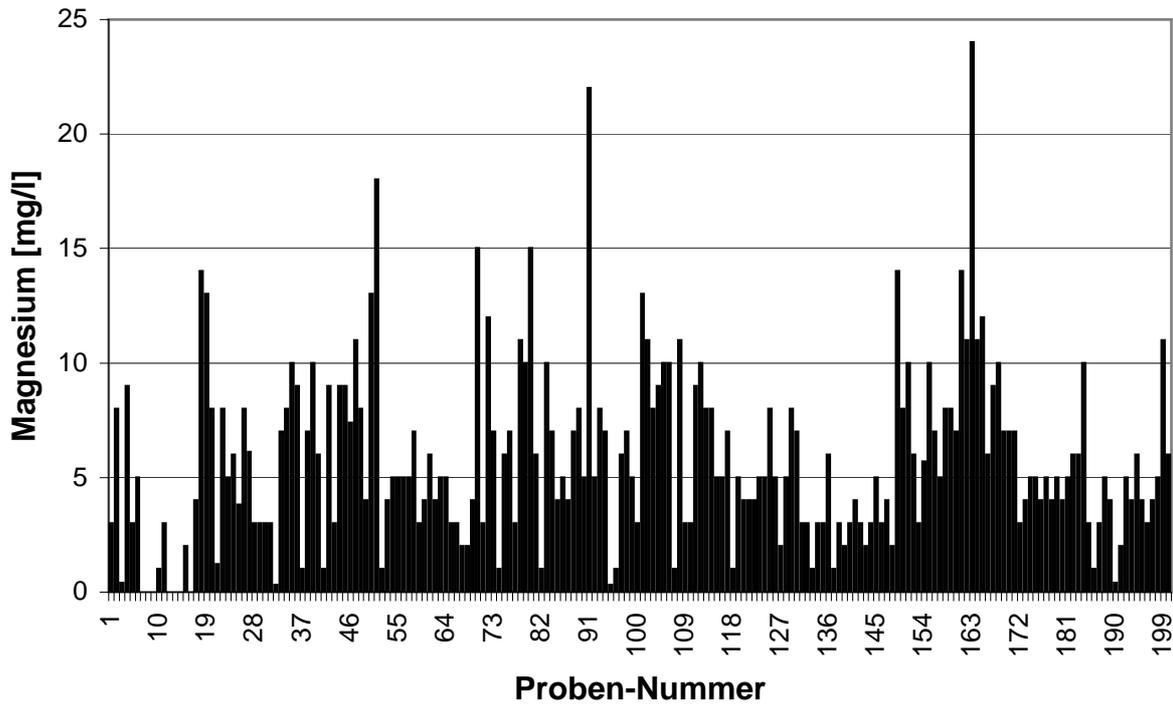


ABBILDUNG 24: Magnesiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Magnesium</i>
Mittelwert	6,0
Median	5,0
Minimum	<0,1
Maximum	24,0
Standardabweichung	3,9
Stichprobenvarianz	15,11
Standardfehler	0,3
Unteres Quartil	3,0
Oberes Quartil	8,0
Anzahl	200

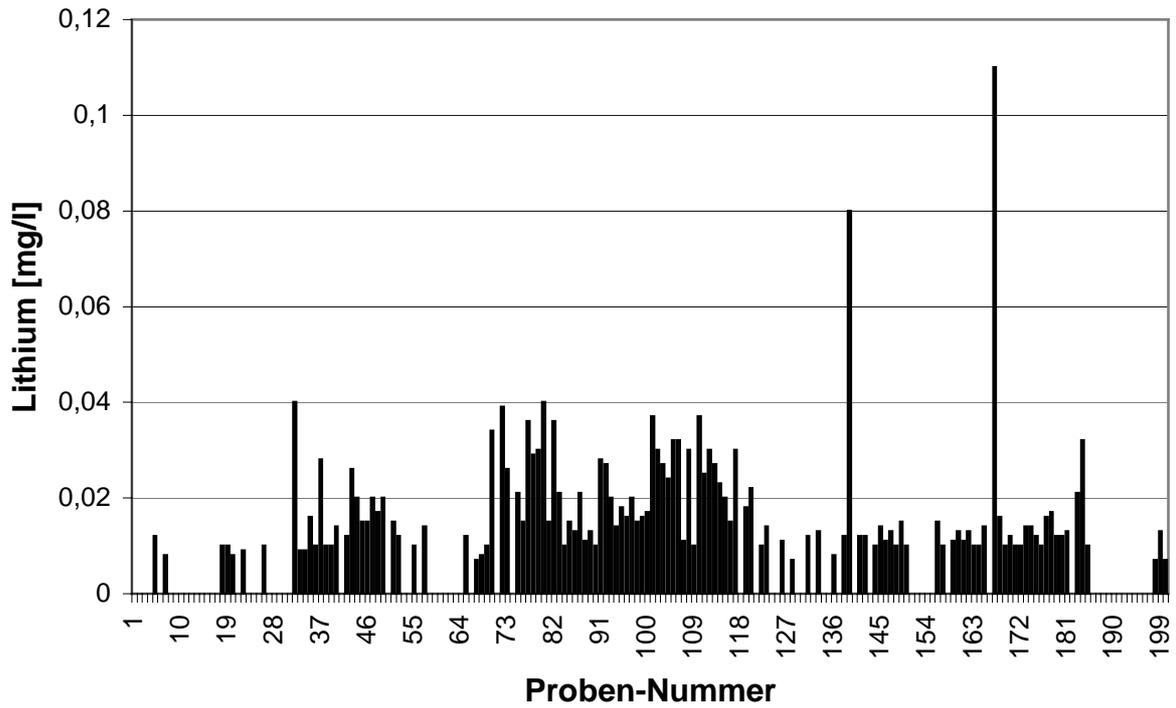


ABBILDUNG 25: Lithiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Lithium</i>
Mittelwert	<0,1
Median	<0,01
Minimum	<0,01
Maximum	0,11
Standardabweichung	0,01
Stichprobenvarianz	0,0002
Standardfehler	<0,01
Unteres Quartil	<0,01
Oberes Quartil	0,02
Anzahl	200

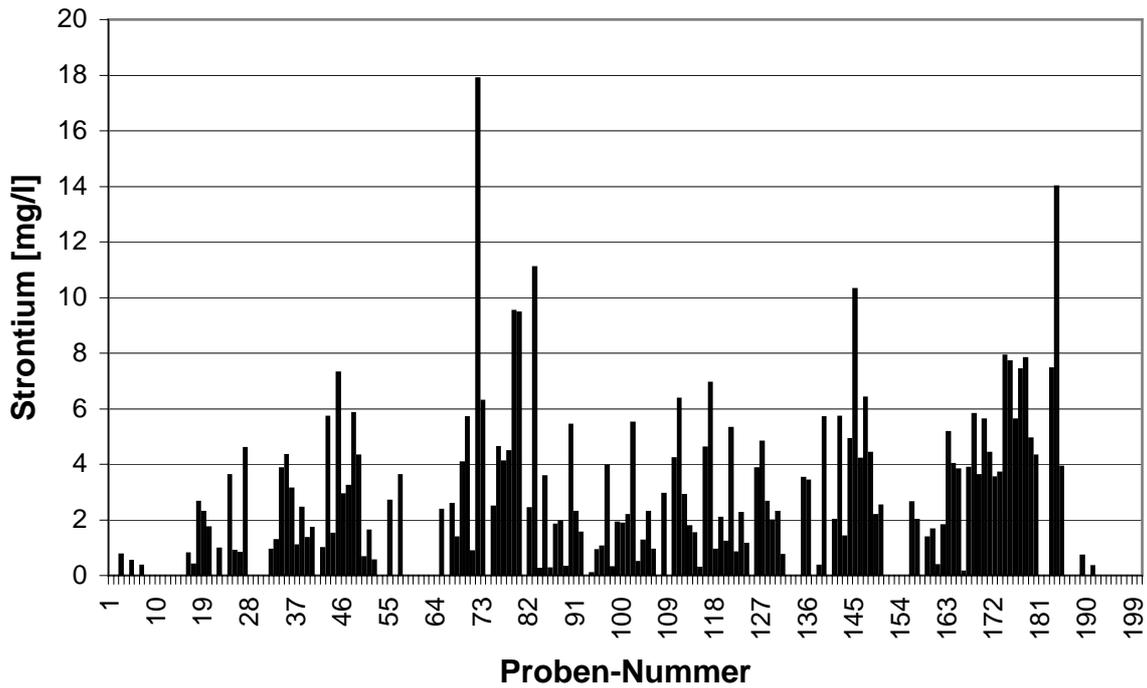


ABBILDUNG 26: Strontiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Strontium</i>
Mittelwert	2,3
Median	1,4
Minimum	<0,1
Maximum	17,9
Standardabweichung	2,78
Stichprobenvarianz	7,7188
Standardfehler	0,2
Unteres Quartil	<0,1
Oberes Quartil	3,8
Anzahl	200

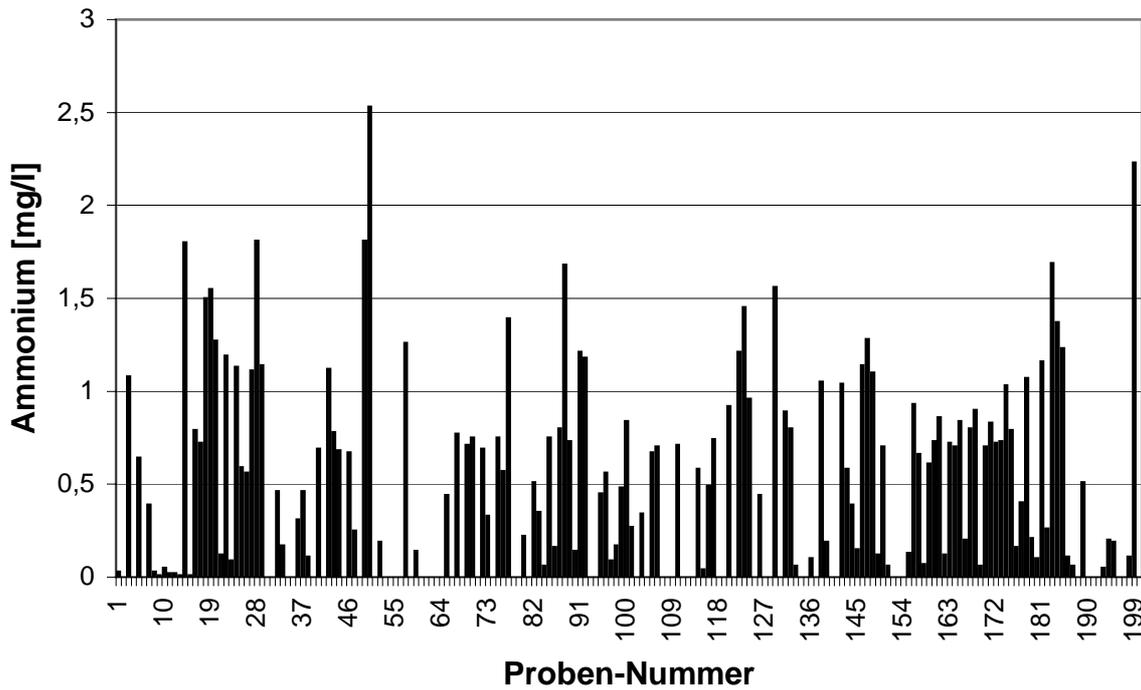


ABBILDUNG 27: Ammoniumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Ammonium</i>
Mittelwert	0,50
Median	0,20
Minimum	<0,01
Maximum	2,50
Standardabweichung	0,52
Stichprobenvarianz	0,2714
Standardfehler	0,04
Unteres Quartil	<0,01
Oberes Quartil	0,75
Anzahl	200

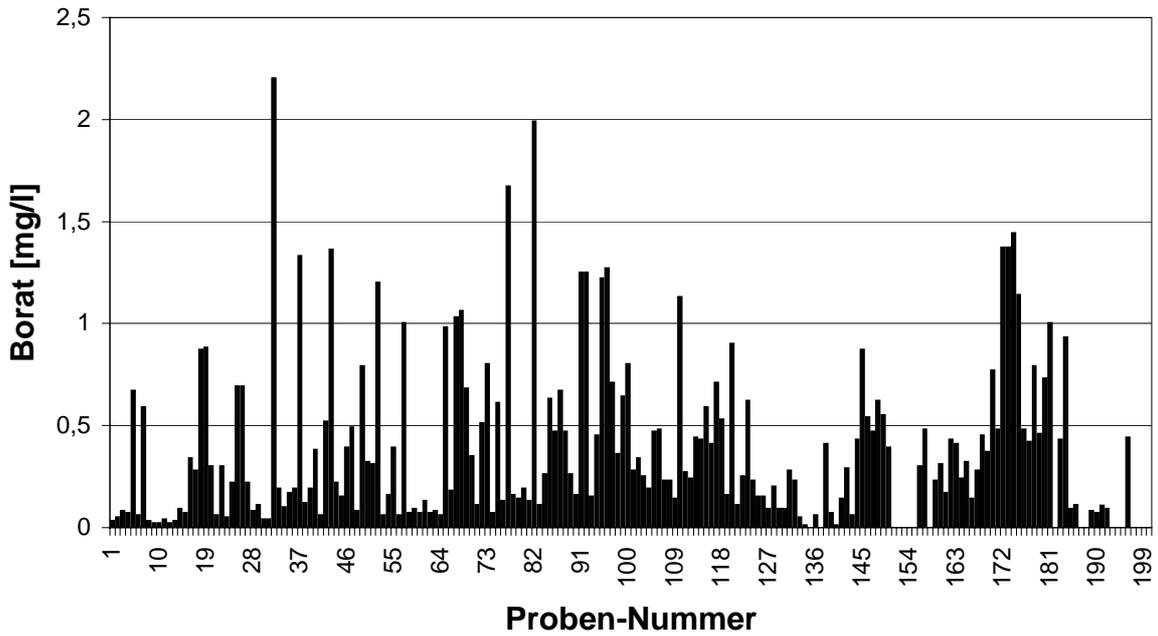


ABBILDUNG 28: Boratkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben

	<i>Borat</i>
Mittelwert	0,40
Median	0,23
Minimum	<0,10
Maximum	2,20
Standardabweichung	0,40
Stichprobenvarianz	0,1607
Standardfehler	0,03
Unteres Quartil	<0,10
Oberes Quartil	0,49
Anzahl	200

	Mittelwert der Studie in mg/l	höchster Wert der Studie in mg/l	Grenzwert der TrinkwV in mg/l
Fluorid	0,2	2,9	1,5
Bor	0,4	2,2	1
Chlorid	73	635	250
Nitrat	12	191	50
Sulfat	36	218	240
Natrium	95	619	150
Kalium	4	43	12
Kalzium	85	288	400
Magnesium	6	24	50
Ammonium	0,5	2,5	0,5

TABELLE 7: Vergleich der Mittelwerte der Studie mit den vorgeschriebenen Grenzwerten der Trinkwasserverordnung

Die Auswertung läßt erkennen, daß die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung im Mittel nicht überschritten werden. Betrachtet man jedoch einzelne Konzentrationen der 200 untersuchten Brunnen, fällt auf, daß diese deutlich die Grenzwerte überschreiten.

4.7 Korrelationen zwischen Anionen, Kationen und Fluorid

Nach der Untersuchung der Wasserproben lassen sich folgende Korrelationen aufstellen (folgende Diagramme und Berechnungen gelten nur für Fluoridkonzentrationen über 0,25 mg/l).

Es bestätigt sich, daß nach Pearson eine Korrelation ($r = 0,348$) zwischen dem pH-Wert des Wassers und dem ermitteltem Fluoridgehalt besteht. Mit steigendem Fluoridgehalt nimmt somit der pH-Wert zu.

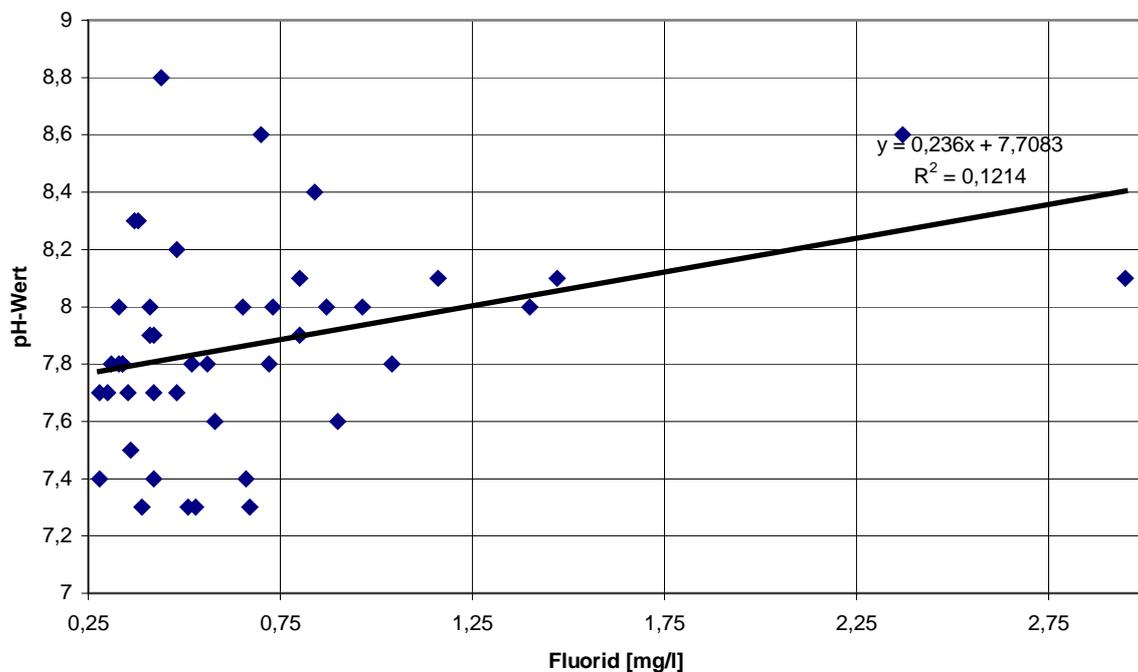


ABBILDUNG 29: Korrelationsdiagramm Fluorid/pH-Wert

Regressions-Statistik Fluorid / pH-Wert	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,3483
Bestimmtheitsmaß	0,1213
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,1004
Standardfehler	0,4985
Beobachtungen	44

Erhöht sich der Fluoridgehalt, findet sich auch eine erhöhte Leitfähigkeit. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,339.

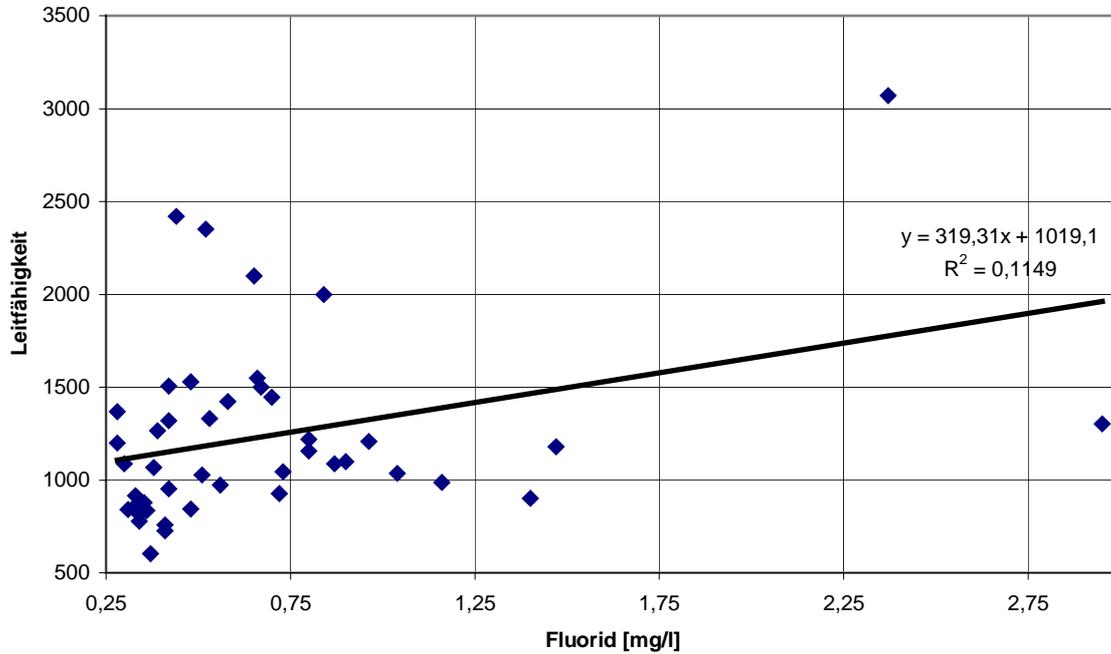


ABBILDUNG 30: Korrelationsdiagramm Fluorid/Leitfähigkeit

Regressions-Statistik Fluorid / Leitfähigkeit	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,3389
Bestimmtheitsmaß	0,1149
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,0938
Standardfehler	0,5003
Beobachtungen	44

Beobachtet man den Gehalt an Boraten im Vergleich zum Fluorid, stellt man fest, daß hohe Fluoridwerte mit hohen Boratwerten korrelieren. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,5.

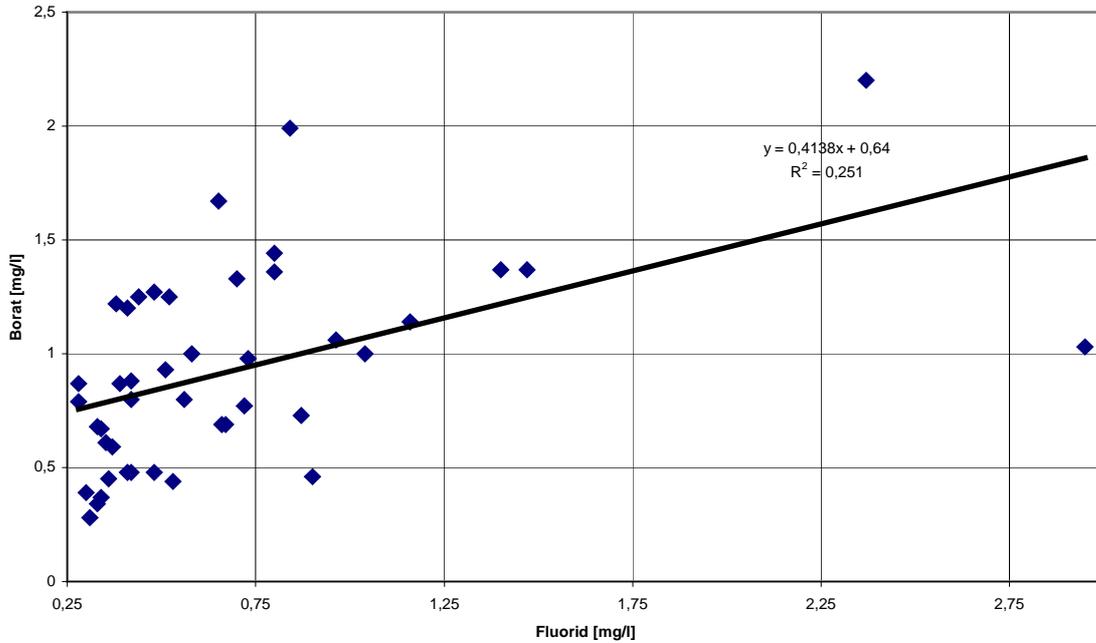


ABBILDUNG 31: Korrelationsdiagramm Fluorid/Borat

Regressions-Statistik Fluorid / Borat	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,5009
Bestimmtheitsmaß	0,2509
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,2331
Standardfehler	0,4602
Beobachtungen	44

Wenn man Ca mit F⁻ vergleicht, entdeckt man einen anderen Zusammenhang. Finden sich niedrige Fluoridkonzentrationen, treten hohe Kalziumkonzentrationen auf. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,363.

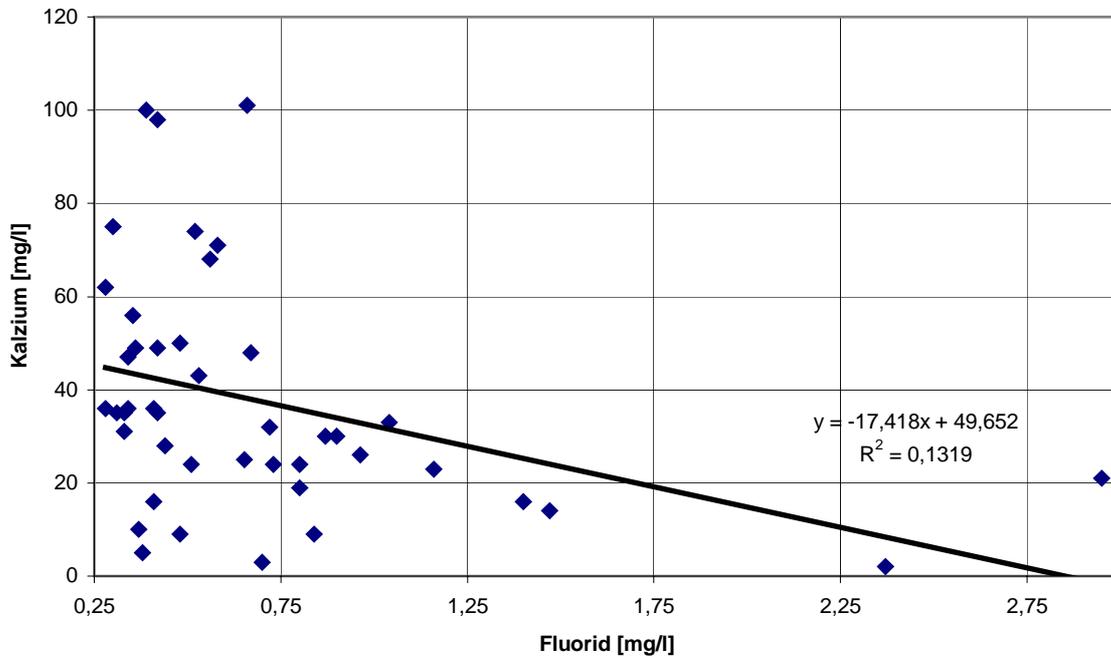


ABBILDUNG 32: Korrelationsdiagramm Fluorid/Kalzium

Regressions-Statistik Fluorid / Kalzium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,3631
Bestimmtheitsmaß	0,1318
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,1112
Standardfehler	0,4955
Beobachtungen	44

Bei den Magnesiumwerten ergeben sich in Relation zum F⁻-Gehalt ebenfalls derartige Bezüge. So wird deutlich, daß hohe Magnesiumwerte in Verbindung mit niedrigen Fluoridwerten stehen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,253.

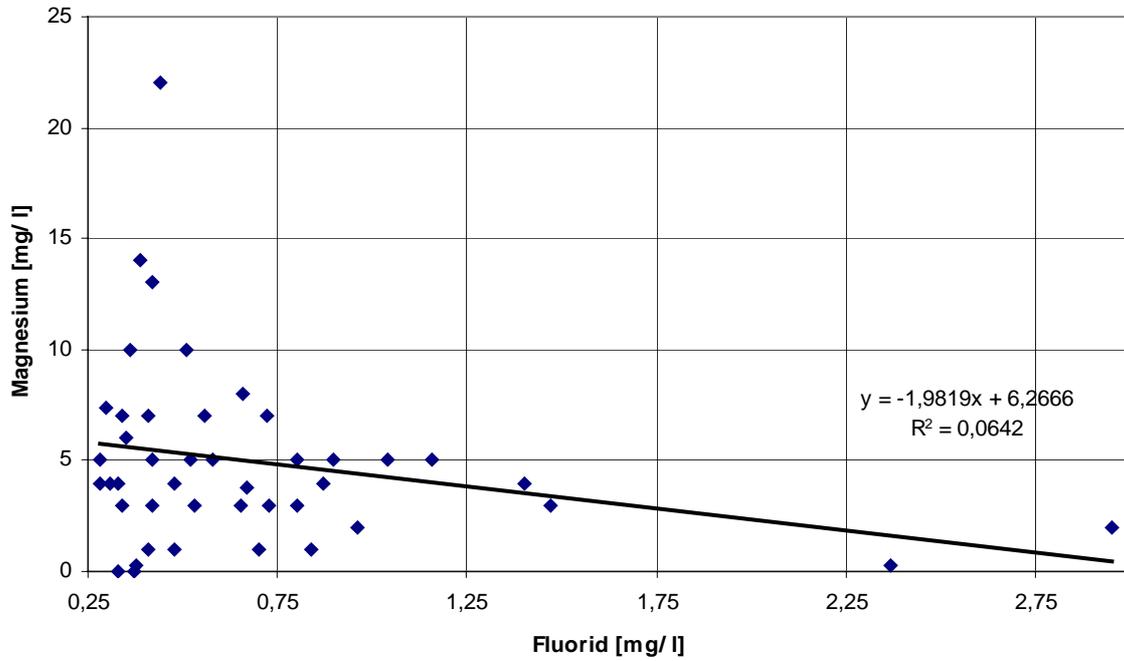


ABBILDUNG 33: Korrelationsdiagramm Fluorid/Magnesium

Regressions-Statistik Fluorid/ Magnesium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,2533
Bestimmtheitsmaß	0,0641
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,0419
Standardfehler	0,5144
Beobachtungen	44

Zwischen dem Natriumgehalt und der Fluoridkonzentration konnte nach Pearson eine Korrelation ($r = 0,406$) ermittelt werden. Dementsprechend nimmt bei steigendem Fluoridgehalt die Natriumkonzentration zu.

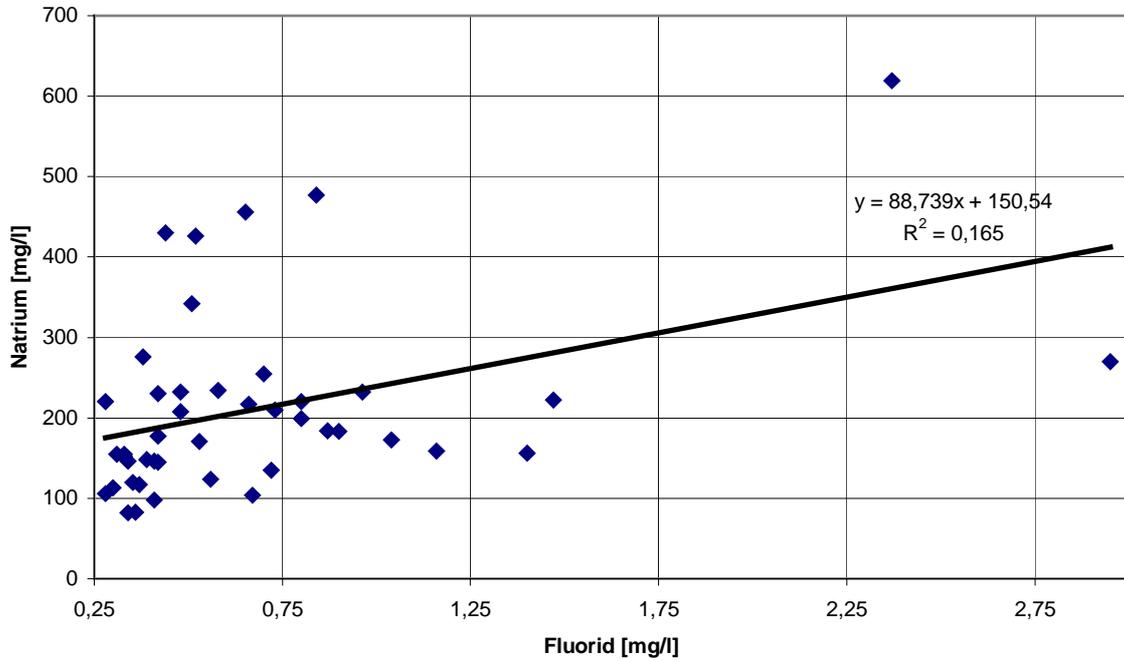


ABBILDUNG 34: Korrelationsdiagramm Fluorid/Natrium

Regressions-Statistik Fluorid / Natrium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,4062
Bestimmtheitsmaß	0,1650
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,1451
Standardfehler	0,4859
Beobachtungen	44

Erhöht sich der Fluoridgehalt, finden sich auch leicht erhöhte Chloridkonzentrationen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,09.

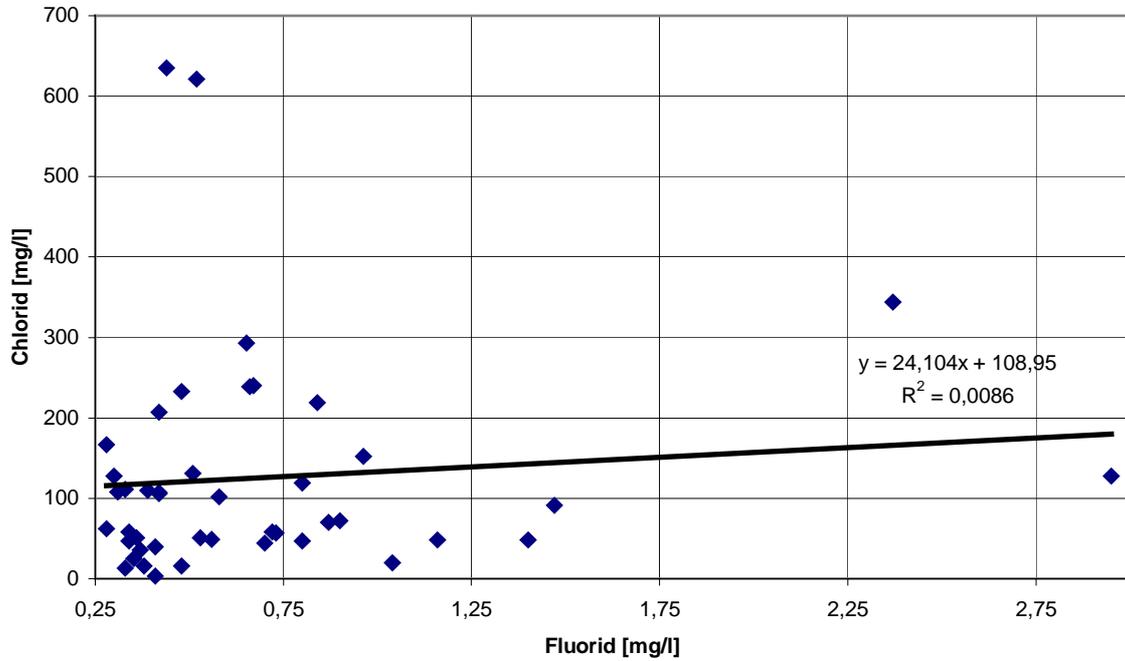


ABBILDUNG 35: Korrelationsdiagramm Fluorid/Chlorid

Regressions-Statistik Fluorid / Chlorid	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,0929
Bestimmtheitsmaß	0,0086
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0149
Standardfehler	0,5295
Beobachtungen	44

Analysiert man niedrige Fluoridgehalte, treten hohe Kalium- und Sulfatkonzentrationen auf. Nach Pearson ist ein Korrelationskoeffizient von 0,125 bzw. 0,140 vorhanden.

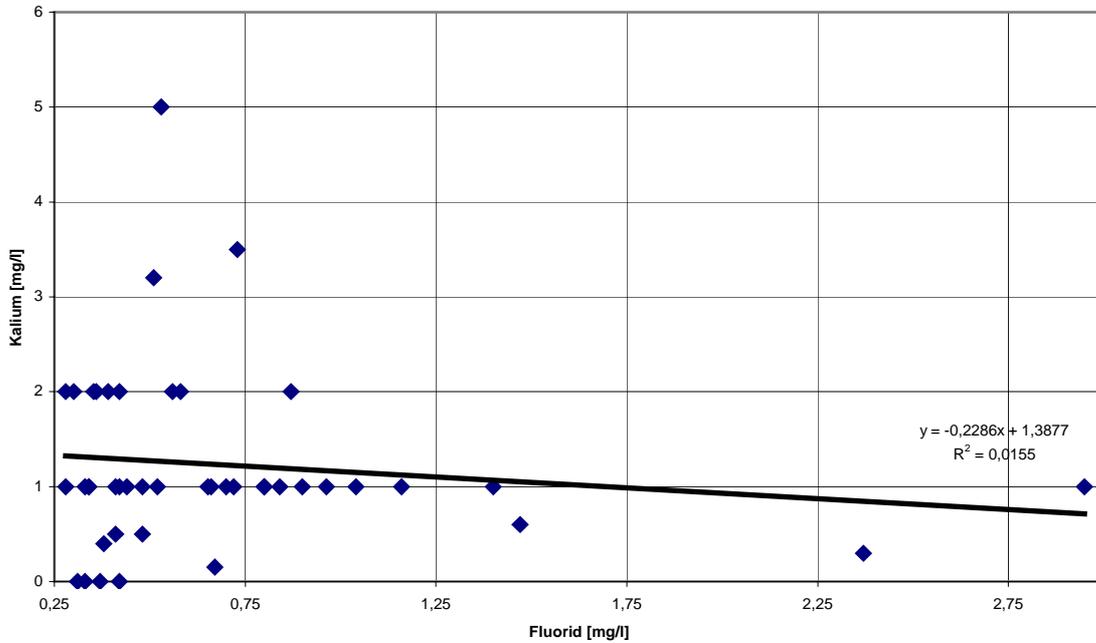


ABBILDUNG 36: Korrelationsdiagramm Fluorid/Kalium

Regressions-Statistik Fluorid / Kalium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,1245
Bestimmtheitsmaß	0,0155
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0079
Standardfehler	0,5276
Beobachtungen	44

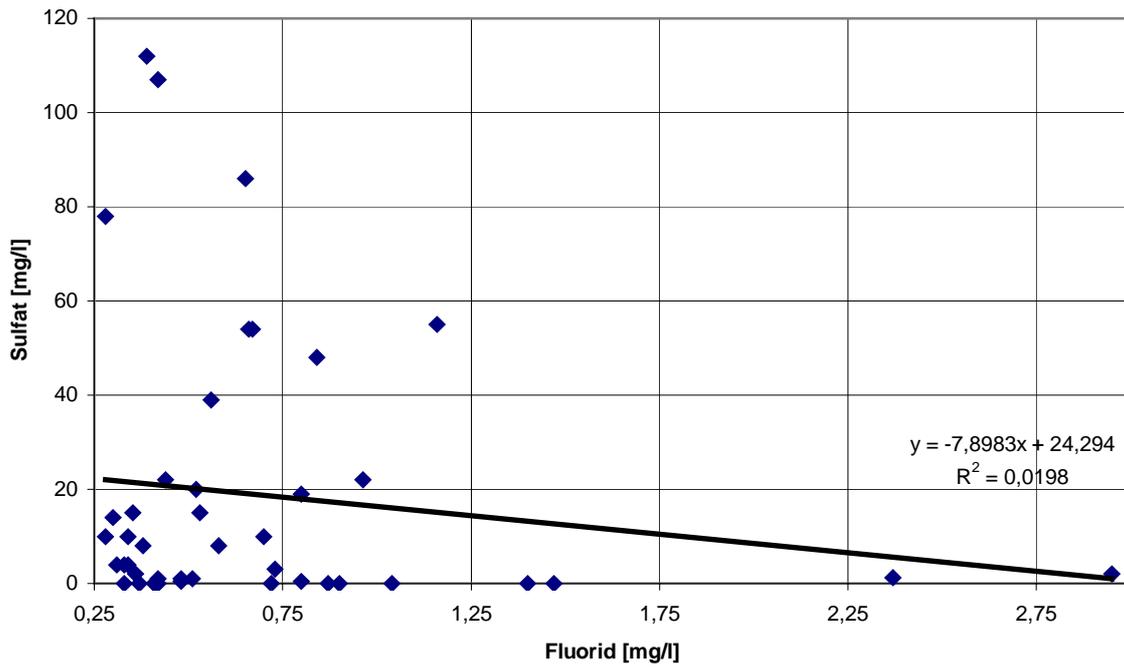


ABBILDUNG 37: Korrelationsdiagramm Fluorid/Sulfat

Regressions-Statistik Fluorid / Sulfat	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,1408
Bestimmtheitsmaß	0,0198
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0035
Standardfehler	0,5265
Beobachtungen	44

Hohe Fluoridwerte gehen mit hohen Lithiumwerten einher. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,147.

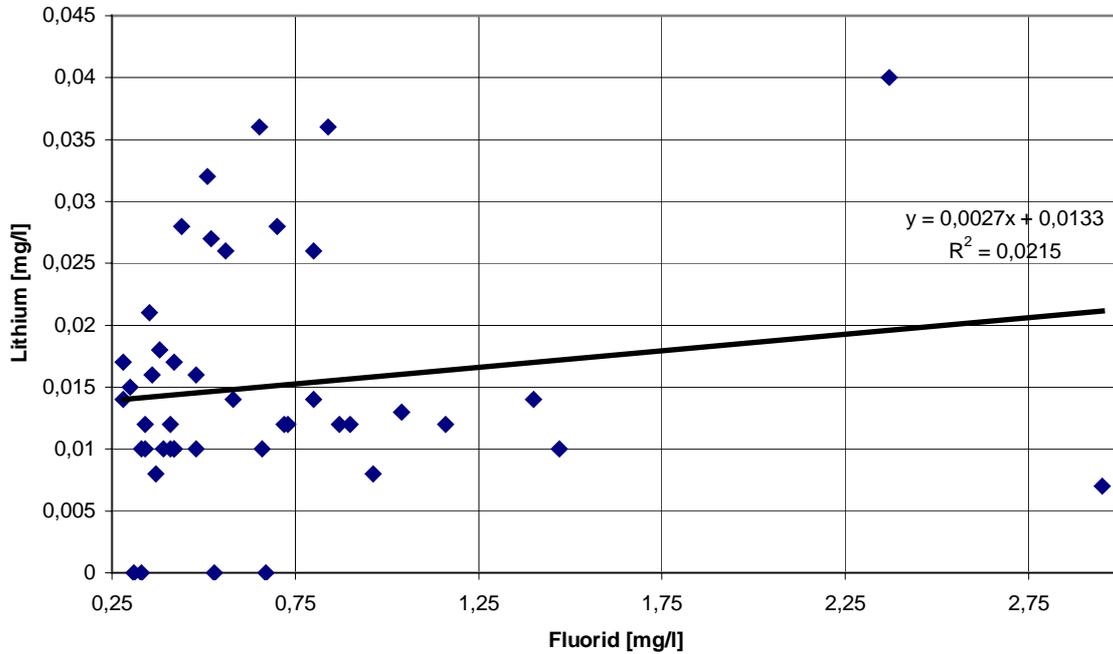


ABBILDUNG 38: Korrelationsdiagramm Fluorid/Lithium

Regressions-Statistik Fluorid / Lithium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,1465
Bestimmtheitsmaß	0,0214
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0018
Standardfehler	0,5260
Beobachtungen	44

Ermittelte niedrige Fluoridwerte stehen mit hohen Strontiumkonzentrationen in Verbindung. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,059

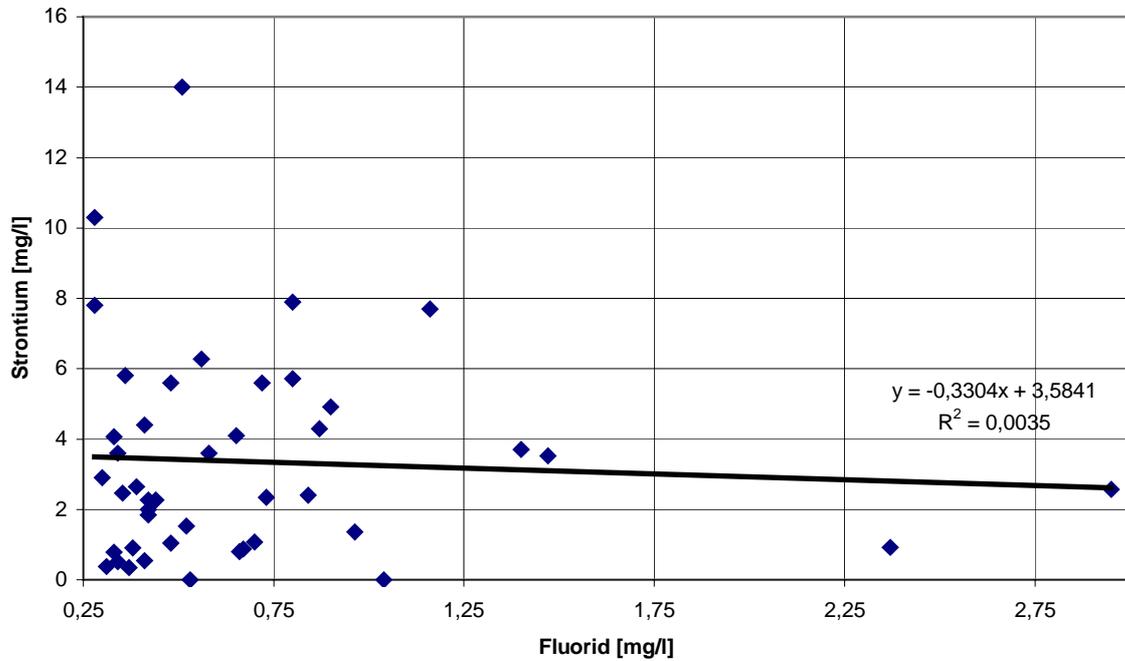


ABBILDUNG 39: Korrelationsdiagramm Fluorid/Strontium

Regressions-Statistik Fluorid / Strontium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,0589
Bestimmtheitsmaß	0,0034
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0202
Standardfehler	0,5308
Beobachtungen	44

Auch bei den ermittelten Ammoniumgehalten konnte beobachtet werden, daß niedrige Fluoridwerte mit hohen Ammoniumwerten einhergehen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,057.

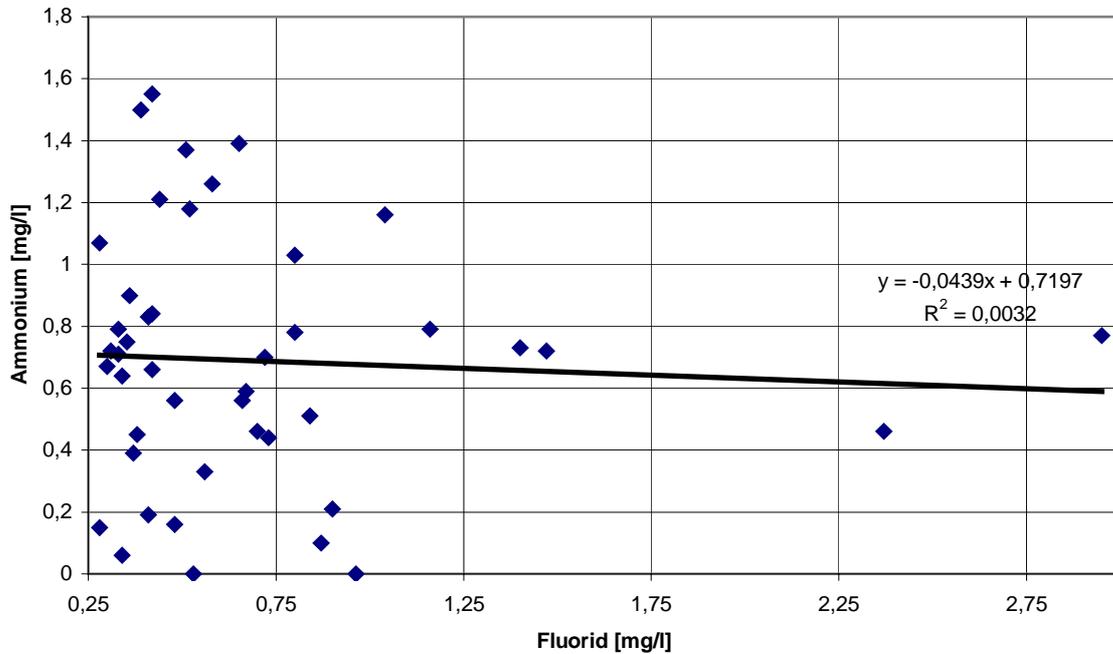


ABBILDUNG 40: Korrelationsdiagramm Fluorid/Ammonium

Regressions-Statistik Fluorid / Ammonium	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,0569
Bestimmtheitsmaß	0,0032
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0204
Standardfehler	0,5309
Beobachtungen	44

Es konnte festgestellt werden, daß es sich bei den Nitratkonzentrationen ähnlich verhält. Finden sich niedrige Fluoridwerte, kann ein erhöhter Nitratgehalt auftreten. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,024.

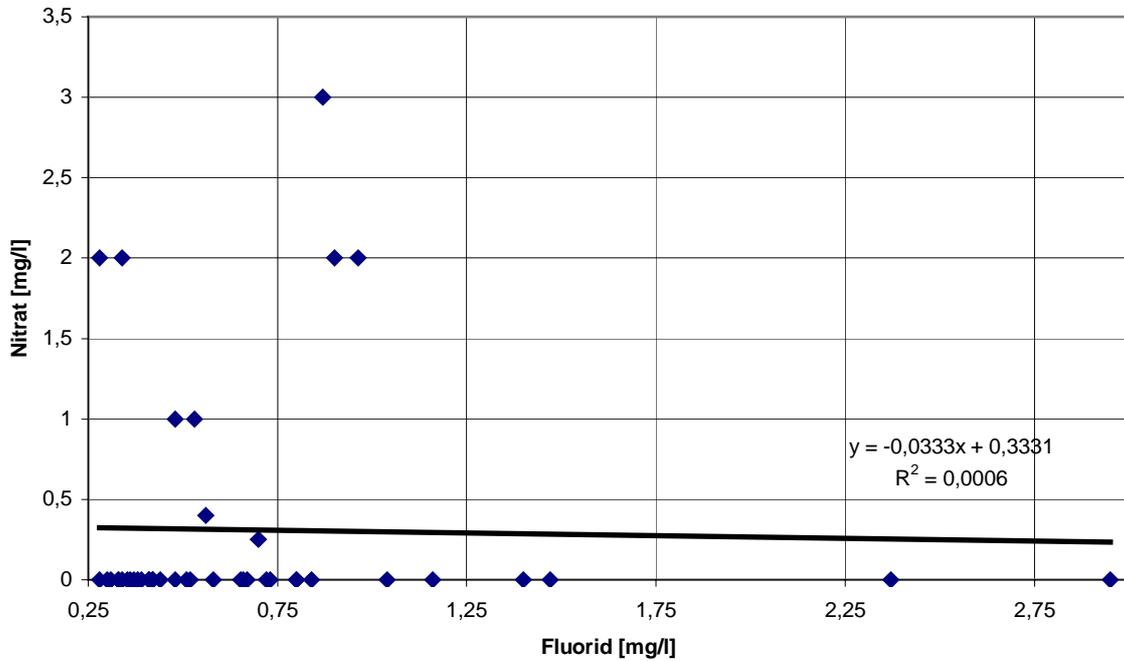


ABBILDUNG 41: Korrelationsdiagramm Fluorid/Nitrat

Regressions-Statistik Fluorid / Nitrat	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,0239
Bestimmtheitsmaß	0,0005
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,0232
Standardfehler	0,5316
Beobachtungen	44

5 Diskussion

Das untersuchte Gebiet zeichnet sich durch eine geringe Bevölkerungsdichte aus. Viele Haushalte sind mit privaten Eigenwasseranlagen ausgestattet, da ein Anschluß an das öffentliche Netz nicht zu realisieren ist. Es wären zu lange Stichleitungen nötig, um einzelnen Siedlungen und Bauernhöfen die Wasserzufuhr zu ermöglichen. Hierbei bestände zusätzlich die Gefahr einer bakteriellen Verunreinigung [Steuer 1989]. Dem Grundwasser kommt als wesentliche Quelle des Trinkwassers eine besondere Bedeutung zu. Daher steht es auch im Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Die Trinkwasserverordnung [§ 18 TWVO; 2003] weist unteren Gesundheitsbehörden die Zuständigkeit für die Überwachung von Wasserversorgungsanlagen zu. Da in der untersuchten Region sehr viele Eigenwasserversorgungsanlagen (im Kreis Gütersloh ca. 17500) als Trinkwasserentnahmestelle existieren, ergibt sich für die untere Gesundheitsbehörde ein entsprechend höherer Aufwand.

Da in der Region um Münster deutliche fluorotische Veränderungen an Zähnen festgestellt wurden [Bortolussi 2000], hatte diese Studie das Ziel, das Trinkwasser in einem kleinen Teil von Ostwestfalen-Lippe zu analysieren. Besonderes Augenmerk galt erhöhten Fluoridkonzentrationen.

In einer früheren Untersuchung in Ostwestfalen (Region um Rietberg-Mastholte) konnten erhöhte Fluoridkonzentrationen von mehr als 3 mg/l gemessen werden [Vollmer 1993]. Dies gab Anlaß, das Gebiet im weiteren Umkreis näher zu untersuchen.

Die Ursachen der erhöhten Fluoridwerte in Ostwestfalen-Lippe sind vorwiegend geologischer Art. Natürlicherweise kommt das Spurenelement im Gestein und daher auch im Wasser vor. Brunnen, die in früherer Zeit erbaut wurden, erlangen nicht heutige Tiefen. Neuere Eigenwasseranlagen erreichen dahingegen wasserführende Schichten. Da gerade hier ein Austausch von Salz- und Süßwasser erfolgt [Bardsen et al. 1996], ergeben sich durchaus hohe Fluoridkonzentrationen.

Es muß berücksichtigt werden, daß bei einer eventuellen Fluoridtablettengabe Überdosierungen auszuschließen sind. Liegen sehr hohe Werte im Trinkwasser ($> 1,5$ mg/ l) vor, darf keine Fluoridsupplementierung mehr erfolgen. In diesem Fall müssen die jeweiligen Fluoridkonzentrationen ermittelt werden, um negative gesundheitliche Folgen zu verhindern.

Doch nicht nur Fluoridkonzentrationen sind entscheidend für die Qualität des Brunnenwassers. Deshalb wurden zusätzlich die jeweiligen Anionen und Kationen der 200 untersuchten Eigenwasseranlagen aufgeführt. Es handelt sich um Konzentrationen von Bor, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Kalium, Kalzium, Magnesium, Lithium, Strontium, Ammonium und Natrium.

	Mittelwert der Studie in mg/l	höchster Wert der Studie in mg/l	Grenzwert der TrinkwV in mg/l
Fluorid	0,2	2,9	1,5
Bor	0,4	2,2	1
Chlorid	73	635	250
Nitrat	12	191	50
Sulfat	36	218	240
Natrium	95	619	150
Kalium	4	43	12
Kalzium	85	288	400
Magnesium	6	24	50
Ammonium	0,5	2,5	0,5

Die Auswertung läßt erkennen, daß die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung im Mittel nicht überschritten werden. Zu beachten ist, daß es sich stets um Durchschnittswerte relativ großer Gebiete handelt und dennoch im Einzelfall überhöhte Meßwerte auftreten können, die die Nutzung des Brunnenwassers entweder einschränken oder es als Trinkwasser nicht zulassen.

Vergleicht man die Maximalwerte der einzelnen Kationen- und Anionenkonzentrationen mit dem jeweils in der Trinkwasserverordnung angegebenen Grenzwert, so ergibt sich folgendes: der höchste Wert für Chlorid überschreitet diesen um 150%, für Kalium, Nitrat und Natrium um 300% und für Ammonium sogar um 400%.

Weiterhin lassen sich Korrelationen zwischen Fluoridkonzentrationen (für alle Werte über 0,25 mg/l) und den übrigen gemessenen Anionen und Kationen erkennen.

So ergab die Untersuchung, daß erhöhte Fluoridwerte mit hohen pH-Werten, erhöhter Leitfähigkeit und hohen Borat-, Natrium-, Chlorid- und Lithiumwerten korrelierten (Korrelation nach PEARSON).

Benutzer von Trinkwassereigenanlagen mit erhöhten Fluoridgehalten sind daher auch mit großer Wahrscheinlichkeit erhöhten Borat-, Natrium-, Chlorid- und Lithiumwerten ausgesetzt. Hohe Boratkonzentrationen können zur Verminderung der Reproduktionsfähigkeit bzw. Störung der Hodenentwicklung führen [Minoia et al. 1987; Fail et al. 1998]. Die Trinkwasserverordnung und die EU-Directive (98/83/EG) sprechen von einem Grenzwert von 1 mg B/l. Die WHO (1993) gibt eine zulässige Höchstkonzentration von 0,3 mg/l an. Murray zeigte 1995, daß bei einer Einnahme von 18 mg B/Tag ein vernachlässigbares Risiko besteht. Bei einer durchschnittlichen Trinkwasseraufnahme von 2 Liter pro Person und Tag wäre damit eine Boratkonzentration von 8,25 mg/l akzeptabel.

Da mit dieser Studie aufgrund der Beschränkung auf ein bestimmtes Gebiet nicht abgeschätzt werden kann, ob auch in anderen Regionen, in denen eine große Anzahl der Anwohner das Wasser aus privaten Eigenwasseranlagen gewinnt, erhöhte Kationen- und Anionenkonzentrationen auftreten, sind weitere möglichst flächendeckende Analysen auf diesem Gebiet erforderlich.

Spezielle Diskussion der Fluoridproblematik:

Die durchschnittliche Fluoridkonzentration des untersuchten Gebietes liegt bei 0,21 mg/l. Somit werden die Ergebnisse der WidO nicht überschritten [Eberle 1985].

Demnach sind objektiv betrachtet die Bewohner dieses Gebietes einem Trinkwasser ausgesetzt, welches keinen nennenswerten kariesprophylaktischen Effekt aufweist. Wie die Studie zeigt, treten im Einzelfall dennoch überhöhte Meßwerte auf, bei denen eine Fluoridsupplementierung nicht empfehlenswert ist.

In der vorliegenden Studie liegen 78% der Proben unter einem Wert von 0,5 mg/l F⁻. Die Indikation einer Fluoridsupplementierung ist daher gegeben.

In einer flächendeckenden Messung des Trinkwasserfluoridgehalts in Vorarlberg (Österreich) wurde herausgefunden, daß 91,3 % der Fluoridwerte unter 0,3 mg/l und nur 8,7 % der Proben zwischen 0,3 und 0,6 mg/l lagen [Nell et al. 1993]. Somit waren in keinem der untersuchten Gebiete die Trinkwasserfluoridierungen ausreichend. Dies gab Anlaß, eine generelle Fluoridprophylaxe für Österreich, sei es in Form einer Fluoridierung des Trinkwassers oder mit fluoridiertem Kochsalz, zu diskutieren.

In den USA, wo sehr viele Trinkwasserfluoridierungsanlagen in Betrieb sind (210 Mio. Menschen trinken in den USA laut WHO Empfehlung fluoridiertes Wasser mit einer Fluoridkonzentration von 0,7-1,2 mg/l, [Murray 1986]), kam es bereits zu mehreren Zwischenfällen. Vogt et al. beschrieben 1982 einen Fall, bei dem es zu einem Defekt einer Trinkwasserfluoridierungsanlage kam (1041 mg/l). Sie beobachteten, daß es bei einer durchschnittlichen Belastung von 80 mg F⁻/Tag zu Übelkeit und bei 143 mg F⁻/Tag zu Erbrechen führte. Hodge (1965) gibt als Letaldosis 50 mg F⁻/kg Körpergewicht an. Petersen et al. (1988) berechneten die ED 50 (Dosis, bei der 50% gastrointestinale Symptome zu erwarten sind) mit 33,8 mg F⁻/Tag. Als chronisch toxische Erscheinungen sind die Zahnfluorose und Knochenfluorose zu erwähnen.

Nach Dean (1942) unterscheidet man bei der Zahnfluorose die Schweregrade „fragwürdig, sehr leicht, leicht, mäßig und schwer“. Nur die schwere Zahnfluorose, welche sichtbare kreidige Flecken oder Streifen an der Schmelzoberfläche zeigt, ist pathologisch und ästhetisch relevant. Diese tritt jedoch nur in Gebieten mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von über 4 mg/l auf. Der Fluoridgehalt von Speisen ist für die tägliche Fluoridzufuhr nicht entscheidend [Vutuc; Kunze 1991].

Nach fünf Jahren Trinkwasserfluoridierung in Basel wurden von Weisskopf et al. (1972) keinerlei Unterschiede in der Prävalenz von Zahnfluorose im Vergleich mit Kindern aus einem Gebiet mit geringerem Trinkwasserfluoridgehalt nachgewiesen.

Aufgrund der bereits oben erwähnten Zwischenfälle in den USA und der Baseler Studie ist also eine Trinkwasserfluoridierung in Gebieten mit geringem Fluoridanteil fraglich.

Das grundsätzliche Problem in Ostwestfalen-Lippe ist aber viel umfangreicher. Zum einen ist es die Bodenbeschaffenheit und zum anderen sind es die zahlreichen Eigenwasseranlagen, die das Wasser aus unterschiedlichen Erdschichten beziehen. Im Münsterländer Becken liegen im Bereich von ca. 150x80 km auf den klüftigen Kalksteinen des Turons und Cenomans fast 1000 m mächtige Emschermergel. Dadurch steht das Grundwasser in den Kalksteinen unter Druck. An den aufgewölbten Beckenrändern dieses klüftigen Gesteins tritt es als Salzwasser (Solequellen) aus. Nicht überall ist die Kluftdichte jedoch so hoch, daß bei Bohrungen mit großen Mengen Solewasser gerechnet werden kann. Die Grenze zwischen Sole- und Süßwasser liegt in etwa bei der Gesteinsgrenze zwischen Kluftgesteinen des Turons und dem Emschermergel, wobei dieser aufgrund seiner dichten Struktur grundwasserarm ist. Es ist jedoch mit einer mächtigen Grenz- bzw. Übergangszone zu rechnen. Laut Untersuchungen aus den 60er Jahren liegt der Nachweisbeginn von Sole im Raum Gütersloh bei 70 bis 90 m unter Geländeoberfläche [Fricke; Michel 1969], während im Bereich der Beckumer Berge erst in 300 bis 500 m Tiefe mit Salzwasser zu rechnen ist.

Da starke Fluoridkonzentrationsschwankungen durchaus innerhalb weniger Meter auseinanderliegender Wasserbezugsquellen vorkommen, müßten in Zukunft bei allen Brunnen die jeweiligen Konzentrationen gemessen werden. Stichprobenartige Kontrollen wären diese Problematik betreffend kontraindiziert.

Als Beispiel ist im Bereich Rietberg die Triftstraße zu erwähnen, wo innerhalb weniger Meter der höchste Fluoridwert der Untersuchung (Probe 67: 2,95 mg/l) neben einem sehr geringen Wert (Probe 66: 0,14 mg/l) vorkommt. Bei Probe 67 handelt es sich um einen Bohrbrunnen mit einer Tiefe von 32 m, Probe 66 ist dagegen ein 7 m tiefer Schachtbrunnen.

Schachtbrunnen mit niedriger Tiefe zeigen wiederum das Problem, daß einerseits durch Ackerbau und Viehzucht und andererseits durch Umwelteinflüsse Verunreinigungen des Eigenwassers (z. B. Nitrat) auftreten.

Beim zweithöchsten Fluoridwert der untersuchten Trinkwasserversorgungsanlagen befanden sich in einer Straße (Stromberg, Coellentrup) mehrere Bohrbrunnen ähnlicher Tiefe nicht weit voneinander entfernt. Probe 32 ergab eine Fluoridkonzentration von 2,37 mg/l, Probe 33 und 34 wiesen keinen Fluoridgehalt auf.

Es ist zusätzlich bekannt, daß auch Schwankungen an einer einzelnen Wasserbezugsquelle von einer Woche auf die andere auftreten können. Dies kann von der Jahreszeit, der Niederschlagsmenge und der Förderleistung des Brunnens abhängen [Grobler et al. 1994; Nair et al. 1984]. Die Folge ist, daß Benutzer dieses Wassers mit einer unregelmäßigen Zufuhr von Fluoriden versorgt sind.

Das unbekannte Ausmaß an Konzentrationsschwankungen eines jeden Trinkwasserbrunnens stellt sich somit als ein bedeutendes Problem dar. Jede einzelne Wasserbezugsquelle müßte ständig kontrolliert werden, um dann eine individuelle, möglichst genaue Fluoridanamnese erheben zu können. Ein solcher Vorschlag ist aber praktisch kaum zu realisieren.

Aus diesem Grund könnte man allen Brunnennutzern erwerbbar Mineralwässer als Getränk und für die Zubereitung von Nahrung empfehlen. Auch bei der Zahnpflege wäre dann ein Mineralwasser mit einer konstanten Fluoridkonzentration angebracht.

Zusammenfassend ist es wichtig, zielgerichtet eine umfassende Aufklärung der Bevölkerung und regelmäßige Fluoridwertkontrollen durchzuführen. Besonderes Augenmerk soll denjenigen gelten, in deren Haushalten grenzwertige und erhöhte Fluoridkonzentrationen gemessen wurden und ein Anschluß an das öffentliche Trinkwassernetz nicht möglich ist.

Da gerade hier mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auch erhöhte Borat-, Natrium-, Chlorid- und Lithiumwerte auftreten, muß die Bevölkerung über die zusätzlichen Risiken des Eigenwassers informiert werden. Folgeschäden könnten so minimiert werden.

Das Ziel dieser Studie ist, den Handlungsbedarf an regelmäßigen Kontrollen des Eigenwassers in diesem Gebiet darzustellen. Eine flächendeckende Trinkwasseruntersuchung der angrenzenden Regionen ist daher empfehlenswert. Weiterhin sollten Zahn- und Kinderärzte Zeichen eventueller Überfluoridierung früh erkennen und Aufklärung über die möglichen Ursachen (Wasserbezugsquelle mit erhöhten Fluoridkonzentrationen in Kombination mit Tablettensupplementierung) betreiben.

6 Schlußfolgerung

Die vorliegende Studie zeigt, daß das Trinkwasser natürlicherweise eine höhere Fluoridkonzentration aufweisen kann, als es zur Kariesprophylaxe empfohlen wird. Damit nehmen einige Bewohner dieses Gebiets bereits seit Generationen täglich mehr Fluorid auf, als sie es im Rahmen der bekannten Fluoridsupplementierungen tun würden. Supplementiert diese Bevölkerungsgruppe zusätzlich, können Erkrankungen der Zähne und des Knochens die Folge sein.

Da keine Möglichkeit besteht, entweder an das öffentliche Trinkwasserversorgungsnetz angeschlossen zu werden oder das Fluorid aus dem Eigenwasser herauszufiltern, ergeben sich wesentliche Probleme. Somit kann man auf diesem Weg die Gefahr der hohen Fluoridaufnahme aus dem Trinkwasser nicht reduzieren.

Da einige Anionen und Kationen mit der Höhe der Fluoridkonzentration korrelieren, ergeben sich noch zusätzliche Qualitätseinschränkungen des Brunnenwassers.

Wegen deutlicher Konzentrationsschwankungen, abhängig von der Tageszeit, der Jahreszeit, der Niederschlagsmenge und der Förderleistung eines Brunnens, müßten regelmäßige Qualitätskontrollen durchgeführt werden.

Begleitend wäre eine umfassende Aufklärung über die Gesundheitsrisiken bei Nutzung des Eigenwassers angebracht, um das Wissen der Bevölkerung zu verbessern. Nur die individuelle Sorgfalt mit dem Umgang des Eigenwassers kann die Folgen der erhöhten Fluoridaufnahme reduzieren.

Benutzer von privaten Eigenwasserversorgungen mit erhöhten Anionen- und Kationenkonzentrationen sollten demnach das Wasser nur als Brauchwasser benutzen. Für jegliche Art der Nahrungsaufnahme (Kochen, Trinken, Zähneputzen und Zubereitung von Babynahrung) wäre ein im Handel erhältliches Mineralwasser angebracht.

Bei Mineralwasser sollte auf den Fluoridgehalt geachtet werden.

Die regelmäßigen Qualitätskontrollen sollten auch für die Benutzer der Brunnen gelten, bei denen zu niedrige Fluoridkonzentrationen gemessen wurden (94 %). Der Wert ist entweder permanent oder durch Schwankungen sehr niedrig. Wie hoch das Ausmaß an Schwankungen sein kann, ist anhand dieser Studie nicht nachweisbar.

Hält sich der betroffene Bevölkerungskreis an diese Vorschläge, könnte einerseits eine wissenschaftlich erwiesene und regelmäßige Fluoridsupplementierung nach Empfehlung der DGZMK erfolgen und andererseits die Qualität des Eigenwassers kritischer und regelmäßiger betrachtet werden.

Für eine solche Vorgehensweise muß jedoch die Akzeptanz über diesen Sachverhalt in der Bevölkerung vorhanden sein. Nur so kann die Compliance gestärkt werden. Zahn- und Kinderärzte sollten in Regionen mit erhöhten Fluoridkonzentrationen im Eigenwasser Anzeichen eventueller Überfluoridierung früh erkennen und Aufklärung über die möglichen Ursachen (Wasserbezugsquelle mit erhöhten Fluoridkonzentrationen in Kombination mit Tablettensupplementierung) betreiben.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden 200 Wasserproben aus privaten Eigenwasserversorgungen in Ostwestfalen-Lippe entnommen und anschließend auf ihren Fluoridgehalt untersucht. Mit Hilfe eines Fragebogens fand eine detaillierte Befragung der Brunnennutzer zu den Eigenwasseranlagen, der Art und Lage der Brunnen, dem Verwendungszweck des Eigenwassers sowie den Trinkgewohnheiten statt.

Da in der genannten Region keine flächendeckende öffentliche Trinkwasserversorgung zur Verfügung steht, bietet das Brunnenwasser die einzige Alternative, private Haushalte mit Wasser zu versorgen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß in 3 % der Fälle bezüglich der Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde erhöhte Fluoridkonzentrationen von über 1 mg/l vorliegen. In 1 % der analysierten Wasserproben traten Spitzenwerte von über 2 mg/l auf. Der Durchschnitt der Fluoridkonzentration zeigt gegenüber dem der öffentlichen Wasserversorgung keinen Unterschied. Bei 1 % der untersuchten Brunnen stellt sich das Problem, daß die Fluoridkonzentration den durch die Trinkwasserverordnung festgelegten Richtwert von 1,5 mg/l übersteigt. Technische Möglichkeiten, dem Eigenwasser das Fluorid zu entziehen, sind jedoch noch nicht ausgereift.

Vereinzelt ließen sich hohe Konzentrationen an Ammonium (2,5 mg/l), Kalium (43 mg/l), Natrium (619 mg/l) und Chlorid (635 mg/l) ermitteln, die die Nutzung des Brunnenwassers zusätzlich einschränken oder es als Trinkwasser nicht zulassen. Außerdem konnten deutlich erhöhte Boratgehalte festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen hohen Fluorid- und hohen Boratkonzentrationen konnte im Ergebnisteil dieser Studie dargestellt werden.

Benutzer von Trinkwassereigenanlagen mit erhöhten Fluoridgehalten sind somit auch mit großer Wahrscheinlichkeit erhöhten Boratwerten ausgesetzt.

Um zukünftig gesundheitliche Schäden zu vermeiden, wie sie in der Vergangenheit bereits aufgetreten sind, gilt es, weitere flächendeckende Untersuchungen durchzuführen.

Das Ziel weiterer Studien sollte es sein, Regionen mit erhöhten Anionen- und Kationenkonzentrationen abzugrenzen und durch entsprechende Publikationen in der Bevölkerung ein stärkeres Interesse und höheres Bewußtsein für den Sachverhalt zu schaffen.

8 Literaturverzeichnis

Amjad Z., Nancollas G. H. (1979)

Effect of Fluoride on the Growth of Hydroxyapatite and Human Dental Enamel.

Caries Res 13, 250-258

Angmar-Mansson B., Whitford G. M. (1982)

Plasma fluoride levels and enamel fluorosis in the rat.

Caries Res 16, 334

Angmar-Mansson B., Ericsson Y., Ekberg O. (1976)

Plasma fluorid and enamel fluorosis.

Calcif Tiss Res 22, 77

Arad A. (1988)

B, F and Sr as Tracers in Carbonate Aquifers and in Karstic Geothermal Systems in Israel.

Karst Hydrogeology and Karst Renvironment Protection. Vol. 2. Proceedings of the 21st Congress of the International Association of Hydrogeologists, Guilin, China.

October 10-15, 1988. IAHS Publication No. 176, 922-934

Attin T., Hellwig E., Klimek J. (1992)

Der Einfluß einer niedrig dosierten Fluoriddauerapplikation auf initiale Karies.

Dtsch Zahnärztl Z 47, 770

Bardsen A., Bjorvatn K., Sevig A. (1996)

Variability in fluoride content of subsurface water reservoirs.

Acta Odontol Scand 54, 343-347

Bayless J. S., Tinanoff N. (1985)

Diagnosis and treatment of acute fluoride toxicity.

J Am Dent Assoc 110, 209

Bedienungsanleitung für Orion Fluorid-Elektroden, Modell 94-09 und 96-09

Colora Messtechnik GmbH

Orion Res., Cambridge, Mass., 02139 USA

Black M. M., Kleiner I.S., Bolker H. (1949)

The toxicity of sodium fluoride in man.

N.Y.St. Med. 49, 1187

Büttner W. (1968)

Der Fluorstoffwechsel bei niedriger und hoher Zufuhr von Fluoriden.

Dtsch Zahnärztl Z 23, 123

Cate ten J. M. (1979)

Remineralization of enamel lesions. A study of the physico-chemical mechanism

Naturwissenschaftliche Dissertation. Groningen / NL

Cate ten J. M., Duijsters P. P. E. (1983)

Influence of Fluoride in Solution on Tooth Demineralization.

Caries Res 17, 193-199

Chilvers C. (1982)

Cancer mortality by site and fluoridation of water supplies.

J Epidemiol Community Hlth 26, 237

Clark D. C. (1994)

Trends in prevalence of dental fluorosis in North America.

Community Dent Oral Epidemiol 22, 148-152

Czarnowski W., Wrzesniowska K., Krechniak J. (1996)

Fluoride in drinking water and human urine in Northern and Central Poland.

Sci Total Environ 191, 177-184

Dean H.T. (1942)

The investigations of physiological effects by the epidemiological method.

Am Assoc Adv Sci 19, 23-28

DenBesten P. K. (1994)

Dental fluorosis: its use as a biomarker.

Adv Dent Res 8 (1) 105-110

DenBesten P. K., Thariani H. (1992)

Biological mechanisms of fluorosis and level and timing of systemic exposure to fluoride with respect to fluorosis.

Community Dent Oral Epidemiol 20 (6) , 359-363

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Empfehlungen zur Karieprohylaxe mit Fluoriden (2000)

Gülzow (Hamburg), Hellwig (Freiburg), Hetzer (Dresden), *Dtsch Zahnärztl. Z* 55 (00)

Diesendorf M., Colquhuon J., Spittle B. J., Everingham D. N., Clutterbuck F. W. (1997)

New evidence on fluoridation.

Aust N Z J Public Health 21. 187-190

DIN EN ISO 14911, (12/ 1999)

Bestimmung der gelösten Kationen Lithium, Natrium, Ammonium, Kalium, Calcium, Magnesium und Strontium mittels Ionenchromatographie

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung

ISBN 3-527-30559-9 (WILEY-VCH), ISBN 3-410-50199-0 (BEUTH),

54.Lieferung 2002

DIN 38405 – D17, (03/ 1981)

Bestimmung von Borationen

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung

ISBN 3-527-30559-9 (WILEY-VCH), ISBN 3-410-50199-0 (BEUTH)

54.Lieferung 2002

Dünninger P., Pieper K. (1991)

Ergebnisse zur Prävalenz von Karies und Dentalfluorose.

In: Institut der Zahnärzte (Hrsg.): Mundgesundheitszustand und -verhalten in der Bundesrepublik Deutschland.

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 205-260

Eberle G. (1985)

Fluoridkarte der Bundesrepublik Deutschland.

Wissenschaftliches Institut der Ortskrankenkassen (Hrsg.)

WidO - Materialien Bd. 25, Bonn

Ekstrand J., Ehrnebo M. (1980)

Absorption of fluoride from fluoride dentifrices.

Caries Res 14, 96

Ekstrand J., Koch G., Lindgren L. E., Petersson L. G. (1981)

Pharmacokinetics of fluoride gels in children and adults.

Caries Res 15, 213

Ekstrand J., Koch G., Petersson L. G. (1980)

Plasma fluoride concentration on urinary fluoride excretion in children following application of the fluoride-containing varnish Duraphat.

Caries Res 14, 185

Ekstrand J., Spak C., Ehrnebo M. (1982)

Renal clearance of fluoride in a steady state condition in man: influence of urinary flow and pH-changes by diet.

Acta Pharmacol Toxicol 50, 321

Ekstrand J., Whitford G. M. (1988)

Fluoride metabolism

In: Ekstrand, J., Fejerskov, O., Silverstone, L. M. (Hrsg.): Fluoride in Dentistry.

Munksgaard, Kopenhagen 150-170

Erickson J. C. (1980)

Down syndrom, water fluoridation and maternal age.

Teratology 21, 177

Fail P. A., Chapin R. E., Price C. J., Heindel J. J. (1998)

General Reproductive, Developmental, and Endocrine Toxicity of Boronated Compounds.

Reproductive Toxicology 12, 1-18

Featherstone J. D. B., Ten Cate J. M. (1988)

Physicochemical aspects of fluoride-enamel interactions.

In: Ekstrand, J., Fejerskov, O., Silverstone, L. M. (Hrsg.): Fluoride in Dentistry.

Munksgaard, Kopenhagen 125-149

Fejerskov O., Manji F., Baelum V., Moller I. J. (1988)

Dental fluorosis - A handbook for health workers.

Munksgaard, Kopenhagen

Felsenfeld A. J., Roberts M. A. (1991)

A Report of Fluorosis in the United States Secondary to Drinking Well Water.
JAMA 265, 486-488

Fisher R. L., Medcalf T. W., Henderson M. C. (1989)

Endemic Fluorosis With Spinal Cord Compression.
Arch Intern Med 149, 697-700

Gaciri S. J., Davies T. C. (1993)

The occurrence and geochemistry of fluoride in some natural waters of Kenya.
J Hydrol 143, 395-412

**Grobler S. R., Janse von Rendsburg S. D., Rossouw R. J.,
Holtshousen W. S. J. (1994)**

The fluoride concentration in the drinking water of towns in the Transvaal, Orange Free State and Natal.
J Dent Assoc S Afr 49, 67-70

Gülzow H. J. (1995)

Präventive Zahnheilkunde: Grundlage und Möglichkeiten der Karies- und Gingivitisprophylaxe.
Hanser München Wien

Hagan T. L., Parernak M., Scholz G. C. (1954)

Waterborne fluorides and mortality.
US Publ Hlth Rep 69, 450

Hamilton I., Bowden G. (1988)

Effect of fluoride on oral microorganisms.
In: Ekstrand, J., Fejerskov, O., Silverstone, L. M. (Hrsg.): Fluoride in Dentistry.
Munksgaard, Kopenhagen 78-103

Hawley G. M., Ellwood R. P., Davies R. M. (1996)

Dental caries, fluorosis and the cosmetic implications of different TF Scores in 14-year-old adolescents.

Community Dent Health 13, 189-192

Hefti A. (1986)

Der Fluoridmetabolismus.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 96, 305

Hellwig E. (1996)

Fluoride – Chemie und Biochemie.

Dtsch Zahnärztl Z 51, 638- 648

Hellwig E., Klimek J., Attin T. (1995)

Einführung in die Zahnerhaltung.

Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore

Henschler D. (1968)

Toxikologische Aspekte der kollektiven Fluoridanwendung.

Dtsch Zahnärztl Z 23, 104

Hetzer G. (1991)

Zur Speisesalzfluoridierung – aktueller Stand, Ergebnisse, Erfahrungen.

Dtsch Stomatol 41, 441-443

Hetzer G., Straube H., Neumeister V. (1996)

Zur Verwendung fluoridierten Speisesalzes in der Gemeinschaftsverpflegung.

Dtsch Zahnärztl Z 51, 679-682

Hetzer G., Walde J.-U., Dude H. (1994)

Zur Fluoridversorgung der Vorschulkinder durch fluoridiertes Speisesalz.

Dtsch Zahnärztl Z 49, 889- 892

Hetzer G., Korn G. (1997)

Effect of Consumption of Meals Prepared with Fluoridated Salt on Salivary Fluoride Levels.

Caries Res 31, 317 (Abstract No. 109)

Hodge H. C., Smith F. A. (1965)

Biological properties of inorganic fluorides.

In: Simons (Hrsg.): Fluorine Chemistry

Academic Press New York, 1-42

Hopfenzitz P. (1996)

Mineralstoffe.

Gräfe & Unzer, München

Hotz P. R. (1996)

Anwendung der Fluoride in der Zahnmedizin.

Dtsch Zahnärztl Z 51, 649-654

Jensen D. (2000)

Grundlagen der Ionenchromatographie.

3. Auflage 2000, *Dionex, Eigenverlag, Idstein*

Karasch E. D., Karol M. D., Lanni C., Sawchuk R. (1995)

Clinical sevoflurane metabolism and disposition I. Sevoflurane and metabolite pharmacokinetics.

Anaesthesiology 82, 1369

Karlson P. (1984)

Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler.

Thieme, Stuttgart

Kodali V. R., Krishnamachari K. A., Gowrinathsastry J. (1994)

Detrimental effects of high fluoride concentrations in drinking water on teeth in an endemic fluorosis area in South India.

Trop Doc 24, 136-137

König K. G. (1987)

Karies und Kariesprophylaxe.

Thieme, Stuttgart New York

Lehmann R. R. (1991)

Ökologie der Mundhöhle

Thieme, Stuttgart New York

Levy S. M., Tomba K. J., Curzon M. E. J. (1993)

Fluoride content of mineral waters.

Caries Res 27, 213

Limeback H. (1999)

A reexamination of the preeruptive and posteruptive mechanism of the anticaries effects of fluoride: is there any anticaries benefit from swallowing fluoride?

Community Dent Oral Epidemiol 27, 62-71

Loveren van C. (2001)

Antimicrobial Activity of Fluoride and its in Vivo Importance:

Identification of Research Questions.

Caries Res 35 (suppl 1), 65-70

Macpherson L. M., Stephen K. W. (2001)

The effect on human salivary fluoride concentration of consuming fluoridated salt – containing baked food items.

Arch Oral Biol 46, 983-988

Marthaler T. H., Schait A. (1967)

Zum Fluoridgehalt von Trinkwässern und Mineralwässern.

Schweiz Mschr Zahnheilk 77, 521

Marthaler T. M. (1995)

50 Jahre Trinkwasserfluoridierung.

Schweiz Monatsschr Zahnmed, 105 (12), 1624

Mellberg J. R., Ripa L. W. (1983)

Fluoride in preventive dentistry.

Quintessence Publ. Comp. Berlin

Micheelis W., Bauch J. (1993)

Mundgesundheitszustand und -verhalten in Ostdeutschland.

IDZ Materialienreihe, Bd. 11.3. Dtsch Ärzte-Verlag Köln

Minoia C., Gregotti C., Di Nucci A., Caldura S. M., Tonini M., Manzo L. (1987)

Toxicology and Health Impact of Environmental Exposure to Boron.

A Review. G. Ital. Med. Lav. 9, 119-124

Monsour P. A., Kruger B. J., Petrie A. F., McNee J. L. (1984)

Acute fluoride poisoning after ingestion of sodium fluoride tablets.

The Medical Journal of Australia 13, 503

Moreno E. C., Kresak M., Zahradnik R. T. (1977)

Physicochemical aspects of fluoride-apatite systems relevant to the study of dental caries.

Caries Res 1, 142-171

Mühlendahl von K. E., Oberdisse U., Bunjes R., Ritter S. (1995)

Vergiftungen im Kindesalter. 3. Auflage.

Stuttgart: Ferdinand Enke

Murray F. J. (1986)

Appropriate use of fluorides for human health.

WHO, Geneva

Murray F. J. (1995)

A Human Health Risk Assessment of Boron (Boric Acid and Borax) in Drinking Water.

Regulatory Toxicology and Pharmacology 22, 221-230

Nair K.R., Manji F., Gitonga J. N. (1984)

The occurrence and distribution of fluoride in groundwaters of Kenya.

East Afr Med J 61 (7), 503-512

Naujoks R. (1987)

Prophylaxe der Karies.

In: Ketterl, W. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 2 (Zahnerhaltung I), 2. Auflage

Urban & Schwarzenberg München

Nell A., Steinhauser G., Schiestl W., Sperr W. (1993)

Messung des Trinkwasserfluoridgehaltes in Vorarlberg

Wien Klin Wochenschr 105/6, 172-175

Ögaard B., Rölla G., Ruben J., Dijkman T., Arends J. (1988)

Microradiographic study of demineralization of shark enamel in a human caries model.

Scand J Dent Res 96, 209-211

Oelschläger W. (1983)

Das Nahrungsmittelfluor in toxikologischer Hinsicht, Teil II: Die Fluoridgehalte von Nahrungsmitteln pflanzlicher Herkunft und deren Beeinflussung durch erhöhte Fluoraufnahme.

Staub Reinhalt Luft 43, 118-125

Patz J. (1975)

Pharmakokinetische Untersuchungen zum Fluoridstoffwechsel.

Thieme, Stuttgart New York

Pendrys D. G., Stamm J. E. (1990)

Relationship of total fluoride intake to beneficial effects and enamel fluorosis.

J Dent Res (Spec. Iss.) 69, 529-538

Petersen L. R., Denis D., Brown D., Hadler J. L., Helgerson S. D. (1988)

Community health effects of a municipal water supply hyperfluoridation accident.

Am J Public Health 78, 711-713

Przyrembel H. (1998)

Argumente für den Gebrauch von fluoridiertem und jodiertem Speisesalz in der Gemeinschaftsverpflegung.

DAZ-Forum 17, 63-66

Reich E., Schmalz G., Bergmann R. L., Bergeler H., Bergmann E. (1992)

Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von Fluoridtabletten.

Dtsch Zahnärztl Z 47, 232-234

Reich E., Beermann B. (1996)

Zahngesundheit bayerischer Schulkinder 1995 / 1996.

München: Landesarbeitsgemeinschaft Zahngesundheit Bayern e. V.

Riordan P. J. (1999)

Fluoride supplements for young children: an analysis of the literature focusing on benefits and risks.

Community Dent Oral Epidemiol 27, 72-83

Saxer U. P. (1983)

Kosten-Nutzen-Analyse fluorprophylaktischer Maßnahmen.

Dtsch Zahnärztl Z 38, 70 (Sonderheft 1/ 83)

Schmalz G., Wilfart G., Reich E., Hiller K.-A. (1993)

Entwicklungsbedingte Schmelzveränderungen bei niedriger Fluoridkonzentration des Trinkwassers.

Dtsch Zahnärztl Z 48, 629

Schmeiser R., Gülzow H.-J., Schiffner U. (1996)

Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Schmelzflecken und unterschiedlichen Fluoridierungsmaßnahmen?

Dtsch Zahnärztl Z 51, 751-755

Schmidt H. F. M. (1967)

Zahnkariesprophylaxe durch Fluorid.

2. Auflage Hüthig Heidelberg

Schneider W. (1968)

Daueruntersuchung zum Fluorproblem in einem industriellen Ballungsgebiet.

Luft 28, 13

Schulte A., Schiefer M., Stoll R., Pieper K. (1996)

Fluoridkonzentration in deutschen Mineralwässern

Dtsch Zahnärztl Z 51, 763-767

Schulte A., Stoll R., Pieper K. (1995)

Fluoridkonzentration im Urin von Kindern mit unterschiedlicher Fluoridzufuhr.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 49

Schwarz K., Milne D. B. (1972)

Fluorine requirement for growth in the rat.
Bioingen Chemistry 1, 331

Shen J. W., Taves D. R. (1974)

Fluoride concentrations in the human placenta and maternal and cordblood.
Am J Obstet Gynecol 119, 205

Siebert G., Trautner K. (1985)

Fluoride content of selected human food, pet food and related materials.
Z Ernährungswiss 24, 54

Sjörögen K., Birkhed D. (1993)

Factors related to fluoride retention after toothbrushing and possible connection to caries activity.
Caries Res 27, 474-477

Smith F., Ekstrand J. (1988)

Fluoride in the environment and intake in man.
In: Ekstrand, J., Fejerskov, O., Siverstone, L. M. (Hrsg.)
Fluoride in Dentistry. Copenhagen: Munksgaard, 13-27

Spak C. J., Ekstrand J., Zylberstein D. (1982)

Bioavailability of fluoride added to baby formula and milk.
Caries Res 16, 249

Stamm J. W. (1994)

Achievements in prevention.
Int Dent J 34, 66

Statistisches Bundesamt (1995)

Statistisches Jahrbuch 1995

Steiner M., Menghini G., Marthaler T. M., Helfenstein U. (1995)

Epidemiologie von Schmelzopazitäten im Zusammenhang mit der Salzfluoridierung.

Dtsch Zahnärztl Z 59, 717

Steuer W. (1989)

Probleme bei der Durchführung der Trinkwasserversorgung.

Exemplarisch dargestellt an kleinen Wasserversorgungsunternehmen und Einzelwasserversorgungen in Baden-Württemberg.

Bundesgesundhbl. 4/ 89, 140-144

Strübig W., Gülzow H.-J. (1981)

Fluoridgehalt verschiedener Teesorten.

Dtsch Zahnärztl Z 36, 379

Taves D. R. (1966)

Normal human serum fluoride concentrations.

Nature 211, 192

Toumba K.J., Levy S., Curzon M. E. J. (1994)

The fluoride content of bottled drinking waters.

Br Dent J, 176 (7), 226-268

Trautner K. (1991)

Die Nutzung des Nahrungsfluorids beim Menschen.

In : Zahngesundheit und Ernährung. DAJ e. V.,

ISBN 3-926228-05-9

Trautner K., Siebert G. (1983)

Die Bewertung der Fluoridzufuhr mit der Nahrung. Studien zur Bioverfügbarkeit.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 50

Trinkwasserverordnung (2001)

Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe
625-635

Turner C. H., Garetto L. P., Dunipace A. J., Zhang W., Wilson M. E., Grynpas, D. Chachra M. D., McClintock R., Peacock M., Stookey G. K. (1997)

Fluoride Treatment Increases Serum IGF-1, Bone Turnover, and Bone Mass, but not Bone Strength, in Rabbits.
Calcif Tissue Int 61, 77-83

Vogt R. L., Witherell L., La Rue D., Klauke D. N. (1982)

Acute fluoride poisoning with an on-site fluoridator in a Vermont elementary school.
Am J Public Health 72, 1168-1169

Vollmer C. (1993)

Untersuchungen über den Fluoridgehalt des Trinkwassers aus privaten Wasserversorgungsanlagen der Region Rietberg 3 (Mastholte)
Med. Diss, Universität Münster

Vutuc C., Kunze M. (1991)

Fluor und Kariesprophylaxe.
Facultas Wien, 6-9

Wetzel W. E., Wolf H. (1991)

Dentalfuriose durch hochfluoridhaltiges Mineralwasser.
Pädiat Prax 42, 351 und *Pädiat Prax* 42, 659

Weisskopf N., Gülzow H. J., Maegelin B. (1972)

Idiopathische oder fluoridbedingte Schmelzflecken?

Schweiz Mschr Zahnheilkd 82, 47-56

Whitford G. M., Pashley D. H., Stringer G. I. (1976)

Fluoride renal clearance: A pH-dependent event.

Amer J Physiol 230, 527

Whitford G. M. (1990)

The physiological and toxicological characteristics of fluoride.

J Dent Res 69 (Spec Issue), 539

Whitford G. M. (1994)

Intake and metabolism of fluoride.

Adv Dent Res 8, 5

Whitford G. M. (1996)

The Metabolism and Toxicity of Fluoride. 2. Auflage.

Basel: Karger

Whitford G. M., Pashley D. H. (1984)

Fluoride absorption: The influence of gastric acidity.

Calcif Tissue Int 36, 302

Wiktorsson A. M., Martinsson T., Zimmerman M. (1992)

Caries prevalence among adults in communities with optimal and low water fluoride concentrations.

Community Dent Oral Epidemiol 20, 359-363

World Health Organization (1970)

Fluorides and human health.

WHO Monograph series 59, WHO Genf

9 Danksagung

In erster Linie gilt mein Dank Herrn Priv.-Doz. Dr. rer. nat. W. Mathys für die Überlassung des Themas sowie für die Geduld und den hilfreichen Rat bei der Betreuung der vorliegenden Arbeit.

Für seine konstruktive Kritik und die Mühe beim Korrekturlesen möchte ich ganz herzlich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. Ott aus der Poliklinik für Zahnerhaltung des Universitätsklinikums Münster danken.

Großer Dank gebührt auch Katrin Ritter, die durch manche Anregung und Ermunterung und ganz besonders durch ihr Verständnis zum Entstehen dieser Dissertation beigetragen hat.

Nicht zuletzt ein ganz herzliches Dankeschön an meine Mutter, meinen Stiefvater Gerald Pocher und meine Großmutter Dora Seidel, die mich stets unterstützt und gefördert haben und durch deren helfenden Beitrag diese Arbeit erst möglich wurde.

10 Lebenslauf

Name: Zimmer

Vorname: Ulrich Robert

Geburtsdatum: 23. Juli 1975

Geburtsort: Grimma

Familienstand: ledig

Eltern: Dipl. med. Ursula Brigitte Zimmer, geb. Seidel, Zahnärztin
Dipl. ök. Karl Robert Zimmer

Geschwister: Christoph Zimmer, Student

Schullaufbahn: 1982-1989 Alfred - Frank Polytechnische Oberschule Grimma
1990-1991 Schillergymnasium Witten
1991-1995 Theodor-Heuss-Gymnasium Waltrop
Abitur: 19. Juni 1995

Zivildienst: 1995-1996 Lebenshilfe e.V. Waltrop

Studium: 1996-2001: Studium der Zahnheilkunde an der WWU Münster

Examina: 09/1997 : Naturwissenschaftliche Vorprüfung
03/1999 : Zahnärztliche Vorprüfung
12/2001 : Staatsexamen

Erlangen der Approbation: 17. Dezember 2001

Beruf: Januar bis Februar 2002 als Assistenz Zahnarzt in freier Praxis in Waltrop

seit März 2002: UKM, Assistenz Zahnarzt in der Poliklinik für Zahnerhaltung

Ort, Datum

Unterschrift

11 Anhang

11.1 Abbildungsverzeichnis

ABB. 1 : Wirkmechanismus des Fluorids	15
ABB. 2 : Anteil der freien Fluoridionen in Abhängigkeit des pH-Wertes	30
ABB. 3 : Ortsverteilung der untersuchten Brunnen	36
ABB. 4 : Untersuchte Region	37
ABB. 5 : Art der Brunnen	38
ABB. 6 : Brunnentiefen	39
ABB. 7 : Lokalisation der Brunnen	39
ABB. 8 : Entfernung der Brunnen vom Haus	40
ABB. 9 : Prozentualer Anteil der Wasseraufbereitungsanlagen	40
ABB.10 : Verteilung der 88 Wasseraufbereitungsanlagen	41
ABB.10a: Verteilung der 10 kombinierten Wasseraufbereitungsanlagen	42
ABB.11 : Sichtbare Wasserqualität	42
ABB.12 : Darst. der Fluoridkonz. bezogen auf die Gesamtprobenzahl	43
ABB.13 : Häufigkeiten der Fluoridkonzentrationen	44
ABB.14 : prozentuale Verteilung im Bezug zur WHO-Einteilung	44
ABB.15 : Durchschnittliche Fluoridkonzentrationen der einzelnen Orte	50
ABB.16 : Verhältnis aller Erwachsenen und Kinder der untersuchten Region	52
ABB.17 : Trinkgewohnheiten der Verbraucher	52
ABB.18 : Chloridkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	54
ABB.19 : Nitratkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	55
ABB.20 : Sulfatkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	56
ABB.21 : Natriumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	57
ABB.22 : Kaliumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	58
ABB.23 : Kalziumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	59
ABB.24 : Magnesiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	60
ABB.25 : Lithiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	61
ABB.26 : Strontiumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	62
ABB.27 : Ammoniumkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	63

ABB.28 : Boratkonzentrationen aller untersuchten Wasserproben	64
ABB.29 : Korrelationsdiagramm Fluorid / pH-Wert	66
ABB.30 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Leitfähigkeit	67
ABB.31 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Borat	68
ABB.32 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Kalzium	69
ABB.33 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Magnesium	70
ABB.34 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Natrium	71
ABB.35 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Chlorid	72
ABB.35 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Kalium	73
ABB.36 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Sulfat	74
ABB.37 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Lithium	75
ABB.38 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Strontium	76
ABB.39 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Ammonium	77
ABB.40 : Korrelationsdiagramm Fluorid / Nitrat	78

12.2 Tabellenverzeichnis

TAB. 1 : Fluoridgehalt verschiedener Nahrungsmittel	3
TAB. 2a: Fluoridkonzentrationen verschiedener Mineralwasser	5
TAB. 2b: Fluoridkonzentrationen einiger Mineralwässer < 0,3 mg/l u. Heilwässer	6
TAB. 3 : tägliche Fluoridaufnahme erwachsener männlicher Personen in mg/l	7
TAB. 4 : Fluoridsupplemente und deren Fluoridgehalte	8
TAB. 5 : Richtwerte für Fluoridsupplemente	19
TAB. 6 : Anzahl der Familien, die jeweils einen Brunnen nutzen	51
TAB. 7 : Vergleich der Mittelwerte der Studie mit den vorgeschriebenen Grenzwerten der Trinkwasserverordnung	65

12.3 Abkürzungsverzeichnis

ABB. = Abbildung

TAB. = Tabelle

DGZMK = Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

ppm = parts per million

WHO = World Health Organisation

WidO = Wissenschaftliches Institut der Ortskrankenkassen

p = Probe

Ort	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh
Strasse	Dorenbrink	Dorenbrink	Dorenbrink	Dorenbrink	In der Haue	In der Haue	In der Haue	In der Haue	Kleyweg	Kleyweg	Kleyweg	Wadersloh
Rechtswert	3447915	3447990	3447470	3447535	3447014	3447359	3447469	3447179	3447570	3447570	3447635	Wadersloh
Hochwert	5737065	5736995	5736290	5736260	5737580	5737445	5737755	5736455	5736155	5736155	5736170	Wadersloh
Proben-NR	p81	p82	p103	p104	p73	p74	p75	p102	p105	p105	p106	Wadersloh
pH-Wert	7,6	8,4	7,6	7,5	7,8	8,1	7,7	8,5	7,7	7,7	7,7	Wadersloh
µS/ cm	1043	2000	790	1186	974	699	878	1008	1101	1101	1098	Wadersloh
m-Wert	7,1	13,96	7,02	7,1	7,76	4,92	7,86	7,2	8,42	8,42	8,32	Wadersloh
Fluoride	0,086	0,84	0,11	0	0,56	0	0,353	0,11	0,1	0,1	0,11	Wadersloh
Borate	0,13	1,99	0,25	0,19	0,8	0,07	0,61	0,34	0,47	0,47	0,48	Wadersloh
Ca	182	9	104	204	68	124	56	131	103	103	102	Wadersloh
Mg	6	1	8	9	7	1	6	11	10	10	10	Wadersloh
K	12	1	3	4	2	0,7	2	3	3	3	3	Wadersloh
Na	18	477	21	22	124	9	120	52	103	103	103	Wadersloh
Sulfate	89	48	25	218	39	41	15	113	25	25	25	Wadersloh
Li	0,015	0,036	0,027	0,024	0,026	0	0,021	0,03	0,032	0,032	0,032	Wadersloh
Chloride	54	219	22	73	49	8	25	48	102	102	103	Wadersloh
Sr	0	2,41	0,478	1,244	6,28	0	2,46	5,49	2,287	2,287	0,915	Wadersloh
Nitrate	1	0	0	4	0,4	8	0	1	0	0	0	Wadersloh
Ammoniu	0	0,51	0,34	0	0,33	0	0,75	0	0,67	0,67	0,7	Wadersloh

Ort	Wadersloh										
Strasse	Kleyweg										
Rechtswert	3447695	3447790	3447840	3447865	3447945	3448025	3448210	3448320	3448425	3448505	
Hochwert	5736185	5736200	5736415	5736605	5736195	5736195	5736145	5736190	5736220	5736245	
Proben-NR	p107	p108	p109	p110	p111	p112	p113	p114	p115	p116	
pH-Wert	8,8	7,6	7,5	7,8	7,5	7,6	7,5	7,6	7,9	7,6	
µS/ cm	1269	1167	845	1120	889	1047	1042	975	1128	852	
m-Wert	8,08	7,42	5,96	9,48	7,1	7,62	7,54	7,5	8,24	7,3	
Fluoride	0	0	0	0,2	0	0,1	0,08	0,09	0,12	0,1	
Borate	0,23	0,23	0,14	1,13	0,27	0,24	0,44	0,43	0,59	0,41	
Ca	28	153	158	32	126	154	87	97	59	69	
Mg	1	11	3	3	9	10	8	8	5	5	
K	1	4	2	2	3	4	2	3	2	2	
Na	283	25	11	231	23	33	119	93	171	93	
Sulfate	125	121	94	83	47	90	17	22	14	9	
Li	0,011	0,03	0,01	0,037	0,025	0,03	0,027	0,023	0,02	0,015	
Chloride	97	63	39	27	46	67	117	79	115	46	
Sr	0	2,921	0	4,217	6,354	2,897	1,77	1,508	0,26	4,6	
Nitrate	1	1	1	0	2	1	2	0	2	0,3	
Ammonium	0	0	0	0,71	0	0	0	0,58	0,04	0,49	

Ort	Wadersloh											
Strasse	Kleyweg	Kleyweg	Kleyweg	Kleyweg	Kuhlheide	Langenberger Str.						
Rechtswert	3448745	3448680	3448975	3449030	3447694	3447559	3447329	3447574	3447459			3449365
Hochwert	5736040	5736605	5736115	5736265	5737335	5737250	5737195	5737130	5736995			5736995
Proben-NR	p117	p118	p119	p120	p76	p77	p78	p79	p80			p89
pH-Wert	7,6	7,8	7,5	7,7	7,7	8	8,3	8,4	7,6			7,7
µS/ cm	1011	962	791	1760	686	2100	844	868	1216			721
m-Wert	8,16	7,68	6,6	8,62	6,06	12,36	7,7	7,3	8,04			6,5
Fluoride	0,23	0,22	0	0,22	0,122	0,652	0,09	0,09	0			0
Borate	0,71	0,53	0,16	0,9	0,13	1,67	0,16	0,14	0,19			0,26
Ca	82	14	109	51	97	25	111	116	165			87
Mg	7	1	5	4	7	3	11	10	15			8
K	2	1	6	2	2	1	3	9	9			2
Na	106	225	19	327	17	456	25	24	34			32
Sulfate	54	44	31	5	6	86	13	22	103			11
Li	0,03	0	0,018	0,022	0,015	0,036	0,029	0,03	0,04			0,013
Chloride	48	46	32	370	22	293	21	36	91			17
Sr	6,92	0,92	2,07	1,2	4,61	4,104	4,461	9,51	9,46			0,315
Nitrate	0	2	9	0	0,2	0	2	4	2			0,3
Ammonium	0,74	0	0	0,92	0,57	1,39	0	0	0,22			0,73

Ort	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh	Wadersloh
Strasse	Langenberger Str.	Langenberger Str.	Langenberger Str.	Norrenkamp	Stromberger Str.							
Rechtswert	3449885	3449855	3449970	3448390	3448455	3448795	3448620	3448409	3448915	3446371		
Hochwert	5737135	5737465	5737440	5737220	5737415	5737715	5737835	5737845	5737225	5738389		
Proben-NR	p90	p91	p92	p83	p84	p85	p86	p87	p88	p71		
pH-Wert	7,8	8,8	7,8	7,5	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6		
µS/cm	764	2420	2350	1003	820	871	824	962	835	647		
m-Wert	4,72	8,9	8,72	6,9	7,2	8,12	7,68	8,58	7,66	5,16		
Fluoride	0	0,44	0,52	0	0	0,25	0,21	0,23	0,11	0		
Borate	0,16	1,25	1,25	0,11	0,26	0,63	0,47	0,67	0,47	0,11		
Ca	115	28	74	158	85	50	63	49	75	104		
Mg	5	22	5	10	7	4	5	4	7	3		
K	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1		
Na	20	430	426	19	65	135	107	165	84	11		
Sulfate	56	22	20	151	10	9	4	11	3	20		
Li	0,01	0,028	0,027	0,021	0,01	0,015	0,013	0,021	0,011	0		
Chloride	27	635	621	29	30	18	25	40	26	22		
Sr	5,415	2,274	1,528	11,08	0,23	3,56	0,243	1,823	1,924	0,866		
Nitrate	0,3	0	0	0,3	2	0	2	0	0	0		
Ammonium	0,14	1,21	1,18	0,35	0,06	0,75	0,16	0,8	1,68	0		

Ort	Wadersloh	Wadersloh	Langenberg							
Strasse	Stromberger Str.	Stromberger Str.	Ackfelder Str.	Ackfelder Str.	Alte Feldstr.					
Rechtswert	3446414	3446559	3450665	3450960	3451420	3451480	3451560	3451845	3451930	3452005
Hochwert	5737829	5736830	5737235	5737390	5737905	5737895	5737975	5738015	5738025	5738080
Proben-NR	p72	p101	p121	p127	p128	p129	p130	p131	p132	p133
pH-Wert	7,6	7,6	7,5	7,5	7,6	7,6	7,4	7,5	7,8	7,7
µS/ cm	921	964	847	623	574	546	556	1095	532	773
m-Wert	7,32	7,3	5,4	5,48	5,86	5,6	5,8	6	5,5	5,4
Fluoride	0,09	0,14	0	0	0,11	0,15	0,088	0,21	0,12	0
Borate	0,51	0,28	0,11	0,09	0,2	0,09	0,09	0,28	0,23	0,05
Ca	81	134	132	64	51	65	64	42	35	111
Mg	12	13	4	2	5	8	7	3	3	1
K	3	4	1	1	1	1	2	1	1	34
Na	74	26	12	60	53	17	27	184	80	22
Sulfate	79	50	76	20	1	1	2	0	0	33
Li	0,039	0,037	0	0	0,007	0	0	0,012	0	0,013
Chloride	12	69	50	17	5	5	5	192	6	45
Sr	17,87	2,169	5,3	4,8	2,65	1,98	2,28	0,72	0	0
Nitrate	0,4	0	2	1	3	0	3	0	0	11
Ammonium	0,69	0,27	0	0	0	1,56	0	0,89	0,8	0,06

Ort	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg
Straße	Alte Feldstr.	Forthbach Str.	Forthbach Str.	Hoechte Str.	Im Felde	Im Felde	Im Felde				
Rechtswert	3452290	3449980	3450170	3450705	3451180	3451365	3449960	3450760	3450600	3450820	3450820
Hochwert	5737935	5738680	5738715	5739175	5739045	5731365	5739134	5737370	5737395	5737320	5737320
Proben-NR	p134	p98	p99	p48	p49	p50	p100	p122	p123	p124	p124
pH-Wert	7,5	7,6	7,7	7,5	8	8,4	7,9	7,8	8,2	7,7	7,7
µS/ cm	722	730	787	978	907	573	954	547	751	494	494
m-Wert	4,72	6,82	7,1	6,42	8,5	5,48	6,96	5,3	6,52	4,66	4,66
Fluoride	0	0	0,1	0	0,25	0,14	0,42	0	0,11	0	0
Borate	0,01	0,36	0,64	0,08	0,79	0,32	0,8	0,25	0,62	0,23	0,23
Ca	114	83	81	150	22	12	35	54	57	58	58
Mg	3	7	5	8	4	13	3	4	5	5	5
K	1	1	1	4	2	1	1	2	1	1	1
Na	14	48	78	12	170	71	177	39	93	19	19
Sulfate	75	11	23	83	5	0,6	1	4	9	5	5
Li	0	0,015	0,016	0,017	0,02	0	0,017	0,01	0,014	0	0
Chloride	36	21	20	30	6	6	107	8	10	10	10
Sr	0	0,281	1,896	5,83	4,3	0,65	1,847	0,82	2,23	1,12	1,12
Nitrate	2	2	0	8,4	0	0	0	0	0	0	0
Ammonium	0	0,17	0,48	0	1,81	2,53	0,84	1,21	1,45	0,96	0,96

Ort	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg
Strasse	Im Felde	Im Felde	Linzeler Str.	Linzeler Str.	Linzeler Str.	Linzeler Str.	Reckenberger Str.	Rennfelder Weg	Rennfelder Weg	Rietberger Str.
Rechtswert	3450815	3450970	3449464	3449869	3450235	3450525	3454256	3450405	3450585	3453936
Hochwert	5737260	5737200	5732579	5739629	5739694	5739115	5737850	5737775	5737775	5733936
Proben-NR	p125	p126	p44	p45	p46	p47	p191	p93	p94	p52
pH-Wert	7,7	7,6	7,3	7,5	7,7	7,7	7	7,5	7,7	8
µS/ cm	1036	535	813	889	1087	1022	960	1165	992	725
m-Wert	6,8	4,5	6,6	6,46	6,44	7,78	4,88	7,02	9,84	6,16
Fluoride	0	0	0,09	0	0,3	0,11	0,08	0	0	0,41
Borate	0,15	0,15	0,22	0,15	0,39	0,49	0,108	0,15	0,45	1,2
Ca	117	69	99	124	75	78	33	204	76	16
Mg	8	5	9	9	7,4	11	2	8	7	1
K	2	1	2	2	2	1	0	4	2	0,5
Na	22	11	25	19	113	96	62	26	133	146
Sulfate	142	18	12	35	14	45	80	147	6	0
Li	0	0,011	0,02	0,015	0,015	0,02	0	0,02	0,014	0,012
Chloride	24	18	29	31	128	24	42	91	18	3,5
Sr	0	3,84	1,5	7,3	2,9	3,22	0,32	0	0,076	0,54
Nitrate	23	1	0	1,18	0	2,4	0,4	2	4	0
Ammonium	0	0,44	0,68	0	0,67	0,25	0	0	0	0,19

Ort	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg
Strasse	Rietberger Str.	Rietberger Str.	Rietberger Str.	Rietberger Str.	Schildbreede	Schildbreede	Schlingfeldweg	Schlingfeldweg	Stromberger-Str.	Stromberger-Str.		
Rechtswert	3454081	3454186	3454416	3454656	3450260	3450155	3453546	3453706	3448564	3449600		
Hochwert	5738340	5738310	5738315	5738315	5737900	5737735	5737655	5737630	5738460	5738565		
Proben-NR	p53	p54	p55	p56	p95	p96	p135	p136	p38	p97		
pH-Wert	7,6	7,6	7,8	7,2	8,3	8,2	7,7	7,7	6,9	7,6		
µS/ cm	825	1103	700	1014	1066	845	805	773	930	811		
m-Wert	4,46	6,54	5,8	1,42	10,6	6,96	5,88	5,7	2,5	7,14		
Fluoride	0	0	0,09	0	0,38	0,48	0,08	0	0	0,231		
Borate	0,06	0,16	0,39	0,06	1,22	1,27	0	0,06	0,12	0,71		
Ca	132	188	66	135	5	9	130	104	64	75		
Mg	4	5	5	5	0,3	1	3	6	7	6		
K	1	15	1	2	0,4	0,5	3	2	2	2		
Na	185	16	60	16	276	208	13	17	19	80		
Sulfate	48	81	5	0,2	8	0,5	43	16	48	23		
Li	0	0	0,01	0	0,018	0,016	0	0,008	0,01	0,02		
Chloride	27	36	25	316	16	16	106	52	18	28		
Sr	0	0	2,68	0	0,908	1,042	3,5	3,4	2,43	3,94		
Nitrate	85	77	1,4	3,5	0	0	0,5	1	0,37	1		
Ammonium	0	0	0	0	0,45	0,56	0	0,1	0,11	0,09		

Ort	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Langenberg	Rietberg
Straße	Vier Hoefe	Vornholzstr.	Vornholzstr.	Weidekamp	Westfeldstr.	Westkampstr.	Westkampstr.	Westkampstr.	Westkampstr.	Westkampstr.	Westkampstr.	Am Blanken
Rechtswert	3452240	3455762	3454786	3454461	3449320	3448854	3448784	3448759	3448864	3457382		
Hochwert	5738320	5735464	5736068	5737950	5738570	5738899	5739134	5739234	5739314	5737163		
Proben-NR	p51	p30	p31	p192	p39	p40	p41	p42	p43	p179		
pH-Wert	7,9	7,5	7,6	7,4	6,8	7,3	6,6	7,2	8,1	7,6		
µS/cm	800	555	570	1026	1073	1142	913	874	1157	1098		
m-Wert	7,28	4,36	4,32	6,96	2,98	8,5	1,84	7,3	8,94	8,04		
Fluoride	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,8	0,9		
Borate	0,31	0,04	0,04	0,09	0,19	0,38	0,06	0,52	1,36	0,46		
Ca	43	108	107	140	68	14	93	71	19	30		
Mg	18	3	3	5	10	6	1	9	3	5		
K	2	1,4	1	3	2	1	4	1	1	1		
Na	55	14	14	16	36	149	11	82	220	183		
Sulfate	0,4	41	41	35	14	18,5	33	7	19	0		
Li	0,015	0	0	0	0,01	0,014	0	0,012	0,026	0,012		
Chloride	18	10	10	10	55	30	38	21	47	72		
Sr	1,6	0	0	0	1,34	1,7	0	0,98	5,71	4,92		
Nitrate	3,4	22	22	2	0,42	0	73	0	0	2		
Ammonium	0	0	0	0	0	0,69	0	1,12	0,78	0,21		

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg
Strasse	Am Blanken	Am Blanken	Am Blanken	Am Eichenhof	Am Eichenhof	Am Hohen Land	Am Reiling	Rietberg				
Rechtswert	3457407	3457127	3456687	3460207	3461242	3460822	3460822	3460602	3460572	3460572	3457396	Rietberg
Hochwert	5737158	5737188	5737301	5739511	5739189	5739028	5738988	5738978	5738793	5738793	5738644	Rietberg
Proben-NR	p180	p181	p182	p14	p15	p153	p154	p155	p156	p156	p64	Rietberg
pH-Wert	8	7,8	7,2	7	7,6	7,3	7,7	7,1	7,4	7,4	7,7	Rietberg
µS/ cm	1088	1037	1180	1400	513	953	474	846	1161	1161	1253	Rietberg
m-Wert	4,9	9,2	7,2	9,26	4,02	4,1	2,7	1,32	7,12	7,12	7,18	Rietberg
Fluoride	0,87	1,04	0	0,04	0,07	0	0	0	0,24	0,24	0	Rietberg
Borate	0,73	1	0	0,09	0,07	0	0	0	0,3	0,3	0,06	Rietberg
Ca	30	33	191	196	92	100	56	91	54	54	215	Rietberg
Mg	4	5	6	0	2	3	5,7	10	7	7	5	Rietberg
K	2	1	8	0	15	1	1	38	2	2	1	Rietberg
Na	184	173	20	29	5	16	5	10	135	135	11	Rietberg
Sulfate	0	0	86	70	24	66	21	29	2	2	100	Rietberg
Li	0,012	0,013	0	0	0	0	0	0	0,015	0,015	0	Rietberg
Chloride	70	20	43	42	5	39	6	55	62	62	44	Rietberg
Sr	4,3	0	0	0	0	0	0	0	2,62	2,62	0	Rietberg
Nitrate	3	0	2	0	21	1	5	172	0	0	0,4	Rietberg
Ammonium	0,1	1,16	0,26	1,8	0,01	0	0	0,13	0,93	0,93	0	Rietberg

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg
Strasse	Am Reiling	Bresser Str.										
Rechtswert	3457617	3460668	3460523	3460528	3460487	3459997	3460107	3460002	3459952	3459897		
Hochwert	5738356	5737604	5737434	5737544	5737624	5738224	5738434	5738608	5738503	5738738		
Proben-NR	p65	p145	p146	p147	p148	p149	p150	p161	p162	p163		
pH-Wert	8	7,4	7,7	7,6	7,9	8,1	7,4	7,1	7,5	7,1		
µS/ cm	1045	1200	1185	1056	1037	1223	1043	1515	1362	1578		
m-Wert	8,74	6,84	7,26	5,9	4,52	6,3	5,8	6,52	6,88	7,5		
Fluoride	0,73	0,28	0,23	0,12	0,17	0,2	0,18	0	0,23	0,15		
Borate	0,98	0,87	0,54	0,47	0,62	0,55	0,39	0,17	0,43	0,41		
Ca	24	62	42	46	34	61	42	160	104	156		
Mg	3	5	3	4	2	14	8	14	11	24		
K	3,5	2	2	2	2	2	1	2	2	2		
Na	210	106	138	95	122	114	108	67	121	83		
Sulfate	3	78	13	27	22	13	8	60	36	42		
Li	0,012	0,014	0,011	0,013	0,01	0,015	0,01	0,011	0,013	0,01		
Chloride	57	62	75	71	91	122	79	135	126	172		
Sr	2,35	10,3	4,2	6,4	4,4	2,16	2,5	0,37	1,8	5,15		
Nitrate	0	2	0	0	0	2	0	0	1	0		
Ammonium	0,44	0,15	1,14	1,28	1,1	0,12	0,7	0,86	0,12	0,72		

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg
Straße	Bresser Str.	Brockstr.	Brockstr.	Brockstr.	Brockstr.	Gluepkenheide	Graswinkel	Graswinkel	Graswinkel	Graswinkel	Graswinkel	Graswinkel
Rechtswert	3459802	3456216	3456101	3456076	3455916	3459027	3456526	3457096	3457266	3457331		
Hochwert	5738808	5739405	5730035	5740125	5740430	5738378	5739685	5739130	5739025	5738896		
Proben-NR	p164	p59	p193	p194	p195	p166	p60	p61	p62	p63		
pH-Wert	7,3	7,4	7,2	7,4	7,5	7,3	7,6	7,5	8	7,6		
µS/ cm	993	904	1420	1513	1238	754	1398	1021	888	1007		
m-Wert	5,52	6,18	7,12	8,44	7,36	4,4	9,04	6,1	6	5,6		
Fluoride	0,16	0	0,14	0	0,14	0	0	0	0	0		
Borate	0,24	0,09	0	0	0	0,14	0,07	0,13	0,07	0,08		
Ca	71	162	176	288	206	77	254	161	153	168		
Mg	11	3	4	6	4	6	4	6	4	5		
K	2	0,6	37	8	1	2	2	8	4	2		
Na	75	15	38	72	44	39	36	32	20	15		
Sulfate	6	74	39	23	96	2	120	108	101	60		
Li	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Chloride	79	36	48	32	83	50	104	61	30	24		
Sr	4	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0		
Nitrate	0	0	1	0	1	0	2,2	9	0,4	138		
Ammonium	0,7	0,14	0,05	0,2	0,19	0,2	0	0	0	0		

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg								
Straße	Hammoor	Hammoor	Hammoor	Hammoor	Jagdweg	Jagdweg	Kathagen	Kathagen	Kaunitzer Str.	Kroegerstr.			
Rechtswert	3456321	3456201	3456066	3456476	3455686	3455806	3456577	3456551	3466948	3455971			
Hochwert	5738286	5738306	5738151	5738101	5740410	5740280	5737231	5737351	5743603	5740770			
Proben-NR	p57	p58	p139	p140	p196	p197	p183	p184	p5	p198			
pH-Wert	7,6	7,8	7,7	7,6	7,3	7,7	7,3	7,3	7,8	7,4			
µS/ cm	1424	1472	782	804	1332	1488	1059	1027	816	1195			
m-Wert	11,5	9,6	5,4	4,44	8,4	8,88	6,72	6,84	6,44	6,86			
Fluoride	0,58	0	0	0	0,53	0	0,21	0,51	0,34	0			
Borate	1	0,07	0,07	0,01	0,44	0	0,43	0,93	0,67	0			
Ca	71	237	96	128	43	163	34	24	36	208			
Mg	5	7	2	3	3	4	6	10	3	5			
K	2	2	14	4	5	1	2	3,2	1	6			
Na	234	42	31	12	171	44	168	342	146	33			
Sulfate	8	61	35	36	15	36	0	1	10	129			
Li	0,014	0	0,08	0	0	0	0,021	0,032	0,012	0,007			
Chloride	102	114	29	21	51	30	67	131	58	67			
Sr	3,6	0	5,69	0	0	0	7,45	14	0,52	0			
Nitrate	0	2	33	145	1	0	0	0	0	5			
Ammonium	1,26	0	0,19	0	0	0	1,69	1,37	0,64	0,11			

Ort	Rietberg											
Straße	Kroegerstr.	Kroegerstr.	Loekkenfeld									
Rechtswert	3456111	3456096	3458312	3458927	3459012	3458822	3458897	3458882	3458857	3458662		
Hochwert	5740840	5740650	5737748	5738208	5738053	5738133	5738043	5737998	5737933	5737848		
Proben-NR	p199	p200	p68	p167	p168	p169	p170	p171	p172	p173		
pH-Wert	7,3	8,1	8	7,5	7,5	7,8	7,8	7,9	8,1	8		
µS/ cm	1135	740	1208	767	836	778	928	759	1180	901		
m-Wert	8,06	2,9	7,1	4,94	5,4	4,94	6,42	5,6	8,22	6,66		
Fluoride	0	0	0,963	0,2	0,36	0,34	0,72	0,41	1,47	1,4		
Borate	0	0	1,06	0,28	0,45	0,37	0,77	0,48	1,37	1,37		
Ca	99	112	26	53	49	47	32	36	14	16		
Mg	11	6	2	9	10	7	7	7	3	4		
K	3	1	1	2	2	1	1	1	0,6	1		
Na	82	21	232	58	83	82	135	98	222	156		
Sulfate	0	59	22	3	2	4	0	0	0	0		
Li	0,013	0,007	0,008	0,11	0,016	0,01	0,012	0,01	0,01	0,014		
Chloride	76	28	152	43	51	47	58	40	91	48		
Sr	0	0	1,36	3,87	5,8	3,6	5,6	4,4	3,53	3,7		
Nitrate	0	86	2	0	0	2	0	0	0	0		
Ammonium	2,23	0	0	0,8	0,9	0,06	0,7	0,83	0,72	0,73		

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg						
Strasse	Loefkenfeld	Loefkenfeld	Loefkenfeld	Loefkenfeld	Loefkenfeld	Loefkenfeld	Mashholter Str.	Meschemkeweg				
Rechtswert	3458427	3458487	3458062	3457867	3457727	3455961	3455761	3455711	3455501	3461672		
Hochwert	5737893	5737781	5737603	5737328	5737358	5737006	5736961	5736991	5737191	5739054		
Proben-NR	p174	p175	p176	p177	p178	p187	p188	p189	p190	p16		
pH-Wert	7,9	8,1	7,7	7,7	7,7	7,3	7,8	7,6	6,3	7,8		
µS/ cm	1220	988	1530	1223	1367	1037	1135	1145	125	860		
m-Wert	7,54	6,06	7,7	7,3	7,5	5,96	5,18	4,48	0,48	5,58		
Fluoride	0,8	1,16	0,48	0,22	0,28	0	0	0,09	0	0,33		
Borate	1,441	1,14	0,48	0,42	0,79	0	0	0,08	0,07	0,34		
Ca	24	23	50	58	36	83	91	140	11	35		
Mg	5	5	4	5	4	3	5	4	0,4	0		
K	1	1	1	2	1	6	2	2	5	0		
Na	199	159	232	162	220	22	38	46	11	155		
Sulfate	0,4	55	1	8	10	12	59	125	0,5	4		
Li	0,014	0,012	0,01	0,016	0,017	0	0	0	0	0		
Chloride	119	48	233	126	167	17	91	160	6	13		
Sr	7,9	7,7	5,6	7,4	7,8	0	0	0,7	0	0,78		
Nitrate	0	0	1	0	0	9	2	0	22	0		
Ammonium	1,03	0,79	0,16	0,4	1,07	0,06	0	0,51	0	0,79		

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg
Straße	Meschmökeweg	Meschmökeweg	Meschmökeweg	Triftstr.	Triftstr.	Unter den Eichen	Unter den Eichen	Westenholzer Str.	Westenholzer Str.	Wimmelheide
Rechtswert	3461458	3460943	3460512	3457637	3457637	3455616	3455526	3458508	3457912	3456306
Hochwert	5738669	5738044	5738059	5737961	5737961	5737901	5737985	5733994	5734389	5737236
Proben-NR	p17	p18	p19	p66	p67	p137	p138	p28	p29	p185
pH-Wert	7,8	7,3	7,4	7,6	8,1	7,5	7,7	7,4	7,4	7,6
µS/ cm	842	1265	1320	920	1301	977	927	789	754	1103
m-Wert	5,66	7,66	7,54	5,6	9,02	6,22	7,4	4	2,76	7,76
Fluoride	0,31	0,39	0,42	0,141	2,95	0	0,17	0	0	0,17
Borate	0,28	0,87	0,88	0,18	1,03	0	0,41	0,08	0,11	0,09
Ca	35	100	98	145	21	160	58	109	108	30
Mg	4	14	13	3	2	1	3	3	3	3
K	0	2	2	2	1	30	2	43	42	1
Na	155	148	145	38	270	26	130	24	24	102
Sulfate	4	112	107	60	2	146	17	42	43	1
Li	0	0,01	0,01	0	0,007	0	0,012	0	0	0,01
Chloride	108	110	106	40	128	35	64	59	60	96
Sr	0,38	2,64	2,27	0	2,57	0	0,35	0	0	3,9
Nitrate	0	0	0	68	0	1	0	60	63	0
Ammonium	0,72	1,5	1,55	0	0,77	0	1,05	1,81	1,14	1,23

Ort	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Rietberg	Delbrück	Delbrück
Strasse	Wimmelheide	Wulfhorstweg	Brinkort	Hoewelhofer Str.							
Rechtswert	3456176	3460592	3460547	3460297	3460167	3460087	3460377	3459682	3461723	3471866	
Hochwert	5737091	5739491	5739536	5738798	5738893	5738968	5739033	5738478	5736279	5737993	
Proben-NR	p186	p151	p152	p157	p158	p159	p160	p165	p23	p1	
pH-Wert	7,5	7,6	7,4	7,7	7,3	7,5	7,6	8,1	6,6	7,1	
µS/ cm	1250	882	1314	1507	1158	1508	1106	971	650	875	
m-Wert	7	1,48	6,16	7	5,6	6,88	5,82	5,14	0,68	4,82	
Fluoride	0	0	0	0,42	0	0,13	0,08	0,21	0	0,15	
Borate	0,11	0	0	0,48	0	0,23	0,31	0,32	0,05	0,03	
Ca	96	93	168	49	161	75	56	58	78	156	
Mg	1	10	6	5	8	8	7	12	5	3	
K	1	2	11	0	1	1	1	2	36	1	
Na	18	11	20	230	26	177	127	86	9	17	
Sulfate	39	48	132	0	97	0	16	7	55	82	
Li	0	0	0	0,01	0	0,011	0,013	0,014	0	0	
Chloride	50	22	36	207	68	226	100	86	34	67	
Sr	0	0	0	2	0	1,355	1,65	3,8	0	0	
Nitrate	1	161	2	0	5	0	0	0	191	0	
Ammonium	0,11	0,06	0	0,66	0,07	0,61	0,73	0,84	0,09	0,03	

Ort	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück
Strasse	Im Knaeppen	Koetimers Kamp	Landstr.	Moorlake	Moorlake	Neubruockstr.	Osterloher Str.	Pulsweg	Rendelweg	Rendelweg	Rendelweg
Rechtswert	3462928	3460798	3468279	3460583	3460813	3468183	3472295	3471866	3461028	3461728	3461728
Hochwert	5736449	5735844	5742309	5735559	5734849	5742789	5741125	5737993	5737304	5737229	5737229
Proben-NR	p21	p24	p4	p25	p26	p3	p2	p22	p20	p141	p141
pH-Wert	6,3	7,4	7,1	7,3	7,4	7,8	7,6	7,4	7,4	7,4	7,2
µS/ cm	625	940	828	1500	1550	770	765	1460	1495	1495	1525
m-Wert	0,35	7,92	2,4	8,18	8,34	128	3,66	7,44	7,46	7,46	6,56
Fluoride	0	0,24	0,03	0,67	0,66	0,12	0,06	0,18	0,13	0,13	0
Borate	0,06	0,22	0,07	0,69	0,69	0,08	0,05	0,3	0,3	0,3	0,14
Ca	21	52	101	48	101	5,6	127	69	70	70	87
Mg	1,2	6	9	3,8	8	0,4	8	8	8	8	4
K	11	1	26	0,15	1	3,3	1,2	1	1	1	2
Na	3	154	13	104	217	0,72	14	251	250	250	123
Sulfate	55	5	50	54	54	35	64	0	0	0	50
Li	0	0	0	0	0,01	0	0	0,009	0,008	0,008	0,012
Chloride	32	66	45	240	239	39	52	306	307	307	159
Sr	0	3,59	0	0,883	0,805	0,74	0	0,96	1,73	1,73	2
Nitrate	189	0	145	0	0	187	61	0	0	0	1
Ammonium	0,12	1,13	0	0,59	0,56	1,08	0	1,19	1,27	1,27	0

Ort	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Delbrück	Stromberg	Stromberg	Stromberg	Stromberg	Stromberg	Stromberg
Strasse	Rendelweg	Rendelweg	Rendelweg	Seitenweg	Coellentrup	Coellentrup	Coellentrup	Coellentrup	Coellentrup	Coellentrup
Rechtswert	3461688	3461808	3461108	3460088	3446216	3446864	3447097	3447544	3447924	3448164
Hochwert	5737244	5737584	5737199	5734999	5739784	5739619	5738654	5738674	5738554	5738499
Proben-NR	p142	p143	p144	p27	p32	p33	p34	p35	p36	p37
pH-Wert	7,3	6,9	7,7	7,5	8,6	7,3	7,2	7,2	6,7	8,6
µS/ cm	2660	766	1302	900	3070	771	866	897	941	1445
m-Wert	4,7	3,72	8,22	7,88	11,8	6	6,24	6,48	3,4	8,44
Fluoride	0	0,13	0,11	0,22	2,37	0	0	0,1	0	0,7
Borate	0,29	0,06	0,43	0,22	2,2	0,19	0,1	0,17	0,19	1,33
Ca	43	36	51	52	2	106	132	118	64	3
Mg	3	2	3	6,1	0,3	7	8	10	9	1
K	1	1	1	1	0,3	2	2	2	2	1
Na	234	52	127	156	619	14	8	26	21	255
Sulfate	4	18	8	5,4	1,2	13	37	28	22	10
Li	0,012	0	0,01	0	0,04	0,009	0,009	0,016	0,01	0,028
Chloride	409	49	95	65	344	19	14	20	28	44
Sr	5,71	1,4	4,9	4,58	0,92	1,27	3,84	4,33	3,12	1,07
Nitrate	0	0	1	0	0	0	0	0,52	0	0,25
Ammonium	1,04	0,58	0,39	1,11	0,46	0,17	0	0	0,31	0,46

Ort	Stromberg	Stromberg	Verl	Verl	Verl	Hövelhof	Hövelhof	Hövelhof	S.H.Stukenbr.	S.H.Stukenbr.
Strasse	Wadersloher Str.	Wadersloher Str.	Kattener Heide	Rietberger Landstr.	Schulstr.	Deimolder Str,	Sennestr.	Sennestr.	Am Fuhnbach	Lippostaedter Weg
Rechtswert	3459742	3446011	3471998	3470163	3468157	3475769	3478351	3479347	3477139	3476575
Hochwert	5737949	5739204	5747444	5745704	5745936	5747040	5743948	5744518	5748685	5747435
Proben-NR	p69	p70	p8	p7	p6	p9	p13	p12	p11	p10
pH-Wert	8	8,4	7,9	8,3	7,8	8	7,9	8	8,1	8,2
µS/ cm	916	1105	325	602	570	280	450	261	418	350
m-Wert	5,88	8,52	2,1	4,54	2,28	1,4	1,74	1,28	2,12	1,76
Fluoride	0,33	0	0,07	0,37	0,13	0,05	0,03	0,03	0,06	0,04
Borate	0,68	0,35	0,03	0,59	0,06	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02
Ca	31	148	47	10	75	49	63	42	56	56
Mg	4	15	0	0	5	0	0	0	3	1
K	1	3	0	0	24	0	2	1	3	1
Na	152	35	8	117	11	5	11	5	10	6
Sulfate	0	89	13	0	44	25	24	29	23	28
Li	0,01	0,034	0	0,008	0	0	0	0	0	0
Chloride	111	43	11	36	21	10	24	4	15	9,4
Sr	4,064	5,69	0	0,345	0	0	0	0	0	0
Nitrate	0	0,5	0	0	92	14	32	4	10	16
Ammonium	0,71	0,75	0,03	0,39	0	0,01	0,01	0,02	0,019	0,05