

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene der Westfälischen Wilhelms Universität Münster
Direktor: Prof. Dr. rer. nat. Karch, Helge

***Fluoridgehalte in
privaten Trinkwasseranlagen
im Raum Gütersloh***

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium

der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms Universität Münster

Vorgelegt von

Ariane Lang

geb. in Hagen

2004

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Jürgens, Heribert

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Mathys, Werner
2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Binding, Norbert

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene der Westfälischen Wilhelms Universität Münster
Direktor: Prof. Dr. rer. nat. Karch, Helge

Referent: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Mathys, Werner
Koreferent: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Binding, Norbert,

ZUSAMMENFASSUNG

Fluoridgehalte in privaten Trinkwasseranlagen im Raum Gütersloh

Lang, Ariane

Die hier vorgelegte Untersuchung bietet einen Überblick über Vorkommen und Verteilung von Fluorid im Trinkwasser aus privaten Brunnen im Raum Gütersloh und gibt Parameter an, die die Konzentrationshöhe von Fluoriden begleiten. Dazu wurde aus 200 verteilt gelegenen Brunnen je eine Probe gezogen und ortsbezogen untersucht. Das Untersuchungsgebiet umfasste eine Fläche von ca. 400 km² rund um Gütersloh.

In den Proben wurden außer für die Fluoride, die elektrochemisch festgelegt wurden, die Konzentrationen der Kationen Natrium, Calcium, Kalium, Magnesium, Strontium und Lithium und der Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat auf ionochromatographischem Wege, die Konzentrationen von Borat und Ammonium durch Photometrie bestimmt. Darüber hinaus wurden die Leitfähigkeit, der pH-Wert und der m-Wert gemessen.

Es wurden 4 Brunnen mit Fluoridgehalten über 1,5 mg/l festgestellt, Werte, die entsprechend der Trinkwasserverordnung als erhöht bezeichnet werden müssen. Die Auswertung der Verteilung aller Fluoridwerte im Vergleich mit den hydrogeologischen Vorgaben dieses Raumes ergab die begründete Vermutung, dass die festgestellten Fluoridkonzentrationen im Zusammenhang stehen mit so genanntem Austauschwasser, einer Grundwasser-Besonderheit dieses Raumes, deren Ursache letztlich im Partialdruck unterlagerter salzhaltiger Grundwasserschichten zu finden ist. Die Unterschiede im Fluoridgehalt sind aquiferspezifisch kleinräumig stark unterschiedlich insbesondere in den Bereichen um Rheda-Wiedenbrück, aber auch in Richtung Ummeln. Dort können auch höhere Werte auftreten.

Der Vergleich zwischen den weiteren Parametern und den Fluoriden erfolgte auf der Basis statistischer Untersuchungen mit dem SPSS-Programm. Daraus ergab sich die Feststellung, dass neben den Borat-Konzentrationen, die mit dem Auftreten entsprechend hoher Fluoridkonzentrationen statistisch signifikanten einhergehen, die Konzentrationen der Natrium-Ionen mit denen der Fluoridkonzentrationen korrelieren. Damit besteht die Möglichkeit, auch dann aus den Analysen auf höheren Fluoridgehalt zu schließen, wenn der Vorschriftenlage entsprechend keine unmittelbare Fluorid-Messung vorliegt.

Die Ergebnisse der vorgelegten Arbeit können einen Beitrag leisten zur Absicherung zahnmedizinischer Vorsorge in diesem Raum.

Tag der mündlichen Prüfung: Montag, den 23. August 2004

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Fluoride	11
2.1 <i>Fluor – das Element</i>	11
2.2 <i>Vorkommen der Fluoride</i>	11
3. Fluoride in der Kariesprophylaxe - Nutzen und Risiko	14
3.1 <i>Geschichte der Fluoride</i>	14
3.2 <i>Formen der Fluoridzufuhr</i>	15
3.3 <i>Biochemie und Wirkmechanismus der Fluoride</i>	17
3.4 <i>Überdosierung bei der Kariesprophylaxe und ihre Folgen</i>	21
4. Problemlage der vorgelegten Untersuchung	25
4.1 <i>Geologischer Zusammenhang zur Fluoridkonzentration</i>	25
4.2 <i>Fluoride – Wasseruntersuchungen im Raum Gütersloh</i>	25
5. Zielstellung der Untersuchung	28
6. Auswahl der Probenorte	29
6.1 <i>Beschreibung des untersuchten Gebietes</i>	29
6.2 <i>Testproben zur Bestimmung der räumlichen Verteilung</i>	31
6.3 <i>Verdichtete Probennahme bei hoher Leitfähigkeit</i>	31
7. Material und Methode bei der Bestimmung der Fluoride und weiterer Parameter	35
7.1 <i>Probennahme</i>	35
7.2 <i>Fluoride</i>	35
7.3 <i>Leitfähigkeit</i>	39
7.4 <i>pH-Wert</i>	40
7.5 <i>m-Wert</i>	42
7.6 <i>Ionenchromatografie</i>	44
7.7 <i>UV/VIS – Spektrometrie</i>	47
8 Auswertung und Ergebnisse	50
8.1 <i>Fluoride</i>	50
8.2 <i>Verteilung der Fluoride und Hydrogeologie im Raum Gütersloh</i>	53
8.3 <i>Der Zusammenhang der Fluoride mit anderen Parametern</i>	57
9. Diskussion	64
10. Schlussfolgerungen	71
11. Zusammenfassung	73
12. Lebenslauf	75
13. Danksagung	76
15. Literaturverzeichnis	77
14. weitere Verzeichnisse	85
14.1 <i>Abbildungsverzeichnis</i>	85
14.2 <i>Tabellenverzeichnis</i>	85

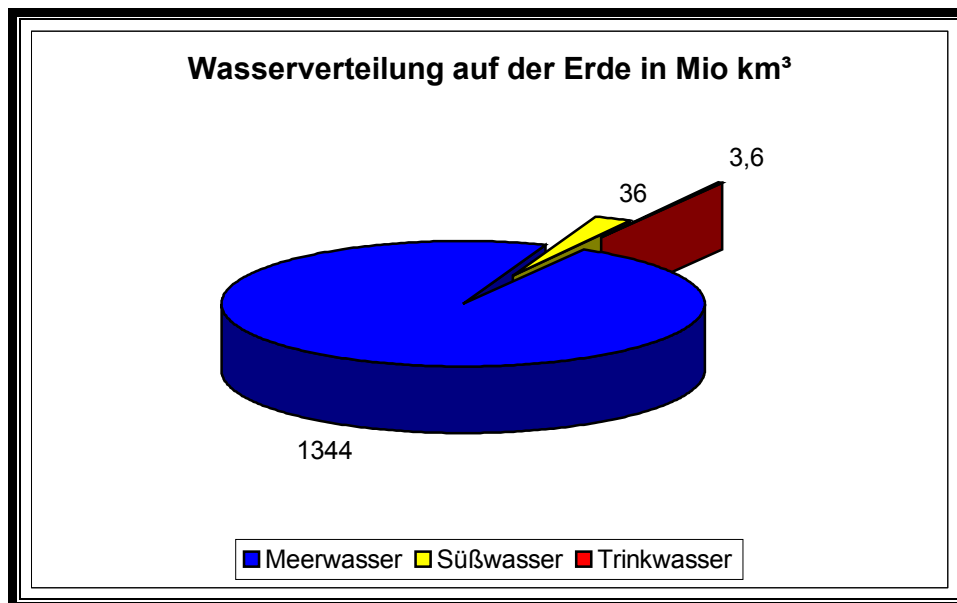
1. Einleitung

„Der Anfang aller Dinge ist Wasser; aus Wasser ist alles, und ins Wasser kehrt alles wieder zurück“ (Thales von Milet ca. 650-560 v. Chr.).

Wasser ist unser wichtigstes Lebensmittel. Der Mensch besteht zu 2/3 aus Wasser, was ihm über verschiedenste Wege wieder verloren geht. So muss er Tag für Tag ca. 1 ½ Liter wieder zu sich nehmen.

Die Erde, die als blauer Planet bezeichnet wird, ist zu etwa 71% mit Wasser bedeckt. Doch nur etwa 0,3 % des gesamten Wasservorkommens auf der Erde stehen als potentielles Trinkwasser in Bächen, Flüssen, Seen und Grundwasser zur Verfügung; mehr als 97% sind Salzwasser.[24]

Abbildung 1: Wasserverteilung auf der Erde



Wasser ist eine geschmack- und geruchlose, durchsichtig klare und farblose Flüssigkeit, die entsteht, wenn 2 Teile Wasserstoff mit einem Teil Sauerstoff reagieren (Knallgas!). Wasser ist wichtigster Stoff („Lebensmittel Nr. 1“) für die Existenz aller Lebewesen und kann nicht ersetzt werden.

Das auf der Erdoberfläche und im Untergrund vorkommende natürliche Wasser ist nie chemisch rein, sondern enthält zahlreiche anorganische und organische Substanzen. Man kann einteilen nach Vorkommen (z.B. Oberflächenwasser, Quellwasser, Grundwasser), nach Verwendung und Zustand (Trinkwasser, Brauchwasser, Abwasser), nach Inhaltsstoffen (z.B. Mineralwasser, Salzwasser, Süßwasser).[54]

Deutschland ist ein wasserreiches Land: Die Wasserbilanz ist ausgewogen, d.h. Wasserverluste durch Verdunstung und Verbrauch werden durch ausreichende Niederschläge ausgeglichen. Für die Trinkwasserversorgung wird dem Wasserkreislauf so genanntes Rohwasser entnommen. Es entstammt zu etwa zwei Dritteln dem Grundwasser und zu etwa einem Drittel dem Oberflächenwasser – also Seen, Talsperren und dem Uferfiltrat von Flüssen. Oft muss es aufbereitet werden, bevor es für den Verzehr geeignet ist. Daher ist die Qualität des Wassers von Region zu Region sehr unterschiedlich.[25]

„Als Wasser für den menschlichen Gebrauch (*Trinkwasser*) wird alles Wasser angesehen, sei es in seinem ursprünglichen Zustand oder nach Aufbereitung, das zum Trinken, zum Kochen, zur Zubereitung von Speisen und zu anderen häuslichen Zwecken bestimmt ist und zwar ungeachtet dessen, ob es aus einem Verteilungsnetz, in Tankfahrzeugen, in Flaschen oder anderen Behältern bereitgestellt wird“ [Artikel 2 der EG-Trinkwasserrichtlinie].[48]

Grundwasser wird aus unterschiedlich tiefen Brunnen gewonnen. Die Tiefe bestimmt sich durch die Lage und Ergiebigkeit der wasserführenden Schicht.

Flache Brunnen ($\leq 10\text{m}$) fördern oberflächennahes Grundwasser. *Oberflächenwasser* wird aus Seen, Talsperren oder als Uferfiltrat von Flüssen meist durch öffentliche Wasserversorger gewonnen.

Bei der *Aufbereitung von Rohwasser* zu Trinkwasser (z.B. zur Verteilung im Leitungsnetz) sind rund 50 chemische Zusatzstoffe zugelassen, u.a. Chlor, Chlordioxid, Salzsäure und Schwefelsäure. Nach der Aufbereitung dürfen viele dieser chemischen Zusatzstoffe innerhalb bestimmter Grenzwerte weiterhin im Leitungswasser vorhanden sein.[62]

Die Grenzwerte werden in der Trinkwasserverordnung festgelegt. In der gesetzlichen Trinkwasserverordnung sind die höchstzulässigen Schadstoffgrenzwerte zwar genau definiert, müssen aber oft in grenzwertige Bereiche nach oben korrigiert werden. Das hierdurch geminderte Vertrauen der Bevölkerung in das leitungsgebundene Trinkwasser erklärt den in den letzten Jahren erheblich angestiegenen Konsum von Mineralwassern.[67] Marketingmaßnahmen der Mineralwasserindustrie tun ein Übriges.

Leitungswasser wird in Deutschland aus Grundwasser und aus Oberflächenwasser gewonnen. Es kann daher zahlreichen Umwelteinflüssen ausgesetzt sein. Die Aufbereitung dieses Wassers mit einer Reihe von Chemikalien ist gesetzlich erlaubt. Aufgesprudelt Leitungswasser bleibt hinsichtlich seiner Inhaltsstoffe ansonsten unverändert.

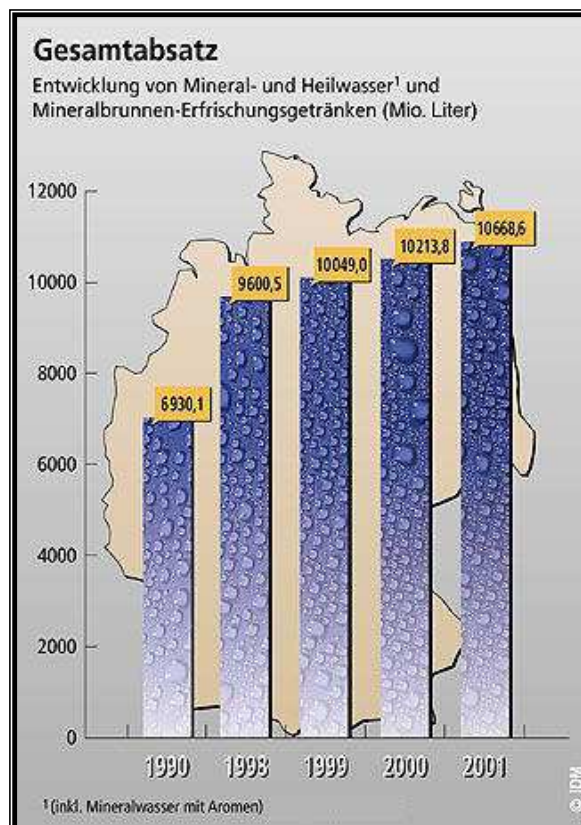
Die Qualität von Leitungswasser wird kontrolliert, bevor es von den Wasserversorgern ins Rohrnetz eingespeist wird. Bis zum Verbraucher legt das Wasser in diesem Rohrnetz einen teilweise kilometerweiten Weg zurück und ist zunehmend Veränderungen ausgesetzt je geringer der Durchfluss ist. Die Wasserqualität am Entnahmehahn unterliegt den Vorschriften der Trinkwasserverordnung.[24]

Brunnenwasser ist in der Regel Grundwasser, welches je nach Bodenbeschaffenheit näher an der Oberfläche oder eben in tieferen Bereichen zu finden ist. Je nach Tiefe des Brunnens beeinflussen verschiedene Faktoren die Wasserqualität. So sind flache Brunnen z.B. eher Nitratbelastungen ausgesetzt, da sich bei Niederschlägen nach Düngung von Feldern Nitrate im Brunnenwasser fangen.[31]

Außerdem wird die Wasserqualität von der Zusammensetzung und der Hydrodynamik des Grundwasserleiters beeinflusst. Letzteres bedeutet, dass an einigen Stellen das Grundwasser fließt, an anderen Stellen annähernd steht und nur nach Entnahme aus dem Brunnen nachsickert. So hat Brunnenwasser sehr individuellen Charakter und ist stärker umgebenden Einflüssen ausgesetzt.

In Abweichung zu Trinkwasser allgemein, welches vorwiegend aus Gebirgswasser, Grundwasser und Uferfiltraten entstammt, wird Mineralwasser grundsätzlich aus tief gelegenen Wasservorräten gewonnen. Es hat seinen Ursprung letztlich im Regenwasser, das bis in die Tiefe von mehreren Hundert bis Tausend Metern sickert und dabei aus den unterschiedlichen Gesteins- und Sedimentationsschichten Salze, Mineralien und Spurenelemente herauslöst. Diese Salzanteile geben dem jeweiligen Mineralwasser eine individuelle Zusammensetzung und einen typischen Geschmack und verleihen ihm teilweise dadurch auch spezifische Wirkungen auf den menschlichen Organismus.[67] Der Gesamtabsatz von Wasser aus Mineralbrunnen ist auch in den letzten Jahren gestiegen:

Abbildung 2: Gesamtabsatz von Erfrischungsgetränken [25]



Das oben aufgeführte Diagramm bezieht sich auf den Verbrauch von Wasser aus Flaschen.

Auf dem Markt wird Wasser abgefüllt in unterschiedlicher Art angeboten:

Natürliches Mineralwasser muss aus unterirdischen Wasservorkommen stammen und von ursprünglicher Reinheit sein. Die mineralischen Inhaltsstoffe sind in der Regel ausgewiesen.

Natürliches Heilwasser stammt aus unterirdischen, vor Verunreinigungen geschützten, ursprünglich reinen Wasservorkommen und besitzt auf Grund seiner Mineralstoffe und Spurenelemente heilende, lindernde und vorbeugende Wirkung. Die mineralischen Inhaltsstoffe müssen ausgewiesen werden.

Quellwasser stammt wie Mineralwasser aus unterirdischen Wasservorkommen und hat in seiner Zusammensetzung allen Kriterien zu genügen, die für Trinkwasser vorgeschrieben sind.

Tafelwasser ist kein Naturprodukt, sondern ein künstlich hergestelltes Produkt, das meist aus Trinkwasser als Grundsubstanz und weiteren Zutaten besteht, zum Beispiel Meerwasser, Sole, Mineralstoffen und Kohlensäure. Tafelwasser darf in Kanistern, Fässern oder Schläuchen gelagert werden.[24]

Neben den bisher erläuterten Begriffen sind die Termini „Wasserversorgungsanlagen“ und „Hausinstallation“ insbesondere zur konkreten Festlegung des Verantwortungsbereiches des Betreibers der Wasserversorgung von Bedeutung. Der Wasserversorgungsunternehmer trägt die Verantwortung über Anlagen einschließlich des Leitungsnetzes, aus denen aus festen Leitungswegen an Anschlussnehmer Wasser für den menschlichen Gebrauch abgegeben wird. Sein Verantwortungsbereich erstreckt sich also bis zum Wasserzähler.[48]

Unter *Wasserversorgungsanlagen* verstehen sich auch Eigenversorgungsanlagen, bezeichnet auch als Einzelversorgungsanlagen, um die es in dieser Arbeit ausschließlich geht, sowie sonstige, nicht ortsfeste Anlagen, aus denen Wasser für menschlichen Gebrauch entnommen oder abgegeben werden.

Unter *Hausinstallation* werden Rohre und Armaturen verstanden, die sich in der Regel hinter dem Wasserzähler im Hause befinden. Wenn an dieser Stelle eine Verunreinigung auftritt, so ist der Hausbesitzer in die Pflicht zu nehmen.

Bei Eigenversorgungsanlagen liegt die Pflicht in Gänze bei dem Besitzer, denn Versorgungsanlage sowie Hausinstallation sind in der Regel Eigentum des Hausbesitzers. *Private Trinkwasseranlagen* der vorgelegten Untersuchung sind Wasserversorgungsanlagen (Kleinanlagen) im Sinne der Trinkwasserverordnung §3 Abs.2b. [63]

2. Fluoride

2.1 Fluor – das Element

Fluor wurde von dem französischen Chemiker Henri Moissan (1852-1904) im Jahre 1886 mittels Elektrolyse das erste Mal als Element gewonnen.[70]

Sein chemisches Symbol lautet „F“. Fluor gehört in die Gruppe der Halogenide. Es besitzt die Ordnungszahl $Z = 9$ im Periodensystem der Elemente. Sein Name leitet sich von dem lateinischen Verb fluere = fließen ab. Es ist ein farbloses und in höheren Konzentrationen gelblich-grünes Gas mit einem an Chlor erinnernden stechenden Geruch. Es ist schwerer als Luft.

Unter den Häufigkeiten der Elemente aus denen die Erdkruste zusammengesetzt ist, liegt Fluor an siebzehnter Stelle. Der Anteil an der Erdkruste beträgt 0,03 %.[39] [42]

Durch seine starke Reaktionsfähigkeit kommt Fluor jedoch nicht in elementarer Form vor, sondern nur in Verbindungen, wie z.B. als Flußspat (CaF_2) oder auch als Fluorapatit.[1] Es wurde als Flußspat bereits von dem Naturforscher Agricola im Jahre 1529 als Flussmittel bei der Metallschmelze beschrieben.[70] Fluor in Verbindung wird als Fluorid bezeichnet.

Das häufigste Fluormineral ist das CaF_2 (Flußspat). Vor allem finden sich Fluorverbindungen in Tonmineralien. Daher enthalten auch tonreiche Böden in der Regel viel Fluor. Durch Verwitterungs- und Verlagerungsvorgänge bedingt, steigt der Fluorgehalt oft mit der Tiefe.[49]

2.2 Vorkommen der Fluoride

In der Natur ist Fluorid im Boden zu finden, dort vor allem in der Form des Flußspat in Tonmineralien und in mineralisierten Gesteinen. Aus der Literatur lassen sich zwei Abhängigkeiten vermuten:

- Die Fluoridgehalte im Boden steigen mit der Tiefe
- Die Bindungskapazität der Böden für Fluoride ist bei sandigen Böden niedrig und bei tonigen Böden hoch. Somit sind Löslichkeit, Verfügbarkeit und Auswaschung von Fluor auf sandigen Böden hoch und auf tonigen niedrig.[49]

Fluorid bildet sich überwiegend bei hydrothermalen Prozessen, er findet sich aber auch in Sedimenten und als Neubildung in den Oxidationszonen von Erzlagerstätten. Fluorid wird in der metallverarbeitenden Industrie als Flussmittel eingesetzt, für die elektrolytische Gewinnung von Aluminium, in der Keramik dient Fluorid zur Erzeugung von Glasuren und Emailen, in der optischen Industrie zur Herstellung von Prismen, Linsen und Mikroskopobjektiven.[60]

Fluorverbindungen werden fallweise als Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt und kommen so in die Umwelt.[50]

Fluoride können aber auch über industrielle Fertigungsprozesse in die Umwelt gelangen, so bei Aufbereitungsprozessen im Rahmen der Mineralgewinnung, Schmelzprozessen bei der Metallgewinnung u.a.. Hohe Fluoridgehalte werden auch in der Nähe von Kohlekraftwerken, bei der Aluminium- und Stahlproduktion sowie in der Nähe von Müllverbrennungsanlagen festgestellt.[14]

Fluoride finden sich auch in allen Arten von Wasser. In natürlichen Wässern liegt der Fluoridgehalt in der Regel unter dem in der Trinkwasserverordnung angegebenen Schwellenwert von 1,5 mg/l. Im Grundwasser finden sich meist Konzentrationen unter 0,1 mg/l. In Flüssen kann man mit Werten unter 0,5 mg/l rechnen. Im Meerwasser wird der Gehalt im Allgemeinen mit 1,2-1,4 mg/l angegeben. Trinkwasser in Deutschland enthält zu 90% weniger als 0,25 mg/l. Nur in einigen Gebieten gibt es Trinkwasserversorgung aus Quellen mit einem erhöhten Fluoridgehalt über 0,3 ppm. [14]

Der Fluoridgehalt von Brunnenwasser hängt vom umgebenden Grundwasser ab. Der höchste in der vorgelegten Arbeit gemessene Wert lag bei 2,85 mg/l. Erhöhte Fluoridwerte im Grundwasser sind geologisch bedingt.

Aus der Gegenüberstellung von Tiefenbrunnen und privaten Flachbrunnen in der Stadt Stein (Landkreis Fürth) ist ersichtlich, dass nur die Tiefenwässer erhöhte Gehalte aufweisen.[28]

Mineral- und Tafelwässer können sehr unterschiedlich hohe Fluoridkonzentrationen haben. Deutsche Mineralwässer enthalten im Mittel einen Fluoridgehalt von 0,58 mg/l.[54] Viele Heilwasser- und Mineralwässer enthalten jedoch mehr Fluorid.[66] Nur bei 30 % der Mineralwässer ist die Fluoridkonzentration angegeben.

Ab einem Fluoridgehalt von 1,5 mg/l muss dieses Wasser entsprechend der Mineralwasserverordnung als „fluoridhaltig“ gekennzeichnet sein.[52]

Fluoride kommen in Spuren überall in unserer Umwelt vor, also auch in Wasser und anderen Lebensmitteln. Die Fluoridgehalte in diesen Lebensmitteln sind im Allgemeinen gering. Da in Böden und im Wasser Fluoride vorkommen, sind Pflanzen ebenfalls fluoridhaltig. Auch Bier und Fruchtsaftgetränke können je nach verwendetem Trinkwasser höhere Fluoridkonzentrationen enthalten.[14]

3. Fluoride in der Kariesprophylaxe - Nutzen und Risiko

Das Fluorid erlangte Bedeutung für Lebensmittelchemiker und Zahnmediziner, weil es zwar in niedrigen Konzentrationen als Karieshemmer wirkt, in hohen Konzentrationen aber Fluorose verursacht.[35]

Fluoride sind für den Menschen nach heutiger Kenntnis nicht essentiell, d.h. lebensnotwendig, aber es hat sich als günstig für die Zahngesundheit erwiesen, weil es hilft, kleine Zahnschmelzschäden zu reparieren, die nach jeder säurehaltigen Mahlzeit auftreten. Zugleich hilft Fluorid, das Wachstum von säurebildenden Bakterien im Mund zu hemmen.[57]

3.1 Geschichte der Fluoride

Schon 1874 hatten Zahnärzte erkannt, dass Fluor eine vorbeugende Wirkung bei der Entwicklung von Karies hat. Ein deutscher Arzt erkannte Veränderung am Zahnschmelz von Hunden, die mit dieser Substanz gefüttert wurden. 1902 betrieb eine dänische Pharmaziefirma den Verkauf einer Fluormischung zur Stärkung der Zähne. Ihre Verwendung wurde aber von den Zahnärzten des Landes zurückgewiesen, da noch keine wissenschaftlichen Studien über ihre Auswirkungen durchgeführt wurden.[33]

Im Jahre 1901 entdeckten Forscher in einem Dorf bei Neapel seltsame Flecken auf den Zähnen der Bewohner. Sie vermuteten, dass dieses Phänomen mit dem Trinkwasser zusammenhängen könnte.[71]

Im Mai 1908 trug Dr. Friedrich McKay, der in Colorado Springs praktizierte, einen Aufsatz vor der Zahnmedizinischen Gesellschaft des El-Paso-Bezirks vor. Er befasste sich mit der braunen Marmorierung („Colorado-Flecken“) auf den Zähnen der Kinder seiner Stadt, die wohl auf eine zu hohe Zunahme von Fluor zurückzuführen war. Nur hatte er nicht die nötige Ausrüstung, um es wissenschaftlich belegen zu können.

1918 brachte er unter Zusammenarbeit mit G.V. Black einen Bericht heraus: „Fleckige Zähne, eine lokal begrenzte entwicklungsbedingte Unvollkommenheit der Zähne, bis dato unbekannt in der Literatur der Zahnheilkunde“. Als Ursache wurde Fluor vermutet.[33]

Erst 1931 konnte im Tierversuch nachgewiesen werden, dass ein hoher Fluoridgehalt im Wasser derartige Flecken verursachen kann. Sieben Jahre später fanden amerikanische Forscher heraus, dass Fluor im Wasser den Kariesbefall der Zähne mindern konnte.[71] Die ersten Studien, welche einen Zusammenhang zwischen Fluoridgehalt des Trinkwassers und reduziertem Kariesbefall nachwiesen, erschienen in den 30er Jahren. Seither wurde dieser Zusammenhang in über 100 Studien in verschiedenen Ländern bestätigt. Seit 1960 ist Fluorid als Bestandteil in Zahnpasta zur Kariesprävention der Bevölkerung allgemein zugänglich.[35]

3.2 Formen der Fluoridzufuhr

Fluoride werden in löslicher Form mit der Nahrung aufgenommen, dabei wird die Gesamtaufnahme von Fluorid i.a. durch den Fluoridgehalt des Trinkwassers bestimmt. Die Gesamtaufnahme aus Lebensmitteln beträgt bei Erwachsenen im Durchschnitt etwa 0,3 bis 0,7 mg pro Tag, davon 0,265 durch feste Nahrung.[53] Im Einzelfall kann jedoch die Fluoridaufnahme auch ohne zusätzliche Fluoridzufuhr in Abhängigkeit von dem Fluoridgehalt der Trinkwasseraufnahme wesentlich mehr betragen. Auch z.B. in Gegenden mit hohem Teekonsum, hohem Anteil von Seefisch in der täglichen Nahrung und fluoridiertem Trinkwasser kann die Fluoridzufuhr höher sein.[18]

Die Bioverfügbarkeit von Fluorid liegt nur bei 60-80 %. Demgegenüber steht ein täglicher Verbrauch von 0,4 mg Fluorid bei Frauen und 0,55 mg Fluorid bei Männern.[61] Der Bedarf an Fluorid richtet sich außerdem nach dem Alter. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine Einnahme von 0,25 mg (bei Säuglingen), 0,5 mg (Kinder bis zu einem Jahr), 0,7 mg (Kinder bis zu 4 Jahren), 1,1 mg (Kinder bis zu 10 Jahren). Dann trennen sich die Werte für männliche und weibliche Jugendliche und Erwachsene. Junge Männer bis zu 19 Jahren sollten 3,2 mg Fluorid aufnehmen, für junge Frauen gleichen Alters wurde die Menge mit 2,9 mg Fluorid etwas geringer angesetzt. Erwachsene Männer sollten täglich 3,8 mg Fluorid zuführen, erwachsene Frauen 3,1 mg.[7]

Da die tägliche Fluoridaufnahme der deutschen Bevölkerung im Allgemeinen niedrig ist, wurde 1991 die Fluoridierung des (jodierten) Speisesalzes zugelassen, das entsprechend gekennzeichnet werden muss. Speisesalz hat einen gut vorhersehbaren Verzehr, der sich aus Geschmacksgründen selbst begrenzt. Jedes Gramm fluoridiertes Speisesalz enthält 0,25 mg Fluorid.

Der häusliche Verbrauch von Speisesalz zur Zubereitung von Speisen wurde in der Größenordnung von 2 g/Tag ermittelt, was bei fluoridiertem Speisesalz 0,5 mg zusätzlicher Fluoridzufuhr entspricht. Vereinzelt wurde Großküchen auch genehmigt, fluoridiertes (und jodiertes) Speisesalz zur Speisenzubereitung zu verwenden, damit auch Personen, die außer Haus essen, in den Genuss kommen.[3]

Bedeutung in der präeruptiven Phase der Zahnentwicklung hat die systemische Fluoridierung. Im Rahmen der systemischen Fluoridierung ist Fluoridtabletten besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Wirksamkeit dieser Tabletten ist in einer beachtlichen Zahl an Untersuchungen wissenschaftlich nachgewiesen worden.[38] Diese Methode der systemischen Fluoridierung bietet sich vor allem dann an, wenn keine anderen kollektiven Fluoridierungsmaßnahmen (Salz, Trinkwasser) vorhanden sind.[19]

Die günstige kariespräventive Wirkung der systemischen Fluoridzufuhr ist unbestritten. Es setzte sich aber auch die Erkenntnis durch, dass lokale Maßnahmen eine größere Rolle spielen als ursprünglich angenommen wurde. Fluoridzahnpasten und Spüllösungen können zu beachtlicher Kariesreduktion führen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Kinder bei der Nutzung fluoridhaltiger Zahnpasta nicht unwesentliche Mengen verschlucken können. Es werden Mengen von 0,1-0,4 mg pro Tag angegeben, womit die systemische Fluoridmenge erhöht wird.[19]

Bis zur Vollendung des dritten Lebensjahres ist die Kontrolle des Schluckreflexes als ungenügend zu betrachten. So ist auch das Alter entscheidend für die Menge der verschluckten Zahnpastamenge. Nach Einweg retinieren Kinder bis 2 Jahre 100%, Kinder zwischen dem 2 und 4 Lebensjahr 30% und zwischen dem 5. und 7. Lebensjahr 15 % der verwendeten Zahnpasta.[14]

3.3 Biochemie und Wirkmechanismus der Fluoride

Fluorid wird über den Gastrointestinaltrakt resorbiert, kann aber auch über die Lunge aufgenommen werden, jedoch ist diese Aufnahme in der Regel außerordentlich gering. Die Resorption im Magen hängt von der jeweiligen Fluoridverbindung ab, ebenso wie vom pH-Wert und der Zusammensetzung des Mageninhaltes. Leicht lösliche Verbindungen werden schnell und nahezu komplett, schwer lösliche eher langsam und inkomplett resorbiert. Der Teil des Fluorids, das den Magen passiert, kann später noch im Duodenum resorbiert werden.[14]

Der Fluoridgehalt im Plasma steigt nach Fluoridgabe innerhalb von Minuten rasch an, um nach ca. 30-60 Minuten seinen Spitzenwert zu erreichen. Anstieg und Spitzenwert sind abhängig von Körpergewicht und der Resorptionsrate, ebenso wie von der aufgenommenen Menge des Fluorids. Da derartig viele Faktoren die Fluoridkonzentration im Plasma beeinflussen, gibt es keinen "normalen" physiologischen Wert. Man gibt jedoch als Anhaltswert für Menschen, die gesund sind und lange in einem Gebiet mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von 1 ppm Gehalt lebten, einen Wert von 1 μM an. Allgemein kann man sagen, dass der Blutwert numerisch mit dem Trinkwasserfluoridgehalt gleichgesetzt werden kann, wenn der Plasmawert in μM und der Wert für Wasser in ppm angegeben wird.

Während des Fluoridanstiegs im Plasma beginnt bereits die Ausscheidung durch die Niere. Die renale Clearance von Fluorid ist extrem hoch. Es gibt jedoch keinen Hinweis für eine aktive Sekretion. Ein Teil des ausgeschiedenen Fluorids wird tubulär reabsorbiert. Fluorid wird vermehrt ausgeschieden, wenn der Urin alkalisch ist. Bei relativ saurem Urin, wird ein beträchtlicher Teil rückresorbiert. So ist z.B. bekannt, dass bei einer vegetarischen Ernährungsweise der Urin alkalischer wird und dies die renale Clearancerate von Fluorid beeinflusst. Ebenso können Erkrankungen Einfluss auf den pH-Wert nehmen, z.B. bei der Azidose wird eine höhere Fluoridkonzentration im Plasma gefunden, als unter normalen Bedingungen. Dies bedeutet, dass bei einem Vegetarier weniger Fluorid für den Einbau in Knochen und Zähne zur Verfügung steht. Ausscheidungen in Urin und Einlagerung von aufgenommenem Fluorid in den Knochen sind innerhalb von 24 Stunden vollständig abgeschlossen.[14]

Bis zum Abschluss des Wachstums weist der menschliche Körper eine positive Fluoridbilanz auf, d.h. die Aufnahme von Fluorid ist größer als deren Ausscheidung. Sie ist durch die Zunahme der Skelettmasse bedingt, und die damit verbundene Zunahme von Fluorapatit. Beim Erwachsenen herrscht dann eine ausgeglichene Fluoridbilanz, d.h. es werden etwa 30 % des resorbierten Fluorids in den Knochen eingelagert, der gleiche Anteil jedoch auch wieder durch osteoklastische Tätigkeiten freigesetzt. Letztendlich wird also die gleiche Menge wieder ausgeschieden, die aufgenommen wurde.[18] Eine negative Bilanz wird in Phasen mit erhöhter Freisetzung und Ausscheidung des Fluorids erreicht. Dies ist dann der Fall, wenn in einem längeren Zeitraum hohe Fluoridkonzentration und somit hohe Einbauraten stattfanden.[2]

Für unsere Ernährung sind nur die anorganischen Verbindungen als Fluoride wichtig. Unser Körper enthält etwa 2 bis 5 Gramm Fluorid. Es gilt bisher nicht als essentielles Spurenelement, zumindest streiten die Wissenschaftler noch darüber, ob Fluorid für den Menschen lebensnotwendig ist. Schaut man sich die Funktion von Fluorid im Körper an, so spricht jedoch einiges für den essentiellen Bedarf.

In den Zähnen und in den Knochen befinden sich 95% des im Körper vorhandenen Fluorids, ohne das eine regelrechte Bildung von Körper und Zähnen nicht möglich wäre.[68] Auch bei Ratten konnte eine Wachstumsbeeinträchtigung bei Fluoridkarenz gezeigt werden. Die Wachstumsverzögerung stand in Abhängigkeit zur Höhe der Fluoridgabe.[55]

Als Zahnschmelz wird die äußere Schale des Zahnes bezeichnet. Er ist der Schutzmantel des Zahnes. Er wird in der präeruptiven Phase von Ameloblasten gebildet, die eine Schmelzmatrix ausbilden, die anschließend mineralisiert. Die während der Mineralisation stattfindende Kristallisation von Kalzium-Phosphat-Verbindungen und das anschließende Wachstum der Kristallite wird als präeruptive Schmelzreifung bezeichnet.[18]

In dieser Phase verbleiben die permanenten Zähne mehrere Jahre in der Zahnanlage innerhalb des Kieferknochens. In dieser Zeit akkumulieren sie beträchtliche Mengen Fluorid durch die Umwandlung des Hydroxylapatits in Fluorapatit in Anwesenheit ausreichender Fluoridkonzentrationen. Diese Umsetzung geht mit einer pH - abhängigen Herabsetzung der Löslichkeit einher.[1]

Nach dem Zahndurchbruch beginnt die posteruptive Phase der Schmelzreifung, Porositäten und fehlerhafte Stellen können weitestgehend ausgeglichen werden. Der Zahnschmelz kann während der gesamten Lebensdauer Fluorid aus der Mundhöhlenflüssigkeit einlagern, bzw. gegen Hydroxylionen austauschen.[1] Diese Fähigkeit ist insbesondere für die Regeneration des Zahnschmelzes im Bereich der Kariesprävention von Bedeutung.

Zahnschmelz hat eine besondere Härte. Er ist die härteste Substanz des Körpers. Die mittlere Dichte schwankt je nach Reifezustand zwischen 2,8 und 3,0 und die mittlere Härte liegt im Durchschnitt 250 KHN (Knoop-hardness-numbers) und 390 KHN.

Fluorid hat eine besondere Affinität zu Zahnhartgeweben. Es kommt daher während der primären Mineralisation und mehr noch während der präeruptiven Reifungsmineralisation zur Fluorideinlagerung in die Zahnhartgewebe.

Dabei wird Fluorid vornehmlich in das Kristallgitter des Hydroxylapatits eingebaut. Durch den präeruptiven Einbau von Fluorid in die Schmelzkristallite wird das Kristallgitter stabiler und die Schmelzlöslichkeit gegenüber Säuren wird herabgesetzt, d.h., die Zahnhartsubstanzen werden widerstandsfähiger gegenüber kariösen Attacken.

Bei frisch durchgebrochenen Zähnen findet man an der Schmelzoberfläche die höchste Fluoridkonzentration. Sie nimmt zu den inneren Schmelzbereichen hin ab und steigt zur Schmelz-Dentingrenze hin wieder an.

Nach Zahndurchbruch kann durch lokale Fluoridierungsmaßnahmen die Fluoridkonzentration an der Oberfläche der touchierten Zahnhartgewebe (normalerweise des Zahnschmelzes) weiter zunehmen, um somit die Kariesresistenz zu erhöhen.[18] [56]

Fluoride haben eine nachweislich karieshemmende Wirkung, die schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts vermutet wurde. Diese Wirkung beruht auf folgenden Faktoren: Die in der Plaque befindlichen Bakterien produzieren organische Säuren die zwischen die Schmelzprismen diffundieren und dabei Apatitkristalle anlösen oder auflösen.

Die Absenkung der Wasserstoffkonzentration durch die gebildeten Säuren auf einen pH-Wert von fünf verhindert eine Remineralisierung des Schmelzes, da die Hydroxylionenkonzentration 10^{-9} Mol/Liter beträgt bei dem pH-Wert fünf und das Löslichkeitsprodukt und das Löslichkeitsprodukt des Hydroxylapatits bei dem pH-Wert fünf nicht überschritten werden kann.

Es kann also keine Remineralisierung mit Hydroxylapatit erfolgen. Treten an die Stelle der Hydroxylionen Fluoridionen, so kommt es in Folge des kleineren Löslichkeitsproduktes des Fluorapatits trotz des sauren Plaquemilieus zu einer Remineralisierung des Schmelzes, deren Geschwindigkeit in den meisten Fällen größer ist, als die des Auflösungsprozesses. Somit verschiebt sich das Verhältnis von Entmineralisierung zu Remineralisierung zugunsten der Remineralisierung. Somit tritt keine Karies auf.[1]

Zu Beginn des kariesprophylaktischen Einsatzes von Fluorid wurde vermutet, dass die kariespräventive Wirkung der Fluoride auf dem präeruptiven Fluorideinbau in die Zahnhartsubstanz beruht. Mittlerweile ist jedoch bekannt, dass sich die kariespräventive Wirkung von Fluoriden überwiegend nach dem Zahndurchbruch an der Zahnoberfläche entfaltet. So wird die Kariesreduktion in den westlichen Industrienationen auf die weite Verbreitung fluoridhaltiger Zahnpasten zurückgeführt.[15]

3.4 Überdosierung bei der Kariesprophylaxe und ihre Folgen

Die positiven Effekte der Fluoridanwendung zur Kariesprophylaxe sind unbestritten. Die gesundheitlichen Nebenwirkungen des Fluorids sind auch nach langjährigen Beobachtungen zu vernachlässigen.

Als einziges relevantes gesundheitliches Problem bleiben fluorotische Veränderungen am Schmelz bleibender Zähne.[8] Die Pathogenese dieser Schmelzveränderungen sind nur annähernd bekannt. Werden Ameloblasten in ihrer sekretorischen Phase in vitro mit Fluordosen zwischen fünf und fünfzig ppm konfrontiert verlangsamen oder unterbrechen sie ihre Matrixsekretion und akkumulieren vakuol und granular die möglicherweise die aufgehäuften Schmelzmatrix enthalten.[32]

Jede Fluoraufnahme verursacht ein vorübergehendes Absinken des Kalzium- und Phosphatspiegels im Serum.[30] Bei akuter Fluoridintoxikation entsteht eine hypermineralisierte Zone während die Kalziumkonzentration absinkt. Während des langsamen Wiederanstiegs der Kalziumkonzentration entsteht eine hypomineralisierte Zone. Das Wechselspiel zwischen hyper- und hypomineralisierter Zone ist ein natürlicher Vorgang, dessen Mechanismus sich auch auf das Dentin auswirkt. Bei chronischem Fluorid-Überangebot werden die hypomineralisierten Schmelzbereiche immer größer. Die sichtbare Schmelzfluorose (Pitting - Oberflächendefekte) werden im Kristallgitter angelegt, jedoch erst sichtbar posteruptiv durch mechanische Abnutzung.[51]

Die Häufigkeit dieser Schmelzflecken hängt von der Menge und der Häufigkeit des in den Körper aufgenommenen Fluorids ab.[47]

Fluorosen sind typische Überdosierungsfolgen die im Kindesalter angelegt werden. Zahnfluorose kann nur entstehen, wenn Fluoride in erhöhtem Maße während der Zahn- und Schmelzbildungsphase aufgenommen werden; insbesondere sollte eine schlecht kontrollierte Fluoridzufuhr vor dem Alter von 5 Jahren vermieden werden.[59] Eine Überdosierung ist dann erreicht, wenn 100 µg/kg Körpergewicht/Tag und mehr Fluorid bis zum Alter von 8 Jahren zugeführt wird. Dann kommt es zu bleibenden Zahnschmelzflecken (Fluorosen). Das bedeutet z.B., dass bei einem Körpergewicht von 30 kg und Trinkwasser von 3 mg/l Fluoridlast und einer Wasseraufnahme von 1 l/Tag Fluorosen zu erwarten sind.

Bei weit höherer Zufuhr kommt es dann sogar zu braunen Verfärbungen. Bei langjähriger (10-20 Jahre) hoher Fluoridaufnahme (10-25 mg/Tag) kann eine Skelettfluorose auftreten, mit Knochen und Gelenkveränderungen. Nach extrem hohen Fluoridaufnahmen (300-600 mg/Tag) über mehrere Monate wurden Nierenschäden beobachtet.[57]

Fluorose an bleibenden Zähnen ist in Deutschland ein seltenes Problem. Dennoch müssen sich Zahnärzte und Kinderärzte damit beschäftigen, um sinnvolle Empfehlungen zur Fluoridprophylaxe geben zu können.[47]

Es gibt unterschiedlichste Formen der Fluoridzufuhr. Zunächst über die Nahrung in Form von speziell fluoridiertem Salz, zusätzlich über das Trinkwasser, bei dem es spezielle Mineralwässer gibt, die als „fluoridhaltig“ bezeichnet werden. Früher regelmäßig während der Schwangerschaft und der Stillzeit bis ins Kindergartenalter verabreicht wurden so genannte Fluoretten, von denen man nach den neuesten Stellungnahmen der Deutschen Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) jedoch Abstand gewinnen sollte. [58]

Karies ist eine volksgesundheitlich und volkswirtschaftlich bedeutende Erkrankung. Somit bekommt die Kariesprävention eine besondere Bedeutung.[47] Als die drei Eckpfeiler der Kariesprävention sind bekannt:

- eine ausgewogene Ernährung,
- eine zweckmäßige Zahn- und Mundpflege, sowie
- die lokale Applikation von Fluoriden.

Es hat sich in zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre herauskristallisiert, dass Fluoride in erster Linie durch direkten Kontakt mit der Zahnhartsubstanz karieshemmend wirken.[53]

So ist aus zahnmedizinischer Sicht vor dem 6. Lebensmonat keine Fluoridierungsmaßnahme erforderlich. Bei Durchbruch der ersten Milchzähne sollten die Eltern allerdings dazu übergehen, diese einmal am Tag mit ein wenig Kinderzahnpaste zu putzen.

Ab dem 2. Geburtstag sollten die Milchzähne bereits zweimal am Tag geputzt werden. Neben dem karies- und gingivitisprophylaktischen Effekt gewöhnt sich das Kind schon frühzeitig an die entsprechende Mundhygiene.

Als weitere systemische Supplementierung von Fluoriden wird fluoridiertes Speisesalz empfohlen. Weitere Supplemente sind im Regelfall nicht mehr notwendig.

Wenn keine lokale Fluoridierung mit Zahnpasta durchgeführt wird und auch kein fluoridiertes Speisesalz verwendet wird, können Fluoridtabletten zum Einsatz kommen.

Alter	Fluoridkonzentration des Trinkwassers, mg/l		
	<0,3	0,3-0,7	>0,7
0-6 Monate	--	--	--
6-12 Monate	0,25	--	--
ab 1- unter 3 Jahren	0,25	--	--
ab 3- unter 6 Jahre	0,5	0,25	--
> 6 Jahre	1,0	0,5	--

Tabelle 1 : Empfehlung zu Fluoridierungsmaßnahmen

Im Rahmen der kinderärztlichen Vorsorgeuntersuchungen und bei zahnärztlichen Kontrollen sollten die Eltern über die Bevorzugung der lokalen Applikation gegenüber der systemischen Fluoridierung aufgeklärt werden.

Bei Empfehlung zur systemischen Fluoridapplikation muss jedoch gewährleistet sein, dass die empfohlene Tagesdosis nicht überschritten wird. Hier ist eine individuelle Fluoridanamnese zu erheben, in der auch Sojanahrung, hypoallergene Nahrungsmittel, bilanzierte Diäten, Mineralwässer zur Herstellung von Säuglingsnahrung und evtl. auch andere fluoridhaltige Nahrungsmittel Berücksichtigung finden müssen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Salzfluoridierung, die nur in der Kombination fluoridiertes und jodiertes Salz erhältlich ist, eine hervorragende Möglichkeit ist, die Fluoridaufnahme der Bevölkerung auf einen Wert anzuheben, der kariesprophylaktisch bedeutsam ist. Salzfluoridierung in einer Konzentration von 350 mg/kg führt nicht zu einer überhöhten Fluoridaufnahme und ist gesundheitlich unbedenklich. Zwei Gesichtspunkte sollten jedoch berücksichtigt werden.

- Es sollten immer nur eine Form von systemischer Fluoridsupplementierung erfolgen (Fluoridtabletten oder Fluoridsalz oder fluoridreiches Mineralwasser)
- Zusätzlich zur Verwendung von fluoridhaltigem Speisesalz soll ab dem Durchbruch der ersten Zähne eine fluoridhaltige Kinderzahnpaste (Fluoridkonzentration <500 ppm) entsprechend den Empfehlungen zur Kariesprophylaxe der DGZMK vom 27.03.2000 verwendet werden.[16]

Fluoridhaltige Mundspüllösungen jedoch sollten für Kinder unter 6 Jahren nicht verwendet werden, da es häufig zum Verschlucken kommen kann und so die Fluorid- und Alkoholzufuhr unkontrollierbar erhöht wird.[4]

4. Problemlage der vorgelegten Untersuchung

4.1 Geologischer Zusammenhang zur Fluoridkonzentration

Ende 1998 teilte das geologische Landesamt NRW mit, dass aufgrund von Untersuchungen festgestellt worden sei, dass im Bereich des Emscher Mergel's (Gesteinsformation) erhöhte Fluoridkonzentrationen im Grundwasser analysiert wurden. Fluorid ist in der Natur weit verbreitet und in allen Gewässern zu finden, wenn auch die Konzentrationen des Fluorids recht unterschiedlich sind. Aufgrund der oben geschilderten Erkenntnisse hat das Kreisgesundheitsamt Soest damals sämtliche in den in Frage kommenden Gebieten befindliche Betreiber von Eigenwasserversorgungsanlagen über die Problematik informiert. Des Weiteren wurden Wasseranalysen auf den Fluoridgehalt hin gefordert. Daraufhin wurden in den Jahren 1999 und 2000 circa 1500 Trinkwasseranalysen auf Fluorid durchgeführt. Lediglich in zwei Anlagen wurden leichte Grenzüberschreitungen festgestellt. Die Betreiber der Eigenwasserversorgungsanlagen, in denen die erhöhten Gehalte an Fluorid festgestellt wurden, sind individuell informiert und aufgeklärt worden.[41]

Das in der vorgelegten Arbeit untersuchte Gebiet im Raum Gütersloh wird von der Bodenformation Emscher Mergel teilweise durchzogen. Es wurden im untersuchten Gebiet vergleichsweise, in Relation zur Zahl der untersuchten Brunnen als auch absolut, mehr Brunnen mit erhöhten Fluoridwerten gefunden, auch über die Grenzen des Emscher Mergels hinaus.

4.2 Fluoride – Wasseruntersuchungen im Raum Gütersloh

Im Raum Gütersloh gibt es noch annähernd 17.500 Trinkwassereigenanlagen. Vor allem in den ländlicheren Gegenden zwischen Rheda-Wiedenbrück und Gütersloh (GT/Rheda) sind Bauernhöfe und verstreut liegende Haushalte in großer Zahl auf eine Eigenwasseranlage angewiesen, wenn dort ein Anschluss an das öffentliche Wassernetz nicht vertretbar oder nur mit hohen Kosten durchzuführen wäre.

Das öffentliche Wassernetz der Region (Gelsenwasser AG) bezieht sein Wasser aus der Talsperre Haltern und der Talsperre Hullern. Durch die intensive Wasseraufbereitung bleibt die Wasserqualität annähernd konstant und innerhalb der gesetzlichen Vorgaben. Private Trinkwasserbrunnen hingegen unterliegen viel mehr den lokalen Boden- und Umweltverhältnissen, die sich direkt auf das Trinkwasser auswirken können, da Filter- und Aufbereitungsanlagen für einen Privathaushalt viel zu teuer sind. Die Wasserinhaltsstoffe können somit entsprechend starken Schwankungen unterliegen.

So haben z.B. flache ($\leq 10\text{m}$) Brunnen, die es im Bereich GT/Rheda durchaus gibt, die Problematik der zu hohen Nitratwerte, die durch überhöhte Düngung umliegender Felder verursacht sind. Tiefere Brunnen ($> 30\text{m}$), die in privaten Trinkwasseranlagen häufiger anzutreffen sind, haben fallweise zusätzlich die Problematik der Fluoride, für die es keine Aufbereitung gibt.

Bei privaten Trinkwasseranlagen ist es nicht vorgeschrieben, im Rahmen der Routineuntersuchung auf Fluoride zu testen. Die periodischen Untersuchungen können vom Gesundheitsamt um Werte erweitert werden, wenn ein Bedarf besteht. So ist die Untersuchungsliste individuell auf die Umgebung abgestimmt. Folgende chemische Parameter sind im Raum Gütersloh periodisch zu untersuchen:

• Nitrat	• Eisen
• Nitrit	• Ammonium
• Natrium	• Mangan
• Kalium	• Chlorid
• Calcium	• m-Wert
• Magnesium	• pH
	• Leitfähigkeit

Tabelle 2: chemische Untersuchungsparameter im Raum Gütersloh

Diese Untersuchungen müssen alle drei Jahre erfolgen sofern keine Aufbereitungsanlage installiert ist, ansonsten ist eine jährliche Untersuchung verpflichtend.[63]

Bis vor einiger Zeit hat das Gesundheitsamt Gütersloh ein Schreiben herausgegeben (s. Anhang), das eine Untersuchung auf Fluoride empfiehlt, welches heute jedoch nicht mehr den Untersuchungsaufforderungen beigelegt wird.

5. Zielstellung der Untersuchung

Für den Fluoridgehalt im Brunnenwasser sind die Beschaffenheit des Untergrundes und dessen hydrogeologische Umgebung maßgebend. Auch die Tiefe des Brunnens kann entscheidend für die Wasserbeschaffenheit des Trinkwassers sein. Die Verteilung der Fluoridkonzentrationen in privaten Trinkwasserbrunnen im Untersuchungsgebiet soll festgestellt werden, um Gemeinsamkeiten und Zusammenhänge im geologischen Bereich aufdecken zu können.

Außerdem werden wasseranalytische Messungen durchgeführt zur Bestimmung der Fluoridgehalte und darüber hinaus einer Reihe von Ionenkonzentrationen, wie auch Leitfähigkeit, pH-Wert und m-Wert, um mögliche Begleitparameter zu finden, die ohne die unmittelbare Kenntnis des Fluoridgehaltes Rückschlüsse auf dessen Höhe erlauben.

Aus zahnmedizinischer Sicht sind vor allem die Fluoridwerte über 1,5 mg/l (Grenzwert der Trinkwasserverordnung) interessant. Fluoride werden nicht bei den vom Gesundheitsamt verlangten Untersuchungen berücksichtigt. Fluoride haben neben einer protektiven, antikariogenen Wirkung in zu hohen Dosen sehr wohl auch schädliche Wirkung auf Zähne und das Skelett. Daher ist die Kenntnis der Fluoridgehalte in den privaten Anlagen vor allem bei Familien mit Kindern von Bedeutung. Da eine zusätzliche Untersuchung auf Fluorid erhöht kostenpflichtig ist, soll es Ziel dieser Arbeit sein, Hinweise aus den ohnehin nötigen Untersuchungen und den Gegebenheiten wie Brunntiefe und Ort auf eine mögliche erhöhte Fluoridkonzentration im Trinkwassern aufzuzeigen.

6. Auswahl der Probenorte

6.1 Beschreibung des untersuchten Gebietes

Im Raum Gütersloh und Umgebung befinden sich vergleichsweise viele private Trinkwasseranlagen. Nur ein Teil dieses Gebietes konnte in dieser Arbeit Berücksichtigung finden. Die Verteilung privater Brunnenanlagen für die Trinkwassernutzung ist auch durch die vielfach flächendeckende Reichweite der öffentlichen Wasserversorgung beeinflusst. Im Einzelnen sind jedoch auch dort private Trinkwasseranlagen zu finden, wo die öffentliche Versorgung möglich wäre. Die privaten Trinkwasseranlagen sind bestehen geblieben im Hinblick auf die Kostenlage und die demgegenüber vielerorts gute Grundwassersituation.

Das in der hier vorgelegten Arbeit untersuchte Gebiet betrifft den Bereich um Gütersloh und erstreckt sich vom westlichen Rand Rheda-Wiedenbrücks bis Verl (Ost) und von Harsewinkel bzw. Ummeln (Nord) bis Bauernschaft Steppentrup zu Rheda-Wiedenbrück (Süd). Insgesamt war eine Fläche von ca. 440 km² einbezogen. Der Emscher Mergel reicht auslaufend in einen Teil des Bereiches Rheda-Wiedenbrück hinein, weshalb das Gebiet interessant für Untersuchungen wurde hinsichtlich der Fluoride und begleitender Parameter in Trinkwasserbrunnen.

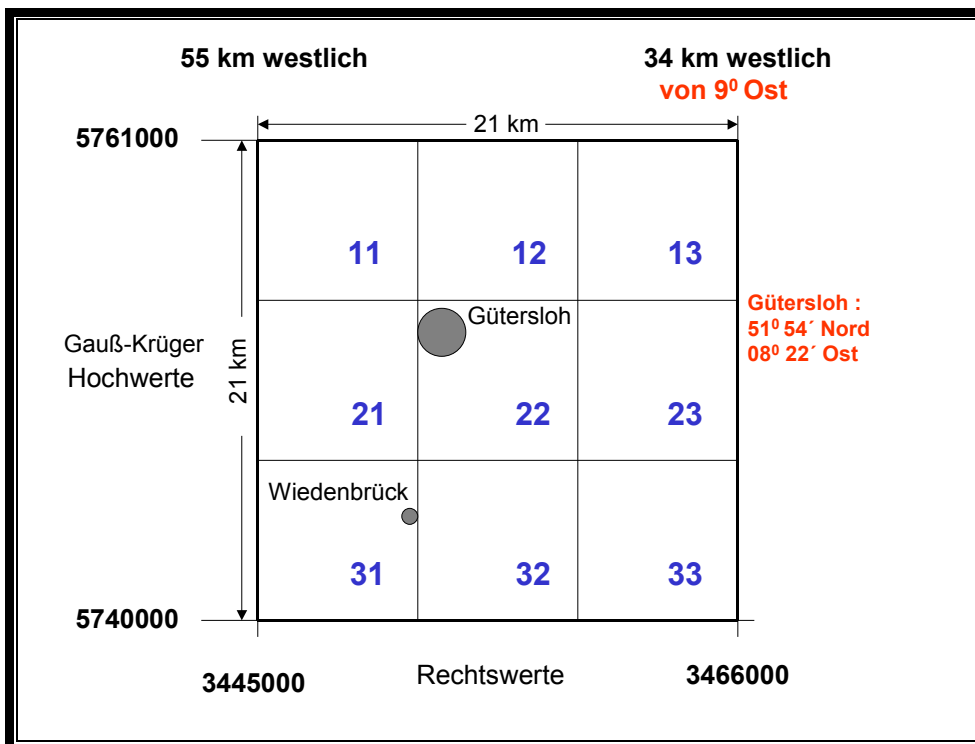
Gliederung des Untersuchungsgebietes

Das Gebiet ist umgrenzt von gerundeten Gauß-Krüger-Koordinaten im Süden durch den Hochwert 5740000, das entspricht der Breitengradangabe 51° 39,6' Nord und im Norden durch den Hochwert 5761000, das entspricht einer Ausdehnung des Untersuchungsgebietes in Richtung Süd-Nord von 21km. Die westliche Begrenzung beschreibt der Rechtswert 3466000, das entspricht einem Meridian 55km westlich des Längengrades 9° Ost. Im Osten begrenzt der Rechtswert 3445000, das entspricht einer Ausdehnung des Untersuchungsgebietes in Richtung West-Ost von ebenfalls 21km.

Die Umrandung des Untersuchungsgebiet umfasst mit gerundeten Hoch- und Rechtswerten sowohl den nördlichsten wie den südlichsten als auch den am weitesten westlich wie den weitest östlich gelegenen Brunnenort aus dem eine Probe entnommen wurde.

Die Abbildung 3 zeigt schematisch die Lage und Gliederung des je zweifach unterteilten quadratischen Untersuchungsgebietes zur **Stadt Gütersloh** und die Benennung der 9 Teilgebiete mit einer Seitenausdehnung von, rechtwinklig gesehen, beidseitig je 7km.

Abbildung 3: Lage und Gliederung des Untersuchungsgebietes



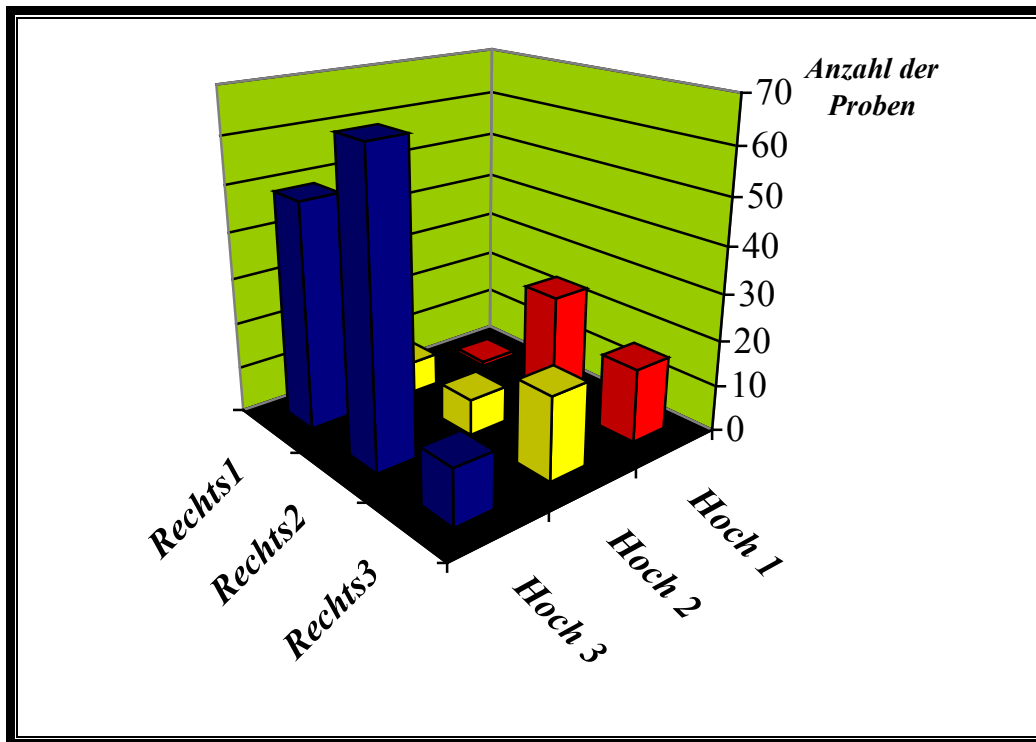
6.2 Testproben zur Bestimmung der räumlichen Verteilung

In einer ersten Studienphase wurde zunächst das Untersuchungsgebiet zur Erkundung der räumlichen Verteilung in 9 gleich große Bereiche unterteilt und darin jeweils repräsentativ für den Teilbereich von je ca. 50 km² und nach zufälliger Auswahl in größeren räumlichen Abständen 7 Anwohner aufgesucht, die einen privaten Brunnen für den Trinkwasserbedarf nutzen (Eigenwasseranlage). Es wurde eine Wasserprobe entnommen und vor Ort die elektrische Leitfähigkeit bestimmt. Hierbei wurde zunächst unterstellt, dass eine hohe Leitfähigkeit als Hinweis auf einen entsprechend hohen Fluoridgehalt näherungsweise benutzt werden kann.

6.3 Verdichtete Probennahme bei hoher Leitfähigkeit

Nachdem auch der Fluoridgehalt der ersten 50 Proben parallel bestimmt war, wurden in einer zweiten Studienphase bei höheren Werten der Leitfähigkeit aber vor allem des Fluoridgehaltes in einem Teilbereich in näherer Nachbarschaft der Testanlagen aus der ersten Studienphase weitere Bauernhöfe oder Haushalte mit Eigenwasseranlagen aufgesucht. Auf diese Weise wurden insgesamt 200 Wasserproben gezogen, die insgesamt eine größere Breite des Fluoridgehaltes abdecken und damit eine gefestigte Chance bieten zur Aufdeckung von Abhängigkeiten zu anderen Parametern. Nach dieser Maßgabe ergibt sich - abweichend zur ersten Studienphase - eine ungleichmäßige Probenverteilung auf die 9 Teilgebiete:

Abbildung 4 : Darstellung der Probenverteilung auf Teilgebiete



Die Probenzahlen im Einzelnen sind in der folgenden Tabelle 3 zu entnehmen.

Anzahl:			
	Rechts1	Rechts2	Rechts3
Hoch 1	1	24	16
Hoch 2	7	8	18
Hoch 3	49	65	12

Tabelle 3: Zahl der Proben im Teilgebiet

In den zwei Teilgebieten mit den höchsten Probenzahlen (Rheda-Wiedenbrück und südöstlich davon) weist die geologische Karte des Untergrundes in Abweichung zu den übrigen Teilgebieten in weiten Bereichen die Bodenformation „Emscher Mergel“ aus.

Hydrogeologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Raum Gütersloh gehört zum südöstlichen Teil des Münsterländer Kreide-Beckens, der Westfälischen Tieflandsbucht.[29] Das Münsterländer Becken, an dessen östlichen Rand das Untersuchungsgebiet im Gebiet des Oberlaufes der Ems liegt, ist ein großes artesisches Becken mit mächtiger karbonatischer Sedimentfüllung. Der bereichsweise viele 100m dicke Emscher Mergel überlagert darin klüftiges Kalkgestein der Oberkreide, das an den Beckenrändern ausstreicht. Der Kluftraum ist nicht mit Süßwasser gefüllt, sondern mit stark salzhaltigem Grundwasser (Sole), und über diesem liegt das Untersuchungsgebiet im Einzugsgebiet der Ems.

Bei hydrogeologischer Betrachtungsweise ist auf die „Ems-Urrinne“ abzustellen. Das Talgebiet der Ems ist ursprünglich betrachtet „das mit quartären Lockersedimenten aufgefüllte präsaalezeitliche Stromtal der Ems, das von Ostsüdost nach Westnordwest sowohl in altpleistozäne Ablagerungen wie auch in die Dachfläche der den Untergrund bildenden Festgesteine der Oberkreide eingetieft worden ist.“ Sie wird im Bereich Gütersloh im Nordosten (außerhalb des Untersuchungsgebietes) vom Teutoburger Wald begleitet. Das Untersuchungsgebiet wird durch das Talgebiet der Ems in genannter Richtung durchquert.

Das quartäre Lockergestein ist grundwasserreich (Süßwasser). Das Grundwasser strömt in seiner Generalrichtung horizontal in Richtung der Ems. Brunnen zur Trinkwassergewinnung durch öffentliche Wasserversorger haben Tiefen von etwa 20 bis 25m Tiefe. Die chemische Beschaffenheit des Wassers wird insbesondere durch die Beschaffenheit des Aquifers bestimmt, in dem sich das Grundwasser aufhält oder welches es durchfließt. Flachere Brunnen können durch Einfluss des Oberflächenwassers z.B. Nitrate enthalten.

Die Grenze zwischen tiefem Salzwasser (Sole) und dem mehr oberflächennahen Süßwasser liegt im Raum Gütersloh – Ummeln etwa 60 – 70 m unter Geländeoberfläche.

Im Grunde ist von einer mehr oder weniger ausgedehnten Grenzzone zu sprechen. Sie ist dort nur etwa 10 bis 30 m tief. Die Hydrodynamik zwischen Salzwasser und Süßwasser ist eine Besonderheit des Gebietes und nimmt stellenweise Einfluss auf die Inhaltsstoffe des Wassers auch in der Tiefe privater Trinkwasserbrunnen.

Der unterschiedlich starke Grenzbereich wird häufig bestimmt durch schluffige, tonhaltige Einlagerungen oder durch mehr oder weniger tonhaltige Gesteine. Einerseits können stellenweise durch Spalten und Klüfte Mischwasser durch Konvektion entstehen. Mit geringer werdender Tiefe nimmt die Konzentration der Tiefenwässer ab. Andererseits kommen in weniger klüftigen Bereichen Austauschprozesse langsamer voran und hydrochemische Vorgänge verändern die gelösten Bestandteile des Wassers mit geringerer Tiefe. Es ist mit kleinräumig unterschiedlicher Beschaffenheit des Grundwassers im Tiefenbereich privater Trinkwasserbrunnen zu rechnen.

7. Material und Methode bei der Bestimmung der Fluoride und weiterer Parameter

7.1 Probennahme

Die Probennahmen und Analysen der ganzen Versuchsreihe wurden innerhalb eines Zeitraums von 2 Monaten durchgeführt.

Aus einem von den jeweiligen Besitzern häufig genutzten Wasserkran wurden jeweils ca. 300 ml Trinkwasser jeweils nach einer Vorlaufzeit von ca. 60 Sekunden entnommen. Bei der Probennahme und anschließender Aufbewahrung wurden Gefäße aus Polypropylen und nicht aus Glas verwendet, um eine Komplexbildung aus Fluorid und dem in einer aus Glas bestehenden Gefäßwand enthaltenen Silizium zu vermeiden. Die Gefäße wurden sofort nach Probenentnahme lösbar verschlossen und kühl gelagert. Die Lagerung erfolgte bei Kellertemperatur und anschließend im Kühlschrank. Die Proben wurden schnellstmöglich analysiert.

7.2 Fluoride

Funktionsweise

Die Fluorid-Konzentration in Wasser wird über das Elektropotential einer speziellen Sonde in eingestellter Probe im Vergleich zu Standardlösungen bestimmt.

Messmethodik

Fluoride können -abgesehen vom Hydroxidion- auch Komplexe mit polyvalenten Kationen wie Silizium (Si^{4+}), Aluminium (Al^{3+}) und Eisen (Fe^{3+}) bilden. Das Ausmaß der Komplexbildung wird von der Konzentration der Komplexbildner, der Gesamtfluoridkonzentration, dem pH-Wert der Lösung und der Gesamtionenstärke bestimmt.

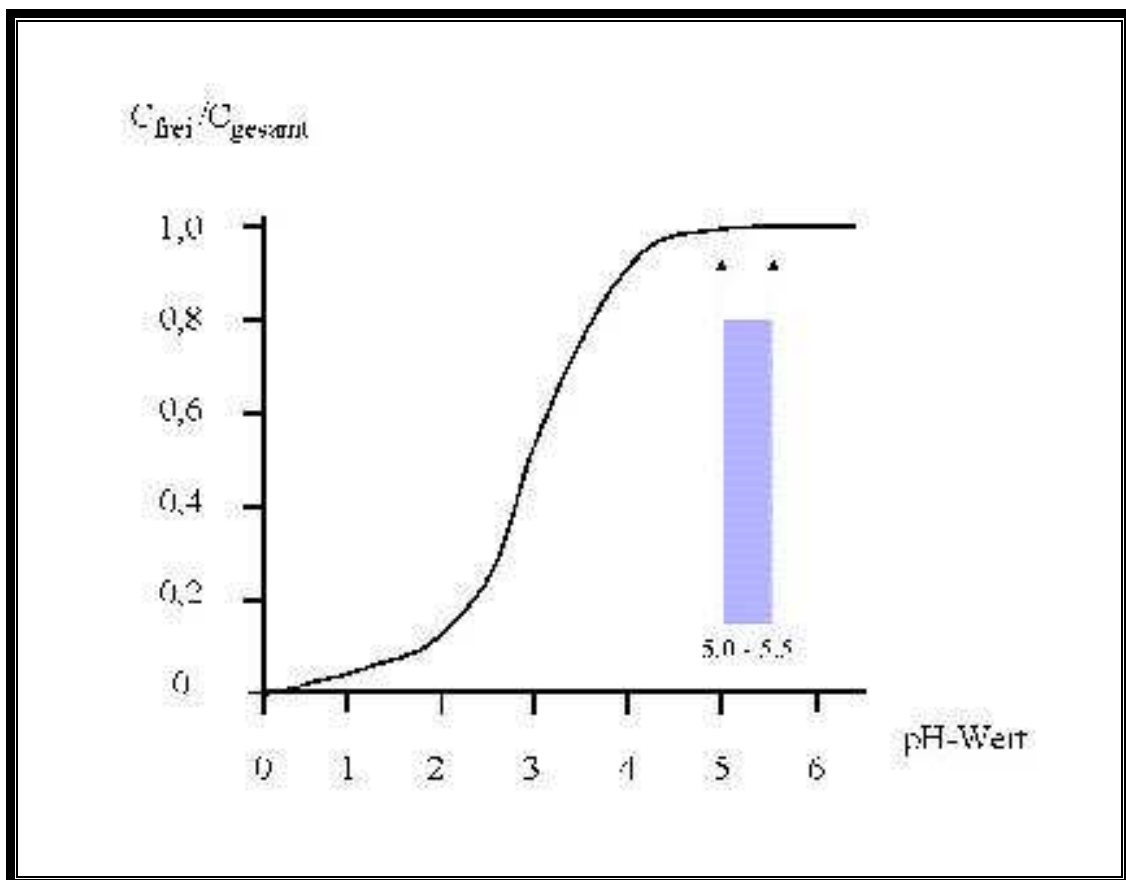
Liegt das Fluorid in Form dieser Komplexe vor, wird die Messung verfälscht. Um dies zu verhindern wird für ein geeignetes Milieu gesorgt, in dem diese Komplexe, sofern vorhanden, weitgehend zerstört werden und die Wasserprobe auf eine festgelegte Gesamtionenstärke eingestellt ist.

Diesen Effekt leistet die Zugabe eines „Gesamt-Ionen-Stärke-Einstell-Puffers“ (TISAB = Total Ionic Strength Adjustment Buffer) zur Wasserprobe. Die TISAB-III-Lösung enthält Eisessig (Essigsäure mit mindestens 96% p.a.) und Cyclohexylen-(1,2)-Dinitrolo-Tetra-Essigsäure (CDTA), aufgefüllt mit Aqua dest. bei eingestelltem pH-Wert. Das Reagenz CDTA bricht vorzugsweise die Komplexe auf, die Fluorid mit Aluminium und Eisen bildet.

Der Einfluss der Komplex-Bildung durch Hydroxid wird durch Einstellung des pH-Wertes der Lösung mit 5M NaOH auf einen Bereich über pH 5 eliminiert.

Abbildung 5 zeigt den Anteil freier Fluoridionen ($C = \text{Konzentration}$) in Abhängigkeit des pH-Wertes einer Lösung, wenn nur Wasserstoffionen Komplexe bilden.[6]

Abbildung 5: Abhängigkeit von pH-Wert zum Anteil freier F-Ionen



Die Elektrodenansprechgeschwindigkeit auf Fluorid wird durch das Hydroxidion gestört, wenn dessen Menge größer als 1/10 der vorhandenen Fluoridionen ist.

In zu sauren Lösungen komplexieren Wasserstoffionen einen Teil der Fluoridionen, indem sie undissoziierte Säure HF und das Ion HF_2^- bilden. Um diesen Effekt hinreichend klein zu halten, muss der pH-Wert knapp unter pH 7 liegen optimaler pH 5,0-5,5.

Bei der hier beschriebenen Fluoridbestimmung über ein Elektrodenpotential stören die gewöhnlich neben Fluorid vorkommenden Kationen und die meisten Anionen (z.B. Cl^- , Br^- , J^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{3-} und Acetat) die Elektrodenfunktion nicht. Die benutzte Fluoridbestimmung in den Wasserproben funktioniert insoweit selektiv.

Aufbereitung der Wasserproben

Die Aufbereitung der Wasserproben wird bei Raumtemperatur durchgeführt.

Zu einer Wasserprobe von 20ml werden 2ml TISAB III zugegeben. Der pH-Wert ist zwischen 5,5 und 5,5 eingestellt (vgl. Abbildung 5).

Durch die Zugabe von TISAB III zu den Proben (und zu den Standards, siehe unten) werden zwei Messvoraussetzungen erfüllt. Zum einen wird ein konstanter Ionen-Hintergrund zum Dekomplexieren von Fluorid erreicht und zum anderen der pH-Wert der Lösungen angepasst. Der pH-Wert im eingestellten Bereich verhindert Störungen durch Hydroxidionen und Bildung von Hydroxidkomplexen des F^- . [6]

Verwendete Messgeräte

Die Messungen wurden mit der Orion Fluorid-Elektrode (Typ 96-09) durchgeführt. Hierbei handelt es sich um selektiv fluoridsensitive Elektrode, deren Hauptbestandteile, eine Lanthan-Fluorid-Einkristallmembrane und eine innere Referenzableitung, von einem Epoxy-Schutzmantel umgeben sind. Dieser Kristall ist ein Ionenleiter, in dem nur Fluoridionen beweglich sind. Bei Kontakt mit fluoridhaltigen Lösungen bildet sich an der Membran ein Ionenpotential, das von der Konzentration der freien, in der Lösung befindlichen Fluoridionen abhängt, wenn störende Einflüsse hinreichend beseitigt sind.

Dieses Potential wird gegen ein externes konstantes Referenzpotential mit einem Digital-pH/mV-Meter gemessen.

Durchführung der Messung

Die Messung der Proben und Standards erfolgte in klimatisierten Räumen, denn das Elektrodenpotential wird durch Temperaturveränderung beeinflusst. Die Proben- und Standardlösungen sollten die gleiche Temperatur aufweisen, da bereits ein Temperaturunterschied von 1 °C einen Messfehler von 2% verursacht.[6]

Zu Beginn der Messung wurde die Elektrode mit äquitransferenter Fülllösung (Orion Referenz Electrode Filling Solution) beschickt und an den Orion Mikroprozessor Ionanalyser 901, ein Digital-pH/mV Meter, angeschlossen.

Zunächst erfolgte die Messung der Standards in steigender Konzentration. Vor der eigentlichen Festlegung der Messwerte bei der Messung muss eine hinreichende Wartezeit zur Einstellung des Gleichgewichtes eingehalten werden.[12] Bei der Messung der Standards wurde die Elektrode für jeweils fünf Minuten in der Lösung belassen.

Während der Einstellzeit der Proben und Standards wurde mit Magnetrührer für eine sanfte Durchmischung gesorgt. Strudel wurden vermieden, um Störungen der Messung durch Wärmebildung zu begegnen.

Zwischen den Messungen war die Elektrode mit destilliertem Wasser abgespült und mit sauberem Filterpapier getrocknet worden, um Verschleppungsfehler zu vermeiden.

Die gemessenen Elektrodenpotentiale der Standardlösungen bilden die Stützpunkte der Eichkurve. Diese ist auf halblogarithmischem Papier erstellt worden, um den Verlauf der NERNST'schen Gleichung, die der Zuordnung zugrunde liegt, zu linearisieren. Die Elektrodenpotentiale der Standardlösungen wurden entsprechend auf der linearen Achse gegen die Konzentration auf der logarithmischen Achse aufgetragen und linear interpoliert. Durch die Wahl der drei Konzentrationen der Standardlösungen in Zehnerpotenzen ergeben sich drei äquidistante Stützpunkte einer Geraden, was auch direkt aus der Nernst-Gleichung ablesbar ist. Für die zu analysierenden Wasserproben konnten damit nach der Messung der Potentiale der Proben über diese Eichkurve die entsprechenden Werte der Fluoridkonzentration in ppm F⁻ ermittelt werden.

7.3 Leitfähigkeit

Funktionsweise

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit von natürlichen Wässern erfolgt mit speziellen Eintauch-Messzellen (-Sonden) im Rahmen von dafür ausgelegten Leitfähigkeitsmessgeräten. Sie arbeiten mit gekoppelter Temperaturanzeige und integrierter Temperaturkompensation zur Bezugstemperatur von 25 °C und einstellbarem Temperaturkoeffizienten.

Durchführung der Messung

Die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit wurde als Führungsgröße zuerst und direkt vor Ort vorgenommen.

Unverzüglich – innerhalb weniger Minuten – nach Probennahme wurde eine Teilmenge der Probe in ein sauberes schlankes Gefäß gefüllt. Das mit Aqua dest. abgespülte, lufttrockene Messgerät wurde in das Gefäß getaucht, das Ergebnis abgelesen und in einen Fragebogen (s. Anhang) eingetragen.

Der Fragebogen bezeichnet den Brunnen (Brunnenart, Tiefe, Koordinaten) und trägt das Datum und die Probennummer.

Mit Rücksicht auf die unterschiedlichen Verhältnisse vor Ort wurde die Leitfähigkeit später im Labor erneut gemessen und mit dem Wert im Fragebogen verglichen. Wenn sich der Wert hinreichend bestätigte, wurde der Wert im Fragebogen belassen. Es wurden keine im Rahmen der vorgelegten Arbeit groben Abweichungen festgestellt.

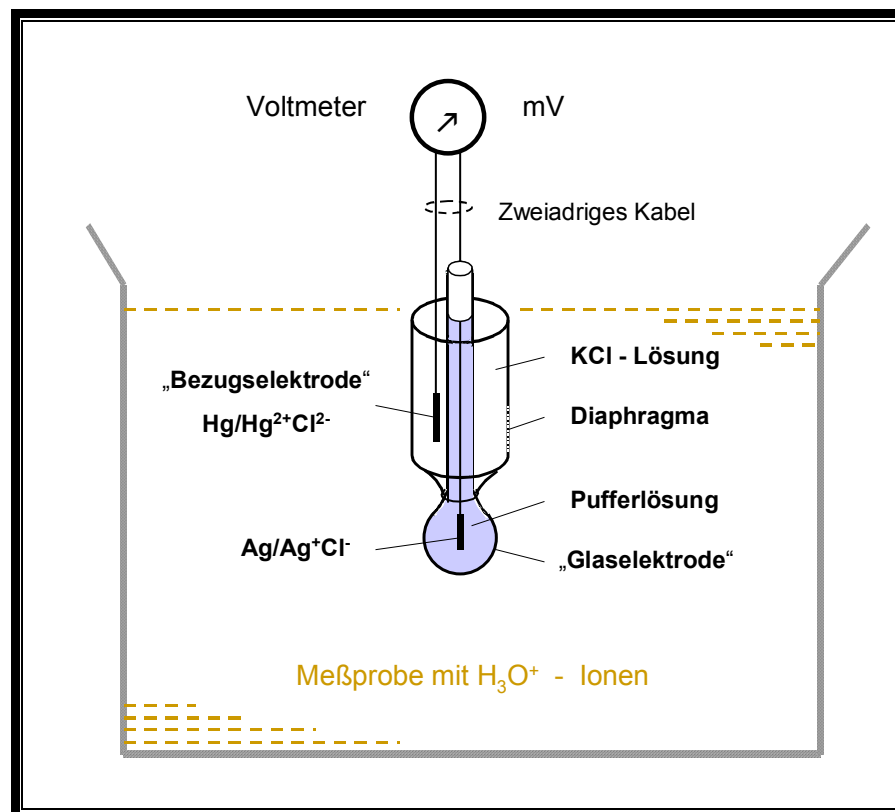
7.4 pH-Wert

Funktionsweise

Die pH-Wert-Bestimmung ist mit entsprechendem Gerät verfahrensmäßig einfach. Nach Eintauchen einer Sonde ist das Ergebnis abzulesen. Allerdings ist die Stabilität der Messung verschiedenen Einflüssen ausgesetzt, so dass Sorgfalt angebracht ist

Abbildung 6 zeigt das Schema eines Einzellen – pH-Meters.[69]

Abbildung 6: Aufbau eines pH-Meters



Durchführung der Messung

Aus der Probenflasche wurde zunächst eine Teilmenge in ein mit Aqua dest. gereinigtes Glas gefüllt. Das pH-Meßgerät wurde ebenfalls damit gereinigt, um Verschleppungen zu vermeiden, und lufttrocken zur Messung in die Probe getaucht. Die Probe wurde mittels Magnetrührer schonend in Bewegung gehalten und die Ablesung vorgenommen. Der abgelesene Wert wurde geführt durch die Probennummer in eine gesonderte Liste eingetragen.

7.5 m-Wert

Funktionsweise

Der m-Wert ist der Verbrauch von Salzsäure bei der Titration unter Anwesenheit von Methylorange bis zum Erreichen von pH 4,3 (mit einem Korrekturfaktor von 0,05mmol/L). Der Säureverbrauch ist ein Maß für die Pufferkapazität des Wassers und wichtig für die Berechnung der gebundenen Kohlensäure.

Verwendetes Messgerät und eingesetzte Reagenzien

Für die m-Wert-Bestimmung wurde neben dem Farbumschlag die für die pH-Wert-Messung genutzte Sonde eingesetzt, um den pH-Wert-Umschlag festzustellen.

Die eingesetzten Reagenzien entsprechen DIN 38 409 - T 7 [20]

- Als Indikator wurde Methylorange benutzt
- Das Titrationsmittel war 0,1 mol/L HCl

Durchführung der Messung

Auch die Messung folgt den Bedingungen der DIN 38 409 - T 7.

Zur Vorbereitung der Messung wurden 100mL Probenwasser in ein labormäßig sauberes Glas gefüllt und mit Methylorange versetzt. Der Versuch findet unter ständiger leichter Bewegung des Probenwassers statt, aufrechterhalten durch einen Magnetrührer. Die mit Aqua dest. abgespülte Sonde wird eingetaucht und die Ablesung beobachtet wie auch die Farbe des Probenwassers.

Über eine genaue Bürette wird das Titrationsmittel tröpfchenweise bei genügend langem zeitlichen Abstand zwischen den Tropfen dem Probenwasser zugeführt. Im Augenblick des pH-Umschlages findet auch der Farbumschlag statt, so dass ein Effekt den anderen kontrolliert. Der pH-Umschlag schien, da die Anzeige digital ausgelegt ist,

besser objektivierbar zu sein. Die Titration wurde vorschriftgemäß bis zu pH 4,3 durchgeführt.

Zum Umschlagzeitpunkt wurde die zugesetzte Menge an Titrationsmittel in ml abgelesen und unmittelbar und der Probennummer zugeordnet in einer gesonderten Liste festgehalten. Die Umrechnung führt aus dem HCl-Verbrauch direkt zum m-Wert.

7.6 Ionenchromatografie

Funktionsweise

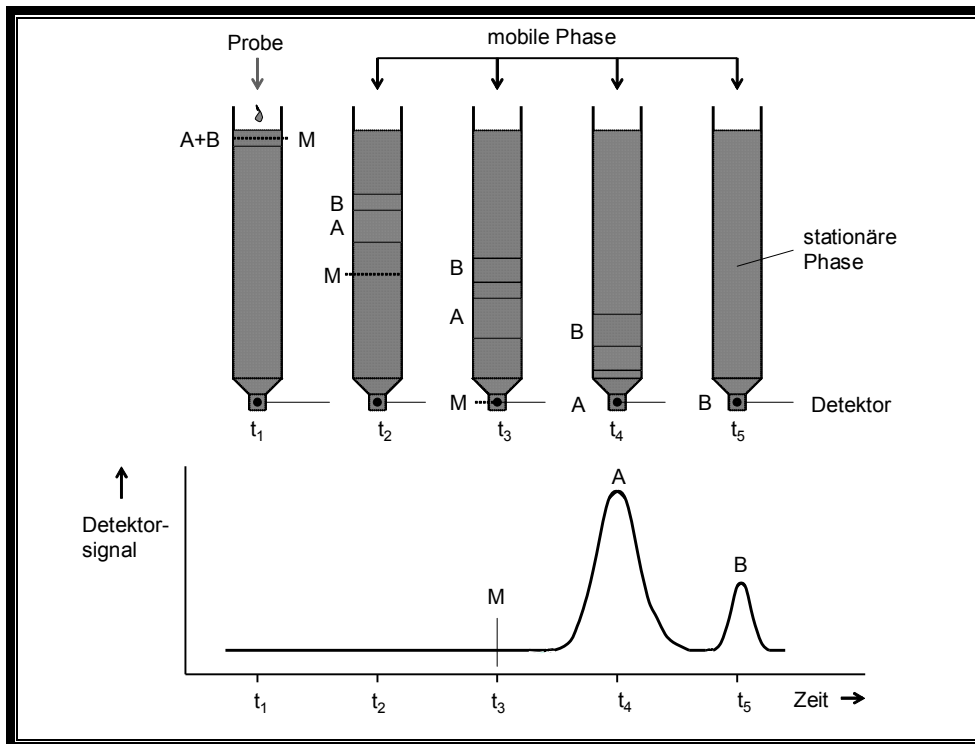
Eine effiziente Bestimmung anorganischer Anionen und Kationen in wässriger Lösung (Analyt) kann heute durch Ionenchromatografie bestimmter Art geleistet werden: Der Analyt wird einer Flüssigkeit, den Eluenten, injiziert. Diese Mischung (mobile Phase) durchfließt unter Druck eine Trennsäule, gefüllt mit porösen Teilchen definierter Art (stationäre Phase).

In der Trennsäule werden die Ionen des Analyten auf physikalisch-chemischem Wege unterschiedlich stark gebremst, so dass am Trennsäulenende, eingebettet in den Eluentenfluß, eine Schwallfolge von selektierten Ionen austritt. Jeder Schwall enthält eine andere Ionenspezies.

Ein an die Trennsäule angeschlossener Detektor misst die elektrische Leitfähigkeit quer zur Flussrichtung über der Zeit. Die Auswertung des Detektorsignals führt zur Ionenkonzentration im Analyten.

Die Festlegung der zu detektierenden Ionen hat bestimmenden Einfluss auf das Verfahren.

Abbildung 7: Funktionsschema einer Trennsäule [45]



Verwendete Analysegeräte

Für die Ionenchromatografie wurde Geräte der Firma Dionex eingesetzt.

Kationenbestimmung:

In der in der hier vorgelegten Untersuchung wurden die Kationen in dem Ionenchromatografen DX 120, mit einer Trennsäule IonPac CS12 (max. Druck 25Mpa, Partikeldurchmesser 8,5µm, Funktionalität Carboxylgruppen), dem Elutionsmittel verdünnte Schwefelsäure und einem Leitfähigkeitsdetektor mit Suppressor verwendet.

Anionenbestimmung:

Die gewünschten Anionen dagegen wurden mit dem Ionenchromatografen EC 4000, mit einer Trennsäule IonPac AS14A (max. Betriebsdruck 27Mpa, max. Flussrate 2mL/min, Partikeldurchmesser 5µm, Art des Packungsmaterials oberflächenanimierte Ethylvinylbenzol/Divinylbenzol-Copolymere mit quartärer Ammoniumfunktion, dem Elutionsmittel Natriumhydrogencarbonat/Natriumcarbonat und einem Leitfähigkeitsdetektor mit Suppressor getrennt und quantitativ ermittelt.

Durchführung der Messung

Die Proben wurden vorher mit Aqua bidest. gespülte und trockene Gefäße waren und im Kühlschrank dem Hygieneinstitut der Universität Münster zur Verfügung gestellt.

Die Bestimmung der Kationen und Anionen wurden im Labor unter professionellen Bedingungen durchgeführt. Die ermittelten Ionenkonzentrationen in den Proben wurden, der Probennummer zugeordnet, auf ausgedruckten Ergebnislisten zur weiteren Auswertung in der hier vorgelegten Arbeit zur Verfügung gestellt.

Ionenchromatografisch wurden folgende Ionen bestimmt:

Kationen: Lithium (Li^+), Natrium (Na^+), Calcium (Ca^{2+}), Kalium (K^+), Magnesium (Mg^{2+}), Strontium (Sr^+)

Anionen: Fluorid (F^-), Chlorid (Cl^-), Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4^-)

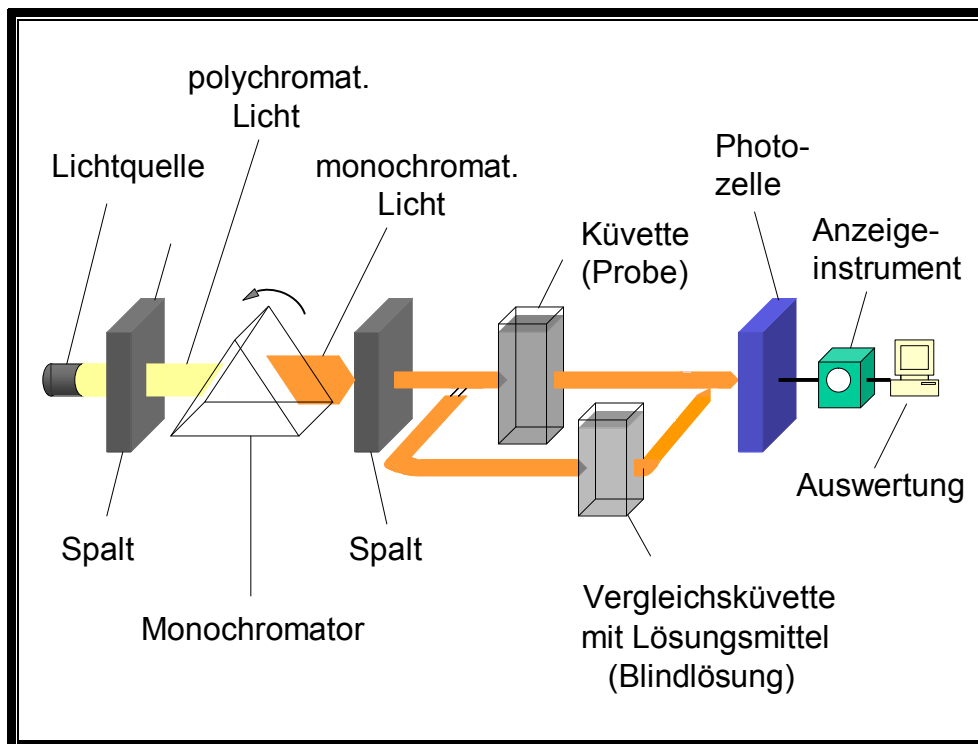
7.7 UV/VIS – Spektrometrie

Die Spektrometrie gehört zur Spektroskopie und konzentriert sich auf die quantitative Analyse. Eingeführt ist der Begriff Photometrie, mit historischen Wurzeln. Bei der Photometrie ist zunächst zu unterscheiden zwischen der so genannten subjektiven Photometrie, bei der die Empfindung des menschlichen Auges Berücksichtigung findet und sich damit auf den Bereich des sichtbaren Lichts beschränkt und der so genannten objektiven Photometrie, die die Detektion physikalischer Sensoren in Anspruch nimmt und für metrische Aufgaben daher besser geeignet ist. Darüber hinaus kann damit ein größerer Wellenbereich abgedeckt werden. In diesem Sinne ist Photometrie im Folgenden verwendet.

Funktionsweise

Die Ionenspezies, die im Probenwasser bestimmt werden soll, wird mit einem selektiv wirkenden Reagenz meist durch Komplexbildung eingefärbt. Im Photometer wird ein Lichtstrahl mit speziell zu dieser Komplexfarbe optimaler Wellenlänge beim Durchgang durch die Probe proportional zur Konzentration geschwächt. Die Extinktion wird gemessen. Zur Feststellung der Ionenkonzentration in der Probe muss mit bekannten Konzentrationen zunächst eine Eichkurve erstellt werden, mit der dann die Extinktion der Proben verglichen wird.

Abbildung 8: Funktionsschema eines Spektralphotometers



Verwendetes Analysegerät und eingesetzte Reagenzien

Das zur Analyse eingesetzte Gerät war ein Zweistrahl-Spektrometer der Firma Shimadzu mit der Typenbezeichnung UV-1601 PC, ausgelegt für den Wellenbereich 190 bis 1100nm und einer spektralen Bandbreite von 2nm, bestückt mit einer Halogenlampe als Lichtquelle und als Detektor mit einer Silizium Photodiode. Die Auswertung wird rechenstechnisch unterstützt.

Zur Boratbestimmung in der photometrischen Wasseranalytik wird bei üblicherweise kleinen Borationenkonzentrationen als Farbreagenz Azomethin-H benutzt, das in einer gepufferten Lösung mit den Borationen einen gelben Farbstoff bildet, dessen Lösung dem Bougert-Lambert-Beerschen Gesetz gehorcht.[11] Das Azomethin-H ist das Kondensationsprodukt der H-Säure und des Salicylaldehyds.

Für die Ammonium-Bestimmung in Wässern reagieren Ammonium-Ionen bei einem pH-Wert von 12,6 mit Hypochlorit-Ionen und Salicylat-Ionen in Gegenwart eines speziellen Katalysators zu einem geeigneten blauen Farbstoff.[55] Die Hypochlorit-Ionen entstehen im alkalischen Medium durch Hydrolyse der Ionen der Dichlorisocyanursäure.

Durchführung der Messung

Das Verfahren zur photometrischen Bestimmung von Borat-Ionen (BO_3^{3-}) folgt der Norm DIN 38405-D17.[43]

Der Anwendungsbereich des Verfahrens umfasst Massenkonzentrationen von 0,01 bis 1,0 mg/l. Da einige Konzentrationen darüber hinaus gingen, musste fallweise mit Probenverdünnungen gearbeitet werden. Es wurden Polyethylenflaschen und Gefäße aus borfreiem Material verwendet.

Bei der Boratbestimmung erfolgt die Messung der Extinktion bei einer Wellenlänge von 414 nm. Es wurden Küvetten mit einer Schichtdicke von 1cm benutzt. Die Eichkurve wurde aus drei Messpunkten mit einer Ausgleichsgeraden erstellt.

Das Verfahren zur photometrischen Bestimmung von Ammonium (NH_4^+) folgt der Norm DIN 38405-E5-1 [43]

Der Anwendungsbereich des Verfahrens umfasst Massenkonzentrationen von 0,03 bis 1,0 mg/l. Da einige Konzentrationen darüber hinaus gingen, musste fallweise auch hier mit Probenverdünnungen gearbeitet werden. Die Gefäße wurden ammoniumfrei gereinigt und anschließend gründlich mit Aqua dest. gewaschen.

Bei der Ammoniumbestimmung erfolgt die Messung der Extinktion bei einer Wellenlänge bei 655 nm, mit einem Abweichungsbereich von plusminus 2nm. Es wurden Küvetten mit einer Schichtdicke von 1cm benutzt. Die Eichkurve wurde aus drei Messpunkten mit Ausgleichsgeraden erstellt.

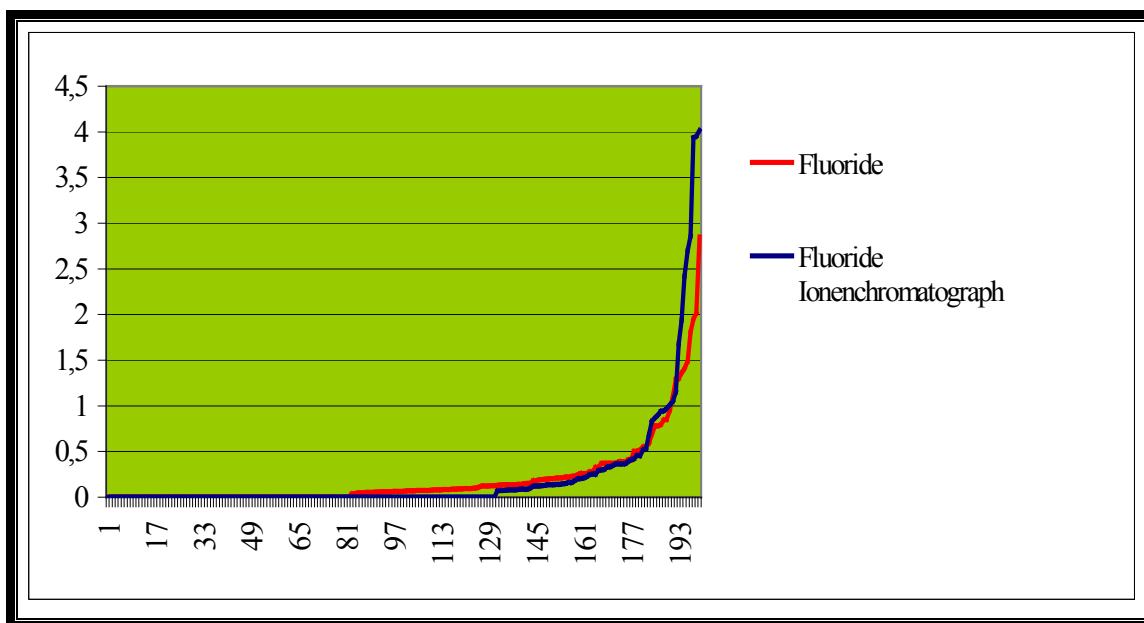
8 Auswertung und Ergebnisse

8.1 Fluoride

Vergleich der Werte aus zwei verschiedenen Verfahren

Von jeder Probenahme stehen zwei auf unterschiedlichem Wege bestimmte Fluoridwerte zur Verfügung. Die Abbildung 9 zeigt die Fluoridwerte aller Proben aus der elektrochemischen Bestimmung im Vergleich zu den Messwerten aus der ionenchromatografischen Analyse. Die Abweichungen sind erkennbar. Bei der ionenchromatografischen Bestimmung ist die Zahl der Proben ohne Fluoridbefund wesentlich höher, während die höheren Werte deutlich größer und zahlreicher sind. Der Korrelationskoeffizient beträgt nur 0,553.

Abbildung 9: Vergleich der nach Größe geordneten Fluoridwerte aus elektrochemischer und aus ionenchromatografischer Bestimmung



Der Fachliteratur ist zu entnehmen „...wie problematisch die Bestimmung des Fluorids in realen Proben ist, wenn sie unter isokratischen Bedingungen im gleichen Lauf mit anderen Mineralsäuren erfolgen soll.“ Gemeint ist hier die Ionenaustauschchromatographie. Weiter heißt es „... ist die Ionenausschluß-Chromatografie aufgrund ihrer unterschiedlichen Selektivität für Fluorid eine willkommene Alternative zur Anionenaustausch-Chromatografie .“Als Begründung wird u.a. die geringe Retentionszeitdifferenz zwischen dem Fluoridpeak und dem vorangehenden (negativen) Wasserpeak angegeben.[65]

Im Folgenden stützen sich die weiteren Auswertungen auf die elektrochemisch bestimmten Werte.

Übersicht über die festgestellten Fluoridwerte

Von den untersuchten 200 privaten Trinkwasseranlagen wurden in vier Brunnen Fluoridwerte über 1,5 mg/l festgestellt. Dies sind folgende Proben:

- G46; Teilgebiet 12; Koordinaten: 5757595 / 3455846;
Fluoridgehalt: 2,85 mg/l
- G86; Teilgebiet 31; Koordinaten: 5744146 / 3449381;
Fluoridgehalt: 2,02 mg/l
- G179; Teilgebiet 32; Koordinaten: 5744861 / 3451456;
Fluoridgehalt: 1,95mg/l;
- G50; Teilgebiet 12; Koordinaten: 5757501 / 3456471;
Fluoridgehalt: 1,81mg/l

Diese Brunnen haben Trinkwasser, das im Sinne der Trinkwasserverordnung als „fluoridhaltig“ bezeichnet werden muss. Im Vergleich zu der in Kapitel 4.1 angeführten Untersuchung des Gesundheitsamtes Soest [41] sind dies relativ und absolut mehr in diesem Sinne auffällige Befunde. (Einer der Brunnenbesitzer hatte eine Information über seinen erhöhten Fluoridgehalt.)

Der durchschnittliche Fluoridgehalt beträgt 0,20 mg/l, wobei an der Durchschnittsbildung 82 Werte mit einem Befund 0,0 beteiligt sind. Bei 42 weiteren Brunnen wurde zwar ein Fluoridgehalt festgestellt, die Massenkonzentration der Proben war jedoch kleiner als 0,10 mg/l.

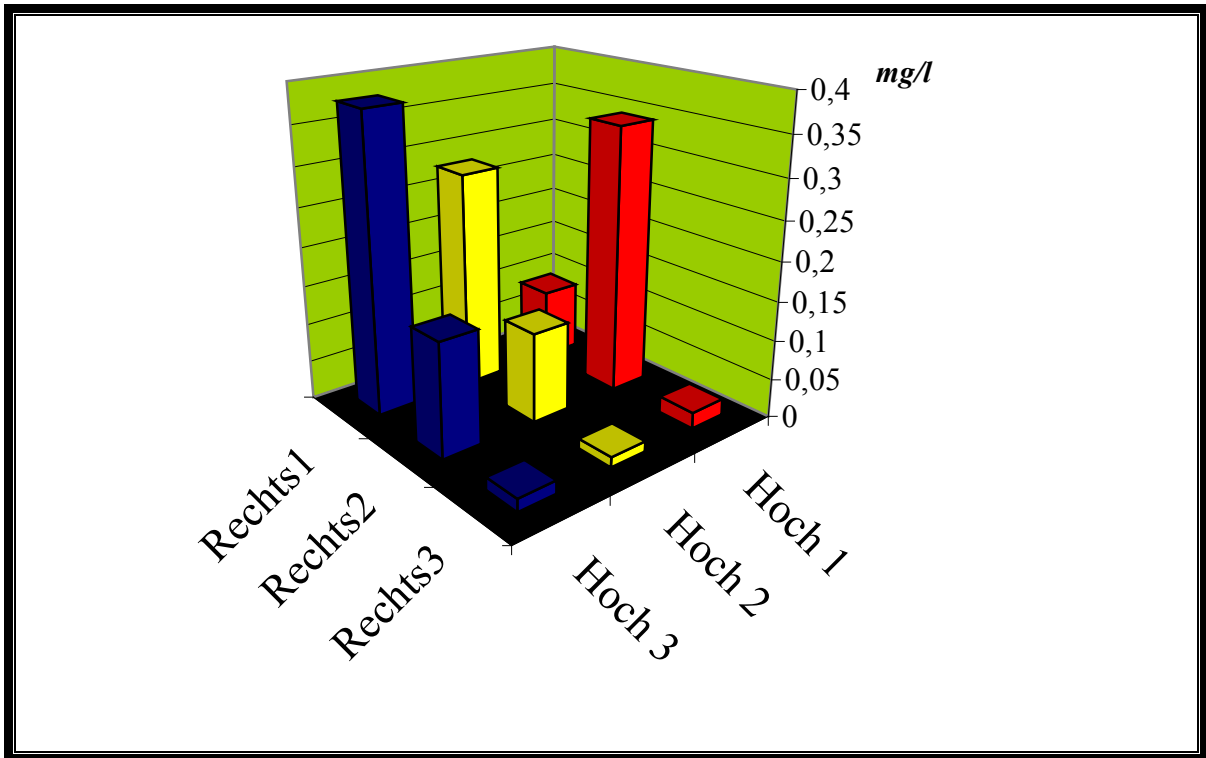
8.2 Verteilung der Fluoride und Hydrogeologie im Raum Gütersloh

Verteilung der Fluoridwerte

Bereits in der Phase der Probennahme wurde deutlich, dass es kleinräumige Unterschiede in der Fluoridbelastung aber auch bei anderen der untersuchten Ionenspezies im Brunnenwasser gibt. Anhand der Auswertung der in den jeweiligen Teilgebieten bestimmten Fluoridwerte ergab sich eine räumliche Verteilung, die durch ihren im Teilgebiet ausgleichenden Charakter gebietsspezifische Aussagen anschaulich machen.

Zunächst fällt auf, dass es trotz der dämpfenden Wirkung der Mittelwertbildung Gebiete mit deutlich unterschiedlicher Fluoridbelastung gibt. Die Teilgebiete (vgl. Abb. 3) mit den Benennungen 11, 21, 22, 23 und 33, also ein etwa in der Ausrichtung von Ostsüdost über die Stadt Gütersloh hinweg nach Westnordwest orientierter Bereich, haben kleinste oder keine nachweisbaren Fluoridwerte. Links und rechts davon, besonders in den Teilgebieten 31 einerseits und 12 auf der anderen Seite, treten erhöhte Fluoridwerte auf. Dort befinden sich auch drei der in Kapitel 8.1.2 genannten Brunnen mit Werten über 1,5mg/l. Der vierte liegt im benachbarten Teilgebiet 32; also auch links des Bereichs durchgehend kleiner Werte. Eine Darstellung ist in der folgenden Abbildung gegeben.

Abbildung 10: Räumliche Verteilung der Fluoride in den privaten Trinkwasserbrunnen im Untersuchungsgebiet, dargestellt als Mittelwerte aus den Proben im jeweiligen Teilgebiet



Verteilung der Fluoridwerte

Der Bereich des Untersuchungsgebietes, die Teilgebiete 11,21,22, 23 und 33, in dem keine oder nur geringe Fluoridwerte in den entnommenen Proben aus den privaten Trinkwasserbrunnen festgestellt wurden, stimmen in ihrer Lage und Reihung von Ostsüdost nach Westnordwesten mit dem Verlauf der Ems-Urrinne überein.

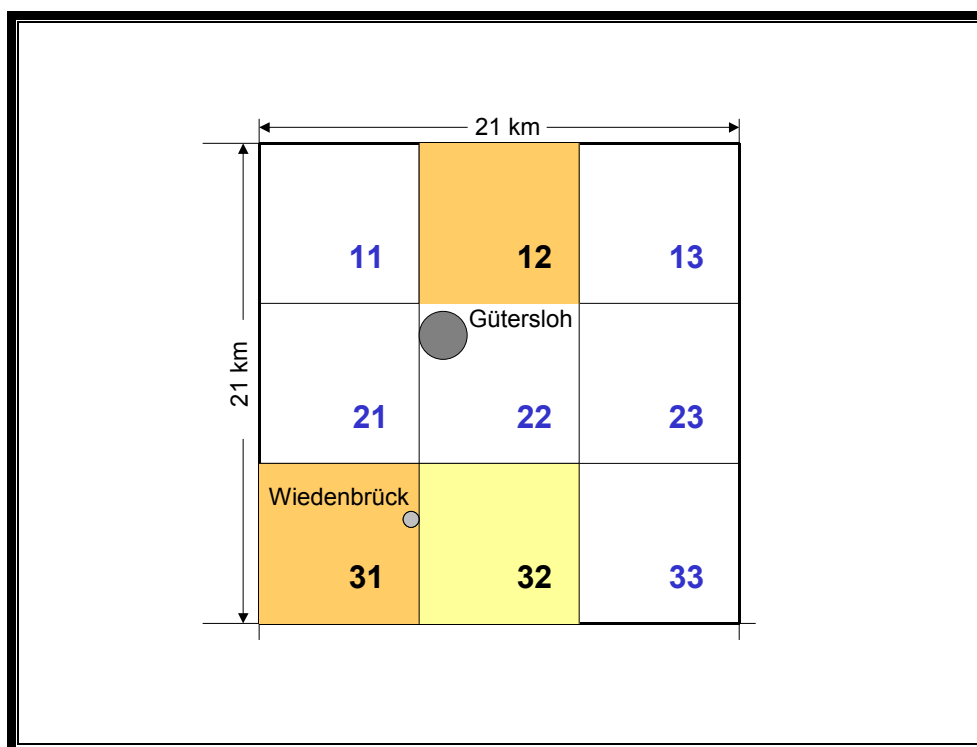
Die in der Untersuchung durch durchschnittlich höhere Fluoridkonzentrationen auffälligen Teilgebiete 12 und 31 decken sich mit der Lage festgestellter so genannter Austauschwasser (genauer Ionen-Austauschwasser) die in den anderen Teilgebieten

fehlen. Sie liegen links (Rheda-Wiedenbrück) und rechts (Richtung Ummeln) in Übergangslagen am Rand des eigentlichen Talgebietes.[21]

Ummeln liegt im Teilgebiet 12, dessen Proben von privaten Trinkwasserbrunnen im Maximum 2,85 mg/l zeigen, den höchsten Wert im ganzen Untersuchungsgebiet. Drei Werte sind größer als 1,0 mg/l und nur eine von 24 Proben enthielt kein Fluorid.

Auch der zweithöchste Fluoridgehalt wurde in einem Teilgebiet mit Austauschwasser, dem Teilgebiet 31, festgestellt. Sechs von 49 Brunnen hatten Werte über 1,0. Dagegen wurde in 12 Proben kein Fluorid nachgewiesen, was immer noch ein kleiner Probenanteil ist gegenüber den Verhältnissen in anderen Teilgebieten.

Abbildung 11: Lage höherer Fluoridkonzentrationen und Austauschwasservermutung



Die Korrelation zwischen Natrium und den Fluoriden ist statistisch signifikant in beiden Teilgebieten mit Austauschwasser-Vermutung in den Trinkwasserbrunnen:

Teilgebiet 12: 0,851

Teilgebiet 31: 0,826

Die durchschnittliche Calciumkonzentration als dem zweiten Hauptfaktor bei der Austauschwassergenese liegt in beiden Teilgebieten unter dem Durchschnitt der übrigen:

Teilgebiet 12: 67,9 mg/l

Teilgebiet 31: 65,8 mg/l

Übriges Untersuchungsgebiet: 70,6 mg/l

8.3 Der Zusammenhang der Fluoride mit anderen Parametern

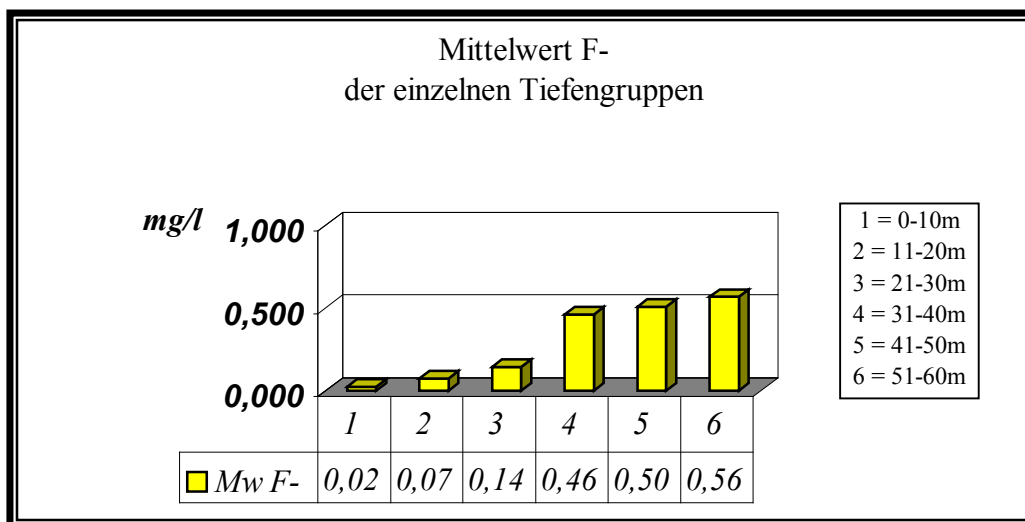
Betrachtet wurden zunächst alle bestimmten Parameter in ihrer Beziehung zu der Fluoridkonzentration in den 200 Proben der Untersuchung. Ermittelt wurde der Pearsonsche Korrelationskoeffizient, um eine zumindest statistische Abhängigkeit zu überprüfen. Die Überprüfung erfolgte mittels des Programms SPSS. Die ermittelten Koeffizienten sind vollständig im Anhang zu finden.

Grundsätzlich kann man aus den geologischen Gegebenheiten ersehen, dass bei großer Tiefe und tonhaltigen Böden mehr Fluorid im Wasser sein müsste. Den Zusammenhang Fluoride/Tiefe zeigte auch die Arbeit im Landkreis Fürth.[28]

Der Zusammenhang konnte in dieser Arbeit nur bedingt erwiesen werden, da viele Tiefen bei der Befragung als Schätzungen in die Werte eingingen und die hydrogeologischen Bedingungen kleinräumig und in Brunntiefe im Probengebiet stark unterschiedlich sind. Der Korrelationskoeffizient betrug nur 0,482.

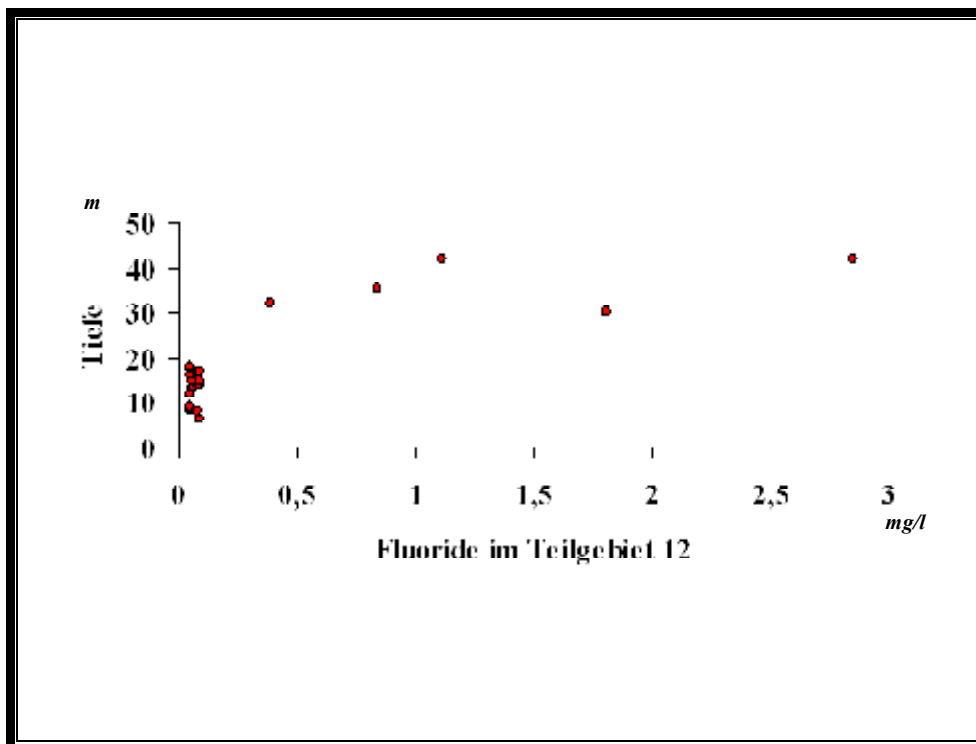
Gruppiert man die Tiefen und mittelt die zugehörigen Fluoridwerte, werden die Unterschiede stärker ausgeprägt. Es entsteht ein Bild einer mit der Tiefe ansteigenden Fluoridkonzentration und einer Stufe zu höheren Werten bei größeren Tiefen als 30m.

Abbildung 12: Fluoride/Tiefengruppen



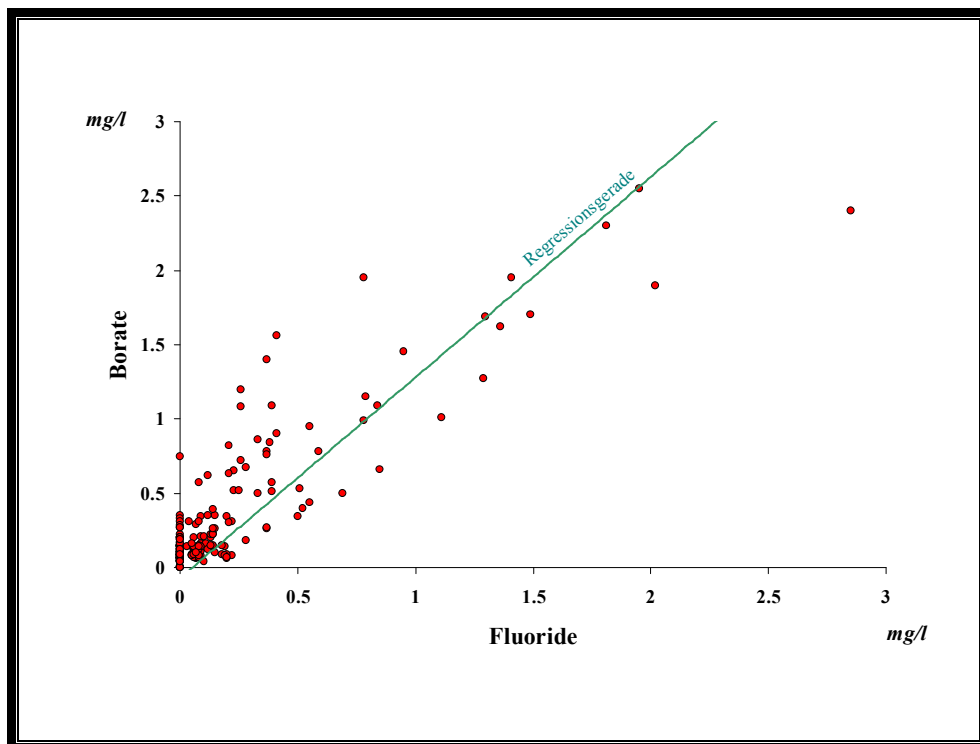
Im Teilgebiet 12 („Ummeln“) ist die annähernd signifikante Korrelation zwischen Fluoridgehalt und der Brunnentiefe 0,729 allerdings erreicht, ausgelöst durch die größeren Fluorgehalte mit größeren Tiefen, was als weiteres Indiz für die Wirksamkeit der Austauschwassergenese dort, respektive von Austauschwasser in den untersuchten Brunnen gewertet werden kann.

Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Fluoridgehalt und Brunnentiefe im Teilgebiet 12.



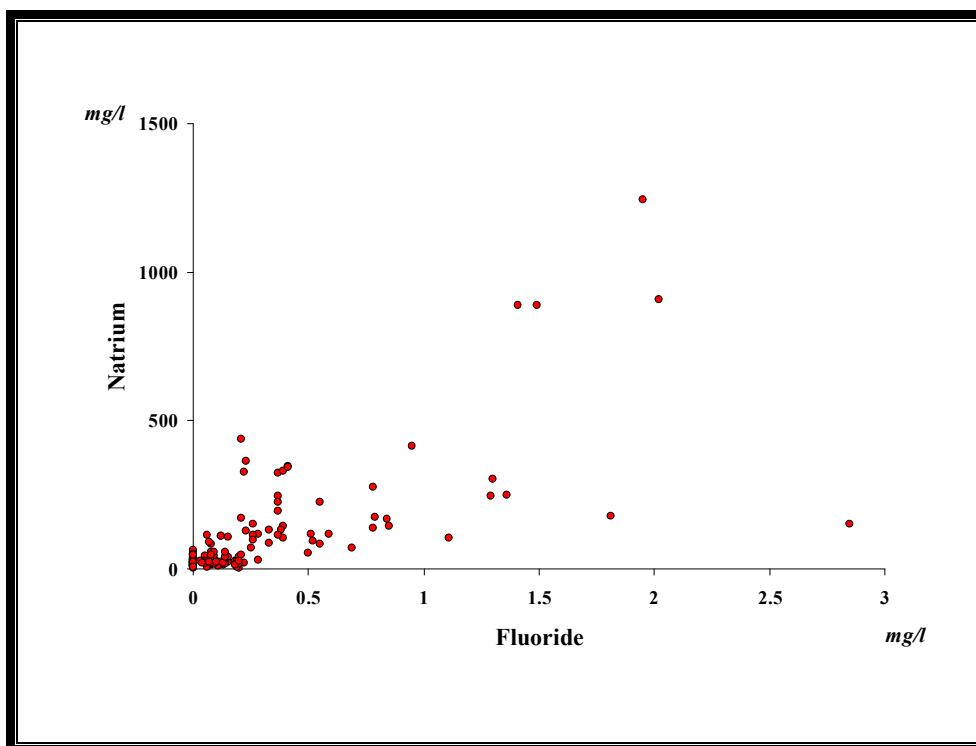
Als weiteres Ergebnis ist herauszustellen, dass eine Abhängigkeit mit statistischer Signifikanz vorliegt. Es sind dies die Borat-Konzentrationen zu Fluorid-Konzentrationen

Abbildung 14: Konzentrationszusammenhang Borate/Fluoride,
Korrelationskoeffizient 0,889



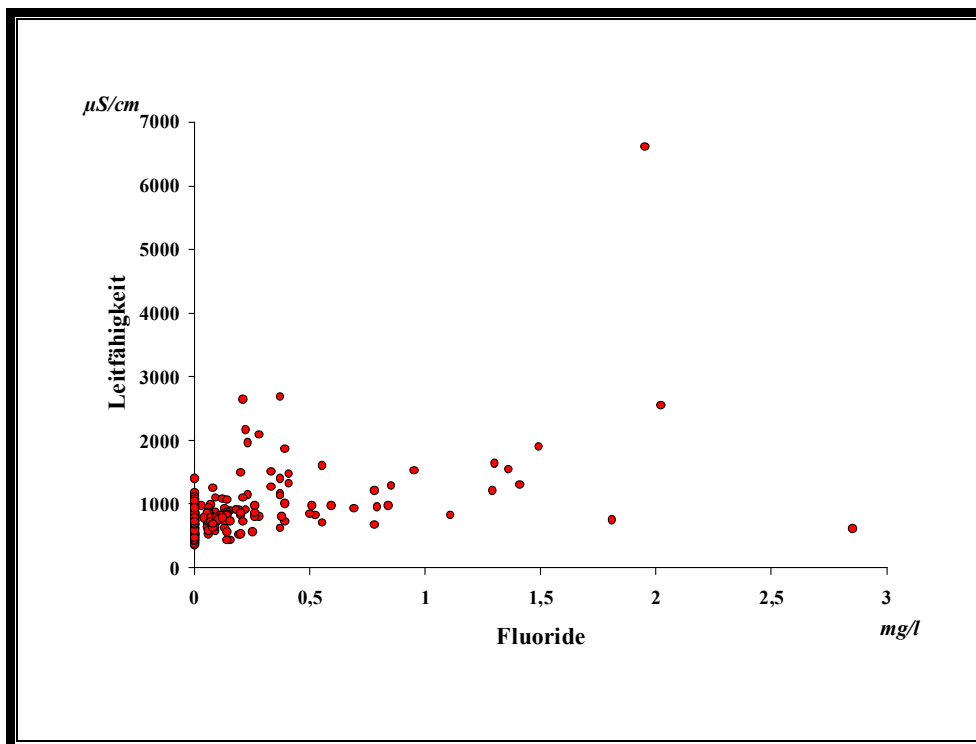
Auffällig ist weiterhin, wenn auch mit geringerer Signifikanz, die Natrium-Konzentration in Relation zur Fluoridkonzentration:

*Abbildung 15 : Konzentrationszusammenhang Natrium/Fluoride,
Korrelationskoeffizient 0,714*



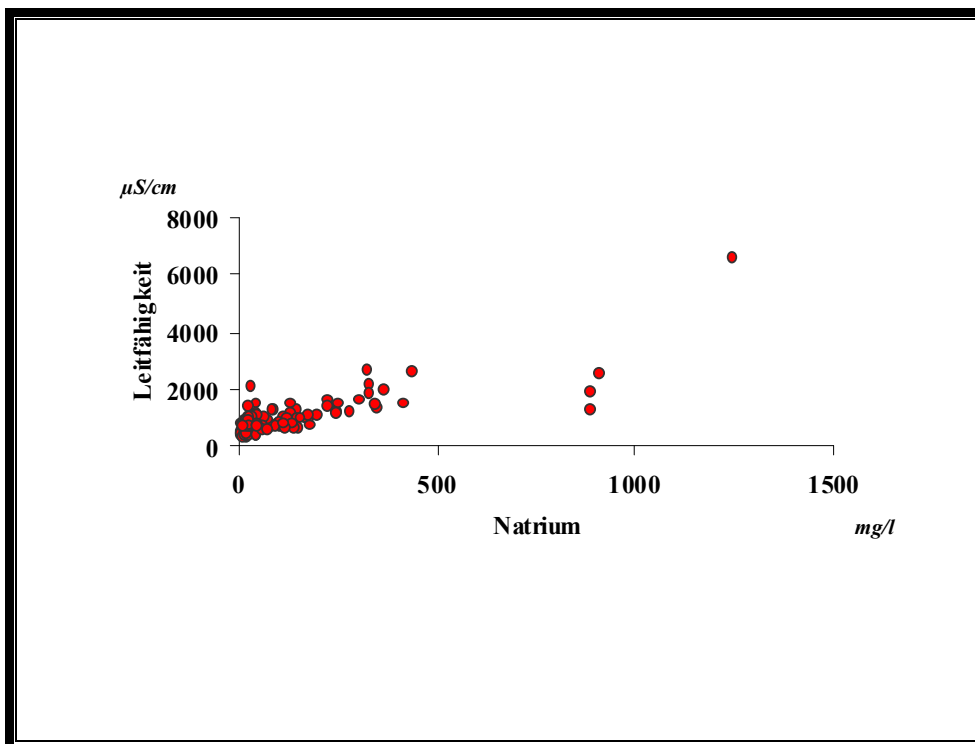
Überraschend war die zwar merkbare aber statistisch nur schwache Abhängigkeit des Auftretens der Höhe von Fluoridkonzentrationen mit der Höhe der Leitfähigkeit, für die ein plausibler Ansatz anzunehmen war.

Abbildung 16: Zusammenhang Fluoridkonzentration zur Leitfähigkeit,
Korrelationskoeffizient 0,489



Möglicherweise drückt sich hier die relativ ungleichmäßige, vielfältige Aquifersituation im Untersuchungsgebiet aus. Statistisch deutlich enger stellt sich die Abhängigkeit der Natrium-Konzentrationen mit der Leitfähigkeit heraus, mit dem begründenden Hinweis auf die generelle spezifische Wasserbeschaffenheit im Bereich des Emser Oberlaufs als Vermutung.

Abbildung 17: Zusammenhang Natriumkonzentration zur Leitfähigkeit:
Korrelationskoeffizient 0,791



Darüber hinausgehende statistisch relevante Zusammenhänge wurden nicht aufgedeckt, auch dann nicht, wenn die Untersuchung auf alle Abhängigkeiten aller Parameter untereinander ausgedehnt wurde. Teilgebietsuntersuchungen ergaben kein hinreichend aussagefähiges Bild.

9. Diskussion

1. Fluoridbestimmung in regulären Trinkwasseruntersuchungen

In den regulären Untersuchungen, wie sie durch das Gesundheitsamt Gütersloh (GT) gefordert werden, sind Fluoride nicht berücksichtigt. Das Gesundheitsamt hat die Empfehlung zur zusätzlichen Fluoriduntersuchung (s. Anhang) seit einigen Jahren aus den Untersuchungsaufforderungen herausgenommen. Dies sei vor dem Hintergrund der vorgelegten Untersuchung hinterfragt.

Fluoride haben für den Menschen vornehmlich einen zahnmedizinischen Aspekt.

- In angemessenen Dosierungen der Gesamtaufnahme haben Fluoride einen kariesprophylaktischen Wert, der durch epidemiologische Studien hinreichend untermauert ist. So konnte Hellwig 1985 in Gemeinden in Hessen mit natürlich erhöhten Fluoridgehalt (1-1,5 mg/l) die Feststellung machen, dass Kinder aus diesen Bereichen ein um 65% geringeres Kariesaufkommen haben als andere aus Gebieten mit geringem fluoridhaltigen Wasser (0,1 mg/l). In diesem Sinne sind Fluoride zahngesundheitsfördernd.
- Steigt der Fluoridgehalt im Trinkwasser in Konzentrationsbereiche über 1,5 mg/l treten demgegenüber in vergleichbarem Maße vermehrt Fluorosen auf, die eine Schädigung des Zahnes darstellen.[17][23][24] Solange die Fluorose in geringem Maße ausgeprägt ist und sich in Form von Opazitäten zeigt, ist die Kariesinzidenz gering. Bei deutlich ausgeprägten Fluorosen mit starken Hypomineralisierungen steigt jedoch das Kariesrisiko deutlich. [10]

Es kann leicht zu einer solchen Überdosierung kommen, wenn ein Teil der gesamten Fluoridaufnahme unbekannt hoch ist. Z.B. stellt bei einer gezielten Tablettensupplementierung der unbekannte Beitrag Trinkwasser ein leicht zu übersehendes Risiko für die Zahngesundheit dar.

Ein weiterer Beitrag zur Gesamtfluoridaufnahme entsteht durch fluoridiertes Speisesalz, das bewusst oder oftmals unbewusst zur Nahrungszubereitung verwandt wird. Mengenmäßig ist dieser Beitrag jedoch gegenüber der Möglichkeit erhöhter Fluoridaufnahme durch das Trinkwasser zweifellos geringer einzuschätzen.

Die Fluoridkonzentration im Trinkwasser ist allerdings nicht der alleinige Parameter für das Entstehen und das Ausmaß von Fluorosen, denn Klima und Trinkgewohnheiten und spezielle Ernährungsweisen können die Aufnahme der Gesamtfluoridmenge merklich beeinflussen.[5][27] Bei stark trockenem und heißem Klima und Konzentration auf nur eine Trinkwasserquelle, steigt die Fluoridaufnahme und damit die Fluorosegefahr, wenn diese fluoridreich ist. Dem wirkt die normalerweise in unseren industrialisierten Bereichen praktizierte Diversifizierung der kontrollierten Trinkwasserquellen entgegen, es sei denn, man ergänzt die Wasseraufnahme über einen längeren Zeitraum überwiegend durch fluoridhaltiges Mineralwasser. Auch hier können also Überdosierungsprobleme erst durch eine selbstverursachte Fluoridmehraufnahme entstehen, wenn die Trinkwasserquelle selbst keine übermäßig erhöhten Fluoridgehalte aufweist. Ist die Trinkwasserquelle dagegen hinreichend fluoridreich und die Nutzer konzentrieren sich darauf ist ein Fluoroserisiko gegeben, das sich durch alle weiteren fördernde Parameter verstärkt. Eine solche Situation kann im untersuchten Gebiet fallweise auftreten, wie die vorgelegte Arbeit ausweist.

Das wissenschaftliche Institut der Ortskrankenkassen (WIdO) hat in einer Studie in den 1980er Jahren eine Fluoridkarte erstellt, in der auch das Gebiet um Gütersloh (GT) erfasst wurde. Das in der vorgelegten Arbeit untersuchte Gebiet wurde von der WIdO in die Kategorie I eingeteilt, d.h. es wurden weniger als 0,25 mg/l Fluor gefunden.[9] Diese Werte beruhen allerdings auf Probeentnahmen aus dem öffentlichen Leitungsnetz bzw. aus dem Wasserwerk selbst. Das Wasser dort entstammt meist aus anderen Aquiferschichten und ist für private Trinkwasserbrunnen nicht durchschlagend aussagefähig. Bereits die Fluorid-Durchschnittswerte in Wässern aus privaten Trinkwasserbrunnen in den Teilgebieten 12 und 13 liegen mit 0,35 mg/l und 0,38 mg/l höher.

Hier relevant ist allerdings die Feststellung, dass es dort doch insgesamt vier Brunnen mit erhöhtem Fluoridgehalt, also 1,5 mg/l und teilweise beträchtlich darüber gibt, wobei nicht alle Einzelbrunnen erfasst wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass es Brunnen mit noch höheren Werten als den aufgefundenen mit dem Höchstwert 2,85 mg/l geben dürfte.

Flächendeckend mag es aus Sicht des Gesundheitsamtes insbesondere im Hinblick auf die Kosten aber auch im Hinblick auf die allgemein übliche Diversifizierung der Trinkwasserquellen vertretbar sein, auf die Bestimmung von Fluoridwerten bei den Regeluntersuchungen in privaten Brunnen zu verzichten. Um so wichtiger ist es aus Sicht des Nutzers einer privaten Brunnenanlage im untersuchten Gebiet, allen Hinweisen auf möglicherweise überhöhte Fluoridgehalte unter den verbliebenen Größen der Regeluntersuchung aber auch außerhalb dieser im Einzelfall nachzugehen und im Verdachtsfall eine direkte einmalige Fluoridbestimmung folgen zu lassen.

Aus der vorgelegten Arbeit ergibt sich der statistisch auffällige Hinweis, dass erhöhte Natriumkonzentrationen einhergehen mit erhöhten Fluoridkonzentrationen. Die Natriumbestimmung gehört zur Regeluntersuchung und erlaubt daraus ggf. Rückschlüsse auf die Fluoridgehaltshöhe im untersuchten Brunnen.

Auch die Boratkonzentrationen zeigen einen sogar statistisch signifikanten gleichsinnigen Zusammenhang mit den Fluoridkonzentrationen. Aus der Literatur ist dazu eine Bestätigung des Zusammenhanges der Fluorid- mit den Boratkonzentrationen aus einer Untersuchung in einem benachbarten Gebiet zu entnehmen.[49]

Der Zusammenhang der Fluoridkonzentration mit der Brunntiefe ist aus dem Kreis Fürth bekannt.[28] In der vorgelegten Arbeit ist dieser Zusammenhang nicht so deutlich feststellbar, zumindest nur in statistisch schwach ausgeprägter Form.

2. Begründung der Verteilung der Fluoridwerte im Raum Gütersloh

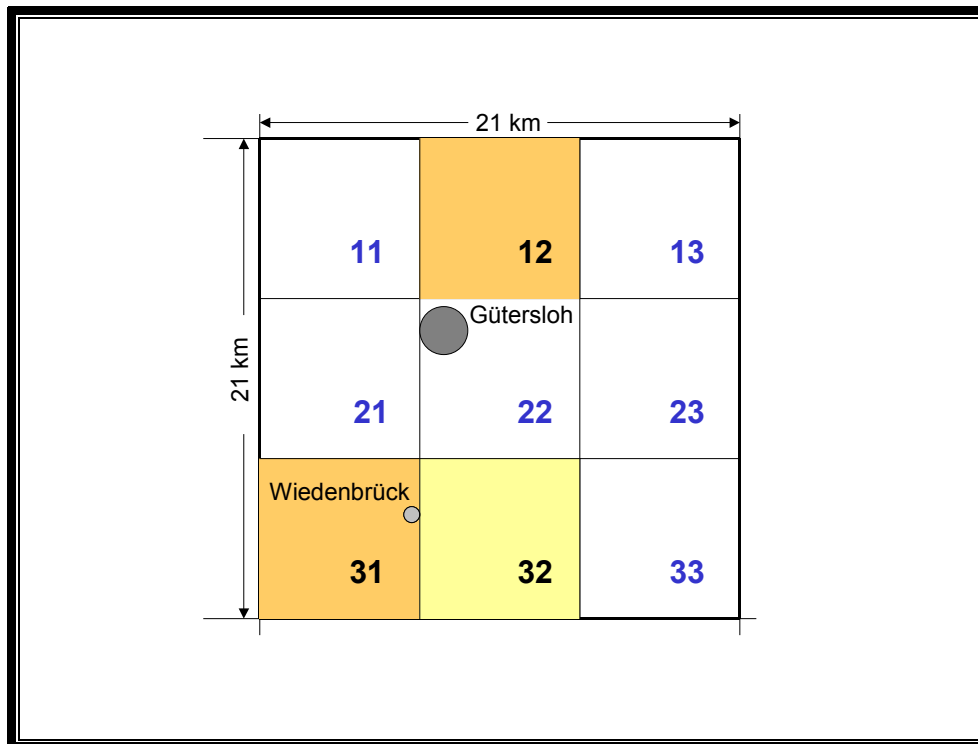
Den Versuch einer Begründung der Verteilung der Fluoridwerte im Raum Gütersloh kann man anhand der hydrogeologischen Gegebenheiten des Gebietes und dem Vergleich mit veröffentlichten Untersuchungen aus diesem Gebiet vornehmen.

1. Der Bereich des Untersuchungsgebietes, die Teilgebiete 11,21,22, 23 und 33, in dem keine oder nur geringe Fluoridwerte in den entnommenen Proben aus den privaten Trinkwasserbrunnen festgestellt wurden, stimmen in ihrer Lage und Reihung von Ostsüdost nach Westnordwesten mit dem Verlauf der Ems-Urrinne überein.

2. Die in der Untersuchung durch durchschnittlich höhere Fluoridkonzentrationen auffälligen Teilgebiete 12 und 31 decken sich mit der Lage festgestellter so genannter Austauschwasser (genauer Ionen-Austauschwasser) die in den anderen Teilgebieten fehlen. Sie liegen links (Rheda-Wiedenbrück) und rechts (Richtung Ummeln) in Übergangslagen am Rand des eigentlichen Talgebietes.[21] Austauschwasser stellen einen für das Untersuchungsgebiet besonders bemerkenswerten Grundwassertyp dar. Dieser ist charakteristisch für die hydrochemische Übergangszone im Grenzbereich Süßwasser/Salzwasser. Es handelt sich um Grundwasser des Natrium-Hydrogencarbonat-Typs. Auffällig sind die vergleichsweise geringen Sulfat-, Magnesium- und Calciumgehalte; sowie relativ hohe pH-Werte. Aus den chemischen Routineuntersuchungen sind oftmals erhöhte Fluoridgehalte festgestellt worden, die über die Höchstwerte in der vorgelegten Untersuchung hinausgehen, so in Gütersloh-Ummeln bis 4,3 mg/l. Ummeln liegt im Teilgebiet 12, dessen Proben von privaten Trinkwasserbrunnen im Maximum 2,85 mg/l zeigen, den höchsten der gemessenen Werte im ganzen Untersuchungsgebiet. Drei Werte sind größer als 1,0 mg/l und nur eine von 24 Proben enthielt kein Fluorid.

Auch der zweithöchste Fluoridgehalt wurde in einem Teilgebiet mit Austauschwasser, dem Teilgebiet 31, festgestellt. Sechs von 49 Brunnen hatten Werte über 1,0. Dagegen wurde in 12 Proben kein Fluorid nachgewiesen, was immer noch ein kleiner Probenanteil ist gegenüber den Verhältnissen in Teilgebieten in denen kein Austauschwasser festgestellt worden war.

Abbildung 11: Lage höherer Fluoridkonzentrationen und Austauschwasservermutung



Der Grundmechanismus für die Entstehung von Austauschwasser ist im folgenden angegeben.[22][37]

Das tiefste Grundwasser gehört zum Na-Cl-Typ. In weniger klüftigen Bereichen zirkuliert das Na-Cl-Grundwasser in Haarrissen, feinen Klüften, eventuell sogar in Poren. Tonig-mergelige Gesteine werden so nur sehr langsam durchströmt.

Die gelösten Bestandteile des tiefen Grundwassers, vorwiegend Natrium- und Chlorid-Ionen, wandern relativ langsam entgegen dem Konzentrationsgefälle (Gefälle der Partialdrucke) aus den tieferen Schichten vertikal in Richtung Erdoberfläche. Dabei erfolgt in den tonigen Gesteinen an der sehr großen inneren Oberfläche der Tonmineralien eine adsorptive Bindung der Natrium-Ionen und danach ein Austausch gegen die Calcium-Ionen des oberflächennahen, von oben nach unten sich bewegenden Calcium-Hydrogencarbonat-Grundwassers. Die Natrium-Ionen erscheinen wieder im Grundwasser. Es liegt ein Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser vor.

Für die Chlorid-Ionen dagegen wirken die tonigen Schichten als Sperre; sie werden weitgehend zurückgehalten.[36] [37]

Über den Mechanismus für den hydrogeologischen Austausch von Fluoridionen liegen keine Kenntnisse vor. Auffällig für die Deutung hier ist das (häufig) gemeinsame Auftreten von Natrium und Fluorid in Austauschwässern. Wenn in den in der vorgelegten Untersuchung relevanten Tiefen Austauschwässer ursächlich für höhere Fluoridgehalte in den Teilgebieten 12 und 31 sind, würde das auch erklären, wenn in den Proben damit höhere Natriumgehalte einhergehen, im Gegensatz dazu Sulfat-, Magnesium- und Calciumkonzentrationen niedrig bleiben. Dies zeigt sich in eingeschränktem Maße so, wie es im Rahmen der vorgelegten Untersuchung erwartet werden kann.

Die Untersuchung privater Trinkwasseranlagen aus dem Jahre 1993 von VOLLMER stützt diese Vermutung. Er untersuchte das Gebiet Mastholte (zu Rietberg). Er fand dort ebenfalls eine Häufung erhöhter und hoher Fluoridgehalte.[64] Auch dieses Gebiet liegt im Randbereich der „Ems-Urrinne“ außerhalb des Emscher Mergels in einem Austauschwasserbereich.

Dieser Zusammenhang lässt sich durch die hohe Korrelation zwischen Natrium und Fluorid in den entsprechenden Teilgebieten untermauern.

3. Rückschlüsse auf die Ursache der Fluoridgehalte im Brunnenwasser

Mit der Begründung der Verteilung der Fluoridwerte im Untersuchungsgebiet ist der Versuch interessant, Rückschlüsse auf die Ursache für die Fluoridgehalte im Brunnenwasser des untersuchten Gebietes vorzunehmen und zu diskutieren.

Vom geologischen Dienst des Landes NRW, vormals geologisches Landesamt, wurde der Zusammenhang der Fluoridwerte im Brunnenwasser mit dem so genannten Emscher Mergel hergestellt, was auch in neueren Untersuchungen aufgegriffen wird.[49]

In der vorgelegten Arbeit kann dieser Zusammenhang insofern bestätigt werden, dass in Gebieten mit Emscher Mergel tatsächlich und häufiger vergleichsweise höhere Fluoridwerte auftreten.

Diese Begründung ist jedoch für die Deutung der Verteilung der Fluoridwerte im Untersuchungsgebiet nicht ausreichend, da auch außerhalb der Bereiche des Emscher Mergels deutlich erhöhte Fluoridwerte festgestellt wurden. Insbesondere im Teilgebiet 12 weisen die geologischen Karten zumindest in Brunnentiefe kein Vorkommen des typischen „Emscher Mergels“ aus. Tonige Anteile im Untergrund sind jedoch auch dort anzutreffen.

Andererseits decken sich die erhöhten Fluoridvorkommen im Untersuchungsgebiet mit dem anderweitig dort nachgewiesenen Auftreten von Austauschwasser. Es scheint so, als ob der tonige Boden des Mergels für die Häufung höherer Fluoridgehalte ($>0,25\text{mg/l}$) im Untersuchungsgebiet nicht allein verantwortlich ist. Insbesondere die kleinräumige Struktur des Untergrundes und die fallweise unvermittelt hohen Fluoridwerte weisen zusätzlich auf eine andere hydrodynamisch, hydrochemische Ursache hin, wie sie beim Zustandekommen von Austauschwasser unterstellt werden muss. Austauschwasser können in diesem Bereich durchaus höhere Fluorid und Boratwerte mit sich führen. Auch der erwartete Zusammenhang mit der Natriumkonzentration konnte in den Untersuchungsergebnissen nachvollzogen werden, während die Zusammenhänge zur Leitfähigkeit, m-Wert und pH-Wert nicht wertbar aufgefunden wurden.

Dass alle Erwartungen bestätigt werden, ist angesichts der Komplexität der hydrogeologischen Vorgänge im Untergrund in realiter nicht zu unterstellen. Hinzukommt, dass nur eine vergleichsweise geringe Probenzahl in den einzelnen Gebieten vorliegt im Zusammenhang mit der Tatsache, dass verschiedene Mischtypen auf engem Raum nebeneinander vorkommen können, wie eingehende veröffentlichte Untersuchungen erbracht haben.[22] Letzteres wird durch die teilweise recht unterschiedliche Ionenlast der Proben vor allem in den Gebieten mit Hinweisen auf Austauschwasser in der vorgelegten Arbeit bestätigt.

10. Schlussfolgerungen

Fluoride und Nitrate sind Konzentrationsgifte. Während die Nitrate oberflächennah, meist antropogenen Ursprungs sind, in höheren Konzentrationen karzinogene Wirkung haben können und daher ständiger Beobachtung in Trinkwasseranalysen unterliegen, sind Fluoride aquiferspezifisch und haben im Untersuchungsgebiet ihren Ursprung im Untersuchungsgebiet in unterlagerten salzhaltigen Grundwasserschichten. Fluoride können in höheren Konzentrationen Fluorosen herbeiführen. Dies tritt im Allgemeinen in Deutschland nur über eine Kombination mehrerer Fluoridquellen bei der systemischen F⁻-Zufuhr auf.

Da es in Deutschland seit mehreren Jahren die Salzfluoridierung gibt und fluoridiertes Speisesalz auch in Großküchen verwandt wird, ist die Gefahr einer Überdosierung bei zusätzlicher Tablettengabe erhöht, insbesondere wenn bereits das Trinkwasser höhere Fluoridmengen enthält. Nicht nur die Salzfluoridierung sondern auch der Gebrauch von fluoridierter Zahnpasta, die im Kleinkindalter häufig verschluckt wird, erhöhen den Anteil an systemisch zugeführtem Fluorid.

Als Maßnahme der Gesundheitsvorsorge sollten alle Nutzer von privaten Trinkwasserbrunnen, bei denen fluoridhaltige Grundwässer festgestellt sind, dies im Sinne einer Systemkontrolle beachten, sofern nicht die lokale Applikation von zusätzlichem Fluorid zur Kariesprophylaxe als ausreichend erachtet wird und man sich bei der systemischen Fluoridierung im Sinne der DGZMK-Empfehlung auf Salz und Trinkwasser beschränkt. Im Untersuchungsgebiet, insbesondere in den Teilgebieten 12 (Richtung Ummeln) und 31 (Rheda-Wiedenbrück) und im eingeschränkten Maße im Teilgebiet 32, kann es in Brunnen, die nicht der Untersuchung unterlagen, wegen der sehr kleinräumigen hydrogeologischen Unterschiede im Untergrund, durchaus zu unerwartet höheren Fluoridgehalten kommen.

Für diese Fälle haben sich in der vorgelegten Arbeit drei Parameter finden lassen, die innerhalb einer Untersuchung des Trinkwassers Hinweise auf einen erhöhten Fluoridgehalt geben könnten:

Neben dem Ort (süd-westlicher Teil Rheda-Wiedenbrücks und Bereich südlich von Ummeln) geben Werte wie Natrium (wenn erhöht) und die Brunntiefe (je tiefer desto höher die Wahrscheinlichkeit) einen Hinweis auf Fluoride im Trinkwasser.

In welcher Höhe die Fluoridkonzentration im Trinkwasser ist lässt sich aus den Parametern nicht ersehen, jedoch sollte man bei einer Häufung der o.g. Hinweise nicht auf eine Untersuchung verzichten.

Besonders in den Fällen, wo eine zusätzliche Fluoridierung mit Tabletten eingesetzt wird, ist die Kenntnis des Fluoridgehaltes des Trinkwassers notwendig, um eben eine Überdosierung und die damit einhergehende Fluorosegefahr zu vermeiden

11. Zusammenfassung

Die hier vorgelegte Untersuchung hat zum Ziel, einen Überblick zu bieten über Vorkommen und Verteilung von Fluorid im Trinkwasser aus privaten Brunnen im Raum Gütersloh und zu prüfen, ob es Parameter gibt, die die Konzentrationshöhe von Fluoriden begleiten und diese festzulegen. Dazu wurde aus 200 verteilt gelegenen Brunnen je eine Probe gezogen und ortsbezogen untersucht. Das Untersuchungsgebiet umfasste eine Fläche von ca. 400 km² rund um Gütersloh.

In den Proben wurden außer für die Fluoride, die elektrochemisch festgelegt wurden, die Konzentrationen der Kationen Natrium, Calcium, Kalium, Magnesium, Strontium und Lithium und der Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat auf ionochromatografischem Wege, die Konzentrationen von Borat und Ammonium durch Photometrie bestimmt. Darüber hinaus wurden die Leitfähigkeit, der pH-Wert und der m-Wert gemessen.

Es wurden 4 Brunnen mit entsprechend erhöhtem Fluoridgehalt über 1,5 mg/l festgestellt, Werte, die entsprechend der Trinkwasserverordnung und der World Health Organisation (WHO) als erhöht bezeichnet werden müssen. Eine individuelle Benachrichtigung der Brunnenbesitzer empfiehlt sich. Die Auswertung der Verteilung aller Fluoridwerte im Vergleich mit den hydrogeologischen Vorgaben dieses Raumes ergab die begründete Vermutung, dass die festgestellten Fluoridkonzentrationen im Zusammenhang stehen mit so genanntem Austauschwasser, einer Grundwasser-Besonderheit dieses Raumes, deren Ursache letztlich im Partialdruck unterlagerter salzhaltiger Grundwasserschichten zu finden ist. Die Unterschiede im Fluoridgehalt sind aquiferspezifisch kleinräumig stark unterschiedlich.

Der Vergleich zwischen den weiteren Parametern und den Fluoriden erfolgte auf der Basis umfangreicher statistischer Untersuchungen mit dem SPSS-Programm. Das Ergebnis ist die Feststellung, dass neben den Borat-Konzentrationen, die mit dem Auftreten entsprechend hoher Fluoridkonzentrationen statistisch signifikant einhergehen, die Konzentrationen der Natrium-Ionen mit denen der

Fluoridkonzentrationen korrelieren. Damit besteht die Möglichkeit, auch dann aus den Analysen auf höheren Fluoridgehalt zu schließen, wenn der Vorschriftenlage entsprechend keine unmittelbare Fluorid-Messung vorliegt.

Auch wenn in den meisten der untersuchten Brunnenwasser keine erhöhte Fluoridkonzentration festgestellt wurde, ist nicht auszuschließen, dass Brunnen vor allem in den Bereichen um Rheda-Wiedenbrück, aber auch in Richtung Ummeln gegenüber den Nachbarbrunnen überraschend hohe Fluoridwerte aufweisen. Zahnmedizinisch empfiehlt es sich daher für Familien mit Kindern sich entsprechend der Empfehlung der DGZMK auf lokale Applikation von Fluoriden im Sinne der Kariesprophylaxe zu beschränken. Systemisch sollte lediglich fluoridiertes Speisesalz Anwendung finden. Auf Fluorettten sollte möglichst verzichtet werden oder der Aufwand einer genauen Fluoridanamnese betrieben werden, die die systemischen Kontrolle der Fluorid-Aufnahme möglich macht. So kann man dem Folgeschaden Fluorose nach regelmäßiger Fluoridzufuhr in zu hohen Mengen vorbeugen.

12. Lebenslauf

ARIANE LANG

Persönliche Daten

Name: Ariane Lang
Eltern: Dr. Norbert Lang + Gisela Lang
Hauptwohnsitz: Mads-Clausen-Str. 5; 24939 Flensburg
Geburtstag: 02. Juni 1975 in Hagen

Ausbildung

1985 - 1991 Gymnasium „Hildegardisschule“ Bochum;
französisch bilingualer Zweig
1991 - 1992 Internat „Centre International de Valbonne“ in Südfrankreich
Okt. 1992 Gymnasium „Hildegardisschule“
Feb. 1993 Gymnasium am Ostring
Juni 1995 Allgemeine Hochschulreife;
März- Aug. 1996 Freiwilliges Soziales Jahr im Gemeinschaftskrankenhaus Herdecke
seit WS 1996/97 Studium der Zahnmedizin an der WWU Münster
August 1997 Vorphysikum
April 1999 Physikum
März/April 2001 freiwillige Famulatur in Chile
Juli 2002 Abschluss der „Zahnärztlichen Prüfung“
seit Okt. 2002 Assistenzzeit

13. Danksagung

*Mein Dank gilt allen die mir
bei der Abfassung dieser Arbeit behilflich waren.*

Besonders möchte ich mich bei Dr. W. Mathys
für die Überlassung des Themas und die Betreuung bedanken.

Ein besonderer Dank gilt auch dem Team des Hygieneinstituts,
für die freundliche Unterstützung bei der Auswertung der Wasserproben.

Nicht zuletzt danke ich denjenigen, die bei der Durchsicht
dieser Arbeit Geduld und Übersicht behalten haben.

15. Literaturverzeichnis

1. Buddecke, Eckhart; Biochemische Grundlagen der Zahnmedizin; Berlin 1981
2. Büttner, W. (1968); Der Fluorstoffwechsel bei niedriger und hoher Zufuhr von Fluoriden; Dtsch Zahnärztl Z 23; Seite 123
3. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin; Verwendung fluoridierter Lebensmittel und die Auswirkung von Fluorid auf die Gesundheit; Stellungnahme des BgVV vom September 2001
4. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin; Stellungnahme des BgVV zur Fluoridhaltigen Mundwässern und zum Alkoholgehalt in Mund- und Zahnpflegemitteln; Stellungnahme des BgVV vom November 2001
5. Brouwer, I.D., O. Backer Dirks, A. De Bruin, J.G.A.J. Hautvast (1988); Unsuitability of worldhealth organisation guidelines for fluoride concentrations in drinking water in Senegal; Lancet 1; Seite 223-225
6. Colora MesstechnikGmbH; Bedienungsanleitung für Orion Fluorid-Elektroden, Modell 94-09 und 96-09; Cambridge, Mass.
7. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr/Fluorid; 2000
8. Dequecker J. et al.; Fluor in the treatment of osteoporosis. An overview of thirty years clinical research; Schweiz Med Wochenschr 1993 (27.Nov); 123;2228-34
9. Fluoridkarte der Bundesrepublik Deutschland, 2. überarb. Auflage, WidO Bonn 1988

10. Cortes, D.F., R.P. Ellwood, D.M. O'Mullane, J.R. Bastos (1996); Drinking water fluoride levels, dental fluorosis, and caries experience in Brazil; J Public Health Dent 56; Seite 226-228

11. Graffman,G., Kunzel,P Nösler,H, Nonnenmacher,G.; Spurenbestimmung von Bor in Oberflächengewässern und Trinkwässern, Chem.Zeitg.98, 499-504 (1974).

12. Haufland, D; Untersuchungen zur bioverfügbaren Fluoridkonzentration von Zahnpasten; Quintess. Zahnärztl. Lit. 3, 513-519; 1989

13. Heilgermann, Wetzel; Ursachen und Schweregrad der Dentalfluorose bei 30 Fällen im Zeitraum 1983-1992; Dtsch Zahnärztl Z 51 (1996)

14. Hellwig E.; Fluoride - Chemie und Biochemie; Carl Hanser Verlag; München; Dtsch Zahnärztl Z 51 (1996); Seite 638

15. Hellwig, E. et al.; Hängt die Wirksamkeit einer Zahnpasta von der Fluoridkonzentration ab; Oralprophylaxe, Sonderheft 1999, Seite 28-31

16. Hellwig, E., Hetzer G. ; Salzfluoridierung; DZZ 56 2001

17. Hellwig, E, J. Klimek (1985); Caries prevalence and dental fluorosis in german children in areas with different concentrations of fluoride in drinking water supplies; Caries Res 19; Seite 278-283

18. Hellwig, Klimek, Attin, Einführung in die Zahnerhaltung, aktualisierte Auflage; Urban & Schwarzenberg; Seite 80

19. Hotz, P.R.; Anwendung der Fluoride in der Zahnmedizin; Dtsch Zahnärztl Z 51 (1996) 11

20. Hütter, L.A.; Wasser und Wasseruntersuchung ; 6. Auflage; Frankfurt a.M – Salzburg; 1994; S.274/275
21. Hydrogeologische Karte, Erläuterungen zu C4314 Gütersloh; Abbildung 18
22. Hydrogeologische Karte, Erläuterungen zu C4314 Gütersloh ,S.69
23. Ibrahim, Y.E., Bjorvatn, J.M. Birkeland (1997); Caries and dental fluorosis in a 0,25 and a 2,5 ppm fluoride area in the Sudan; Int J Paediatr Dent 7; Seite 161-166
24. IDM-www.mineralwasser.com; aktualisierte Auflage 2002
25. IDM-www.mineralwasser.com; 5. aktualisierte Auflage 2001; Seite 18
26. Irigoyen, D.E., N. Molina, I. Luengas (1995); Prevalence and severity of dental fluorosis in a Mexican community with above-optimal fluoride concentration in drinking water; Community Dent Oral Epidemiol 23; Seite 243-145
27. Jinadasa, K.B.P.N., C.B. Dissansyake, S.V.R. Weerasooriya, A.Senaratne (1993); Adsorption of fluoride on goethite surfaces-implications on dentalepidemiology; Environmental Geology 21; Seite 251-255
28. Kleemann, Dipl. Chem. E.; Fluoridgehalt nordbayerischer Grundwässer; 1978
29. Koch, M., Michel, G; Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100000, Erläuterungen zu Blatt C4314 Gütersloh; Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen; 1979
30. Larsen, M.J, Fejerskov, O. (1978); Structural studies on calcium fluoride formation and uptake of fluoride in surface enamel in vitro; Scandinavian journal of dental research 86; Seite 337-345

31. Lay, Jan Peter et al.; Trinkwasser aus privaten Hausbrunnen; Erich Schmidt Verlag , Berlin 2000

32. Levenson, GE. (1980); The effect of fluorid on ameloblasts of mouse molar tooth germs "in vitro"; Journal de biologie buccale 8; Seite 255-263

33. Malvin, E.; Geschichte der Zahnmedizin; DDS

34. Marthaler; Changes in the Prevalence of Dental Caries: How Much Can Be Attributed to Changes in Diet?; Diet, Nutrition and Dental Caries, Caries Res 1990; 24(suppl1): 3-15

35. Matuousek, F.; Hoehn, E.; Fluorid in Grundwässern der Mittleren und Oberen Trias im Jura der Nordwestschweiz; Schweiz 1985; Seite 20

36. Michel, G., Über die mögliche Herkunft des mineralisierten Grundwassers im Münsterschen Becken, Z.d.t.geol. Ges. 115 (Hannover 1966) S.566-571;

37. Michel, G.; Zur chemischen Charakteristik der Grenzzone Süßwasser/Salzwasser im Raum Bielefeld (Ostwestfalen), Fortschr.Geol. Rheinld. U. Westf. 17 (Krefeld 1969) S.171-200;

38. Murray, JJ et al.; Fluorides in caries prevention; Wright, Oxford 1991

39. Naujoks, R.; Prophylaxe der Karies; in: Ketterl, W. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 2(Zahnerhaltung I); 2. Auflage; Urban & Schwarzenberg; München 1987

40. Nell, A. et al.; Messung des Trinkwasserfluoridgehaltes in Vorarlberg; Wien Klein Wochenschr (1993) 105/6; Seite 174-175

41. Neu et al; Gesundheitsbericht für das Jahr 2000 im Kreis Soest; Medizinische Dienste Kreisverwaltung Soest
42. Nippert, R. P.; T. Grönich; Trinkwasserfluoridierung auch in der Bundesrepublik Deutschland? Eine Expertenbefragung; Quintessenz-Verlags-GmbH; Berlin 1992
43. Otto, M.; Analytische Chemie, 2. vollst. überarbeitete Auflage; WILEY-VCH, Weinheim, 2000; S. 415
44. Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-, und Schlammuntersuchung, Anionen (Gruppe D), Bestimmung von Borat-Ionen, 1981-03
45. 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; Seite 118-125
46. Queste, A., Lacombe, M., et al.; High concentrations of fluoride and boron in drinking water wells in the Muenster region-Results of a preliminary investigation; Int. J. Hyg. Environ. Health 203, 221-224 (2001)
47. Reich, Elmar; Faustregeln für die Fluoridanwendungen; Prophylaxe praktikabel 1/00 Seite 11-12
48. Rott U. - Wiss. Leitung; Revision der EG- Trinkwasserrichtlinie - Konsequenzen für die deutsche Wasserversorgung; 14. Trinkwasserkolloquium am 24. Februar 2000; München: Oldenbourg Industriverlag GmbH, 2000; Seite 9
49. Scheffer/Fritz; Lehrbuch der Bodenkunde; 15. Aufl. Heidelberg 2002; Seite 377

50. Schmidt, H.J.; Zahnkariesprophylaxe durch Fluorid. 2. Auflage Hüting Heidelberg 1967
51. Schroeder, H.E.; Pathobiologie oraler Strukturen; 3. überarb. Aufl; Karger Basel 1997; Seite 46-47
52. Schulte, A. et al; Fluoridkonzentration in deutschen Mineralwässern; Dtsch Zahnärztl. Z. 51 (1996) 12; Seite 765
53. Schwarz, K., D.B. Milne (1972); Fluorine requirement for growth in the rat; Bioingen Chemistry 1; 331
54. Seyfarth, Rolf; Kleines Lexikon zur Trinkwasser-Beschaffenheit; Wien: Oldenbourg, 1997; Seite 82
55. Sprengel, H.J.; Preservation of Water Samples; Water Research Vol.5, 233-241
56. Staehle, H.J.; M.J. Koch; Kinder- und Jugendzahnheilkunde: Kompendium für Studierende und Zahnärzte; Deutscher Ärzte-Verlag; Köln 1996
57. Stellungnahme des BgVV; Verwendung fluoridierter Lebensmittel und die Auswirkungen von Fluorid auf die Gesundheit; September 2001
58. Stellungnahme der DGZMK; Empfehlung zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden; 27.03.2000
59. Strubelt, O.; Die Toxizität der Fluoride; Dtsch med Wschr 110. Jg, Nr 18(1985) 730-736
60. Stübel, Günther; Mineralogie: Grundlagen und Methoden; 2. neu bearb. Auflage; Stuttgart : Enke, 1995 Seite 230

61. Trautner, K., G. Siebert (1983); Die Bewertung der Fluoridzufuhr mit der Nahrung. Studien zur Verfügbarkeit; Dtsch Zahnärztl Z 38, Seite 50
62. Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung-TrinkwV)
63. Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21.Mai 2001; DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
64. Vollmer, Untersuchungen über den Fluoridgehalt des Trinkwassers aus privaten Wasserversorgungsanlagen der Region Rietberg 3 (Mastholte); Dissertation, Münster 1993
65. Weiß, J.; Ionenchromatographie, 3.überarbeitete und erweiterte Aufl.; WILEY-VCH, Weinheim, 2001; S. 133, 361
66. Wetzell, W.E., H. Wolf (1991); Dentalfluorose durch hochfluoridhaltiges Mineralwasser; Pädiat Prax 42;351 und Pädiat Prax 42; 659
67. Willershausen, Britta et al.; Alles über Sprudel & Co; zm-online; 4_00
68. World Health Organization (1970); Fluorides and human health; WHO Monograph series 59; WHO Genf
69. Zeek, Chemie für Mediziner; 2.Auflage, Urban und Schwarzenberg; München 1992; S 102

Internethinweise:

70. www.m-ww.de/gesund_leben/ernaehrung/mineral_spuren/fluor.html

71. www.dentomania.de/proph/profluor.htm

14. weitere Verzeichnisse

14.1 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Wasserverteilung auf der Erde</i>	5
<i>Abbildung 2: Gesamtabsatz von Erfrischungsgetränken</i>	8
<i>Abbildung 3: Lage und Gliederung des Untersuchungsgebietes</i>	30
<i>Abbildung 4 : Darstellung der Probenverteilung auf Teilgebiete</i>	32
<i>Abbildung 5: Abhängigkeit von pH-Wert zum Anteil freier F⁻-Ionen</i>	36
<i>Abbildung 6: Aufbau eines pH-Meters</i>	40
<i>Abbildung 7: Funktionschema einer Trennsäule [45]</i>	45
<i>Abbildung 8: Funktionsschema eines Spektralphotometers</i>	48
<i>Abbildung 9: Vergleich der nach Größe geordneten Fluoridwerte aus elektrochemischer und aus ionenchromatografischer Bestimmung</i>	50
<i>Abbildung 10: Räumliche Verteilung der Fluoride in den privaten Trinkwasserbrunnen im Untersuchungsgebiet, dargestellt als Mittelwerte aus den Proben im jeweiligen Teilgebiet</i>	54
<i>Abbildung 11: Lage höherer Fluoridkonzentrationen und Austauschwasservermutung</i>	55
<i>Abbildung 12: Fluoride/Tiefengruppen</i>	58
<i>Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Fluoridgehalt und Brunnentiefe im Teilgebiet 12.</i>	59
<i>Abbildung 14: Konzentrationszusammenhang Borate/Fluoride, Korrelationskoeffizient 0,889</i>	60
<i>Abbildung 15 : Konzentrationszusammenhang Natrium/Fluoride, Korrelationskoeffizient 0,714</i>	61
<i>Abbildung 16: Zusammenhang Fluoridkonzentration zur Leitfähigkeit, Korrelationskoeffizient 0,489</i>	62
<i>Abbildung 17: Zusammenhang Natriumkonzentration zur Leitfähigkeit: Korrelationskoeffizient 0,791</i>	63

14.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2 : Empfehlung zu Fluoridierungsmaßnahmen</i>	23
<i>Tabelle 3: chemische Untersuchungsparameter im Raum Gütersloh</i>	26
<i>Tabelle 4: Zahl der Proben im Teilgebiet</i>	32

Anhang

Formular für die Erhebung der Daten.....	I-II
Datentabellen der untersuchten Brunnen.....	III-IX
Korrelationstabelle „alles gegen alles“.....	X-XIII
Empfehlung zur Fluoriduntersuchung des Gesundheitsamtes GT.....	XIV

Formular für die Erhebung der Daten

Probe Nr.: _____

Pstellen Nr.: _____

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 Brunntiefe: _____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?

Einstufig Mehrstufig Offen Geschlossen

Enteisung Entmanganung Nitrifizierung

Enthärtung Umkehrosmose Hersteller _____

Trübung des Wassers _____ Keine

Leitfähigkeit des Wassers _____ **µS/cm**

Formular für die Erhebung der Daten

Angaben zum Verbrauchsverhalten

Seit wann lebt die Familie im Haus?	
Wieviele Familien leben im Haus?	
Seit wann nutzt die Familie das Wasser?	
Wieviele Personen sind angeschlossen?	
Wieviele Erwachsene?	
Wieviele Kinder?	
Alter der Kinder?	

Nähe Haus Im Garten Im Feld Im Wald

Entfernung vom Haus: _____m Brunnentiefe: _____m

Filterstrecke (soweit bekannt): von _____m bis _____m

Baujahr _____ Firma _____

Für welche Zwecke wird das Wasser verwendet?

Trinken Kochen Zubereiten v. Babynahrung Andere

Sodastream-Gerät vorhanden? Ja Nein

Wie hoch schätzen Sie den Trinkwasserverbrauch ein (getrennt nach Personen)?

(direktes Wassertrinken, Tee, Kaffee)

Person	Trinkt nur Eigenwasser	Trinkt bevorzugt Eigenwasser für Tee u. Kaffee	Trinkt auch Mineral- wasser oder Tafel- wasser	Trinkt nur Mineral- wasser	Trinkt tagsüber anderswo	Geschätzte Menge Eigen- wasser/ Tag

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	rechts	hoch	pH-Wert	Leitfähigkeit	m-Wert	Chloride	Nitrate	Sulfate	Fluoride	G-Nr.
1	3461081	5753455	7,2	870	5,52	38,81	20,14	99,55	0,00	1
2	3461121	5753495	7,5	875	4,86	62,81	6,20	136,00	0,00	2
3	3461026	5753490	7,4	834	5,22	24,16	9,93	88,65	0,00	3
4	3461171	5753595	7,5	715	5,94	37,98	0,53	92,52	0,00	4
5	3461536	5753370	7,1	1025	7,20	73,11	0,45	94,70	0,00	5
6	3461536	5753430	7,1	1065	7,54	37,34	0,23	41,19	0,00	6
7	3456836	4749180	7,3	910	3,20	29,98	104,81	61,71	0,22	7
8	3456736	5749440	7,5	899	3,16	33,95	106,53	57,42	0,15	8
9	3456116	5748830	7,2	870	5,00	28,55	19,45	54,87	0,13	9
10	3454566	5749160	7,5	875	3,30	29,61	58,83	96,35	0,09	10
11	3453686	5748865	7,4	726	2,85	21,37	64,46	63,01	0,10	11
12	3453401	5748490	7,5	734	2,82	21,19	64,16	62,54	0,07	12
13	3453081	5748875	7,4	700	2,26	33,48	19,03	83,26	0,07	13
14	3452715	5750034	7,3	995	5,36	17,74	36,56	108,19	0,07	14
15	3451765	5749364	7,4	947	4,74	27,46	24,63	118,34	0,06	15
16	3450930	5749497	7,3	910	5,72	28,46	2,75	79,28	0,18	16
17	3450430	5749077	7,3	910	5,70	28,51	0,00	80,18	0,19	17
18	3449920	5748619	7,7	962	7,92	23,19	1,18	22,05	0,79	18
19	3448460	5747185	7,4	831	4,72	43,21	0,00	38,45	0,52	19
20	3448085	5747599	7,4	838	2,36	24,35	5,02	114,80	0,20	20
21	3447320	5746740	7,4	708	9,94	17,22	2,11	18,91	0,55	21
22	3447575	5746510	7,2	934	6,02	35,52	0,00	56,02	0,69	22
23	3447150	5746030	7,6	1636	10,56	97,51	0,00	51,01	1,30	23
24	3447436	5744760	7,4	1287	7,22	91,11	0,00	42,19	0,85	24
25	3448075	5745655	7,5	974	7,36	28,42	0,00	34,35	0,59	25
26	3448481	5745270	7,8	1213	9,60	34,88	0,26	13,03	1,29	26
27	3448776	5744355	7,4	842	5,62	38,11	1,56	42,25	0,50	27
28	3452335	5759027	6,0	786	1,48	66,87	1,09	47,67	0,07	28
29	3452000	5758742	6,6	685	2,56	60,16	1,82	44,20	0,09	29
30	3452060	5758562	6,7	698	2,26	50,54	1,71	63,21	0,09	30
31	3452085	5758612	6,7	660	2,12	55,42	1,62	67,83	0,08	31
32	3452120	5758632	9,3	758	8,10	60,33	0,88	79,26	0,09	32
33	3454106	5757820	6,6	881	3,00	75,17	1,63	94,80	0,06	33
34	3454336	5758130	6,9	785	2,88	47,03	0,00	121,54	0,05	34
35	3454991	5757740	6,5	848	2,76	72,63	18,29	42,81	0,05	35
36	3455111	5757705	6,7	612	3,00	44,57	1,24	39,59	0,06	36
37	3455076	5757680	7,3	828	4,16	46,78	0,59	81,95	0,07	37
38	3455036	5757675	7,1	626	2,28	46,72	0,00	44,19	0,08	38
39	3455141	5755650	7,1	540	2,30	57,05	3,60	58,66	0,06	39
40	3455221	5757650	7,4	682	2,22	58,86	0,86	104,96	0,06	40
41	3455276	5757645	7,3	741	2,60	56,06	0,31	107,77	0,06	41
42	3455441	5757380	7,3	728	2,72	60,18	1,24	109,69	0,06	42
43	3455391	5757215	7,3	713	3,18	53,96	21,21	70,28	0,05	43
44	3455516	5757365	7,0	642	2,44	44,83	0,85	80,16	0,05	44
45	3455741	5757361	7,2	802	3,62	64,13	0,79	107,21	0,05	45
46	3455846	5757595	8,2	620	5,80	15,54	0,84	4,26	2,85	46
47	3456096	5757521	7,3	826	4,52	59,47	1,62	70,84	1,11	47
48	3456221	5757521	6,3	587	1,66	136,71	11,51	2,50	0,09	48
49	3456351	5757496	7,4	968	4,90	147,46	1,98	33,87	0,84	49
50	3456471	5757501	8,5	750	6,90	20,98	0,00	6,67	1,81	50
51	3456611	5757391	6,9	968	3,08	79,918	88,21	132,42	0,03	51
52	3457341	5757356	7,5	729	3,90	83,44	0,68	63,11	0,39	52
53	3464691	5755385	7,8	538	1,54	75,08	26,08	64,83	0,00	53
54	3464641	5755385	7,5	608	1,96	42,96	48,48	103,26	0,00	54
55	3464671	5755200	7,9	473	1,72	32,17	2,48	73,84	0,00	55
56	3464496	5755320	7,3	523	1,84	43,27	22,69	48,49	0,00	56
57	3464411	5755325	7,5	730	2,60	55,74	34,80	58,09	0,00	57
58	3464276	5755125	7,2	548	1,90	11,27	8,67	12,891	0,00	58

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	Borate	Na	K	Ca	Mg	Li	Sr	Ammonium	Tiefe	Soda-stream	Brunnenart	G-Nr.
1	0,05	21,27	5,10	147,97	10,36	%	%	0,02	9	0	1	1
2	0,04	30,04	1,09	142,66	11,55	0,01	%	0,03	8,5	0	1	2
3	0,00	21,92	2,08	132,96	7,66	0,01	%	0,03	7	0	1	3
4	0,05	19,52	0,83	148,15	10,85	0,01	%	0,01	12,5	0	1	4
5	0,35	49,73	3,48	165,54	9,10	%	%	%	12	0	1	5
6	0,33	47,95	3,60	166,34	9,30	0,01	%	0,02	12	0	1	6
7	0,08	20,28	19,25	125,15	10,73	%	%	%	6	0	1	7
8	0,10	25,01	13,08	122,68	8,79	%	%	%	8	0	1	8
9	0,13	21,51	9,412	135,11	7,18	%	%	0,09	%	0	1	9
10	0,07	26,83	10,83	129,04	6,64	%	%	%	26	0	1	10
11	0,04	27,75	1,28	107,94	4,21	%	%	%	23	0	%	11
12	0,06	27,36	1,19	106,96	4,24	%	%	%	20	0	1	12
13	0,07	22,36	1,24	101,96	5,31	%	%	%	16	0	1	13
14	0,12	25,96	1,50	6,05	165,19	%	%	%	15	0	1	14
15	0,10	23,16	2,18	154,23	10,06	%	%	%	22	0	1	15
16	0,09	27,30	0,90	153,36	3,85	%	6,99	%	20	0	1	16
17	0,14	27,70	0,90	151,74	3,79	%	9,57	0,89	20	0	1	17
18	1,15	173,58	1,40	31,19	5,84	0,03	4,89	0,9	60	0	1	18
19	0,40	94,19	0,91	65,39	5,23	0,01	1,54	0,51	45	1	1	19
20	0,09	2,42	0,68	14,94	0,37	%	%	%	40	0	1	20
21	0,44	82,82	0,92	61,74	4,37	0,01	1,38	%	35	0	1	21
22	0,50	71,99	1,05	108,48	6,13	0,01	1,94	0,44	35	0	1	22
23	1,69	303,73	1,14	50,78	7,63	0,04	3,17	0,86	37	0	1	23
24	0,66	143,92	1,91	98,17	13,25	0,02	2,78	0,62	48	1	1	24
25	0,78	116,44	1,80	66,90	11,46	0,03	11,90	1,09	40	0	1	25
26	1,27	244,84	1,13	21,67	3,18	0,03	3,47	0,81	25	0	1	26
27	0,34	53,50	1,46	98,67	10,41	0,02	0,59	%	14	0	1	27
28	0,07	25,20	1,43	82,01	4,49	%	%	0,03	15	0	1	28
29	0,08	27,15	1,28	73,85	3,27	%	%	1,06	14	0	1	29
30	0,08	25,12	1,38	78,76	2,86	%	%	0,15	17	0	1	30
31	0,09	29,34	1,37	58,27	10,54	%	2,36	1,65	8	0	1	31
32	0,11	19,13	21,42	5,36	80,80	%	%	0,16	6,5	0	1	32
33	0,08	35,47	1,58	92,68	3,07	%	%	0,12	15	0	1	33
34	0,08	29,48	2,63	95,83	4,67	%	%	0,29	8,5	0	1	34
35	0,14	34,28	14,35	71,06	6,31	%	%	0,05	9	0	1	35
36	0,08	23,88	1,33	58,97	4,00	%	%	0,02	16	0	1	36
37	0,09	29,76	1,71	108,11	4,43	%	%	0,04	15	0	1	37
38	0,12	27,13	1,64	64,14	4,71	%	%	0,25	8	0	1	38
39	0,14	25,18	7,79	64,05	4,39	%	%	1,12	%	0	1	39
40	0,1	27,77	1,76	82,96	5,11	%	%	0,25	14,9	0	1	40
41	0,07	26,58	2,68	89,53	5,96	%	%	0,02	15	1	1	41
42	0,07	27,14	2,13	96,09	5,11	%	%	%	13	0	1	42
43	0,09	29,55	4,08	86,64	5,30	%	%	0,02	12	0	1	43
44	0,08	42,85	2,02	62,77	3,45	%	%	0,59	18	0	1	44
45	0,08	26,91	2,57	109,80	5,35	%	%	0,01	16	0	1	45
46	2,4	150,23	0,74	7,25	0,88	0,01	0,60	0,7	42	0	1	46
47	1,01	104,65	1,44	51,757	3,35	0,01	2,44	%	42	1	1	47
48	0,16	30,06	21,54	53,859	5,17	%	%	0,16	15	1	1	48
49	1,09	167,01	1,36	30,435	3,41	0,01	0,48	0,35	35	0	1	49
50	2,3	179,40	0,11	2,563	0,34	0,01	0,41	0,4	30	0	1	50
51	0,14	27,89	13,58	134,39	7,73	%	%	0,09	35	0	1	51
52	0,57	103,86	0,86	42,36	3,61	0,01	0,11	1,1	32	0	1	52
53	0,07	23,88	1,76	82,27	3,62	%	%	0,2	20	0	1	53
54	0,07	25,05	1,59	91,51	3,62	%	%	0,09	20	0	1	54
55	0,06	10,76	1,08	62,85	1,94	%	%	%	15	1	1	55
56	0,08	18,96	2,28	61,77	2,88	%	%	%	15	0	1	56
57	0,14	30,33	6,05	78,60	4,08	%	%	%	20	0	1	57
58	0,15	11,59	2,99	24,53	1,56	%	%	0,01	18	0	1	58

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	rechts	hoch	pH-Wert	Leitfähigkeit	m-Wert	Chloride	Nitrate	Sulfate	Fluoride	G-Nr.
65	3463376	5753576	7,3	520	2,44	17,71	0,00	12,52	0,00	65
66	3463526	5753251	7,6	435	2,16	23,22	0,56	12,58	0,00	66
67	3463396	5753341	7,3	363	2,22	26,59	0,00	34,18	0,00	67
68	3463221	5753186	7,4	501	2,44	16,99	0,35	15,86	0,00	68
69	3463131	5753321	8,1	437	2,42	9,19	0,00	11,31	0,00	69
70	3463106	5753535	7,8	518	2,84	110,08	0,41	175,18	0,19	70
71	3449962	5741821	8,1	1305	13,86	39,42	0,44	36,17	1,41	71
72	3449877	5741876	7,1	2100	6,36	97,07	1,93	98,29	0,28	72
73	3449881	5742296	7,1	1100	5,00	77,13	0,95	92,03	0,09	73
74	3449761	5742341	7,4	1143	6,12	203,50	0,00	35,16	0,23	74
75	3449661	5742446	7,8	1318	6,04	273,57	1,90	41,25	0,41	75
76	3449541	5742471	7,3	1606	7,44	49,39	2,19	167,47	0,55	76
77	3449411	5742456	7,4	1513	7,64	290,58	1,56	199,89	0,33	77
78a	3449346	5742451	7,8	1900	10,80	50,74	101,463	99,86	1,49	78a
78b	3450041	5742501	7,4	934	5,64	26,05	39,62	66,76	0,13	78b
79	3450226	5742866	7,5	1522	8,52	186,48	0,72	19,65	0,95	79
80	3450271	5742966	7,0	1495	5,34	515,17	0,00	43,29	0,20	80
81	3450061	5743146	7,2	2170	5,16	5,55	0,00	0,00	0,22	81
82	3449301	5743421	7,5	861	5,64	63,26	5,13	68,75	0,00	82
83	3449296	5743536	7,3	940	4,44	9,33	0,97	5,808	0,00	83
84	3449521	5743876	7,2	629	5,36	31,22	1,35	22,90	0,00	84
85	3449356	5744106	7,1	867	5,52	64,79	0,00	85,62	0,06	85
86	3449381	5744146	7,9	2550	9,62	51,50	0,72	50,22	2,02	86
87	3449491	5744121	7,6	1406	5,66	75,85	5,93	46,47	0,00	87
88	3449061	5744190	7,4	1078	4,16	73,67	0,00	1,15	0,12	88
89	3449286	5744146	7,3	1268	6,26	16,13	53,06	14,40	0,33	89
90	3449621	5744216	7,3	554	3,60	14,36	15,60	43,82	0,00	90
91	3462031	5754250	7,7	670	3,02	28,27	1,37	54,38	0,08	91
92	3461931	5754900	7,4	500	2,40	42,08	1,82	23,92	0,00	92
93	3461981	5754860	7,5	535	2,40	12,63	5,72	19,50	0,20	93
94	3460920	5755635	7,2	587	2,32	11,31	0,00	0,23	0,06	94
95	3460960	5755660	7,4	538	7,44	7,24	10,70	11,19	0,00	95
96	3461280	5755675	4,6	737	0,06	24,09	0,00	23,22	0,00	96
97	3447745	5747309	7,9	580	4,04	30,65	0,00	28,19	0,00	97
98	3447750	5746979	8,1	468	2,82	19,50	0,69	19,03	0,00	98
99	3446415	5746085	7,3	800	5,86	30,07	36,00	41,87	0,00	99
100	3447520	5746165	7,7	677	5,98	9,35	11,77	11,02	0,00	100
101	3447795	5746380	8,0	669	7,26	51,40	102,84	99,87	0,78	101
102	3447425	5746035	8,2	1534	12,10	22,70	0,00	0,45	1,36	102
103	3448110	5746265	7,8	797	6,66	48,89	0,39	1,30	0,28	103
104	3447980	5746285	7,5	800	6,60	141,31	0,00	1,11	0,26	104
105	3447985	5746165	7,7	1159	8,60	24,24	0,00	30,64	0,37	105
106	3446675	5745325	7,2	720	4,26	52,16	0,67	47,59	0,13	106
107	3446551	5743595	7,2	1067	6,52	33,10	0,23	37,37	0,14	107
108	3446706	5743515	7,3	837	5,84	50,74	1,69	41,13	0,11	108
109	3446976	5743510	7,3	875	4,90	46,55	0,00	85,90	0,14	109
110	3447151	5743550	7,3	849	4,44	48,99	0,00	38,39	0,00	110
111	3447601	5743710	7,4	783	6,20	18,89	0,74	6,83	0,08	111
112	3447796	5743565	7,1	728	3,28	10,92	0,00	24,78	0,21	112
113	3447921	5743710	7,0	730	4,50	41,36	0,21	89,02	0,06	113
114	3448356	5743206	7,6	2690	8,04	703,86	0,00	69,45	0,37	114
115	3445891	5743621	7,1	846	5,96	63,76	0,37	44,84	0,14	115
116	3448461	5743790	7,0	1040	5,44	52,66	0,36	86,76	0,00	116
117	3448801	5743741	7,2	866	4,86	51,38	102,78	101,89	0,05	117
118	3448866	5743816	7,2	794	4,80	11,23	0,58	32,99	0,00	118
119	3458352	5746676	7,4	871	3,96	65,61	54,37	71,67	0,00	119
120	3458332	5746531	7,6	612	4,00	23,71	3,94	22,04	0,00	120
121	3458552	5746386	7,4	868	5,40	50,79	0,31	46,60	0,00	121

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	Borate	Na	K	Ca	Mg	Li	Sr	Ammonium	Tiefe	Soda-stream	Brunnenart	G-Nr.
65	0,06	13,51	0,90	51,43	1,01	%	%	0,01	23	0	1	65
66	0,06	17,48	1,37	69,45	2,20	%	%	%	12	0	1	66
67	0,06	16,72	1,02	61,73	2,20	%	%	%	23	0	1	67
68	0,08	16,50	1,18	76,57	1,98	%	%	0,03	16	1	1	68
69	0,08	11,54	0,77	47,78	1,20	%	%	%	14	0	1	69
70	0,08	6,50	0,50	30,60	0,52	%	%	%	20	0	1	70
71	1,95	888,13	1,01	3,70	2,35	0,04	3,47	0,59	15	0	2	71
72	0,18	30,51	1,28	40,78	11,26	0,01	4,45	0,4	60	0	1	72
73	0,21	44,25	1,97	132,16	12,38	0,02	11,71	0,01	25	0	1	73
74	0,65	127,57	2,78	124,76	19,76	0,04	4,92	0,01	%	0	2	74
75	0,9	347,68	2,74	83,31	24,74	0,05	6,24	0,58	60	0	1	75
76	0,95	225,45	1,53	62,29	10,10	0,03	8,18	0,03	60	1	1	76
77	0,86	129,52	2,81	65,53	26,51	0,06	11,01	0,03	13	0	1	77
78a	1,7	887,27	3,27	11,03	7,98	0,09	4,53	0,41	60	1	1	78a
78b	0,2	19,88	20,01	162,78	4,20	%	%	0,02	3	0	2	78b
79	1,45	413,84	1,89	17,90	9,30	0,03	4,70	0,69	40	0	1	79
80	0,34	41,87	2,29	81,75	16,98	0,01	2,46	0,04	12	0	1	80
81	0,31	326,29	1,40	54,92	5,08	0,03	2,98	0,59	18	1	1	81
82	0,31	53,95	1,32	61,89	5,48	0,01	2,97	0,11	15	0	1	82
83	0,1	38,33	3,42	161,62	3,09	%	%	0,01	3,5	1	1	83
84	0,11	9,86	0,93	28,78	1,19	%	0,98	%	25	0	1	84
85	0,2	113,33	79,01	159,87	1,96	%	%	0,23	3,7	0	2	85
86	1,9	906,86	1,67	10,18	3,01	0,07	6,48	0,93	35	0	1	86
87	0,06	19,60	0,51	69,03	0,32	%	%	0,02	7,5	0	1	87
88	0,62	111,21	50,13	61,42	1,07	%	%	0,01	10	0	2	88
89	0,5	88,23	0,67	14,69	1,12	0,01	1,49	1,21	32	0	1	89
90	0,12	9,49	15,42	44,46	0,67	%	0,21	0,03	30&5	1	1&2	90
91	0,07	28,39	2,48	109,52	1,67	%	1,74	0,07	12	0	1	91
92	0,08	12,99	1,20	42,90	1,50	%	%	0,14	11	0	1	92
93	0,06	16,55	1,79	68,85	1,43	%	%	0,05	14	0	1	93
94	0,09	12,31	7,57	55,73	1,05	%	%	0,03	16	0	1	94
95	0,08	5,38	3,79	22,96	0,44	%	%	0,04	13	0	1	95
96	0,2	10,32	13,36	28,55	0,55	%	%	0,37	18	0	1	96
97	0,09	25,48	3,06	100,80	2,90	%	0,47	%	3	0	2	97
98	0,2	25,34	0,77	70,67	2,58	%	0,42	0,01	15	1	1	98
99	0,28	31,29	1,83	78,99	5,90	0,01	6,69	0,01	14	1	1	99
100	0,2	21,50	14,676	83,83	2,49	0,01	0,05	0,02	7	0	2	100
101	0,99	136,93	0,94	16,11	0,27	0,02	2,22	0,59	40	0	1	101
102	1,62	248,11	0,21	6,29	0,24	0,03	1,43	0,52	40	1	1	102
103	0,67	117,78	1,04	23,56	2,65	0,02	3,46	0,7	41	0	1	103
104	0,72	113,50	1,97	22,66	2,61	0,02	3,15	0,7	42	0	1	104
105	0,26	244,28	0,62	27,03	3,27	0,03	4,85	0,87	30	0	1	105
106	0,22	12,30	1,57	68,08	1,80	%	1,44	0,16	40	0	1	106
107	0,22	22,58	2,15	71,86	5,90	0,01	7,49	0,01	35	0	1	107
108	0,16	10,57	1,49	83,08	3,13	%	0,65	0,01	38	1	1	108
109	0,23	21,09	1,60	67,68	7,06	0,01	7,21	0,44	26	0	1	109
110	0,17	11,16	1,94	137,16	3,68	%	1,79	0,05	15	0	1	110
111	0,15	13,58	2,00	108,32	3,38	%	1,02	0,09	28	0	1	111
112	0,3	46,93	1,38	31,09	3,84	0,01	4,09	%	37	0	1	112
113	0,14	6,65	0,80	53,19	1,30	%	0,63	0,03	38	1	1	113
114	0,27	322,84	4,49	35,17	4,61	0,04	4,04	0,85	50	0	1	114
115	0,22	31,62	2,27	68,33	5,074	0,02	2,38	0,02	33	0	1	115
116	0,27	62,45	1,04	66,05	0,011	%	0,84	0,07	%	0	1	116
117	0,16	18,55	0,91	81,98	4,59	%	0,62	0,02	%	0	1	117
118	0,2	26,48	13,85	64,35	5,76	%	0,50	0,01	9	0	2	118
119	0,15	25,11	9,58	78,59	5,45	%	%	0,12	8	0	1	119
120	0,15	13,45	0,75	50,39	2,26	%	%	0,01	17	0	1	120
121	0,14	15,84	0,54	65,71	2,83	%	0,31	0,14	>20	0	1	121

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	rechts	hoch	pH-Wert	Leitfähigkeit	m-Wert	Chloride	Nitrate	Sulfate	Fluoride	G-Nr.
126	3458998	5746004	7,8	836	4,72	60,03	0,26	53,26	0,14	126
127	3458908	5745744	7,6	639	3,02	54,46	1,93	41,78	0,09	127
128	3458718	5745859	7,3	832	3,54	46,25	22,67	60,60	0,14	128
129	3459520	5745409	7,3	677	3,00	49,44	0,21	49,91	0,08	129
130	3460021	5745039	7,4	907	2,08	58,30	243,80	41,05	0,18	130
131	3460021	5745039	8,0	624	2,92	37,64	1,05	57,92	0,13	131
132	3452097	5742966	8,0	1968	9,54	311,23	0,00	3,22	0,23	132
133	3452107	5743046	8,2	1872	11,36	356,75	0,00	0,25	0,39	133
134	3452037	5743256	8,2	1005	8,40	43,985	3,94	9,56	0,39	134
135	3452072	5743391	8,2	974	9,20	16,40	0,00	3,09	0,51	135
136	3452112	5743451	8,4	1125	10,10	34,10	0,00	3,74	0,37	136
137	3452252	5743806	8,0	424	2,42	5,62	2,97	8,09	0,00	137
138	3452787	5773781	8,1	631	4,22	14,59	0,68	40,60	0,08	138
139	3452867	5743836	8,0	627	4,66	6,86	0,27	18,62	0,00	139
140	3452932	5743796	8,4	401	2,84	3,82	2,59	6,41	0,00	140
141	3452977	5743796	8,0	1097	7,00	65,54	0,68	29,56	0,21	141
142	3453397	5743871	7,7	456	2,90	2,39	9,32	8,61	0,00	142
143	3453467	5743801	7,3	811	1,48	164,24	10,34	4,79	0,00	143
144	3453452	5744566	7,7	845	6,16	21,04	11,01	45,06	0,00	144
145	3453447	5744631	7,5	737	3,60	66,59	0,00	4,15	0,15	145
146	3453432	5744741	8,0	464	2,86	3,40	14,00	8,83	0,00	146
147	3453407	5744841	7,9	491	2,60	8,56	52,72	65,95	0,00	147
148	3453352	5744866	8,0	379	2,12	4,34	25,98	24,04	0,00	148
149	3453397	5744911	7,8	517	2,92	20,99	19,31	26,22	0,00	149
150	3453337	5745011	7,9	426	2,30	10,40	34,13	41,24	0,00	150
151	3453862	5745411	7,8	909	6,72	15,27	2,63	61,15	0,00	151
152	3453967	5745416	7,9	845	4,62	47,70	0,00	84,51	0,00	152
153	3454017	5745416	7,9	825	4,26	45,31	0,44	83,91	0,00	153
154	3454467	5745556	7,9	760	5,96	9,52	9,64	60,58	0,00	154
155	3454507	5745566	8,1	787	4,14	76,04	10,93	50,95	0,07	155
156	3454547	5745566	8,0	811	4,32	54,36	9,69	61,98	0,00	156
157	3465783	5749654	7,9	789	4,12	15,83	0,00	71,16	0,04	157
158	3465273	5749449	8,2	585	3,40	13,96	0,00	64,09	0,00	158
159	3465348	5749524	4,7	434	0,08	33,93	42,60	22,71	0,00	159
160	3464888	5749294	7,7	469	2,22	9,09	28,15	24,35	0,00	160
161	3456312	5745761	7,5	841	3,72	40,72	0,00	35,45	0,00	161
162	3456262	5746006	8,2	800	3,86	67,22	0,52	70,23	0,00	162
163	3456667	5746121	7,8	1177	5,62	92,34	0,00	110,24	0,00	163
164	3456582	5746241	7,6	1119	5,08	95,08	0,72	108,88	0,00	164
165	3456557	5746241	8,1	1083	5,04	93,96	0,66	107,40	0,00	165
166	3457822	5746451	7,8	1019	3,62	77,34	130,02	55,41	0,00	166
167	3460430	5746004	8,1	745	3,30	58,69	1,41	69,69	0,00	167
168	3460721	5745919	8,0	680	4,06	43,37	0,44	62,28	0,00	168
169	3460770	5745979	7,7	781	3,64	36,42	0,44	55,75	0,00	169
170	3460800	5746334	7,4	1027	1,70	190,50	19,16	2,87	0,00	170
171	3461080	5746514	7,9	766	3,90	71,76	0,99	36,32	0,00	171
172	3461486	5746479	7,7	860	2,68	61,77	44,01	72,90	0,20	172
173	3450820	5746120	7,9	779	4,72	7,88	0,38	31,99	0,09	173
174	3451110	5746060	8,2	1399	7,88	116,36	0,00	48,49	0,37	174
175	3451200	5745980	8,3	1486	10,26	168,98	0,00	4,29	0,41	175
176	3451310	5746010	8,2	979	7,90	26,89	0,00	2,96	0,26	176
177	3451526	5745156	7,6	700	3,72	15,77	40,35	39,84	0,00	177
178	3451556	5745071	7,9	1048	5,44	19,29	4,14	123,52	0,00	178
179	3451456	5744861	8,3	6610	11,76	1654,67	0,00	0,00	1,95	179
180	3451516	5744951	7,9	748	4,82	21,58	8,44	41,37	0,00	180
181	3451456	5744976	8,0	698	4,26	10,57	9,02	63,21	0,00	181
182	3451261	5745026	7,8	846	5,30	17,59	0,60	18,35	0,00	182
183	3451306	5744976	7,8	872	5,78	17,08	0,00	11,81	0,26	183

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	Borate	Na	K	Ca	Mg	Li	Sr	Ammonium	Tiefe	Soda-stream	Brunnenart	G-Nr.
126	0,14	25,34	1,00	84,80	3,70	%	0,58	0,02	25	0	1	126
127	0,14	17,35	2,21	68,21	2,93	%	0,24	0,01	%	0	1	127
128	0,15	18,26	1,43	72,62	3,23	%	%	0,28	15	0	1	128
129	0,14	21,18	1,26	63,25	3,06	%	0,12	0,23	16	0	1	129
130	0,15	13,85	22,957	72,71	8,40	%	%	0,02	15	0	1	130
131	0,15	19,97	1,70	74,75	6,12	%	%	0,03	>20	0	1	131
132	0,52	364,41	1,59	35,389	11,22	0,06	6,06	1,5	40	0	1	132
133	1,09	328,06	0,59	8,68	3,59	0,05	2,04	0,98	33	0	1	133
134	0,51	145,98	1,83	28,32	13,49	0,03	3,93	0,06	>30	0	1	134
135	0,53	118,34	1,15	15,95	6,45	0,02	1,60	1,48	60	0	1	135
136	0,78	195,49	1,06	9,75	4,44	0,03	1,60	1,86	28	1	1	136
137	0,00	9,59	2,17	42,91	5,49	%	%	0,08	%	0	1	137
138	0,08	55,58	0,75	40,78	4,08	%	1,14	0,01	>20	0	1	138
139	0	50,24	1,69	31,64	6,74	0,01	0,37	0,03	20	0	%	139
140	0	3,72	0,95	19,46	2,32	%	%	0,02	%	0	1	140
141	0,63	172,90	0,97	18,77	7,00	0,03	1,40	0,09	>40	0	1	141
142	0,04	5,77	16,16	25,76	2,26	%	%	0,03	8,5	0	1	142
143	0,01	6,27	18,85	67,17	4,54	%	%	0,03	%	0	1	143
144	0,06	11,06	2,20	64,11	3,75	0,02	%	0,03	%	0	1	144
145	0,35	107,28	1,18	19,65	7,56	0,02	0,62	0,33	42	0	1	145
146	0	7,19	10,96	27,87	1,83	%	%	0,12	10	0	1	146
147	0,06	6,17	24,04	29,95	3,18	%	%	0,04	8,5	0	1	147
148	0,06	9,26	18,48	48,41	3,68	%	%	0,04	6,5	0	1	148
149	0,12	14,32	13,63	54,08	4,23	%	%	0,04	8	0	1	149
150	0,27	14,02	25,29	58,48	4,78	%	%	%	7	0	1	150
151	0,1	16,94	23,01	109,36	16,25	%	%	0,03	3,5	0	1	151
152	0,05	31,18	1,47	107,58	4,64	%	0,16	0,03	5	0	1	152
153	0,06	30,42	1,45	108,79	4,62	%	0,26	0,01	5	0	1	153
154	0,15	11,87	18,61	102,18	6,51	%	%	1,23	%	0	1	154
155	0,1	24,56	21,30	100,80	8,32	%	%	0,07	20	0	1	155
156	0,14	17,31	26,51	107,12	7,54	%	%	0,11	9	0	1	156
157	0,31	18,69	3,70	89,77	8,37	%	%	0,03	16	0	1	157
158	0,04	26,23	2,28	67,17	7,60	%	%	0,03	13	0	1	158
159	0,09	19,09	29,77	17,80	2,69	%	%	0,01	12	0	1	159
160	0,07	15,25	7,85	46,31	4,27	%	%	0,01	11	1	1	160
161	0,09	29,07	1,38	74,28	3,33	%	0,29	0,02	14	0	1	161
162	0,07	44,00	2,29	93,34	5,49	%	0,30	0,01	>20	1	1	162
163	0,07	42,90	2,14	149,18	8,35	0,01	0,55	0,11	23	0	1	163
164	0,07	42,40	7,12	137,35	9,97	0,01	0,95	0,06	8	0	1	164
165	0,09	45,52	7,64	137,57	10,24	0,01	0,61	0,43	8	0	1	165
166	0,07	25,18	13,83	128,29	9,37	%	%	0,04	13	0	1	166
167	0,14	28,61	1,23	93,74	2,74	%	%	%	9	0	1	167
168	0,08	29,46	1,30	93,33	3,27	%	%	0,03	12	0	1	168
169	0,05	21,67	2,15	73,88	2,38	%	%	0,01	18	1	1	169
170	0,1	32,16	10,84	85,62	8,16	%	%	0,07	12	0	1	170
171	0,04	41,12	1,12	90,74	3,66	%	0,33	0,03	18	1	1	171
172	0,07	27,02	2,35	89,84	3,68	%	%	0,03	7	0	1	172
173	0,34	56,23		43,70	6,55	0,02	1,07	1,38	36	0	1	173
174	1,4	224,56	0,94	8,57	2,56	0,03	1,11	1,18	%	0	1	174
175	1,56	344,40	1,22	10,88	4,75	0,05	2,55	0,94	>40	1	1	175
176	1,2	151,99	0,88	7,13	2,90	0,03	1,29	0,25	60	0	1	176
177	0,11	24,56	29,842	76,14	4,98	%	%	0,05	35	0	1	177
178	0,16	25,11	3,476	106,19	8,00	%	0,29	1,5	%	0	1	178
179	2,55	1243,34	1,54	18,01	6,76	0,13	5,91	0,14	>30	0	1	179
180	0,19	37,73	8,29	84,71	7,21	0,01	0,17	0,03	%	0	1	180
181	0,12	14,78	8,14	90,86	6,56	%	0,63	0,05	6	0	2	181
182	0,75	45,87		44,43	8,63	0,02	1,09	1,04	45	0	1	182
183	1,08	97,74		12,28	2,40	0,02	0,33	0,83	30	0	1	183

Datentabelle der Untersuchten Brunnen

G-Nr.	rechts	hoch	pH-Wert	Leitfähigkeit	m-Wert	Chloride	Nitrate	Sulfate	Fluoride	G-Nr.
192	3450021	5744565	7,8	716	4,80	13,30	11,79	24,49	0,00	192
193	3449611	5744680	7,8	716	4,72	42,07	0,00	3,57	0,07	193
194	3449516	5744640	7,9	793	6,08	39,01	0,00	0,46	0,12	194
195	3450571	5744046	7,9	433	3,50	9,91	0,33	0,30	0,15	195
196	3450466	5743941	7,9	434	3,50	9,91	0,40	1,12	0,14	196
197	3450741	5743736	7,9	569	3,84	19,42	0,00	7,13	0,14	197
198	3450896	5744016	7,9	697	4,22	51,39	0,66	10,49	0,08	198
199	3450801	5744206	7,9	564	3,84	28,07	0,00	1,82	0,25	199

G-Nr.	Borate	Na	K	Ca	Mg	Li	Sr	Ammonium	Tiefe	Soda-stream	Brunnenart	G-Nr.
192	0,09	6,98	27,06	86,11	5,84	%	%	0,9	4	0	2	192
193	0,29	89,60	1,25	32,77	9,44	0,02	1,56	0,86	43	1	1	193
194	0,35	112,25	3,20	36,03	10,24	0,02	2,29	0,58	33	0	1	194
195	0,26	40,38	1,48	31,78	8,08	0,02	1,94	0,48	40	0	1	195
196	0,26	39,97		32,67	8,55	0,02	1,97	0,58	39	0	1	196
197	0,39	57,41	1,33	31,56	10,35	0,02	2,76	0,1	%	1	1	197
198	0,31	46,53	1,82	50,92	16,07	0,02	5,89	0,69	42	1	1	198
199	0,52	72,15	1,29	30,20	7,14	0,02	1,28	0,09	%	0	%	199

Legende

Soda- 1 = Ja
stream 0 = Nein
Brunnen- 1 = Bohrbrunnen
art 2 = Schachtbrunnen
% keine Angabe

Korrelationstabelle "alles gegen alles"

Korrelationen "alles gegen alles"			
		Fluoride	pH-Wert
Fluoride	Korrelation nach Pearson	1	0,236
	Signifikanz (2-seitig)	,	0,001
	N	200	200
pH-Wert	Korrelation nach Pearson	0,236	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,001 ,	
	N	200	200
Leitfähigkeit	Korrelation nach Pearson	0,489	0,139
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,050
	N	200	200
m-Wert	Korrelation nach Pearson	0,590	0,424
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000
	N	200	200
Chloride	Korrelation nach Pearson	0,292	0,079
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,268
	N	200	200
Nitrate	Korrelation nach Pearson	-0,026	-0,072
	Signifikanz (2-seitig)	0,717	0,313
	N	200	200
Sulfate	Korrelation nach Pearson	-0,150	-0,168
	Signifikanz (2-seitig)	0,034	0,017
	N	200	200
Borate	Korrelation nach Pearson	0,889	0,313
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000
	N	200	200
Na	Korrelation nach Pearson	0,714	0,247
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000
	N	200	200
K	Korrelation nach Pearson	-0,171	-0,125
	Signifikanz (2-seitig)	0,017	0,082
	N	194	194
Ca	Korrelation nach Pearson	-0,400	-0,212
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,003
	N	200	200
Mg	Korrelation nach Pearson	-0,038	0,089
	Signifikanz (2-seitig)	0,592	0,209
	N	200	200
Li	Korrelation nach Pearson	0,429	0,353
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,001
	N	79	79
Sr	Korrelation nach Pearson	0,170	-0,192
	Signifikanz (2-seitig)	0,083	0,050
	N	105	105
Ammonium	Korrelation nach Pearson	0,324	0,180
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,019
	N	169	169
Tiefe	Korrelation nach Pearson	0,475	0,144
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,060
	N	171	171

Korrelationstabelle “alles gegen alles”

	Leitfähigkeit	m-Wert	Chloride	Nitrate	Sulfate
Fluoride	0,489	0,590	0,292	-0,026	-0,150
	0,000	0,000	0,000	0,717	0,034
	200	200	200	200	200
pH-Wert	0,139	0,424	0,079	-0,072	-0,168
	0,050	0,000	0,268	0,313	0,017
	200	200	200	200	200
Leitfähigkeit	1	0,580	0,845	-0,031	0,005
		0,000	0,000	0,658	0,940
	200	200	200	200	200
m-Wert	0,580	1	0,296	-0,151	-0,101
	0,000		0,000	0,033	0,155
	200	200	200	200	200
Chloride	0,845	0,296	1	-0,066	-0,035
	0,000	0,000		0,352	0,626
	200	200	200	200	200
Nitrate	-0,031	-0,151	-0,066	1	0,169
	0,658	0,033	0,352		0,017
	200	200	200	200	200
Sulfate	0,005	-0,101	-0,035	0,169	1
	0,940	0,155	0,626	0,017	
	200	200	200	200	200
Borate	0,547	0,705	0,358	-0,090	-0,243
	0,000	0,000	0,000	0,203	0,001
	200	200	200	200	200
Na	0,791	0,662	0,592	-0,035	-0,145
	0,000	0,000	0,000	0,624	0,041
	200	200	200	200	200
K	-0,091	-0,164	-0,044	0,256	-0,017
	0,209	0,022	0,546	0,000	0,812
	194	194	194	194	194
Ca	-0,113	-0,238	-0,096	0,119	0,472
	0,112	0,001	0,174	0,092	0,000
	200	200	200	200	200
Mg	0,078	0,113	0,054	0,052	0,182
	0,273	0,113	0,448	0,466	0,010
	200	200	200	200	200
Li	0,794	0,608	0,672	0,141	-0,069
	0,000	0,000	0,000	0,216	0,544
	79	79	79	79	79
Sr	0,360	0,290	0,267	-0,006	0,203
	0,000	0,003	0,006	0,948	0,038
	105	105	105	105	105
Ammonium	0,207	0,396	0,079	-0,130	-0,211
	0,007	0,000	0,309	0,092	0,006
	169	169	169	169	169
Tiefe	0,383	0,454	0,181	-0,096	-0,167
	0,000	0,000	0,018	0,211	0,029
	171	171	171	171	171

Korrelationstabelle "alles gegen alles"

	Borate	Na	K	Ca	Mg	Li
Fluoride	0,889	0,714	-0,171	-0,400	-0,038	0,429
	0,000	0,000	0,017	0,000	0,592	0,000
	200	200	194	200	200	79
pH-Wert	0,313	0,247	-0,125	-0,212	0,089	0,353
	0,000	0,000	0,082	0,003	0,209	0,001
	200	200	194	200	200	79
Leitfähigkeit	0,547	0,791	-0,091	-0,113	0,078	0,794
	0,000	0,000	0,209	0,112	0,273	0,000
	200	200	194	200	200	79
m-Wert	0,705	0,662	-0,164	-0,238	0,113	0,608
	0,000	0,000	0,022	0,001	0,113	0,000
	200	200	194	200	200	79
Chloride	0,358	0,592	-0,044	-0,096	0,054	0,672
	0,000	0,000	0,546	0,174	0,448	0,000
	200	200	194	200	200	79
Nitrate	-0,090	-0,035	0,256	0,119	0,052	0,141
	0,203	0,624	0,000	0,092	0,466	0,216
	200	200	194	200	200	79
Sulfate	-0,243	-0,145	-0,017	0,472	0,182	-0,069
	0,001	0,041	0,812	0,000	0,010	0,544
	200	200	194	200	200	79
Borate	1	0,773	-0,155	-0,486	-0,029	0,589
		0,000	0,031	0,000	0,686	0,000
	200	200	194	200	200	79
Na	0,773	1	-0,113	-0,366	0,000	0,864
	0,000		0,115	0,000	0,996	0,000
	200	200	194	200	200	79
K	-0,155	-0,113	1	0,170	0,021	-0,081
	0,031	0,115		0,018	0,775	0,494
	194	194	194	194	194	73
Ca	-0,486	-0,366	0,170	1	-0,056	-0,356
	0,000	0,000	0,018		0,430	0,001
	200	200	194	200	200	79
Mg	-0,029	0,000	0,021	-0,056	1	0,144
	0,686	0,996	0,775	0,430		0,207
	200	200	194	200	200	79
Li	0,589	0,864	-0,081	-0,356	0,144	1
	0,000	0,000	0,494	0,001	0,207	
	79	79	73	79	79	79
Sr	0,188	0,310	-0,135	0,053	0,486	0,389
	0,055	0,001	0,183	0,593	0,000	0,001
	105	105	99	105	105	74
Ammonium	0,393	0,315	-0,142	-0,369	0,019	0,192
	0,000	0,000	0,071	0,000	0,809	0,099
	169	169	163	169	169	75
Tiefe	0,538	0,414	-0,325	-0,446	-0,022	0,317
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,774	0,009
	171	171	166	171	171	67

Korrelationstabelle "alles gegen alles"

	Sr	Ammonium	Tiefe
Fluoride	0,170 0,083 105	0,324 0,000 169	0,475 0,000 171
pH-Wert	-0,192 0,050 105	0,180 0,019 169	0,144 0,060 171
Leitfähigkeit	0,360 0,000 105	0,207 0,007 169	0,383 0,000 171
m-Wert	0,290 0,003 105	0,396 0,000 169	0,454 0,000 171
Chloride	0,267 0,006 105	0,079 0,309 169	0,181 0,018 171
Nitrate	-0,006 0,948 105	-0,130 0,092 169	-0,096 0,211 171
Sulfate	0,203 0,038 105	-0,211 0,006 169	-0,167 0,029 171
Borate	0,188 0,055 105	0,393 0,000 169	0,538 0,000 171
Na	0,310 0,001 105	0,315 0,000 169	0,414 0,000 171
K	-0,135 0,183 99	-0,142 0,071 163	-0,325 0,000 166
Ca	0,053 0,593 105	-0,369 0,000 169	-0,446 0,000 171
Mg	0,486 0,000 105	0,019 0,809 169	-0,022 0,774 171
Li	0,389 0,001 74	0,192 0,099 75	0,317 0,009 67
Sr	1 , 105	0,160 0,115 98	0,227 0,036 85
Ammonium	0,160 0,115 98	1 , 169	0,494 0,000 140
Tiefe	0,227 0,036 85	0,494 0,000 140	1 , 171

Der Landrat

**KREIS
GÜTERSLOH**

Abteilung Gesundheit
Postanschrift: Kreis Gütersloh – 33324 Gütersloh

**Abteilung Gesundheit empfiehlt Trinkwasseruntersuchung
der Hausbrunnen auf Fluorid**

Fluorid leistet neben einer ausgewogenen, vitaminreichen, zuckerarmen Ernährung und der sorgfältigen täglichen Mundhygiene einen wichtigen Beitrag zur Vorbeugung gegen Karies.

Ein erhöhter Fluoridgehalt des Trinkwassers kann jedoch bei Kindern bis zum 10. Lebensjahr Dentalfurorose (Zahnschmelzflecken) verursachen, wenn gleichzeitig eine Kariesvorsorge mit Fluoridtabletten vorgenommen wird. Die Abteilung Gesundheit empfiehlt daher allen Hausbrunnenbesitzern im Kreis Gütersloh, insbesondere, wenn mit diesem Wasser Kinder bis zum 10. Lebensjahr versorgt werden, bei der nächsten Trinkwasseruntersuchung des Hausbrunnens zusätzlich den Fluoridgehalt untersuchen zu lassen.

Falls Trinkwasser aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz bezogen wird, kann bedenkenlos für die Kinder eine Kariesvorsorge mit Fluoridtabletten erfolgen, wenn der behandelnde Arzt dies für notwendig erachtet.

Eine generelle Zugabe von Fluorid für das gesamte Trinkwasser ist aus Sicht der Abteilung Gesundheit nicht sinnvoll, da nicht bekannt ist, in welchem Maße der Verbraucher Fluorid über andere Nahrungsmittel, z. B. Tee oder Mineralwasser, zu sich nimmt.

Falls die Fluoriduntersuchung vorgenommen werden soll, ist dies auf der Auftragskarte für das Untersuchungsinstitut ausdrücklich zu vermerken.

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