

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

**Untersuchungen über den Fluoridgehalt des Trinkwassers aus
privaten Wasserversorgungsanlagen der Region östliches
Münsterland**

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

vorgelegt von
Tobias Schütte
aus Salzkotten

2003

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens
1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. W. Mathys
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. K. Ott
Tag der mündlichen Prüfung: 28.08.2003

Diese Dissertation ist meinen Eltern gewidmet.

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

Zusammenfassung

Untersuchungen über den Fluoridgehalt des Trinkwassers aus privaten Wasserversorgungsanlagen der Region östliches Münsterland

Tobias Schütte

In der vorliegenden Studie wurden 200 Wasserproben aus privaten Eigenwasseranlagen im Bereich des östlichen Münsterlandes auf ihren Fluoridgehalt und andere Parameter hin untersucht und analysiert. Desweiteren wurden mittels eines Fragebogens detaillierte Auskünfte über die Trinkgewohnheiten der das Wasser nutzenden Familien, die Nahrungszubereitung, die Brunnentiefe, das Brunnenalter, die Brunnenart, die zum Haushalt gehörenden Personen, die Kinder und das Alter der Kinder gewonnen. Die räumliche und geographische Situation macht es in vielen Fällen der Kreise Münster, Warendorf, Gütersloh und Coesfeld nicht möglich, alle Haushalte flächendeckend an die kommunale Trinkwasserversorgung anzuschließen.

Die Untersuchungsergebnisse der Studie zeigen, daß in 17 % der untersuchten Proben bezüglich der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ein erhöhter Fluoridgehalt von über 1 mg/l vorliegt. In 9 % der analysierten Wasserproben treten Spitzenwerte von über 2 mg/l auf. Durchschnittlich werden Konzentrationen von 0,9 mg/l mit einem Spitzenwert von 9,64 mg/l gemessen. Dieser Wert wurde in Neuwarendorf gefunden. Im Gegensatz dazu ergaben sich aber auch, daß in 30 % der untersuchten Proben eine Fluoridkonzentration von weniger als 0,1 mg/l festgestellt werden konnte und in 38 % der Fälle eine Fluoridkonzentration von 0,1 bis 0,5 mg/l vorlag. Gemäß den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde sollte in diesen Fällen die tägliche Fluoridaufnahme im Rahmen der Kariesprophylaxe entsprechend ergänzt werden.

Es zeigte sich in mehreren Fällen ein Zusammenhang zwischen den im Wasser vorliegenden Anionen, Kationen oder der Leitfähigkeit. Hohe Fluoridkonzentrationen gehen mit hohen Boratkonzentrationen, hohen Leitfähigkeitswerten oder erhöhten Kalziumwerten einher.

Da sich neben den zum Teil deutlich erhöhten Fluoridkonzentrationen in den analysierten Wasserproben auch andere erhöhte Ionenkonzentrationen fanden, z. B. Borate, die die entsprechenden Grenzwerte der Trinkwasserverordnung zum Teil drastisch überschreiten, sind unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Gesundheitsschäden weitere flächendeckende Analysen indiziert.

Tag der mündlichen Prüfung: 28.08.2003

1	Fluoride	
1.1	Das Element Fluor und der Fluoridstoffwechsel	1
1.2	Toxikologie und Kanzerogenität der Fluoride	5
1.3	Entdeckung des Fluorids für die Zahnheilkunde	16
1.4	Wirkungsweise von Fluorid	18
1.5	Fluoridierungsmöglichkeiten	22
1.6	Epidemiologische Untersuchungen	30
2	Zielsetzung und Geologie im Münsterland	35
3	Material und Methoden	
3.1	Untersuchungsgebiet und Probenentnahme	39
3.2	Aufbereitung der Wasserproben und Standards	40
3.3	Verwendete Meßgeräte und Meßtechnik	42
3.4	Durchführung der Messung	46
4	Ergebnisse	47
5	Diskussion	76
6	Schlußfolgerung	84
7	Zusammenfassung	86
8	Literaturverzeichnis	88
9	Lebenslauf	102
10	Danksagung	103
11	Anhang	104

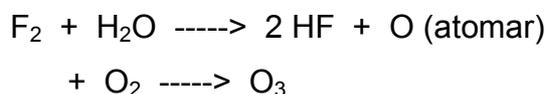
1 Fluoride

1.1 Das Element Fluor und Fluoridstoffwechsel

Fluor ist ein blaßgelbes, ätzendes Gas mit durchdringendem Geruch. Unter - 188 °C geht es in den flüssigen Aggregatzustand über und erst bei knapp - 220 °C erstarrt es. Das Nichtmetall weist die größte Reaktivität und die höchste Elektronegativität aller Elemente auf. Fluor reagiert praktisch mit allen Elementen, außer mit Sauerstoff und den leichten Edelgasen. Mit den schwereren Edelgasen geht es Verbindungen ein. Schon bei Raumtemperatur verlaufen die meisten Reaktionen sehr heftig. Fluor hat eine außerordentliche Affinität zu Wasserstoff; aus Wasser setzt es Sauerstoff frei und verbindet sich mit Wasserstoff zu Fluorwasserstoff (Hellwig 1996).



Mit Wasser zersetzt es sich unter Bildung von Fluorwasserstoff und atomarem Sauerstoff, der sofort mit dem Luftsauerstoff zu Ozon weiterreagiert.



Zur Erlangung der Edelgaskonfiguration fehlt Fluor lediglich ein Elektron, so daß es in allen Verbindungen stets die Oxidationszahl -1 hat. Die wichtigsten Fluor-Verbindungen sind neben dem bereits erwähnten Fluorwasserstoff: Fluorwasserstoffsäure, Natriumfluorid und Calciumfluorid. Uranhexafluorid ist in der Kerntechnik von großer Bedeutung.

Mit den meisten Metallen und Nichtmetallen und sogar mit Chlor, Brom und Jod reagiert es zu den entsprechenden Fluoriden. Einige Metalle wie Aluminium, Magnesium, Nickel, Kupfer oder Stahl werden kaum angegriffen, da sie sich mit einer schützenden Fluoridschicht bedecken. Sie zersetzen sich aber unter Rotglut mit Fluor wie auch Gold und Platin. Selbst die Edelgase Xenon und Radon reagieren mit Fluor. Da Fluor auch Glas angreift, wird es in Flaschen aus Kupfer-Nickel-Legierungen transportiert und aufbewahrt. Organische Stoffe reagieren mit Fluor

unter Bildung von Fluorwasserstoff und Kohlenstoff-Fluorid. Dies erklärt auch die extreme Giftigkeit von Fluor und vielen seiner Verbindungen.

Mit einem Massenanteil von 0,028 % steht das Fluor an 17. Stelle der Elementhäufigkeit in der Erdhülle. In elementarer Form kommt es in der Natur nicht vor. Fluor gehört zusammen mit Chlor, Brom, Jod und Astat zu den Halogenen. Nach Chlor ist es das häufigste Element seiner Gruppe. In der Natur kommt das Element wegen seiner großen Reaktivität nur chemisch gebunden vor.

Die wichtigsten Fluor-Mineralien sind beispielsweise Flußspat, Kryolith, Apatit, Chiolith und Topas. Die wichtigste Fluorverbindung für die Technik stellt der Flußspat (Fluorid, CaF_2) dar. Flußspat kommt weltweit fast überall vor. Die Hauptproduktionsländer sind China, Mongolei, Rußland, Mexiko, Südafrika und Frankreich.

Bereits vor dem endgültigen Nachweis des Fluors durch den Franzosen Henri Moissan im Jahre 1886 beschrieb im Jahre 1529 Agricola ein Verfahren zur Verwendung von Flußspat als Flußmittel beim Schmelzen von Erzen. Ausgangspunkt der Entdeckung des Fluors sollten die Untersuchungen des Berliner Chemikers Marggraf sein, der Flußspat – also Kalziumfluorid – in einer Retorte mit Schwefelsäure destillierte und feststellte, daß die gläsernen Wände der Apparatur stark angegriffen wurden. Ursache dieser Korrosion war die sich entwickelnde Flußsäure (HF). Fluorwasserstoff wurde drei Jahre später von C. W. Scheele als Verbindung erstmals beschrieben. Scheeles Ergebnisse veranlaßten zahlreiche Wissenschaftler, sich in den Folgejahren intensiv mit der Säure aus Flußspat auseinanderzusetzen. So versuchte Davy 1808 durch Zerlegung von Fluorwasserstoff mit Kalium das Radikal der Säure zu erhalten. Die Reaktion verlief zwar sehr heftig, doch eine Freisetzung von Fluor konnte er damit nicht erreichen. Auch andere Versuche Davys sollten sich als Fehlschlag erweisen, aber immerhin wurde sein Namensvorschlag "fluorine", den er in seinen Publikationen verwendete, aufgegriffen und beibehalten. Erst 80 Jahre später sollten die elektrolytischen Versuche Moissans schließlich zum Erfolg führen. Nach langen und peniblen Vorbereitungen, bei denen er alle denkbaren Fehlerquellen systematisch ausschaltete, gelang ihm im Juni 1886 die Darstellung von elementarem Fluorgas.

Im menschlichen Organismus hat sich im Laufe der Evolution ein Regelmechanismus entwickelt, der für ein ausgewogenes Gleichgewicht von F^- im Hinblick auf die Aufnahme und Abgabe sorgt und im Blutplasma einen festen Spiegel einstellt (Büttner 1968, 1978; Rotgans und Rosendahl 1983; Lehmann 1984). Zusammen mit anderen Spurenelementen führen wir dem Körper täglich über die Nahrung Fluoride zu.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die jeweiligen Fluoridkonzentrationen in verschiedenen Lebensmitteln.

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

Tab. 1: Fluoridkonzentrationen einer Auswahl verschiedener Lebensmittel

Die tatsächliche F^- -Aufnahme des Organismus ist allerdings geringer als der jeweilige F^- -Anteil im Frischgewicht, da die jeweilige Bioverfügbarkeit aus den einzelnen Produkten deutlich niedriger sein dürfte.

Die Resorptionszeit von F^- im Magen-Darmtrakt ist relativ kurz, da schon 30 Minuten nach der Aufnahme der höchste Plasmaspiegel erreicht wird (Henschler und Patz 1979; Lehmann 1984). Sie hängt vor allem von der Konzentration und der Form des aufgenommenen Fluorids ab; so werden NaF, HF, Na_2SiF_6 nahezu vollständig per Diffusion resorbiert und in einem weiteren Schritt im Blut an Proteine gekoppelt. Bei einem hohen Ca^{2+} -Spiegel ist die Resorptionszeit verzögert, wobei Ca^{2+} -reiche Kost die Fluoridresorption um bis zu 20 % senken kann (Richards et al. 1982).

Nach Fluoridaufnahme und Resorption wird annähernd die Hälfte des Fluorids in Knochen und Zähne eingelagert bzw. aufgenommen. Nur ein kleiner Teil gelangt in Organe, Haut, Muskulatur, Speichel und extrazelluläre Flüssigkeit. Der unverbrauchte Rest wird mit dem Urin ausgeschieden (Büttner 1968).

Die Normalwerte des Fluoridgehalts in einzelnen Körperteilen zeigt Tabelle 2.

Serum	0,01 - 0,045	mg/100 ml
Gesamtblut	0,01 - 0,10	mg/100 ml
Zahnschmelz	10,00 - 34,00	mg/100 g Trockeng.
Dentin	24,00 - 76,00	mg/100 g Trockeng.
Knochen	94,00 - 270,00	mg/100 g Trockeng.
Harnausscheidung	0,3 - 0,9	mg/d

Tab. 2: Fluorid-Konzentration im menschlichen Organismus

Die Aufnahme-/Abgabebilanz für Fluorid ist altersabhängig. Bei Kindern und Jugendlichen wird eine positive Bilanz beobachtet, da erst das Sättigungsniveau in Knochen und Zähnen erreicht werden muß (Patz 1975; Büttner 1978).

Die Ausscheidung von Fluoriden erfolgt zu 94 % über die Niere, die restlichen Anteile über Speichel und Schweiß. Werden mehr als 8 mg F^- /d aufgenommen, so wird damit die Ausscheidungskapazität der Niere überschritten und es kommt zu einer Einlagerung im Skelett.

Vor der Geburt benötigtes Fluorid, das zur Mineralisation von Knochen und Zahnkeimen erforderlich ist, gelangt über die Plazenta zum kindlichen Organismus. In der Muttermilch ist F^- in einer Konzentration von 0,2 mg/100 g Trockensubstanz vorhanden. Diese Konzentration ändert sich nur geringfügig (Souci 1969; Patz und Karle 1979; Ekstrand et al. 1984).

1.2 Toxikologie und Kanzerogenität der Fluoride

Durch die Tatsache, daß Fluorid als chemisches Element in unserer Umwelt ubiquitär vorkommt, ist der Mensch ihm regelmäßig - und zwar in verschiedenen Größenordnungen - ausgesetzt. Die Wirkung des Fluorids ist abhängig von der verabreichten Dosis und kann physiologisch, therapeutisch und toxisch sein.

Hinsichtlich der Toxizität sind die akute und chronische Toxizität zu unterscheiden. Eine akute Intoxikation liegt dann vor, wenn nach einer oder mehreren großen Dosen die Fluoridkonzentration im Blutkreislauf so hoch ansteigt, daß die Gefahr einer Hypokalzämie mit Aussetzen der Nieren- und Lungenfunktion besteht (Batazar et al. 1980). In der Literatur wird nach der wahrscheinlichen toxischen Dosis (Probably Toxic Dose = PTD) und der sicher tödlichen Dosis (Certainly Letal Dose = CLD) unterschieden.

Im Fall einer Überdosierung können folgende Störungen auftreten: Schwindelgefühl, Erbrechen, Bauchschmerzen und Müdigkeit (Knappwost 1978). Höhere Fluoriddosen können eine Hypokalzämie mit Fehlempfindungen und Muskelschmerzen hervorrufen. Weitere Steigerungen der Fluoridzufuhr führen zu Schleimhautverätzung, blutigschleimigem Erbrechen, blutiger Diarrhoe, Urtikaria, Lungenödem, Tetanie, in schweren Fällen zu Sehstörungen, epileptiformen Krämpfen, Kammerflimmern, Bewußtlosigkeit und Flüssigkeitsverlust mit Schock (Batazar et al. 1980).

Die Fluorid Letal Dosis liegt bei Erwachsenen bei ca. 5 bis 10 g NaF (= 32 bis 64 mg F⁻/kg Körpergewicht) und bei Kindern bei ca. 2 g NaF (= 14,3 mg F⁻/kg Körpergewicht) (Bhussy 1970; Knappwost 1978; Lehmann et al. 1984). In diesem Fall würde eine einmalige Einnahme von 400 Tabletten á 0,5 mg F⁻ ausreichen, um bei einem Kind den Tod herbeizuführen.

Der entscheidende toxische Effekt des Fluorids bei akuter Vergiftung ist eine Hemmung zahlreicher Enzyme, die zu einer direkten Depression der Herztätigkeit führen. Experimentelle Untersuchungen zeigten bei Rattenherzen nach Infusion einer Natriumfluoridlösung in einer Dosierung von 2 mg/kg/min einen progressiven Abfall der Herzfrequenz, des Herz-Minutenvolumens und des arteriellen Blutdrucks. Desweiteren kam es infolge Vasodilatation zu einer Abnahme des peripheren Gefäßwiderstandes (Strubelt et al. 1982).

Für die Durchführung geeigneter Gegenmaßnahmen bei einer akzidentiell zu hohen Fluoridaufnahme kann das Schema nach van Grunsven et al. (1980) als Richtlinie gelten:

1. Aufgenommene Fluoridmenge beträgt die Hälfte der Letaldosis:
Patienten erbrechen und reichlich Milch trinken lassen. Hierdurch werden die Bildung des schwer löslichen Kalziumfluorids im Magen und die Diurese stimuliert sowie die Darmwandpassage gehemmt.
2. Aufgenommene Fluoridmenge entspricht Letaldosis:
Patienten ebenfalls erbrechen und sehr viel Milch trinken lassen. Sofortige Einweisung in ein Krankenhaus.

Häufiger als die akute Toxizität sind Schadwirkungen (chronische Toxizität) bei langfristiger Anwendung von zuviel Fluorid. Bekanntgeworden sind bislang Dental- und Skelettfluorose sowie Nierenschädigungen (McKay 1945).

Bei der Dentalfluorose handelt es sich um eine durch Fluorid hervorgerufene Schmelzfleckung. Bei Fluoridanwendung in den empfohlenen Mengen (0,5 bis maximal 2 mg F⁻/d) tritt sie nicht auf, aber schon eine Überdosierung über täglich 2 mg kann eine spezifische fluorbedingte Fleckung des Schmelzes (mottling of enamel) auslösen. Diese Gefahr besteht jedoch nur während der Mineralisation bis zum Abschluß der Kronenbildung vor dem Durchbruch der Zähne, also in einem Alter zwischen 5 und 9 Jahren.

Nach Hellwig et al. (1995) stellten bereits Black und McKay in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts fest, daß in Gebieten mit einem erhöhten Trinkwasserfluoridgehalt (0,7 - 1 mg/l) bei überdurchschnittlichen vielen Kindern und Jugendlichen weiße Schmelzflecken diagnostiziert werden konnten; diese Personen wiesen jedoch einen geringeren Kariesbefall gegenüber Personen aus anderen Gebieten mit geringerem Trinkwasserfluoridgehalt auf. Auch der amerikanische Zahnarzt Dean konnte diese Theorie in epidemiologischen Untersuchungen bestätigen. Er beobachtete, daß Fluoride im Trinkwasser (natürlicher Gehalt regional mehr als 2 mg/l) Ursache von Schmelzflecken an Zähnen waren und daß gefleckter Zahnschmelz – mottled enamel – widerstandsfähiger als normaler Schmelz ist. Dean ermittelte als optimale Trinkwasserfluoridkonzentration unter kariesprophylaktischen Gesichtspunkten eine Menge von 1 mg/l. Trinkwasserfluoridierungsmaßnahmen in den USA und der darauffolgende Rückgang der Kariesinzidenz um 50 % bestätigen Deans Beobachtungen.

Nach einer niederländischen Studie konnte bei Kindern mit zu großer Fluoridaufnahme in kurzer Zeit in 20 - 25 % der Fälle eine Zahnfluorose festgestellt werden. Kinder, die ihre Zähne mit einer Fluoridzahnpaste mit 0,10 - 0,15 mg F⁻ reinigen, 20 - 30 % der Paste verschlucken und im Anschluß an die Zahnreinigung 2 Fluoridtabletten einnehmen, erreichten eine Fluoridkonzentration im Blut, die gerade eine Zahnfluorose verursachen kann. Geschieht dies täglich über einen längeren Zeitraum, entsteht eine sichtbare Zahnfluorose. Hinsichtlich der Schweregrade der Schmelzfluorose lassen sich verschiedene Einteilungen vornehmen (Grunsven et al. 1980).

Der erste Grad imponiert in Form eines weißlich gesprenkelten Schmelzes, die schweren Grade zwei und drei führen zu einer verunstaltenden braunen Fleckung und zur Hypoplasie des Schmelzes. Die Pathogenese der fluorbedingten Schmelzfleckung ist mittels Elektronenmikroskopie untersucht worden (Krüger 1968). Vier und fünf Tage alten Ratten wurden insgesamt 6 Injektionen von je 7 mg F⁻/kg Körpergewicht verabreicht und unmittelbar danach die ultrastrukturellen Veränderungen der Ameloblasten untersucht. Es wurden breite zisternenartige Erweiterungen des endoplasmatischen Retikulums im schmelznahen Abschnitt der Zellen beobachtet, sowie kavernenartige Schwellungen isolierter Mitochondrien, die durch die Schädigung im Energiehaushalt der Ameloblasten zustande gekommen sind.

Da die Tiere auch Anzeichen einer verzögerten Mineralisation des Sekretionsproduktes der Ameloblasten erkennen ließen, wird angenommen, daß die Schmelzfleckung auf der Bildung einer qualitativ veränderten, langsamer synthetisierten und langsamer mineralisierten Proteinmatrix des Schmelzes beruht. Die Einhaltung der heute üblichen Dosierung bei den Fluoridtabletten führt nicht zum Auftreten ästhetisch störender Schmelzflecken.

Über die Häufigkeit und Ursachen der Dentalfluorose und anderer Strukturanomalien im Zeitraum von 1983 bis 1992 stellte die Poliklinik für Kinderzahnheilkunde der Universität Gießen 1996 eine retrospektive Studie auf (Wetzel 1996).

Dabei wurden in einem ersten Versuchsabschnitt Häufigkeit und Ursachen aller im Zeitraum von 1988 bis 1992 in der Abteilung für Kinderzahnheilkunde registrierten Fälle mit Strukturanomalien der Zähne bestimmt. Im zweiten Versuchsabschnitt erfolgte die Erhebung der Häufigkeit, Intensität und Ursachen der im Zeitraum von 1983 bis 1992 protokollierten Fälle bestehender Dentalfluorose. Es wurden alle Patientenfälle mit der Verdachtsdiagnose einer Dentalfluorose gesammelt und anschließend einer nochmaligen umfassenden klinischen und anamnestischen Untersuchung unterzogen.

Von 2563 poliklinischen Neuaufnahmen waren insgesamt 149 Patienten mit Strukturanomalien ermittelt worden. Davon konnten die Fehlbildungen der Zahnhartsubstanzen in 42 (28,2 %) Fällen einer endogen bedingten, in 30 (20,1 %) Fällen einer erblichen und in 9 (6,0 %) Fällen einer exogen bedingten Ursache zugeführt werden. Bei 68 (45,7 %) Patienten war es nicht möglich, die Pathogenese der Zahnhartsubstanzfehlbildungen nachzuvollziehen, wobei der überwiegende Teil dieser Patienten fehlstrukturierte Sechsjahrmolaren aufwies.

Aus der Gesamtzahl von 4296 Patienten lagen bei 40 Kindern und Jugendlichen deutliche Anzeichen einer Dentalfluorose vor, wobei sich lediglich in 30 Fällen (0,7 %) konkrete Angaben zur Sicherung der Diagnose ermitteln ließen. Als Ursachen ergaben sich deutliche Hinweise auf unkontrollierte Fluorid-Mehrfachanwendungen in den ersten Lebensjahren:

- In 19 Fällen lag eine Kombination aus altersentsprechender Tablettenfluoridierung (TBF) mit der Verwendung höherfluoridhaltiger Zahnpasten (F^- -Gehalt: 1000 ppm) vor dem 4. Lebensjahr zugrunde.
- Bei 4 Fällen ließ sich die Kombination von altersentsprechender TBF mit der Verwendung niedrigfluoridierter Kinderzahnpasten (F^- -Gehalt: 250 ppm) beim Zähneputzen vor dem 4. Lebensjahr eruieren.
- Als dritte Gruppe wurden 2 Fälle erfaßt, bei denen der Verwendung höherfluoridhaltiger Zahnpasten vor dem 4. Lebensjahr die erhöhte Zufuhr von Tablettenfluorid während des 1. Lebensjahres im Rahmen der Kombinationsprophylaxe gegen Karies und Rachitis vorausgegangen war.
- Einer vierten Gruppe lag in 2 Fällen die gleichzeitige TBF in altersgemäßer Dosierung, das regelmäßige Trinken hochfluoridhaltigen Mineralwassers (F^- -Gehalt > 1,0 mg/l) und die Verwendung höherfluoridhaltiger Kinderzahnpasten vor dem 4. Lebensjahr zugrunde.

-
- Einer fünften Gruppe wurde nur ein Kind zugeordnet. In seinem Fall fand sich der Hinweis auf altersentsprechende TBF bei täglicher Zufuhr zwischen 0,75 und 1,0 l des fluoridhaltigen Mineralwassers „Astraquelle“ ab dem 2. Lebensjahr. Sein Fluoridgehalt betrug bis zum Alter des Kindes von 3¼ Jahren 0,8 mg/l und danach bis zum Alter von 6 Jahren 3,4 mg/l.
 - Bei der letzten Gruppe lag der überhöhten Fluoridzufuhr in zwei Fällen ein monokausaler Einfluß durch mehrjährige Aufnahme hochfluoridhaltigen Trinkwassers in gesichert fluoroseendemischen Gebieten von Kasachstan und Kenia zugrunde.

Der jeweilige Fluoridgehalt des Trinkwassers sowie eine mögliche weitere Zufuhr durch fluoridhaltige Mineralwässer muß in der Fluoridbilanz stets mitberücksichtigt werden. Als Orientierungshilfe für Ärzte, Zahnärzte und Verbraucher hat die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) Richtwerte für eine angemessene Fluoridgesamtaufuhr und ergänzende Zufuhr herausgegeben (DGZMK 2002).

Tabelle 3, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit aller in Deutschland erhältlichen Produkte erhebt, zeigt eine Auflistung der Mineralwässer und Heilwässer, die Fluoride enthalten (Schulte et al. 1996). Bei den mit * gekennzeichneten Mineralwässern handelt es sich um Produkte aus ausländischer Mineralquelle.

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

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

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

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

Tab. 3: Fluoridgehalt verschiedener Mineral- und Heilwässer

Nach den Zähnen reagieren die Knochen auf Fluoridüberdosierungen am empfindlichsten (König 1971; Naujoks 1978; Zentralinstitut für Ernährung 1980). Die Skelettfluorose tritt als Folge eines lang anhaltenden Konsums größerer Fluoridmengen über viele Jahre auf. Tabelle 4 zeigt die Schädigungen bei lang anhaltender Überdosierung von Fluorid.

Dosis	Dauer	Wirkung
2x empfohlene Zufuhr	erste 6 Lebensjahre	geringe Zahnfluorose
5x empfohlene Zufuhr	erste 6 Lebensjahre	ausgeprägte Zahnfluorose
10 – 25 mg/d	über 10 Jahre	Skelettfluorose
5 - 10 mg/kg/d	Monate	Nierenschädigungen bei Tieren

Tab. 4: Schädigung durch chronische Fluoridüberdosierung

Die Zufuhr von unphysiologisch hohen Mengen von Fluorid (20 mg/d und mehr) über viele Jahre hinweg ist notwendig, damit sich im Stützapparat Osteosklerosen und Exostosen ausbilden können. Dabei sind auch Gelenkversteifungen und Ankylosierungen der Wirbelsäule möglich. Ein solches Krankheitsbild wurde bei Menschen beobachtet, die in der Kryolith-Verarbeitung beschäftigt waren, sowie in endemischen Fluorosegebieten Indiens und Südafrikas, deren Einwohner jahrzehntelang Trinkwasser mit einem natürlichen Fluoridgehalt zwischen 20 und 80 mg/l tranken. In sehr fortgeschrittenen und sehr seltenen Fällen kann es auch zu neurologischen Komplikationen im Sinne von Radikulomyelopathien kommen (Wagner 1975; Deutscher Verbraucher-Schutz-Verband 1984; Berry 1958).

Sehr eingehende Untersuchungen haben aber eindeutig gezeigt, daß eine klinisch nachweisbare Skelettfluorose erst bei einem Fluoridgehalt des Trinkwassers über 8 mg/l auftritt. Bei Trinkwasser-Fluoridkonzentrationen zwischen 4 und 8 mg/l wurden zwar vereinzelt röntgenologisch nachweisbare Fluoroseerscheinungen festgestellt, diese hatten jedoch noch keinen Krankheitswert. Unterhalb von 4 mg/l ist mit dem Auftreten einer Skelettfluorose überhaupt nicht zu rechnen.

Wie schon Tabelle 4 zu entnehmen war, wäre eine Nierenschädigung erst bei längerer Einnahme von 5 - 10 mg Fluorid pro Kilogramm Körpergewicht zu erwarten. Fluoriddosen, wie sie für die Kariesprophylaxe verwendet werden, werden von den Nieren also problemlos bewältigt. Selbst bei Nierenerkrankungen ist in diesem Falle noch eine ungestörte Fluoridausscheidung möglich (Schöhl 1972; Hodge et al. 1970; Ericsson 1974; Bramstedt et al. 1976; Peters 1984; Hodge 1956). Die Vermutung, Fluorid könnte die Harnsteinbildung fördern, ist gleichfalls zu entkräften (Leone et al. 1954).

Da nach der in Europa gültigen Verordnung Zahnpasten nicht mehr als 1500 ppm (= 0,15 %) Fluor enthalten dürfen, ist diese Menge aus toxikologischer Sicht völlig unbedenklich. Kleinkinder hingegen sollten – bis sie in der Lage sind, die Paste nicht mehr herunterzuschlucken – eine mit reduziertem Fluoridgehalt von nur 250 ppm verwenden. In der Regel können sie ab dem 4. - 5. Lebensjahr zur normalen Fluoridzahnpaste wechseln. In der nachfolgenden Tabelle 5 ist der Fluoridgehalt einiger Kinderzahnpasten auf dem Deutschen Markt aufgeführt.

Produktname	Firma	F-Verbindung	F ⁻ -Gehalt
Kinderzahnpaste	Logona	-	-
Miele Zahnpasta mit Propolis	Trenke	-	-
Putzi	Dental Kosmetik	-	-
Blend-a-med Blendi	Procter & Gamble	NaF	250 ppm
Dr. Best Milchzahn	SmithKline Beecham	MFP	250 ppm
Durodont JZ Dino	Dr. Scheller	NaF	250 ppm
Durodont JZ Harry Hase	Dr. Scheller	NaF	250 ppm
My first Colgate	Colgate-Palmolive	NaF	400 ppm
Elmex Kinderzahnpaste	Wybert	Olaflur (AmF)	500 ppm
Thera-med Junior	Henkel Cosmetics	MFP	500 ppm
Signal Kindergel	Elida Fabergé	NaF	1000 ppm
Antibelag Junior Star Gel	Procter & Gamble	NaF	1100 ppm
Oral-B Kinder-Zahncreme	Oral-B	NaF	1100 ppm

Tab. 5: Vergleich der Fluoridgehalte unterschiedlicher Kinderzahnpasten

Die Theorie, daß Fluorid die Entstehung kanzerogener Prozesse fördere, kam 1975 in den USA auf. Damals wurde unter Verwendung allgemein zugänglicher Krebssterblichkeitsstatistiken der USA die Krebsmortalität zwischen den 10 größten Städten der USA, die einerseits mit fluoridiertem, andererseits mit nicht-fluoridiertem Trinkwasser versorgt wurden, vergleichend veröffentlicht. Bei diesen Rohdaten wurden weitere wichtige potentielle Kanzerogene nicht berücksichtigt; es ergab sich dennoch eine um 25 % höhere Krebssterblichkeit. In der Folgezeit wurde eine Reihe von epidemiologischen Untersuchungen publiziert, nach denen sich kein Zusammenhang zwischen der Fluoridwirkung und dem gehäuften Auftreten von Krebs ergab (Yiamouyiannis et al. 1977).

Aufgrund des in der Weltliteratur vorliegenden Erkenntnismaterials kann mit Sicherheit gesagt werden, daß die Zufuhr von Fluorid in den Dosen, wie sie für die Kariesprophylaxe erforderlich sind, mit Ausnahme einer leichten Dentalfluorose keinerlei gesundheitliche Schädigung zur Folge hat (Chilvers 1982; Austen et al. 1971; Erickson 1980; Hagan 1954).

1.3 Entdeckung des Fluorids für die Zahnheilkunde

Grundlegende Kenntnisse über das Vorkommen von Fluorid und seine Bedeutung für den menschlichen Organismus gehen auf den Anfang des 19. Jahrhunderts zurück. Bereits 1805 teilte der französische Physiker und Chemiker Gay-Lussac mit, daß Fluorid mit der Nahrung in den Körper und über das Blut in Knochen und Zähne gelange. Im gleichen Jahr wurde Fluorid im Zahnschmelz nachgewiesen. Bald darauf wies der schwedische Chemiker Berzelius nach, daß Fluorid über die Nieren ausgeschieden wird und das Wasser die wichtigste Quelle für die Fluoridaufnahme ist (Lehmann 1991).

Die wahrscheinlich erste Anwendung von Fluorid wird dem Pariser Zahnarzt Desirabode zugeschrieben, der 1843 empfahl, kariöse Zähne mit Fluoridsalzen zu härten. Um 1874 wurde in England die Einnahme von Kalziumfluorid-Pastillen zur täglichen Einnahme während der Schwangerschaft und zur Prophylaxe während des Zahndurchbruchs empfohlen (Forum Zahngesundheit 2002).

Im Jahre 1907 wurde die erste fluoridhaltige Zahnpasta eingeführt. 1908 war in Frankreich die Vorstellung allgemein akzeptiert, daß Fluorid nicht nur für die Zahngesundheit notwendig sei, sondern auch die Heilung von Knochenbrüchen fördere. Der Zusammenhang zwischen Fluoridaufnahme und reduzierter Karieshäufigkeit wurde von Ainsworth in England (1933) und Dean in den USA (1938) unabhängig voneinander festgestellt (Lehmann 1991). Neben Fluorid wirken auch die Spurenelemente Kupfer, Strontium, Molybdän und Vanadium kariesprotektiv. Allerdings finden sie in der Kariesprophylaxe keine Verwendung, da ihre therapeutisch wirksame Konzentration zu nahe an der toxischen Grenze liegt (Dean 1946).

Als in den 30er und 40er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die kariespräventive Wirksamkeit der Fluoride nachgewiesen wurde, war man zunächst der Meinung, daß Fluoridionen während der Zahnentwicklung fest in die Schmelzkristalle eingebaut werden und daraus dann eine verringerte Säurelöslichkeit des Schmelzes resultiere (Groenewald et al. 1990). In späteren Untersuchungen wurde jedoch aufgezeigt, daß die systemische Fluoridaufnahme in den Schmelz nur gering ist und die Schmelzlöslichkeit nur geringfügig beeinflußt (Tyler et al. 1986; Larsen und Jensen 1989).

Auch zeigten schon die ersten Studien zur Trinkwasserfluoridierung, zum Beispiel in Grand Rapids und Aurora, daß diese Maßnahme auch bei schon durchgebrochenen Zähnen karieshemmend wirksam war (König 1987).

Mit der Einführung der Trinkwasserfluoridierung in Grand Rapids (USA) im Jahre 1945 begann die eigentliche Ära der Fluoridanwendung in der Zahnheilkunde. Schließlich wurde auch aufgezeigt, daß selbst bei kontinuierlicher Fluoridexposition während der Phase der Zahnbildung der Schutz vor Karies nach Einstellung der Trinkwasser-Fluoridierung wieder verloren ging (Lemke et al. 1970).

1.4 Wirkungsweise von Fluorid

Die Tatsache, daß das Vorhandensein von Fluorid im Körper und niedriger Kariesbefall direkt miteinander korrelieren, ist seit mehr als 50 Jahren bekannt. In den Südstaaten der USA war aufgefallen, daß in den Gegenden, deren Trinkwasser einen natürlichen Fluoridgehalt von ca. 2 mg/l aufwies, gehäuft Schmelzflecken auftraten. Der Kariesbefall in dieser Population war sehr viel niedriger als bei vergleichsweise anderen Populationen, deren Trinkwasser fluoriddefizitär war (Künzel 1976).

Verschiedene Untersuchungen zeigen, daß Schmelzflecken erst oberhalb von 1,5 mg F⁻/l häufiger und intensiver wurden, während die optimale Karieshemmung schon bei 0,8 bis 1 mg F⁻/l eintrat.

Die kariesprotektive Wirkung der Fluoride läßt sich auf zwei verschiedene Arten erzielen: sowohl durch systemische als auch durch lokale Verabreichung. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Abgrenzung zwischen „systemisch“ und „lokal“ schwierig ist, da z. B. bei der systemischen Anwendung von Fluoridtabletten immer auch ein lokaler Effekt vorhanden ist. Ebenso zeigt auch das unbeabsichtigte Schlucken von fluoridhaltigen Zahnpasten oder Gelees eine systemische Wirkung. Die verschluckten Mengen müssen daher bei der täglichen Fluoridzufuhr mitgezählt werden, um Überdosierungen zu vermeiden (Einwag 1983).

Solange die Zähne noch in ihrer präeruptiven Entwicklungsphase sind, nehmen sie aus dem Blut das Fluorid auf, welches durch Speisen (Trinkwasser, Speisesalz) oder Tabletten dorthin gelangt. Nach aktuellen Erkenntnissen verhütet gerade diese präeruptive Kariesprophylaxe das Entstehen von Fissurenkaries, während die lokale Fluoridwirkung vorwiegend die Entstehung von Approximal- und Glattflächenkaries von bereits durchgebrochenen Zähnen verhindert. An den freien Glattflächen scheint vor allem der direkte Kontakt mit dem Fluorid während des Essens maximale Karieshemmung zu erbringen (Gedalia 1983).

So wichtig wie die Ionen-Übersättigung im Speichel für die Rekristallisation initialer Kariesläsionen ist, so wichtig ist auch das Mineralangebot in der präeruptiven Phase der Zahnbildung (Newesely 1978). Eine Fluoridwirkung in der präeruptiven Phase kann durch systemische Gaben von Fluorid wie z. B. Trinkwasser-, Salz- und Tablettenfluoridierung erfolgen. Um den vollen Effekt der präeruptiven Fluoridanreicherung zu erreichen, sollte sie bis zum Zahndurchbruch erfolgen. Fluorid kann allerdings auch nach dem Zahndurchbruch über die Pulpa in das Dentin und über die Odontoblastenkanälchen bis zur Schmelz-Dentin-Grenze gelangen. Diese weitgehende Fluoridanreicherung im Dentin vermag eine schnelle Ausbreitung der Karies ins Dentin zu verlangsamen. Systemische Fluoridgaben erhöhen auch den Fluoridgehalt im Speichel und der Sulkusflüssigkeit.

Zu Beginn der Zahnentwicklung bildet die organische Matrix den größten Teil der Schmelzsubstanz. Die Mineralisation und Reifung der bleibenden Zähne erstreckt sich über einen Zeitraum von 5 - 6 Jahren, wobei folgende Phasen zu unterscheiden sind:

- Phase I:** Bildung der organischen Matrix als Primärprodukt der Ameloblasten und anschließende primäre Mineralisation;
- Phase II:** Beendigung der Ameloblastentätigkeit und Beginn der präeruptiven Reifungsmineralisation, d. h. Kristallitwachstum unter entsprechendem Verlust an Wasser und Proteinmatrix;
- Phase III:** Posteruptive Reifungsphase, d. h. Schmelzhärtung durch Umkristallisation bei Anwesenheit von Fluorid.

In der Phase der organischen Matrixbildung (Phase I, Dauer ca. 1 - 2 Jahre) ist der Hauptteil des Fluorids an die Proteinmatrix gebunden. Ein Schutz, der durch eine Fluoridzufuhr ausschließlich in dieser Zeit erworben wird, geht innerhalb weniger Jahre wieder verloren (Newesely 1978).

Die Phase II umfaßt den Zeitraum bis zum Zahndurchbruch, also beispielsweise für die Sechs-Jahr-Molaren vom 3. bis zum 6. Lebensjahr, für die Prämolaren vom 5. bis 9. Lebensjahr. Innerhalb dieser Phase wird nach der Hydrolyse und Verschwinden der Proteinmatrix mit fortschreitender Schmelzmineralisation das Fluorid frei und kann von den wachsenden Apatitkristallen aufgenommen werden. Eine zusätzliche Fluoridanreicherung für den Schmelz erfolgt bei optimalem Fluoridangebot über die Interstitialflüssigkeit vom Perikoronarraum aus (Driessens et al. 1982; Ahrens 1978). Systemische Fluoridgaben stimulieren während der präeruptiven Phase der Zähne die Mineralisation des Schmelzes und während der Reifung den Einbau von Fluorid-Ionen in die Schmelzoberfläche. Beide tragen zum Aufbau einer optimalen Kristallstruktur der Zähne bei.

In der posteruptiven Phase wirken Fluoride vornehmlich lokal auf den Schmelz, wobei vor allem die Remineralisation bei initialen Kariesläsionen zu erwähnen ist. Bei ausreichend hohen Konzentrationen ist der Grad der Remineralisation um den Faktor 4 - 5 beschleunigt (Nizel 1981; Lehmann et al. 1984).

Die initiale Schmelzkaries ist durch die Besonderheit charakterisiert, daß sich die ersten Anzeichen einer Remineralisation zuerst in tieferen Bereichen des Schmelzmantels unter einer noch weitgehend intakten äußeren Schmelzschicht bemerkbar machen. Klinisch erscheint an dieser Stelle ein weißer Fleck.

Der Grund, warum das eigentliche Zentrum der Läsion unter einer ca. 30 µm dicken intakten Oberfläche liegt, ist darin zu sehen, daß das Porenvolumen in dieser Zone am größten und am anfälligsten gegenüber kariösen Noxen ist. Diese Poren, man bezeichnet sie auch als Mikrolücken, sind die reduzierten Überreste der sog. Schmelzmatrix, welche am Ende der posteruptiven Reifungsphase des Schmelzes auf etwa 1 % des Schmelzgewichtes reduziert bleiben.

Diese Mikrolücken ermöglichen nun den Ionenaustausch durch den Schmelz. Das Porenvolumen in der Zone I (harte Oberflächenschicht) beträgt etwa 4 - 9 %, das der Zone II (Zentrum der Läsion) ca. 25 - 50 %. In den Zonen III und IV reduziert sich das Porenvolumen wieder auf ca. 2 %. Durch bakterielle Säurebildung gelangen die H⁺-Ionen über Diffusionsvorgänge durch diese Poren und lösen im Bereich der interprismatischen Grenzgebiete die weniger dicht geschichteten Schmelzkristalle auf. Die Poren werden größer und das apatitische Gefüge geht durch Auflösung von Ca²⁺, (PO₄)³⁻ und (OH)⁻ in Lösung. Im Falle einer Porenvolumenvergrößerung kommt es zu einem erhöhten Ionenaustausch, bis schließlich die noch intakt scheinende Oberfläche einbricht.

Wird in der Phase der initialen Schmelzläsion fluoridiert, kann das Fluorid das Kristallwachstum dahingehend beeinflussen, daß es die Stelle des Hydroxylions im Apatitgitter einnimmt und Fluorhydroxylapatit bildet. Der Grund für diesen Austausch liegt darin, daß der Radius des Fluorid-Ions mit 1,38 Å beinahe der gleiche ist wie der des (OH)⁻-Ions mit 1,32 Å (Brudevold et al. 1961; Newesely 1981).

1.5 Fluoridierungsmöglichkeiten

In der Bundesrepublik Deutschland wird Fluorid in unterschiedlichen Trägersubstanzen zur Prophylaxe angewendet. Der großen Gruppe der lokalen Fluoridierungsmethoden steht die Gruppe der systemischen Fluoridierung gegenüber. Hinsichtlich ihrer klinischen Effektivität stellt die systemische Fluoridierung nach Marthaler als Basisprophylaktikum den besten Schutz dar (Marthaler 1990, 1987; Einwag 1991).

Allerdings haben sich in Deutschland die kollektiven Methoden der systemischen Fluoridierung nicht allgemein durchsetzen können, so daß den Möglichkeiten der lokalen Fluoridierung besondere Bedeutung zukommt.

Zur lokalen Fluoridierung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um Zahnpasten, Gelees, Lacke und Spüllösungen. Die Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasten gilt als Basisversorgung der Bevölkerung. In Deutschland sind ca. 85 % der verwendeten Zahnpasten fluoridhaltig. Nach epidemiologischen Untersuchungen kommt es bei Gebrauch fluoridhaltiger Zahnpasten zu einer Hemmung des Karieszuwachses von ca. 20 - 30 %. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine konsequente und tägliche Zahnreinigung, d. h. der Erfolg ist hierbei in erster Linie von der Mitarbeit des Einzelnen abhängig (Thylstrup et al. 1994).

Als Basisprophylaktikum ist die Anwendung fluoridhaltiger Zahncremes mit einer Fluorid-Konzentration von 1500 ppm zu empfehlen; Kinder unter 6 Jahren sollten fluoridreduzierte Zahnpasten mit einer Fluorid-Konzentration von 250 - 500 ppm nehmen. Das Wirkungsprinzip fluoridhaltiger Zahnpasten beruht darauf, daß das Fluorid eine Reaktion mit dem Hydroxylapatit des Zahnschmelzes eingeht, indem es zur Ausbildung einer ca. 1 - 2 µm dicken Kalziumfluoriddeckschicht kommt. Diese Deckschicht bildet ein orales Fluoriddepot, aus dem laufend Fluorid in kleinen Mengen freigesetzt wird, die zur Remineralisation beitragen (Naujoks 1983).

Hinsichtlich der gebräuchlichsten Fluoridverbindungen unterscheidet man vier Gruppen:

1. Natriumfluorid (NaF);
2. Natriummonofluorophosphat (NaMFP);
3. Aminfluorid (AMF);
4. Zinnfluorid (SnF).

Die erste Fluoridverbindung, die zur Kariesprophylaxe den Zahnpasten zugesetzt und klinisch getestet wurde, ist Natriumfluorid. Die schlechten Ergebnisse der ersten klinischen Studien zur Wirksamkeit von NaF-haltigen Zahnpasten können bis heute auf eine Inkompatibilität des Wirkstoffs mit den sonstigen Bestandteilen der Zahnpasta, insbesondere den Poliermitteln, zurückgeführt werden.

Früher enthielten Zahnpasten als Poliermittel Kalzium in Form von Kalziumkarbonat oder Kalziumphosphat, was dazu führte, daß in der Zahnpasta die Kalziumionen mit dem Fluorid zu unlöslichem Kalziumfluorid ausfielen sind und damit chemisch nicht mehr auf der Zahnoberfläche zur Verfügung standen (Bößmann 1985; Einwag et al. 1991).

Monofluorophosphat enthält im Gegensatz zu NaF das Fluor nicht ionisch, sondern komplex gebunden. Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

- bei physiologischen pH-Werten verhält sich MFP relativ lange stabil;
- MFP ist mit kalziumhaltigen Putzkörpern verträglich, d. h. es wird durch die Kalziumionen nicht inaktiviert.

Dennoch kamen Stookey et al. (1993) – aufgrund von direkten klinischen Vergleichsstudien – zu dem Schluß, NaF sei in einer kompatiblen Zahnpasta signifikant wirksamer ist als NaMFP. Sie empfehlen aufgrund dieser Ergebnisse daher die Verwendung von NaF-haltigen Zahnpasten.

Die Wirksamkeit des Aminfluorids (AMF) wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Entwickelt wurde das AMF Ende der 50er Jahre an der Universität Zürich und stand bis 1975 in der Schweiz unter Patentschutz. Von den anorganischen Fluoridverbindungen (NaF, NaMFP) unterscheidet sich das AMF durch seine speziell räumlich orientierte Molekülstruktur, bei der das Fluoridion an einen organischen Fettsäureaminrest gebunden ist. Aus diesem Grunde wird das AMF häufig auch als „organisches Fluorid“ bezeichnet (Mühlemann 1983).

Im Gegensatz zu NaF bedeckt das AMF die Zahnoberfläche mit einer homogenen molekularen Schicht und kann somit eher den Approximalbereich mit der notwendigen Fluoridmenge versorgen. Allerdings gibt es bis zum heutigen Zeitpunkt keine klinischen Studien, die den Nachweis erbracht haben, daß AMF-haltige Zahnpasten in ihrer klinischen Wirksamkeit den NaF-haltigen überlegen sind. In einer Konsensuskonferenz, die 1993 in Frankfurt stattfand, wurde daher beschlossen, „daß aminfluoridhaltige Zahnpasten keine bessere karieshemmende Wirksamkeit aufweisen als Zahnpasten mit Natriumfluorid in kompatiblen Lösungen“ (Einwag et al. 1993).

Die Mitte der 50er Jahre auf dem amerikanischen Markt eingeführte Zinnfluoridpaste zeigte gute Ergebnisse. Neben der sehr guten Löslichkeit des Fluorids aus dem Zinnanteil und den damit verbundenen, sehr guten remineralisierenden Eigenschaften zeigte diese Verbindung eine außerordentliche Hemmwirkung auf die Zahnplaque. Allerdings ergaben sich bei längerem Gebrauch immer wieder Verfärbungen an den Zähnen, so daß die Produktion folglich eingestellt wurde (Saxer 1991).

Heute ist Zinnfluorid in Kombination mit Aminfluorid u. a. in der Spüllösung Meridol[®] zu finden. Meridol[®] Mundspül-Lösung enthält 250 ppm Fluorid. 125 ppm stammen aus Aminfluorid, 125 ppm aus Zinnfluorid (Gaba 2002). Tabelle 6 zeigt die Zusammen-setzung von Meridol[®] Mundspüllösung.

Inhaltsstoffe nach INCI	Funktion der Inhaltsstoffe
Aqua	Lösungsmittel (Wasser)
Xylitol	Süßstoff
PVP	Stabilisator (Polyvinylpyrrolidon)
PEG-40 Hydrogenated Castor Oil	Lösungsvermittler (PEG-40 Hydriertes Rizinusöl)
Olaflur	Fluorid-Wirkstoff Aminfluorid (125 ppm F ⁻)
Aroma	Aromastoffe, z. B. Pfefferminzöl, Sternanis, Eugenol, Vanillin, Krauseminzöl
Stannous Fluoride	Fluorid-Wirkstoff Zinnfluorid (125 ppm F ⁻)
Sodium Saccharin	Süßstoff (Saccharin, Natriumsalz)
CI 42051	Farbstoff Ariavitblau

Tab. 6: Inhaltsstoffe von Meridol[®]-Mundspüllösung

Um die Effizienz der Lokalapplikation zu steigern, d. h. um höhere Kariesreduktionsraten bei möglichst wenigen Anwendungen zu erzielen, wurden in den 50er Jahren fluoridhaltige Gelees und Lacke entwickelt.

Das Einbürsten eines amin- oder natriumfluoridhaltigen Gelees mit einer maximalen F⁻-Konzentration von 1,25 % (entspricht 12.500 ppm) in Abständen von 2 Wochen ruft eine Karieshemmung von ca. 40 % hervor (Marthaler 1979). Der gleichzeitige tägliche Gebrauch einer fluoridhaltigen Zahnpasta erhöht den Wirkungsgrad auf bis zu 50 % und erreicht damit Werte, die denen der Trinkwasserfluoridierung nahe kommen.

Die heute auf dem Markt erhältlichen Gelees, z. B. Elmex-Gelee[®], enthalten Fluoride in einer reduzierten Konzentration von nur noch 0,4 %, um das Risiko des Auftretens von Schmelzflecken zu minimieren.

Das Spülen oder Touchieren mit fluoridhaltigen Lösungen ist eine Alternative zur Applikation fluoridhaltiger Lacke. Das von der Firma Wybert auf den Markt gebrachte Elmex[®]-Fluid ist nur zur gezielten Touchierung mittels Wattepallets geeignet, da es eine F⁻-Konzentration von 1 % (10.000 ppm) aufweist. Die Anwendungshäufigkeit entspricht der Lackapplikation. Bei zweimal jährlicher Touchierung mit z. B. Elmex[®]-Fluid kann mit einer Kariesreduktion von bis zu 30 % gerechnet werden. Elmex[®]-Fluid enthält 1 % Fluorid aus Olaflur (0,925 %) und Dectaflur (0,075 %) bei einem pH-Wert von 3,9. Es hat damit die höchste Aminfluoridkonzentration aller Elmex[®]-Produkte. Gemäß den Richtlinien des Arzneimittelgesetzes und der Kosmetikverordnung ist Elmex[®]-Fluid ein apothekenpflichtiges Arzneimittel (Pieper und Peters 1990).

Unter den systemischen Fluoridierungsmöglichkeiten stellt die Trinkwasserfluoridierung (TWF) nach weltweiten Untersuchungen der Europäischen Arbeitsgemeinschaft für Kariesforschung (ORCA) die einfachste, erfolgreichste und gesundheitlich unbedenklichste Art des Fluorideinsatzes dar. Nach aktuellen Schätzungen steht die TWF ca. 400 Millionen Menschen in aller Welt als Basisprophylaktikum im Sinne einer kollektiven Prophylaxe zur Verfügung. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über Programme der Trinkwasserfluoridierung in aller Welt wieder. Die erreichbaren Kariesreduktionsraten durch TWF liegen bei ca. 50 %. Untersuchungen ergaben, daß der Schmelz von Milch- und bleibenden Zähnen bei TWF selbst in tieferen Schichten einen signifikant höheren Fluoridgehalt besitzt als Zahnschmelz in fluoriddefizitären Gebieten (Strübig 1981).

Bereits 1967 wurde nachgewiesen, daß in fluorarmen Gebieten der Fluoridgehalt äußerer Schmelzschichten bei durchbrechenden bleibenden Zähnen im allgemeinen um 300 ppm, in fluorreichen Gebieten dagegen um 600 ppm liegt. Dabei kommt hier besonders die posteruptive Wirkung der TWF, d. h. Einlagerung des Fluorions, zur Geltung (Trautner 1987).

Land	Beginn der TWF	Zahl versorgter Städte und Gemeinden	erfasste Einwohnerzahl
Australien	1956	23	4.000.000
Belgien	1956	1	10.000
Brasilien	1953	86	1.500.000
Kanada	1945	459	6.000.000
Chile	1953	64	3.300.000
Kolumbien	1953	6	2.400.000
Kuba	1972	1	6.000
Tschecheslov.	1958	30	1.000.000
El Salvador	1956	1	1.380.000
Deutschland	1952	1	6.000
DDR	1959	24	1.300.000
Finnland	1959	1	60.000
Hong Kong	1961	11	3.570.000
Irland	1964	44	1.200.000
Kuwait	1968	1	676.000
Mexiko	1960	5	1.750.000
Niederlande	1953	15	3.000.000
Neuseeland	1953	29	1.205.000
Panama	1950	8	310.000
Paraguay	1959	1	35.000
Polen	1967	6	850.000
Puerto Rico	1953	59	1.300.000
Rumänien	1960	1	100.000
Singapur	1958	1	2.000.000
Schweden	1952	2	130.000
Schweiz	1960	3	250.000
Großbritannien	1955	16	2.250.000
USA	1945	3827	74.600.000
UdSSR	1962	20	10.500.000
Venezuela	1952	22	60.000

Tab. 7: Übersicht über die Fluoridierungsprogramme in der Welt (Künzel 1976)

Der große Vorteil der Trinkwasserfluoridierung liegt darin, daß auch diejenigen Menschen, die nicht auf ihre Zahngesundheit achten und daher von anderen Methoden der Kariesprophylaxe nicht erreicht werden, Fluorid in kariesprophylaktischer Dosis erhalten.

Neben der Trinkwasserfluoridierung hat sich die Fluoridierung des Kochsalzes als Kariesprophylaktikum in verschiedenen Ländern bewährt. Mit dieser 1955 in der Schweiz eingeführten Methode wird ein dem Bedarf angepaßtes Kontingent des Salzes fluoridiert und dem Konsumenten in besonders deklarierten Verpackungen zur Verfügung gestellt. In Deutschland ist fluoridiertes Speisesalz seit ca. 10 Jahren erhältlich. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz von fluoridiertem Speisesalz eine kollektive kariesprophylaktische Maßnahme, mit der auch Menschen erreicht werden, die sonst nicht in den Genuß präventiver Maßnahmen kämen. Mit Salzfluoridierung läßt sich eine kostengünstige und außerordentlich breitenwirksame Kariesprophylaxe durchführen. Durch den täglichen Genuß von fluoridhaltigem Salz wird eine kontinuierliche Fluoriddosierung garantiert und eine sehr effektive Basis für die Kariesprophylaxe sichergestellt. Diese minimale Fluoridaufnahme ist toxikologisch unbedenklich und keine Zwangsmedikation, da Fluorid ein normaler Bestandteil der täglichen Nahrung ist (Toth 1990; Menghini 1991).

Eine flächendeckende Einführung der Salzfluoridierung würde zu einer erhöhten Fluoridaufnahme führen, wodurch die tägliche Fluoridaufnahme verbessert wäre, jedoch keine Überdosierung auftritt. Der kariespräventive Effekt der Salzfluoridierung ist kein Produkt einer Lehrmeinung, sondern empirisch nachgewiesen. So ist der beispiellose Kariesrückgang in der Schweiz unter anderem auf die Einführung der Salzfluoridierung zurückzuführen (Marthaler 1982, 1987). Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Salzfluoridierung, die nur in der Kombination „fluoridiertes und jodiertes Salz“ erhältlich ist, eine hervorragende Möglichkeit ist, die Fluoridaufnahme der Bevölkerung auf einen kariesprophylaktisch bedeutsamen Wert anzuheben. Die Salzfluoridierung in einer Konzentration von 250 mg/kg führt nicht zu einer überhöhten Fluoridaufnahme und ist gesundheitlich unbedenklich (Marthaler 1992).

Zwei Gesichtspunkte sollten jedoch berücksichtigt werden: Es sollte nach Möglichkeit 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. März 2000 verwendet werden (DGZMK 2002).

Eine weitere systemische Fluoridierungsmöglichkeit ist die Tablettenfluoridierung. Sie ist v. a. dann indiziert, wenn keine weiteren kollektiven Fluoridierungsmaßnahmen zur Verfügung stehen und eine vorschriftsmäßige Verabreichung seitens der Eltern gewährleistet ist.

Mit ihrer Anwendung sollte vor dem Durchbruch der Milchzähne (ab dem 6. Lebensmonat) begonnen werden. Zweckmäßigerweise wird das Fluorid zusammen mit dem Vitamin D als Kombipräparat (z. B. D-Fluoretten) durch den Kinder- oder Hausarzt verordnet. Die Höhe des optimalen Fluoridsupplements ist individuell unterschiedlich und hängt im wesentlichen ab

- vom Alter/Gewicht,
- von der täglichen Basiszufuhr an Fluorid.

Als Richtschnur gilt das Dosierungsschema der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK, siehe Tabelle 8).

Alter	Fluoridkonzentration im Trinkwasser (Mineralwasser) [mg/l]		
	< 0,3	0,3 - 0,7	> 0,7
0 - 6 Monate	-	-	-
6 - 12 Monate	0,25	-	-
ab 1 bis 3 Jahre	0,25	-	-
ab 3 bis 6 Jahre	0,5	0,25	-
älter als 6 Jahre	1	0,5	-

Tab. 8: Fluoridsupplementierung der DGZMK (DGZMK 2002)

1.6 Epidemiologische Untersuchungen

Zahlreiche Studien belegen den zunehmenden Kariesrückgang in vielen Ländern Europas und Nordamerikas innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte (Micheelis et al. 1989; Ogaard 1994; Thylstrup 1994). Hierbei kann, auch unter Berücksichtigung der länderspezifischen Besonderheiten sowie der unterschiedlichen Untersuchungs- und Diagnosekriterien der verschiedenen Studien, die zunehmende Verfügbarkeit von Fluoriden, insbesondere in Form fluoridhaltiger Zahnpasta, als Hauptursache für die beobachtete Reduktion der Kariesprävalenz angesehen werden (Thylstrup 1994).

In einer epidemiologischen Untersuchung von Wilfart (Wilfart 1995) sollte der Einfluß einer kontinuierlichen Fluoridsupplementierung mittels Tabletten sowie des Mundhygiene- und Ernährungsverhaltens auf den Kariesbefall an einem kontrollierten Probandengut erfaßt werden. Im Rahmen dieser Longitudinalstudie erhielten die Kinder der Versuchsgruppen ab Geburt (F1) bzw. ab dem 7. Lebensmonat (F2) eine Fluoridgabe entsprechend den Empfehlungen der DGZMK für ein Gebiet mit einer niedrigen Fluoridkonzentration des Trinkwassers (< 0,2 ppm). Kinder der Kontrollgruppe (K) erhielten ebenfalls ab Geburt die übliche Fluoridierung; nach dem zweiten Lebensjahr erfolgte diesbezüglich jedoch keine weitere Empfehlung.

Im folgenden wurde durch regelmäßige medizinische und zahnmedizinische Untersuchungen insbesondere der Einfluß der Fluoride auf das Körperwachstum, die Zahneruption, die Zahnkaries (Reich et al. 1992) sowie auf die Zahnfluorose (Schmalz et al. 1993; Wilfart et al. 1994) untersucht.

Die klinischen Untersuchungen beinhalteten die Erhebung des dmft- bzw. dmfs-Index (Marthaler 1966) aller Milchzähne bzw. Milchzahnflächen sowie der Erhebung des Plaque-Index (Silness 1964) und des Papillen-Blutungs-Index (Mühlemann 1978). Alle Untersuchungen wurden von einer Person durchgeführt. Parallel zur klinischen Untersuchung der Kinder wurden die Eltern anhand eines strukturierten Fragebogens bezüglich der Fluoridtabletteneinnahme sowie des Mundhygiene- und Ernährungsverhaltens der Kinder persönlich befragt.

Bei der Fragebogenauswertung zeigte sich, daß nach Angaben der Eltern alle Kinder (100 %) der Versuchsgruppen die Fluoridtabletteneinnahme nach dem zweiten Lebensjahr kontinuierlich fortsetzten, wohingegen dies nur bei 42,9 % der Kinder der Kontrollgruppe der Fall war. Die Regelmäßigkeit der täglichen Fluoridsupplementierung war mit 63,9 % innerhalb der Kontrollgruppe im Vergleich zu 77,5 % (F1) und 82,8 % (F2) in den beiden Versuchsgruppen deutlich geringer.

Mittels der Regressionsanalyse konnte gezeigt werden, daß ein vermehrter Konsum süßer Getränke oder kariogener Zwischenmahlzeiten sowie geringe Zahnpflichthäufigkeit das Kariesrisiko innerhalb der einzelnen Gruppe geringfügig erhöht. Ein signifikant erhöhtes Kariesrisiko ergab sich in den Versuchsgruppen bei unregelmäßiger Fluoridtabletteneinnahme im Vergleich zu den Kindern mit regelmäßiger Fluoridtabletteneinnahme.

Eine Vielzahl von Untersuchungen der vergangenen Jahre (Burt 1992; Pendrys 1990; Szupunar 1987, 1992) weist auf eine zunehmende Häufigkeit entwicklungsbedingter Schmelzveränderungen hin. In einer Studie der Universität Regensburg sollte im Rahmen einer Longitudinalstudie der Einfluß der Fluoridsupplementierung mittels Tabletten auf die Prävalenz entwicklungsbedingter Schmelzveränderungen ermittelt werden.

169 Kinder im Alter von 6 bis 8 Jahren bildeten drei Versuchsgruppen mit jeweils unterschiedlicher Fluorid-Tabletten-Prophylaxe. Die Kontrollgruppe (K) bestand aus 294 gleichaltrigen Kindern, welche ohne kontrollierte Tablettensupplementierung in einer Nachbargemeinde mit ebenfalls niedriger Fluoridkonzentration des Trinkwassers (< 0,2 ppm) aufwuchsen. Zur Erfassung entwicklungsbedingter Schmelzveränderungen diente der modifizierte DDE-Index, welcher im Rahmen eines Screeningtests an den bukkalen Flächen von 12 Indexzähnen erhoben wurde.

Von 169 (100 %) untersuchten Kindern der Versuchsgruppen konnte bei 70 (41,4 %) eine Schmelzveränderung im Sinne einer Opazität oder Hypoplasie (Grad 1, 2 oder 3, mod. DDE-Index) beobachtet werden. Für die jeweiligen Versuchsgruppen betragen die Prävalenzen der Kinder mit mindestens einem Schmelzdefekt (betroffene Kinder) 39,4 % (F3), 41,4 % (F1) und 44,4 % (F2). Zwischen der Kariesprävalenz der Kontrollgruppe von 15,6 % und den o. g. Prävalenzen der Versuchsgruppen konnte ein signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) festgestellt

werden. Nach einer strukturierten Fluoridgabe mittels Tabletten konnten im Vergleich zu einem Kontrollkollektiv vermehrt entwicklungsbedingte Schmelzveränderungen beobachtet werden. Es konnte nicht ausgeschlossen werden, daß die Zunahme der Schmelzveränderungen fluoridbedingt war. Eine zuverlässige Aussage war aufgrund des höheren Anteils der Milchzähne bei den Kindern der Versuchsgruppe nicht möglich. Der modifizierte DDE-Index ist als ein effizientes Klassifikationssystem, welches eine gute Basis zur Erfassung entwicklungsbedingter Schmelzveränderungen bilden kann, zu sehen (Wilfart et al. 1994).

Der modifizierte DDE-Index wurde 1989 von Clarkson und O'Mullane (Clarkson und O'Mullane 1989) angegeben. Diese Autoren konnten mit Hilfe dieses Indexes in zwei Gebieten Irlands mit einer niedrigen Fluoridkonzentration des Trinkwassers (< 0,2 ppm) bei 8-jährigen Kindern eine Prävalenz entwicklungsbedingter Schmelzdefekte von 30 - 42 % feststellen. Gavin et al. (Gavin et al. 1992) fanden ebenfalls unter Verwendung des mod. DDE-Index im Rahmen eines Screeningtests bei 12 Jahre alten Kindern in Dublin (Irland) bei einem Fluoridgehalt des Trinkwassers von 1 ppm eine Kariesprävalenz von 29,2 %.

Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Werte der Kariesprävalenz in den Versuchsgruppen (39,4 %, 41,4 % und 44,4 %) entsprechen den Ergebnissen von Clarkson und O'Mullane und Gavin et al.; bei diesen Studien nahmen die untersuchten Kinder zwar nicht an einem strukturiertem Prophylaxeprogramm teil, jedoch lag in einigen Untersuchungsgebieten eine Trinkwasserfluoridierung (1 ppm) vor. Überraschenderweise konnte in der Studie von Clarkson und O'Mullane bei Kindern aus einem Gebiet mit niedrigem Fluoridgehalt des Trinkwassers ein relativ hoher Wert der Kariesprävalenz von 42 % festgestellt werden. Bei den Kindern der Kontrollgruppe in der vorliegenden Studie lag die Prävalenz mit 5,6 % deutlich niedriger als die von Clarkson und O'Mullane ermittelte.

In den vergangenen 30 Jahren wurde über einen deutlichen Rückgang der Kariesprävalenz in bestimmten westlichen Industrienationen berichtet (Burt 1992; Pendrys 1986). Gleichzeitig sind in zahlreichen Studien Hinweise auf eine steigende Prävalenz der Dentalfluorose in ihren milden Ausprägungsformen zu finden (Leverett 1986; Segreto 1984; Szupunar 1988).

Als Ursache nimmt man eine veränderte Ernährungsweise, verbesserte Mundhygiene und verstärkte lokale oder systemische Fluoridierungsmaßnahmen an. In einer Studie der Polikliniken für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universitäten Hamburg und Regensburg wurden entwicklungsbedingte Schmelzveränderungen bei niedriger Fluoridkonzentration des Trinkwassers untersucht. Bei 1001 Kindern im Alter von 3 bis 17 Jahren in einer Gemeinde der nördlichen Oberpfalz mit einer Fluoridkonzentration des Trinkwassers von weniger als 0,2 ppm wurde der modifizierte DDE-Index an den bukkalen Flächen von 12 Index-Zähnen erhoben. Anschließend wurden alle 10.892 Zähne nach dem „TF-Index“ für Dentalfluorose (Thylstrup 1978) bewertet. Bei 179 (17,9 %) aller untersuchten Kinder konnte an mindestens einem Zahn eine entwicklungsbedingte Schmelzveränderung nachgewiesen werden (Grad 1 - 3, mod. DDE-Index). Bei 54 Kindern (5,4 %) wurde die Diagnose „Dentalfluorose“ gestellt, wobei in über 90 % dieser Fälle milde Ausprägungsformen vorlagen.

Den Fluoriden wird von verschiedenen Autoren sowohl eine posteruptive Wirkung (Ekstrand 1988; Sakkab 1984; Ten Cate 1990) als auch eine präeruptive Wirkung (Groeneveld 1990; Thylstrup 1990) zugeschrieben. Um die Bedeutung der präeruptiven und posteruptiven Wirkung der Fluoride miteinander vergleichen zu können, wurde in einer Longitudinalstudie an einem definierten Patientengut der kariesprophylaktische Effekt von Fluoridtabletten bei unterschiedlichem Prophylaxebeginn und unterschiedlich langer Einnahmedauer untersucht.

Von einem Kreißsaalkollektiv mit 213 Kindern wurden 109 Kinder, die während der ersten 4 Monate ausschließlich gestillt wurden, der Versuchsgruppe zugeordnet. Die verbliebenen 104 Kinder der Kontrollgruppe erhielten Flaschennahrung. Die Versuchsgruppe wurde in zwei Untergruppen unterteilt: eine (F1) erhielt 0,25 mg F⁻/d von Geburt an, die andere erst ab dem 7. Monat. Ab dem dritten Lebensjahr wurden in der Versuchsgruppe die üblichen Vorsorgemaßnahmen (Empfehlung der DGZMK) durchgeführt.

Die Kinder der Kontrollgruppe erhielten ebenfalls ab Geburt die übliche Prophylaxe, nach dem zweiten Lebensjahr erfolgte jedoch keine Empfehlung zur weiteren Vorsorge. Im Alter von 5 Jahren wurde bei den Kindern eine Vollregistrierung aller Zähne/Zahnflächen (dmft/dmfs) durchgeführt, wobei kariöse Veränderungen im Initialstadium sowie mit Kavitätenbildung getrennt erfaßt wurden (Marthaler 1966). Die Auswertung erfolgte mittels Mediantest und dem Statistikprogramm SPSS.

Der Kariesbefall der Milchzähne (dmft-Index) war in beiden Versuchsgruppen (F1, F2) signifikant ($p < 0,01$) geringer als in der Kontrollgruppe bzw. ($p < 0,05$) beim dmfs. Zwischen den beiden Versuchsgruppen war jedoch kein signifikanter Unterschied erkennbar (Reich et al. 1992). In der vorliegenden Longitudinalstudie zeigte sich, daß die Fluoridgabe bei den Kindern der Versuchsgruppe zu einer signifikanten Reduktion des Kariesbefalls gegenüber der Kontrollgruppe führte. Deren Kariesbefall war mit dem Landesdurchschnitt des Bundeslandes Bayern vergleichbar (Einwag 1990). Diese Beobachtung entspricht Ergebnissen verschiedener Untersuchungen an Milch- und bleibenden Zähnen (Fanning 1975; Marthaler 1967; Plaschaert 1973; Strübig 1982).

Da alle Kinder bis zum Alter von ca. 2 Jahren eine kombinierte Vitamin-D- und Fluorid-Gabe erhalten haben und beim Zahndurchbruch alle Zähne gesund waren, ist die Kariesreduktion, neben einer wohl vergleichbaren präeruptiven, vor allem auf die kontinuierliche posteruptive Wirkung von Fluorid zurückzuführen (Fanning 1975; Gülzow 1984; Thylstrup 1979).

2 Zielsetzung und Geologie im Münsterland

Karies ist die wohl weltweit verbreitetste Erkrankung. Während die erwachsene Bevölkerung auch bei uns noch immer eine hohe Befallsrate aufweist, geht sie aber seit einigen Jahren bei Kindern und Jugendlichen als Folge vielfältiger präventiver Maßnahmen deutlich zurück (Stamm 1994).

Bis in die 60er Jahre war Karies mit einer Frequenz von 98 % auch in der Bundesrepublik Deutschland die Volkskrankheit Nummer eins (Gülzow 1985). Sie stellt somit sowohl ein gesundheitliches als auch ein wirtschaftliches Problem dar.

Die Vorgaben bzw. Gesundheitsziele der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für das Jahr 2002 in Europa war, daß 50 Prozent aller 5- bis 6-jährigen Kinder ein naturgesundes, absolut kariesfreies Gebiß haben sollten und daß die 12-jährigen höchstens noch an zwei Zähnen einen kariösen Defekt bzw. eine Füllung aufweisen sollten. Dieses Ziel ist in Deutschland vielerorts bereits erreicht oder sogar schon unterschritten.

Allerdings gibt es auch bei uns noch eine kleinere Gruppe von Kindern, welche eine Vielzahl kariöser Läsionen aufweisen. Es ist vordringliches Ziel der Prophylaxe, auch diese Kinder mit einem hohen Kariesrisiko zu erreichen.

Eine wichtige Rolle nimmt in diesem Zusammenhang die Erkenntnis ein, daß das Element Fluor in seinen Salzen einen hohen Schutz vor Karies bietet und in gewisser Weise auch regenerativ wirken kann.

Dabei ist allerdings auf die Einhaltung der empfohlenen Richtwerte der WHO zu achten, da Schädigungen am Kauorgan und auch am Skelett nicht nur aus einer Unterversorgung, sondern auch aus einer Überdosierung resultieren können.

Im Bewußtsein großer Bevölkerungskreise sind jedoch die Bedeutung und das Vorkommen von Fluoriden bzw. deren Kumulation aus den täglichen Nahrungs- und Zahnpflegemitteln noch nicht ausreichend verbreitet.

Die vorliegende Arbeit wurde, im Rahmen einer großflächig angelegten Untersuchung, mit dem Ziel erstellt, genaue Erkenntnisse über die derzeitige Trinkwassersituation im Bereich des Münsterländer Beckens zu gewinnen.

Wie für dieses Gebiet typisch, beziehen fast alle Haushalte ihr Trinkwasser nicht aus der städtischen Wasserversorgung, sondern aus einer Eigenwasseranlage. Der Grund liegt darin, daß eine kommunale Trinkwasserversorgung in den Kreisen Münster, Warendorf, Coesfeld und Gütersloh nicht flächendeckend gewährleistet werden kann.

Um in dieser Fragestellung Klarheit zu schaffen, bietet sich eine Untersuchung der Brunnenanlagen in Bezug auf den Fluoridgehalt des jeweiligen Entnahmewassers an.

Ziel dieser Exploration ist daher eine möglichst gründliche Erhebung und Kartierung der einzelnen Eigenwasseranlagen in einem Teil des Kreises Warendorf und eine Probenentnahme mit anschließender labortechnischer Analyse.

Damit sollen betroffene Gebiete genauer eingegrenzt sowie Maximalwerte erfaßt werden. Diese Ausgangsdaten sollen als Grundlage für weiterführende Maßnahmen dienen und ein Bewußtsein für die Problematik in der Bevölkerung schaffen.

Die besondere geologische Situation im Münsterland zeichnet sich durch dessen etwa 150 km lange und 80 km breite asymmetrische Muldenstruktur aus, das sogenannte Münsterländer Becken. Die Muldenachse verläuft etwa von Burgsteinfurt über Münster nach Gütersloh; die tiefste Stelle (- 2500 m NN) befindet sich im Gebiet Emsdetten/Lengerich. Aus hydrogeologischer Sicht ist dieses Becken die geschlossene Grundwasserlandschaft Nordwestdeutschlands. Struktur, Schichten- aufbau sowie Geländeform legen den Vergleich mit einer Wanne nahe, in der sich Grund- und Oberflächenwasser sammeln. Es handelt sich um ein Dreischicht- Grundwasserfließsystem bestehend aus:

- dem unteren Kluftgrundwasserleiter (Unterkreide bis Unterconiac),
- der nahezu undurchlässigen Trennschicht des Emscher Mergels (Mittelconiac bis Santon) und
- mehreren lokalen, oberflächennahen Porengrundwasserleitern.

Die o. g. nahezu undurchlässige Trennschicht des Emscher Mergels mit einer Durchlässigkeit von 10^{-9} bis 10^{-12} m/s, wird von den Rändern in Richtung auf das Beckenzentrum immer mächtiger. Sie bewirkt bereits in den randdichten Bereichen eine Trennung des in der Regel mit Sole erfüllten unteren Kluftgrundwasserleiters von den oberflächennahen Porengrundwasserleitern.

Das ganze Münsterländer Becken entspricht einem regionalen hydrologischen System, welches sowohl das Grundwasserfließsystem als auch das mit ihm verbundene Oberflächenwassersystem umfaßt. Unterschieden wird zwischen

- dem zentralen, tiefen Salzwasser/Sole-Subsystem und
- dem im Randbereich befindlichen Süßwasser-Subsystem.

Das Ausmaß der Grundwasserneubildung läßt sich aus den Messungen meteorologischer und hydrologischer Daten herleiten. Die Grundwasserneubildungsrate entspricht dem unterirdischen Abfluß. Sie ergibt sich aus der Niederschlagshöhe abzüglich Verdunstungsmenge und oberirdischem Abfluß.

Die langjährige mittlere Niederschlagsverteilung ist im Münsterländer Becken mit einem Hauptmaximum im Sommer (Juli bis August) und einem schwächeren Maximum im Winter (Dezember) recht gleichmäßig. Die sommerlichen Niederschläge sind überwiegend auf Ausgleichsströmungen (Konvektionen) in der Atmosphäre, die winterlichen auf die vom Westen her einströmenden maritimen Luftmassen zurückzuführen.

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe liegt zwischen ca. 1250 mm im Bereich der Egge und < 700 mm in den Regionen Emsdetten/Greven und Hamm bis südlich Münster. Im Zentralbereich des Münsterländer Beckens liegen die jährlichen Niederschlagshöhen einheitlich zwischen 700 und 800 mm. Auf den Anhöhen im Westen (Baumberge, Hohe Mark, Haard) übersteigen sie die 800-mm-Grenze nur wenig, während sie im Nordosten, Osten und Süden stark mit der Höhenlage zunehmen. Die Zunahme der Niederschlagshöhen beträgt dort zwischen 100 und 150 mm pro Jahr und 100 m Geländehöhe.

Die aktuelle Verdunstungsmenge beträgt ca. 475 mm pro Jahr. Die Grundwasserneubildungsrate ist in Teilgebieten der oberen Emsebene, im oberen Lippegebiet, im nördlichen Ruhrgebiet, im Verbreitungsgebiet der Haltern-Sande sowie in Teilgebieten des Münsterländer Beckens mit 230 bis 270 mm pro Jahr relativ hoch. In allen übrigen Gebieten liegt sie im allgemeinen unter 19 mm pro Jahr, im stark oberflächenversiegelten Emschergebiet sogar nur bei 152 mm pro Jahr. Das gesamte theoretisch nutzbare Grundwasserangebot, das die Gesamtmenge des jährlich im Mittel aus den Niederschlägen erneuerten Grundwassers umfaßt, beträgt im Münsterländer Becken ca. 2,3 Mrd. m³ (Michel 1995).

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet und Probenentnahme

Im Zeitraum von August bis Oktober 2000 wurden 200 private Wasser-versorgungsanlagen im Kreis Warendorf untersucht.

Das Gebiet erstreckt sich vom nordöstlichen Stadtrand Münsters bis Warendorf, südlich der Bundesstraße 64, und vom südöstlichen Stadtrand Münsters bis Freckenhorst, nördlich der Landesstraße 793. Dieses etwa 150 km² große Areal umfaßt also Teile der Kreise Münster und Warendorf.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden stichprobenartig nach zufälliger Auswahl Wasserproben aus privaten Eigenwasseranlagen entnommen. Die Entnahmestellen im untersuchten Areal liegen durchschnittlich ca. 450 m voneinander entfernt. Das Wasser eines Bohrlochs wird jeweils von einem oder maximal zwei Haushalten verwendet.

An einem von den Besitzern häufig genutzten Wasserhahn wurde, nach einer Vorlaufzeit von ungefähr 45 Sekunden, eine 250-ml-Trinkwasserprobe entnommen, direkt in ein Propylengefäß abgefüllt und verschlossen.

Die Leitfähigkeit wurde noch vor Ort gemessen und notiert. Zur Bestimmung der Leitfähigkeit wurde eine Messung direkt nach Probenentnahme nach DIN EN 2788-C8 durchgeführt. Die Leitfähigkeit wurde direkt mit einer temperaturkompensierten Leitfähigkeitselektrode in der zu untersuchenden Probe bestimmt. Als Meßgerät wurde ein WTW portables Leitfähigkeitsmeßgerät LF 315 verwendet (DIN EN 2788 2002).

Die anschließende Lagerung bis zur endgültigen Analyse erfolgte bei - 24 °C. Die Wasserproben wurden dann innerhalb einer Woche analysiert.

3.2 Aufbereitung der Wasserproben und Standards

Die Aufbereitung der Wasserproben wird bei 20 °C, also Raumtemperatur, durchgeführt. Hierzu werden die zu untersuchenden Proben zur Fluoridbestimmung mit einem Gesamt-Ionen-Stärke-Einstell-Puffer (TISAB = Total Ionic Strength Adjustment Buffer bzw. Ionic Strength Adjustor) versetzt.

Zu 20 ml einer Probe werden 2 ml TISAB III zugegeben. Die TISAB-III-Lösung setzt sich aus Eisessig, NaCl sowie Cyclohexylen-Dinitrilo-Tetra-Essigsäure zusammen und wird mit 5M NaOH auf einen pH-Wert zwischen 5,0 und pH 5,5 eingestellt. Durch Zugabe von TISAB-III zur Probe und zum Standard werden zwei Meßvoraussetzungen erfüllt. Zum einen wird ein konstanter Ionenstärke-Hintergrund zum Dekomplexieren von Fluorid erreicht, zum anderen wird der pH-Wert der Lösung angepaßt (DIN 38405 D4 2002).

Die zu untersuchenden Proben müssen in einem pH-Bereich von über pH 5 fallen, um die Komplexbildung durch Hydroxid zu vermeiden, und unter 7 liegen, um die Störungen durch Hydroxid zu umgehen.

In Lösungen, deren pH-Wert unter 5 liegt, komplexieren Wasserstoffionen einen Teil der Fluoridionen, indem sie undissoziierte Moleküle und das Ion HF_2^- bilden. (Abb.1).

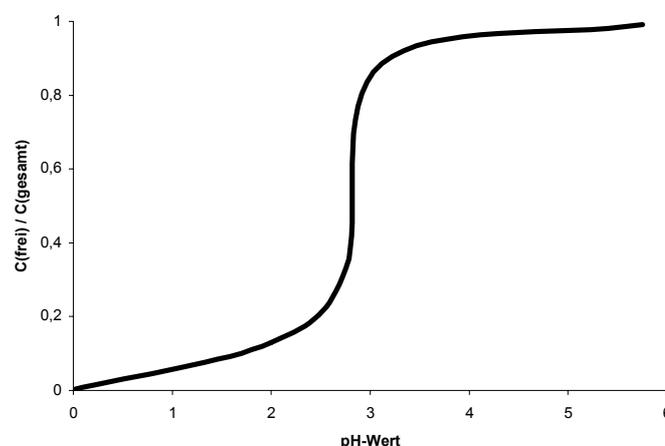


Abbildung 1: Anteil freier Fluoridionen (c = Konzentration) in Abhängigkeit des pH-Wertes einer Lösung, wobei nur Wasserstoffionen Komplexe bilden

Die Elektrodenansprechgeschwindigkeit auf Fluorid wird durch das Hydroxidion zerstört, wenn dessen Menge größer ist als 1/10 der vorhandenen Fluoridmenge. Kationen und die meisten Anionen, die in der Regel neben Fluorid vorliegen, stören die Elektrodenfunktion nicht (Colora 1999). Hierzu zählen unter anderem Cl^- , Br^- , J^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{NO}_3)^-$, $(\text{PO}_4)^{3-}$ und Acetat.

Daneben können Fluoride auch Komplexe mit polyvalenten Kationen wie Silizium, Aluminium und Eisen bilden. Das Ausmaß der Komplexierung wird von der Konzentration der Komplexbildner, der Gesamtfluoridkonzentration, dem pH-Wert und der Gesamtionenstärke bestimmt.

Um zu garantieren, daß das Fluorid nicht in Komplexen vorliegt und somit die Messung verfälscht wird, muß für ein geeignetes Milieu gesorgt werden. Also müssen diese Komplexe zerstört und die Wasserprobe auf eine festgelegte Gesamtionenstärke eingestellt werden.

Dieser Effekt wird durch die Zugabe eines Dekomplexierers, der TISAB-III-Lösung, erreicht. TISAB enthält CDTA und bricht dadurch vorzugsweise Komplexe auf, die vom Fluorid mit Aluminium und Eisen gebildet werden.

Die Standards werden bestimmt, indem die gemessenen Elektrodenpotentiale über Eichkurven den entsprechenden Fluoridkonzentrationen zugeordnet werden. Um geeignete Kurven erstellen zu können, werden drei Standard-Lösungen mit Fluoridkonzentrationen von 0,1 ppm, 1,0 ppm und 10,0 ppm aus Natriumfluorid, Aqua bidestillata und TISAB-III angesetzt.

3.3 Verwendete Meßgeräte und Meßtechnik

Die Messungen wurden mit der Orion-Ionplus-Fluoridelektrode (Typ 960900) nach DIN 38405 D4 durchgeführt. Grundprinzip einer jeden ionenselektiven Elektrode ist die Potentiometrie. Zum Meßaufbau benötigt man zwei Elektroden, die ionenselektive Elektrode selbst und eine Referenzelektrode. Die beiden sind über ein Spannungsmeßgerät miteinander verbunden. Dabei bleibt das Potential der Referenzelektrode konstant, während sich das Potential der ionenselektiven Elektrode mit der Aktivität der entsprechenden Ionen ändert. Daraus resultiert eine Spannungsänderung zwischen beiden Elektroden, die als Meßgröße zur Konzentrationsbestimmung herangezogen wird.

Als ionenselektive Bauelemente in entsprechenden Elektroden sind heutzutage Festkörpermembranen und PVC-Membranen mit einpolymerisiertem Ionenaustauscher gebräuchlich (WTW 1988).

Herzstück der Fluoridelektrode ist ein Lanthanfluorid-Einkristall. Lanthanfluorid ist ein schwerlöslicher Stoff mit einem Löslichkeitsprodukt von $L_p = 0$. Dies bedeutet, daß die Substanz nicht absolut unlöslich in Wasser ist, sondern daß sich nach dem Eintauchen des Kristalls in Wasser ein Gleichgewicht einstellt, das von der bereits im Wasser vorliegenden Fluoridionenaktivität abhängt. Die dynamischen Prozesse an der Einkristalloberfläche bewirken eine spezifische Durchlässigkeit der Einkristallmembran für Fluoridionen, da nur diese an der Oberfläche ausgetauscht werden und dann durch die Membran diffundieren können. Dabei spielt ein „Billardkugeleffekt“ eine bedeutende Rolle: Da ein Fluoridion selbst nur sehr langsam durch die Membran diffundieren kann, kann man sich den Transport durch die Membran so vorstellen, daß jedes Fluoridion, das sich auf der einen Seite anlagert, eine Verschiebung der Fluoridionen im Gitter bewirkt, bis auf der anderen Seite der Membran ein Fluoridion abgelöst wird (Degner 1995).

Die Fluoridelektrode ist hochselektiv und wird nur durch $(OH)^-$ -Ionen gestört. Aus diesem Grunde muß man darauf achten, daß vor der Fluoridbestimmung der pH-Wert auf weniger als 5 eingestellt wird. Dies geschieht mit einer Pufferlösung (TISAB = total ionic strength adjustment buffer), die gleichzeitig auch zur richtigen Ionenstärke der Probe führt. Die Gesamtionenstärke von Probe und Kalibrierlösung muß annähernd gleich sein, damit reproduzierbare Meßergebnisse erzeugt werden.

Die Vorgänge an einer Festkörperelektrode, die zur Ableitung eines elektrischen Signals aus einer chemischen Wechselwirkung führen, laufen auf folgende Weise ab:

- Der Elektrodenkopf taucht in eine Probelösung ein; Fluoridionen der Probelösung treten in Wechselwirkung mit der Einkristalloberfläche. Je nach Gleichgewichtssituation kommt es zu Einlagerung von Fluoridionen ins Gitter bei hoher F^- -Konzentration oder Herauslösung von Fluoridionen aus dem Gitter bei geringer F^- -Konzentration.
Beide Vorgänge führen zu einer Ladungsverschiebung im Gitter.
- Fluoridionen verschieben sich im LaF_3 -Kristallgitter bis zum Erreichen der $AgCl$ -Schicht.
- Im AgF -Gitter wird nun ein Ag^+ -Ion durch F^- gebunden und damit ein anderes F^- -Ion freigesetzt.
- Zum Ausgleich der Ladung wird aus dem Silberelektrodenstab ein Ag^+ -Ion und damit auch ein Elektron freigesetzt, das als freies Leitungselektron ein elektrisches Signal erzeugt.
- Bei geringeren Fluoridgehalten der Probelösung als dem Löslichkeitsprodukt des LaF_3 dissoziiert ein Teil des Kristalls und der Vorgang läuft in umgekehrter Richtung ab.

Das oben schon beschriebene Potential wird gegen ein externes Referenzpotential mit einem Digital-pH-/mV-Meter gemessen.

Die Nernst-Gleichung beschreibt den Zusammenhang von Elektrodenpotential und der Konzentration an freien Fluoridionen wie folgt:

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

E = gemessenes Elektrodenpotential
 E_0 = Referenzpotential
 S = Elektrodensteilheit
 A = Fluoridgehalt in Lösung

Der Fluoridgehalt A ist die Aktivität oder effektive Konzentration der freien Fluoridionen in der Lösung. Die Elektrode spricht nur auf freie Fluoridionen an. Falls die Lösung aber sowohl freie als auch einige gebundene oder komplexierte Ionen enthält, gilt für die Konzentration an freien Ionen Folgendes:

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

Die Fluoridaktivität steht in Beziehung zur freien Fluoridkonzentration über den Aktivitätskoeffizienten y :

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

Die Ionenaktivitätskoeffizienten sind veränderlich und von der Gesamtionenstärke abhängig. Die Ionenstärke ist folgendermaßen definiert:

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

C_i = Konzentration des Ions i
 Z_i = Ladung des Ions i

Der Aktivitätskoeffizient ist eine Konstante, und die Aktivität ist direkt zur Konzentration proportional unter der Bedingung, daß die Hintergrundionenstärke hoch und, bezogen auf die erfaßte Ionenkonzentration, konstant ist.

Zur Bestimmung des pH-Wertes der einzelnen Proben wurde eine Messung mit der Einstabmeßkette nach DIN 38404-5-C5 durchgeführt. Das Testprinzip beruht darauf, daß der pH-Wert der zu untersuchenden Probe elektrometrisch bestimmt wird. Es wird die Potentialdifferenz in der pH-Einstabmeßkette mit gleichzeitiger Temperaturangabe gemessen. Als Analysegerät wurde eine WTW-pH-Elektrode Sentix verwandt (DIN 38404-5 2002).

Bei allen Eigenwasserproben wurde eine photometrische Bestimmung mit Azomethin-H nach DIN 384050 D17 durchgeführt, um die jeweilige Boratkonzentration zu messen (DIN 384050 2002). Die in den jeweiligen Proben vorhandenen Borationen ergeben in einer gepufferten Lösung mit Azomethin-H einen gelben Farbstoff, welcher photometrisch bei einer Wellenlänge von 414 nm gemessen wurde.

Die Ammoniummessung wurde mittels einer photometrischen Bestimmung nach DIN 38406 E5 durchgeführt. Das Testprinzip beruht darauf, daß Ammonium mit Natriumdichlorisocyanursäure und Natriumsalicylat in Gegenwart von 2-Nitroprussidnatrium zu einem blaugrünen Farbstoff reagiert, welcher bei einer Wellenlänge von 655 nm gemessen wurde (DIN 38406 E5 2002).

Eine Untersuchung des Wassers auf die Anionen von Fluorid, Chlorid, Nitrat und Sulfat wurde mittels der Ionenchromatographie durchgeführt. Dieser Test entspricht der Bestimmung von Anionen mit der Ionenchromatographie nach DIN EN ISO 14911. In einer Anionenaustauscher-Trennsäule als stationäre Phasen werden Anionen durch Elution mit verdünnter KOH aufgetrennt und mit einem Leitfähigkeitsdetektor bestimmt.

Eine Untersuchung des Wassers auf die Kationen von Kalium, Natrium, Magnesium und Kalzium wurde ebenfalls mittels Ionenchromatographie nach DIN EN ISO 14911 durchgeführt. In einer Kationenaustauscher-Trennsäule als stationäre Phase werden Kationen durch Elution mit verdünnter Schwefelsäure aufgetrennt und mit einem Leitfähigkeitsdetektor bestimmt (DIN EN ISO 14911 2002).

3.4 Durchführung der Fluoridmessung

Die Messung der Proben und Standards erfolgt in klimatisierten Räumen, da das Elektrodenpotential durch Temperaturveränderungen beeinflusst werden kann. Die Proben- und Standardlösungen sollten die gleiche Temperatur aufweisen, da bereits ein Temperaturunterschied von 1 °C einen Messfehler von 2 % verursacht (Colora 1999).

Zu Beginn der Messung wird die Elektrode mit äquitransferenter Fülllösung (Orion Reference Electrode Filling Solution) beschickt und an den Orion Mikroprozessor Ionalyzer 901, ein Digital-pH-/mV-Meter, angeschlossen. Zunächst erfolgt zur Eichung die Messung der Standards in steigender Konzentration, wobei die Elektrode für jeweils 5 Minuten in der Lösung belassen wird. Zwischen den Messungen wird die Elektrode mit destilliertem Wasser abgespült und mit sauberem Filterpapier getrocknet, um Verschleppungsfehler zu vermeiden.

Die Proben und Standards werden während der Messung kontinuierlich durch einen Magnetrührer und Rührfisch bewegt. Eine Strudelwirkung wird jedoch vermieden und darauf geachtet, daß durch das Rühren keine Wärme erzeugt wurde. Mit Hilfe der Eichkurve geschieht die Zuordnung der gemessenen Elektrodenpotentiale zu den entsprechenden Fluoridkonzentrationen. Die Eichkurve wird auf logarithmischem Papier erstellt. Die Elektrodenpotentiale der Standardlösung werden auf der linearen Achse gegen die Konzentration auf der logarithmischen Achse aufgetragen. Für die zu analysierenden Wasserproben konnten nach Messung der Potentiale in der Eichkurve so die entsprechenden Werte in ppm ermittelt werden.

4 Ergebnisse

Im Zeitraum von August bis Oktober 2000 wurden 200 private Wasserversorgungsanlagen im Kreis Warendorf untersucht. Das Gebiet erstreckte sich vom nordöstlichen Stadtrand Münsters bis Warendorf, südlich der Bundesstraße 64, und vom südöstlichen Stadtrand Münsters bis Freckenhorst, nördlich der Landesstraße 793. Dieses etwa 150 km² große Areal umfaßt somit Teile der Kreise Münster und Warendorf. Die genaue Aufteilung der Probenentnahmestellen ist Abbildung 2 zu entnehmen.

Ortsverteilung

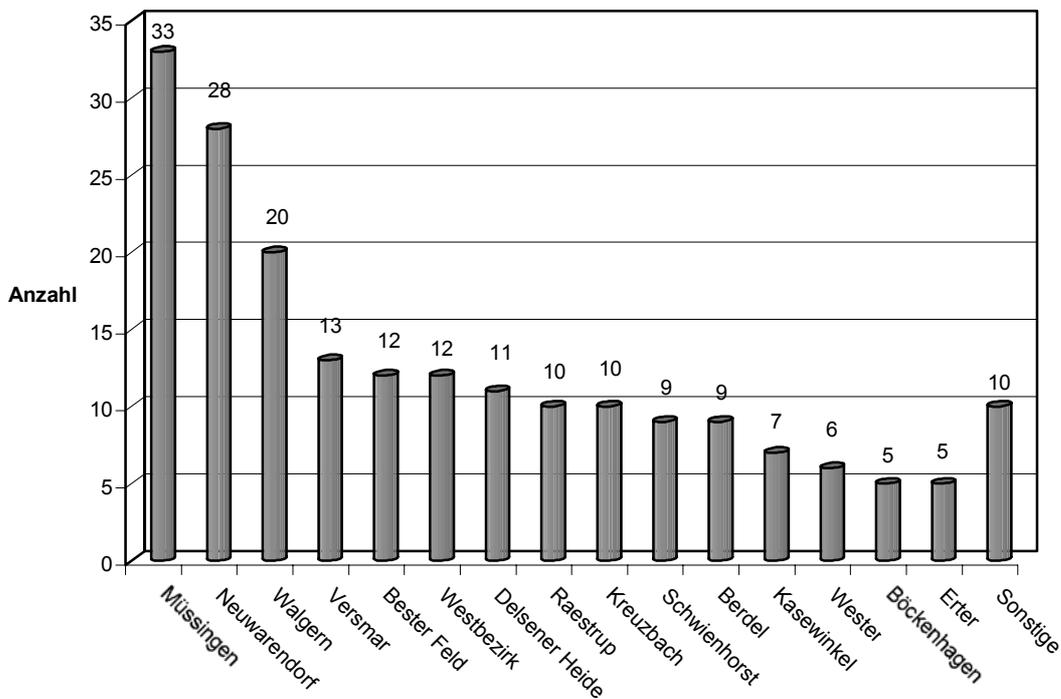


Abbildung 2: Ortsverteilung der untersuchten Brunnen

Die folgende Abbildung 3 gibt einen genauen Überblick über das Areal der Probenentnahmestellen.

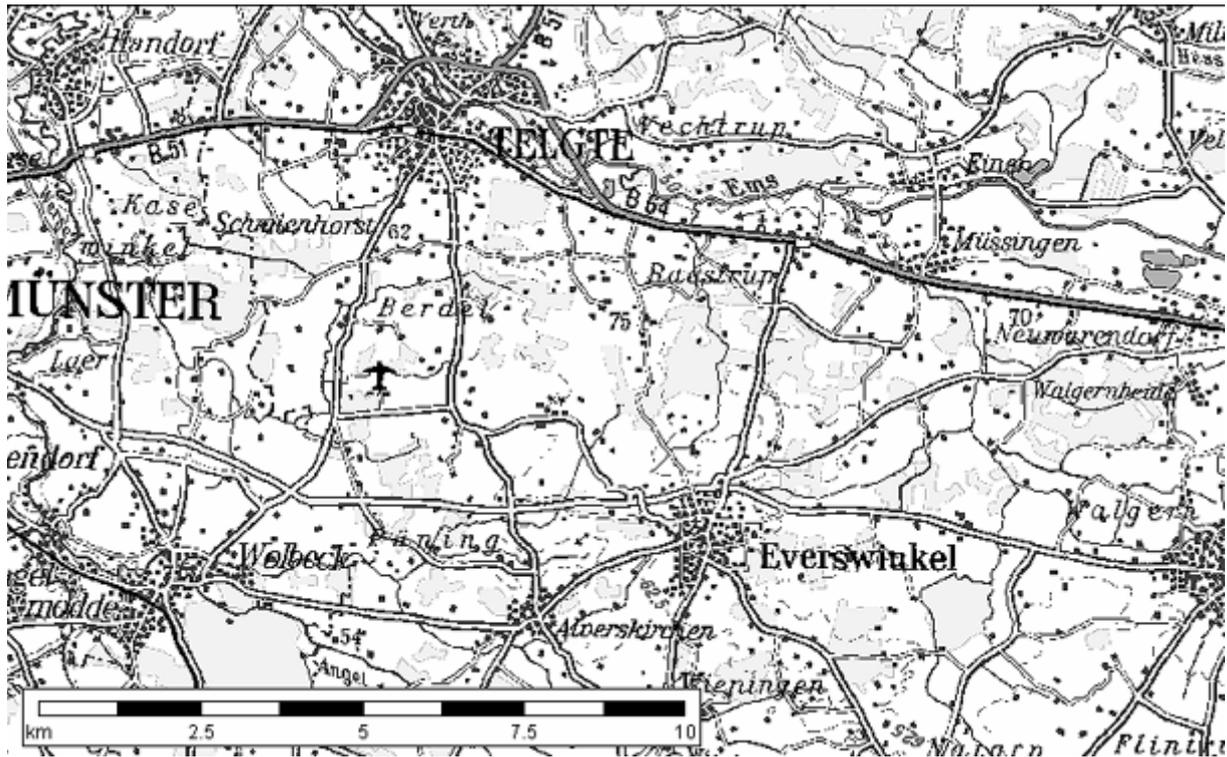


Abbildung 3: Untersuchungsgebiet

Die genaue Begrenzung des Areals ist:

Br.: 51°58,23 Nord

Br.: 51°56,95 Nord

Lä. : 7°40,52 Ost

Lä. : 7°59,14 Ost

Br.: 51°57,02 Nord

Br.: 51°55,19 Nord

Lä. : 7°40,36 Ost

Lä. : 7°57,93 Ost

Bei den untersuchten privaten Eigenwasseranlagen handelte es sich ausschließlich um Bohrbrunnen. Einige wenige Haushalte verfügten über Anlagen eines anderen Bautyps in Form von Schachtbrunnen, aus denen jedoch kein Wasser mehr gewonnen wird.

Die Tiefe der Brunnen bzw. der Bohrung (Abb. 4) variierte deutlich innerhalb des untersuchten Gebietes. Die Breite reicht von einem Minimum von 5 m bis zu einem Maximum von 100 m Tiefe. Die durchschnittliche Tiefe der Bohrlöcher liegt bei 30,2 m bei einer Standardabweichung von 14,1 m.

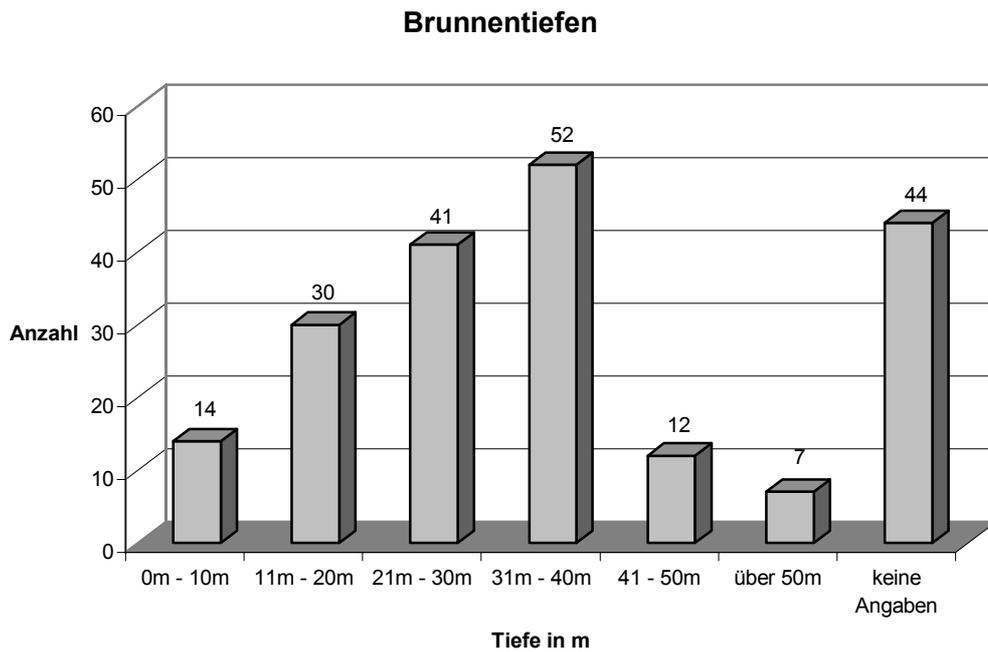


Abbildung 4: Brunnentiefen

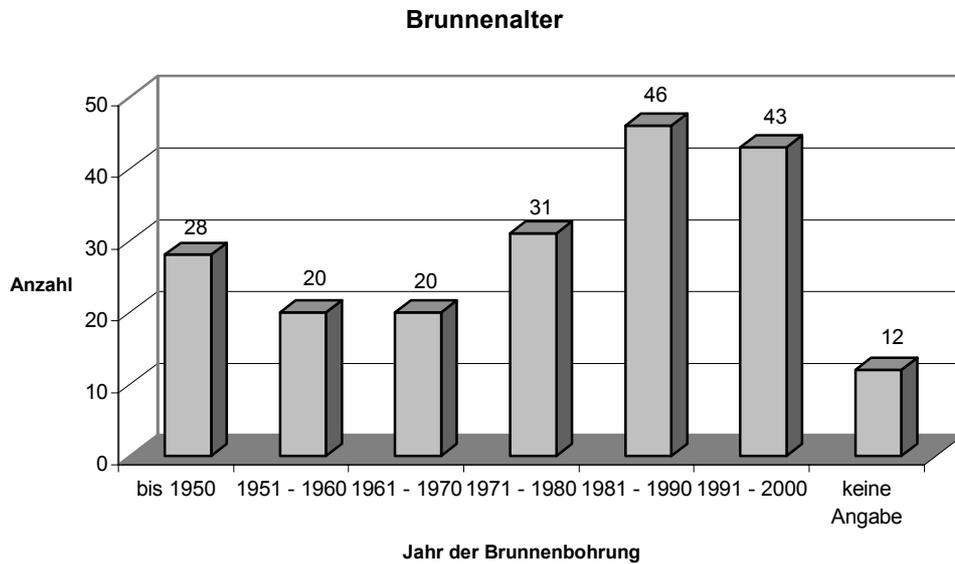


Abbildung 5: Jahr der Brunnenbohrung

Die Abbildung 5 gibt Aufschluß über das Jahr der Brunnenbohrung. Einige Brunnen waren – soweit dies zurückverfolgt werden konnte – bereits vor 1950 gebohrt worden, der älteste Brunnen vor ca. 100 Jahren in Neuwarendorf.

Ein Teil der Eigenwasseranlagen verfügt über eine Aufbereitungsanlage für das gewonnene Wasser. Abbildung 6 zeigt den Anteil der Wasseraufbereitungsanlagen an der Gesamtzahl der untersuchten Proben.

Existenz von Wasseraufbereitungsanlagen

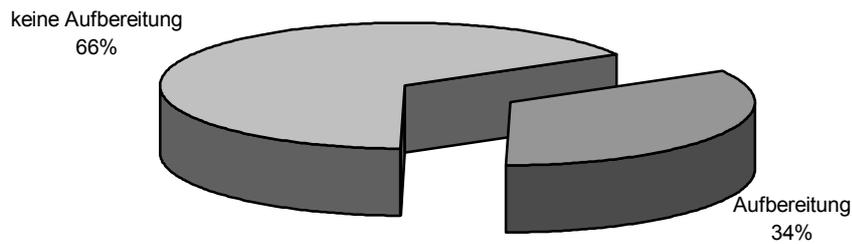


Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Wasseraufbereitungsanlagen an der Gesamtzahl der Eigenwasseranlagen

Art der Wasseraufbereitung

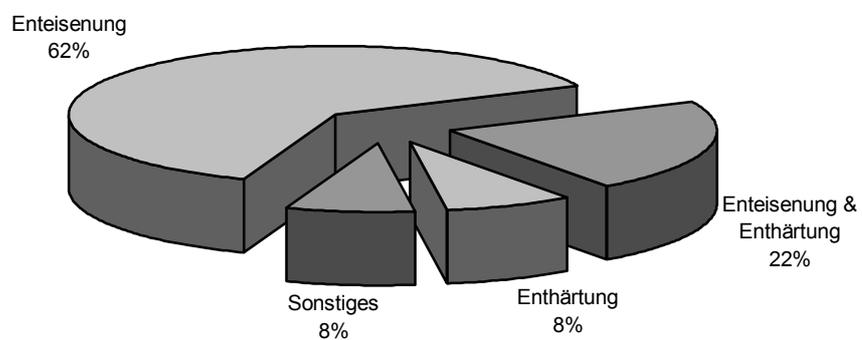


Abbildung 7: Art der Wasseraufbereitung

Bei den Wasseraufbereitungsanlagen wird in den meisten Fällen die offene oder geschlossene Enteisenung benutzt (Abb. 7), in einigen Haushalten auch die kombinierte Form von Enteisenung und Enthärtung. Lediglich 16 % benutzen andere Möglichkeiten zur Aufbereitung, wobei 8 % nur eine Enthärtung und die anderen 8 % eine Filteraufbereitung mittels Kieselfilter durchführen. Nur ein Haushalt im Untersuchungsgebiet bediente sich einer Umkehrosmose und Nitrifizierung.

Von den insgesamt 200 Eigenwasseranlagen im Untersuchungsgebiet werden 264 Familien mit Trinkwasser versorgt, insgesamt 991 Personen. Einen Überblick über die Anzahl der Familien, die durch das Wasser eines Bohrloches versorgt werden, gibt die Abbildung 8.

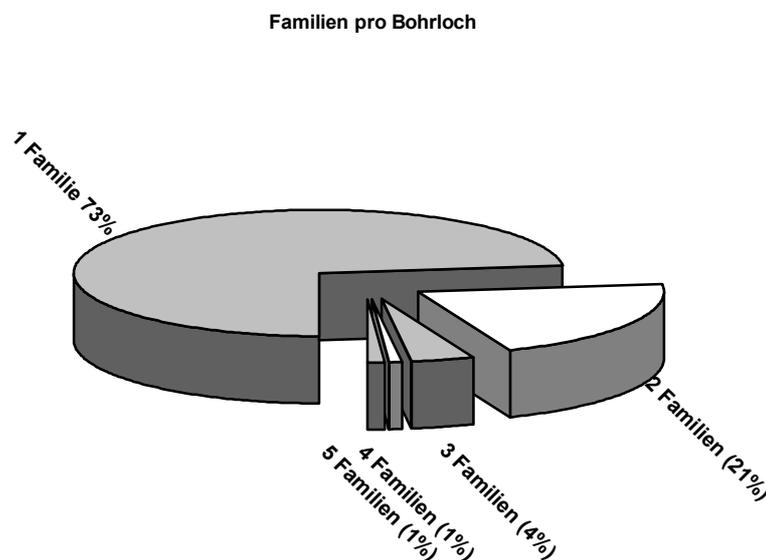


Abbildung 8: Angeschlossene Familien pro Anlage / Bohrloch

In fast drei Viertel der untersuchten Anlagen wurde das Bohrloch von nur einer Familie genutzt, wobei im Durchschnitt von allen Proben pro Bohrloch annähernd fünf Personen angeschlossen sind. Die Größe der Familien schwankt dabei von einer Person bis hin zu Familien mit acht Personen. Hinsichtlich der Auswirkungen der Fluoridkonzentration des Trinkwassers ist die Anzahl der Familien mit Kindern besonders zu berücksichtigen.

Abbildung 9 zeigt, daß 48 % der angeschlossenen Familien kinderlos sind oder aber die Kinder das 18. Lebensjahr bereits vollendet hatten und somit volljährig sind.

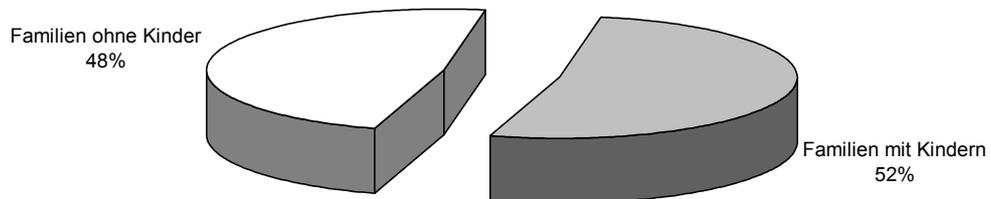
Kinderanteil

Abbildung 9: Verhältnis kinderloser Familien zu Familien mit Kindern

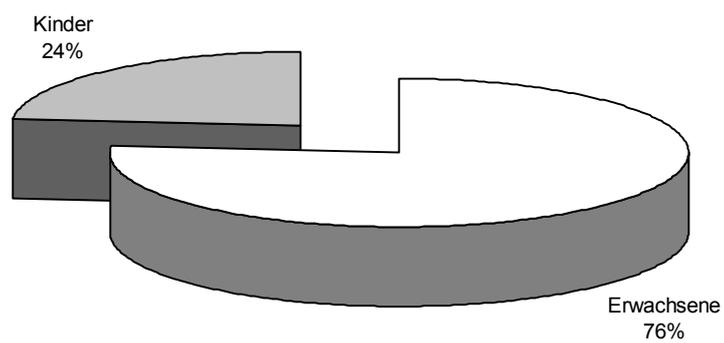
Verhältnis Erwachsene / Kinder

Abbildung 10: Anteil Kinder an der Gesamtpersonenzahl

Abbildung 10 verdeutlicht, daß der Kinderanteil an der Gesamtpersonenzahl lediglich 24 % ausmacht. Hinsichtlich der verschiedenen Alterklassen der Kinder zeigt sich ein fast einheitliches Bild. Lediglich die Zahl der 16- bis 18jährigen Kinder liegt bei ca. einem Drittel der bis zu 3 Jahre alten Kinder (Abbildung 11).

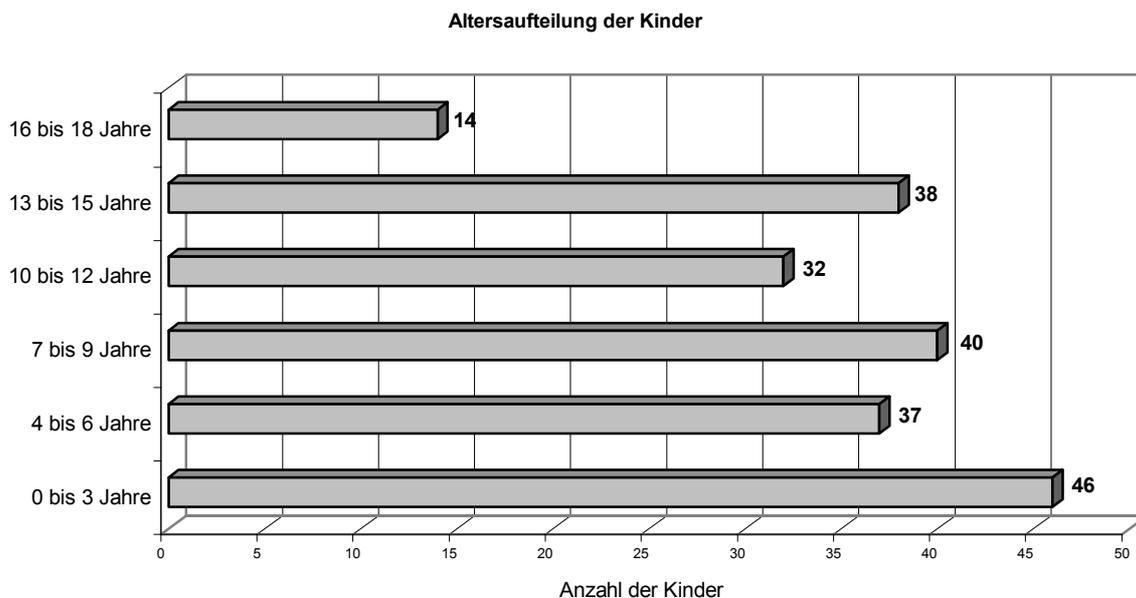


Abbildung 11: Altersaufteilung der Kinder

Von entscheidender Bedeutung ist, daß lediglich 55 der 200 untersuchten Haushalte das Eigenwasser für die Zubereitung der Babynahrung nutzen oder in der Vergangenheit genutzt haben. Im untersuchten Areal zeigte sich, daß 88 % der Haushalte das Eigenwasser zum Trinken benötigen (Abb. 12). Von den restlichen 12 % wird das Eigenwasser nicht aufgrund von schlechtem Geschmack, unappetitlicher Farbe oder generellen Bedenken zur Qualität des eigenen Wassers getrunken.

Eines Sodastreamers, zur Herstellung von Mineralwasser, bedienen sich im untersuchten Areal auch nur 12 % der Haushalte (Abb. 13).

Mit Hilfe eines Sodastreamergerätes ist es möglich, dem Eigenwasser Kohlensäure hinzuzufügen. Die Haushalte ersetzen das Mineralwasser aus dem Handel so durch Eigenmineralwasser, was die tägliche Eigenwasseraufnahme erhöht.

Der durchschnittliche Eigenwasserverbrauch durch Trinken und Nahrungszubereitung liegt bei 1,2 l pro Person und Tag, wobei über 50 % der Personen im untersuchten Areal zwischen einem halben und einem Liter Eigenwasser pro Tag zu sich nehmen (Abb. 14).

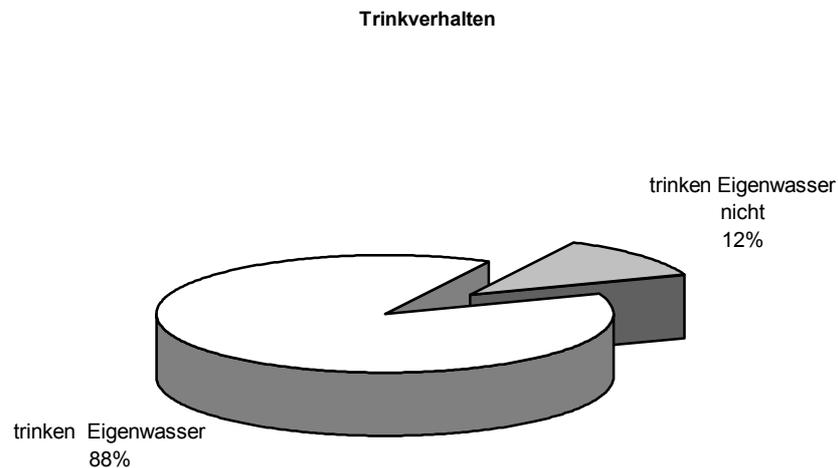


Abbildung 12: Trinkverhalten der Haushalte

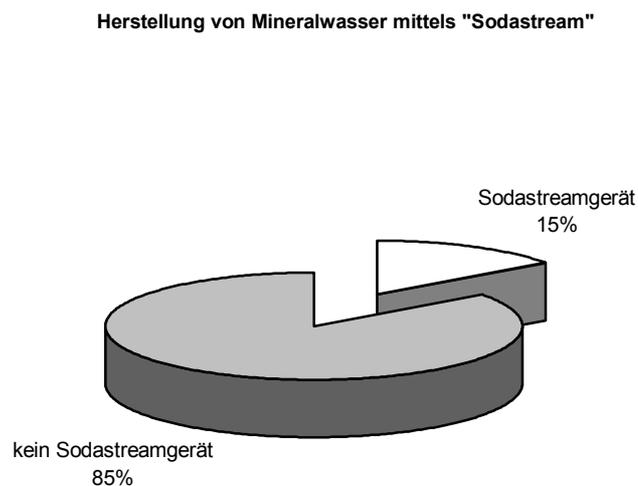


Abbildung 13: Herstellung von Mineralwasser mittels Sodastreamgerät

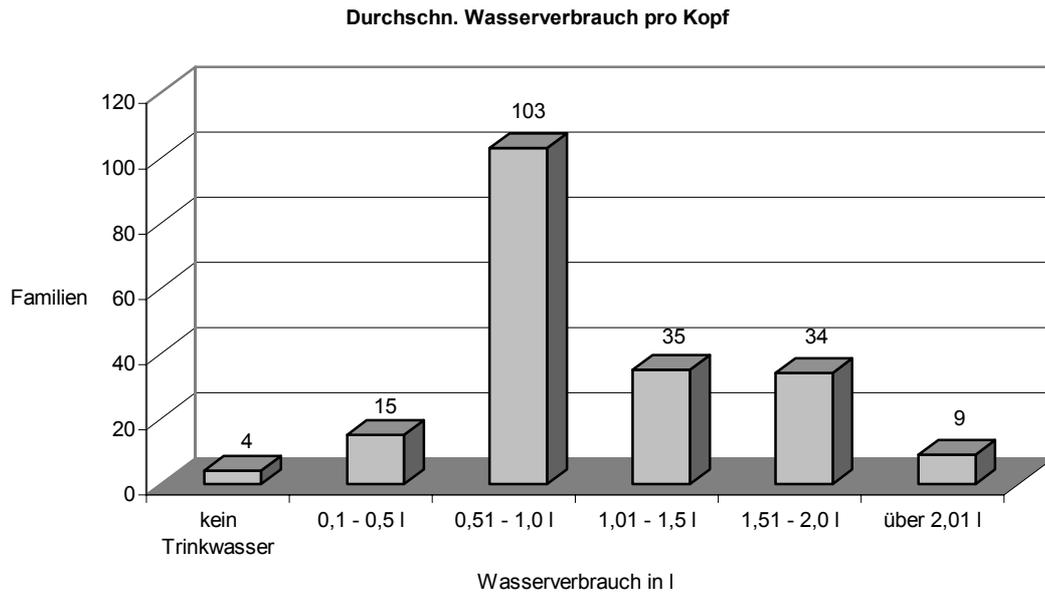


Abbildung 14: Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Kopf

Um Bezüge zur WHO und zur Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde herzustellen, sind in den folgenden Diagrammen (Abb. 15 - 17) die Fluoridwertkategorien im Einzelnen aufgeführt.

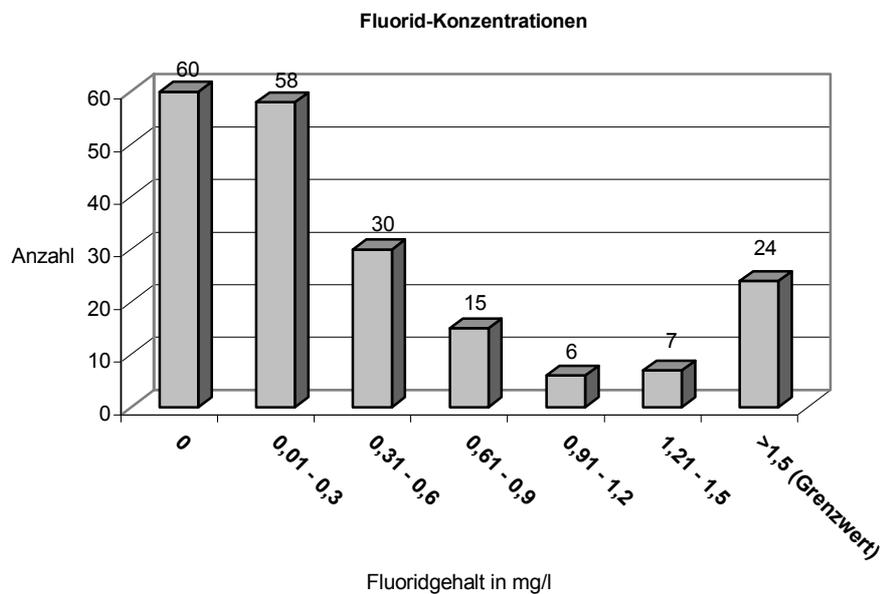


Abbildung 15: Fluoridwertkategorien der untersuchten Eigenwasserproben

Abb. 15 zeigt eine deutliche Abnahme der Fluoridkonzentration, wobei 60 Proben keine Fluoride enthielten und 24 Proben über dem Grenzwert der deutschen Trinkwasserverordnung von 1,5 mg/l liegen.

Die folgende Darstellung (Abb. 16) zeigt die durchschnittliche Fluorid- und Boratkonzentration in einzelnen Teilen des Areals. Die Aufteilung Telgte 1, Telgte 2, Warendorf 1 und Warendorf 2 wurde anhand von Orts- und Bauernschaften durchgeführt. Zu dem Gebiet Telgte 1 gehören die Bauernschaften Müssingen, Versmar, Wester, Böckenhagen, Delsener Heide, Raestrup und Bester Feld. Zu Telgte 2 gehören Püning, Wettendorf, Berdel, Schwienhorst, Kreuzbach und Kasewinkel. Warendorf 1 setzt sich aus den Bauernschaften Neuwarendorf, Westbezirk und Walgern zusammen. Der Bezirk Warendorf 2 umfaßt die Gebiete Mehringen, Erter und Müssingen. Es liegt eine Korrelation zwischen dem Fluorid- und Boratgehalt in den einzelnen Eigenwasserproben vor, der sich auch im folgenden Zweistoffdiagramm wiederfindet.

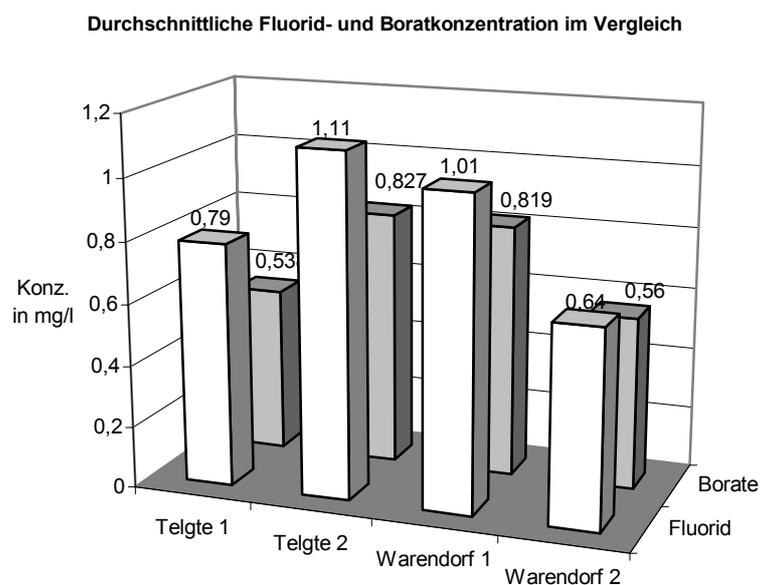


Abb. 16: Fluorid- und Boratkonzentration im Vergleich

Um einen genauen Überblick über die Qualität des Wassers der Haushalte zu bekommen, wurden unter Berücksichtigung der überarbeiteten Trinkwasserverordnung (Trinkwasserverordnung 1991) Grafiken erstellt, die den Grenzwert der einzelnen Ionen und Parameter beinhalten.

Abbildung 17 zeigt die Verteilung des Natriumgehaltes unter den einzelnen Eigenwasserproben. Oberhalb des Grenzwertes von 150 mg/l lagen im untersuchten Areal 53 Werte, d. h. mehr als ein Viertel der Proben überschreiten den Grenzwert.

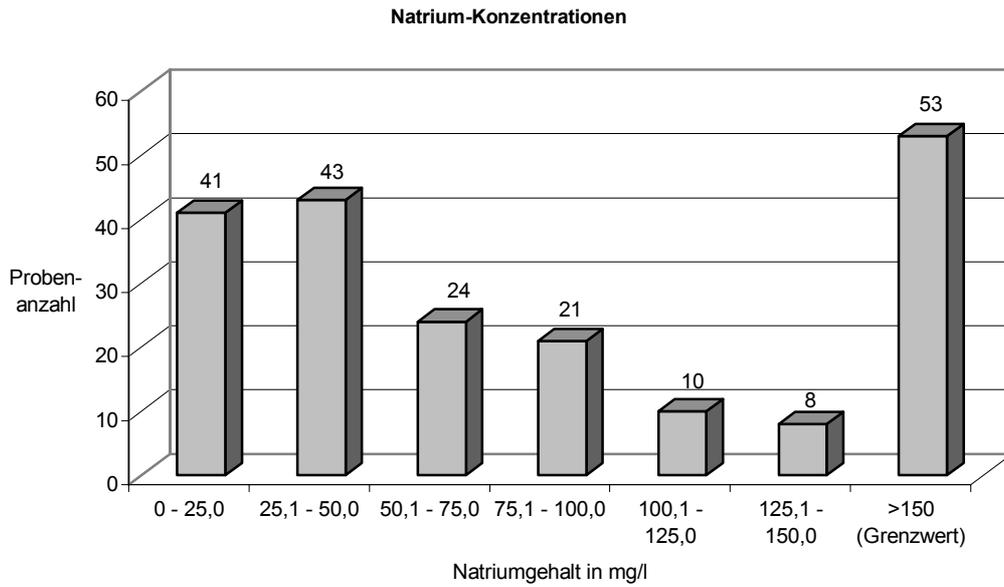


Abbildung 17: Natrium-Konzentrationen

Hinsichtlich des Kaliumgehaltes der untersuchten Proben ist festzustellen, daß ein Großteil der Probenwerte zwischen 0 und 2,0 mg/l liegt. Bei lediglich sieben Werten wird der Grenzwert von 12 mg/l Kalium überschritten (Abbildung 18).

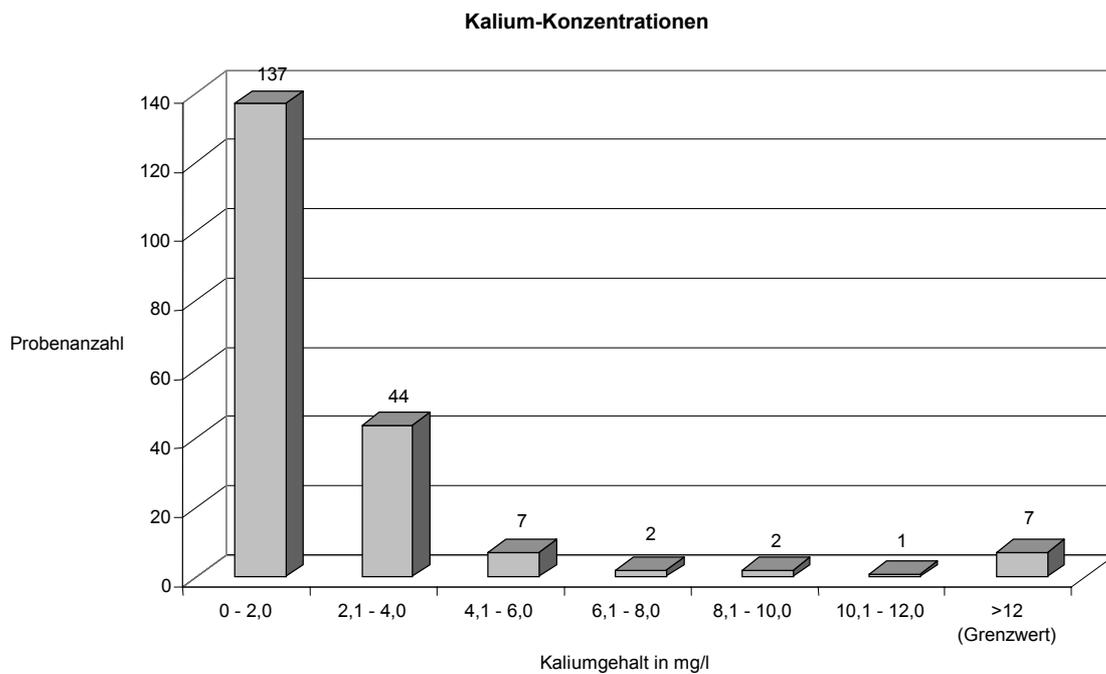


Abbildung 18: Kalium-Konzentrationen

Die Alkaliionen Natrium und Kalium sind im allgemeinen natürliche, für den Menschen lebensnotwendige Wasserinhaltsstoffe, die an wichtigen Stoffwechselreaktionen beteiligt sind. Neben geogenen Ursachen kann besonders Natrium auch durch menschliche Aktivitäten in das Grund- und Oberflächenwasser gelangen. Eine wichtige Quelle ist dabei der Eintrag von NaCl in das Wasser. Das natürliche Verhältnis von Natrium zu Kalium beträgt im Süßwasser 4 zu 1. Natrium, besonders in Verbindung mit Chloridionen, wird für eine Erhöhung des Blutdrucks bei Kindern und Erwachsenen verantwortlich gemacht. Offensichtlich hat dabei aber die gegenüber anderen Quellen geringe Belastung durch das Trinkwasser kaum Bedeutung.

Abbildung 19 zeigt die Kalziumverteilung, wobei innerhalb der untersuchten Eigenwasserproben kein Probenwert über 180 mg/l lag. Der Grenzwert für den Kalziumgehalt wurde auf 400 mg/l festgesetzt.

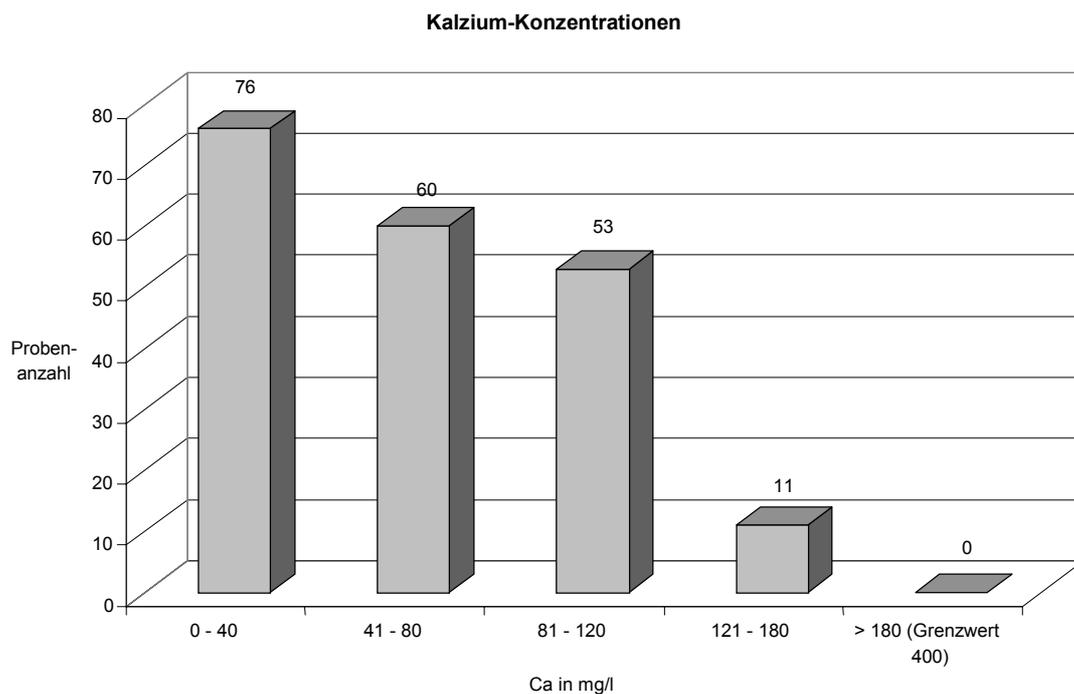


Abbildung 19: Kalzium-Konzentrationen

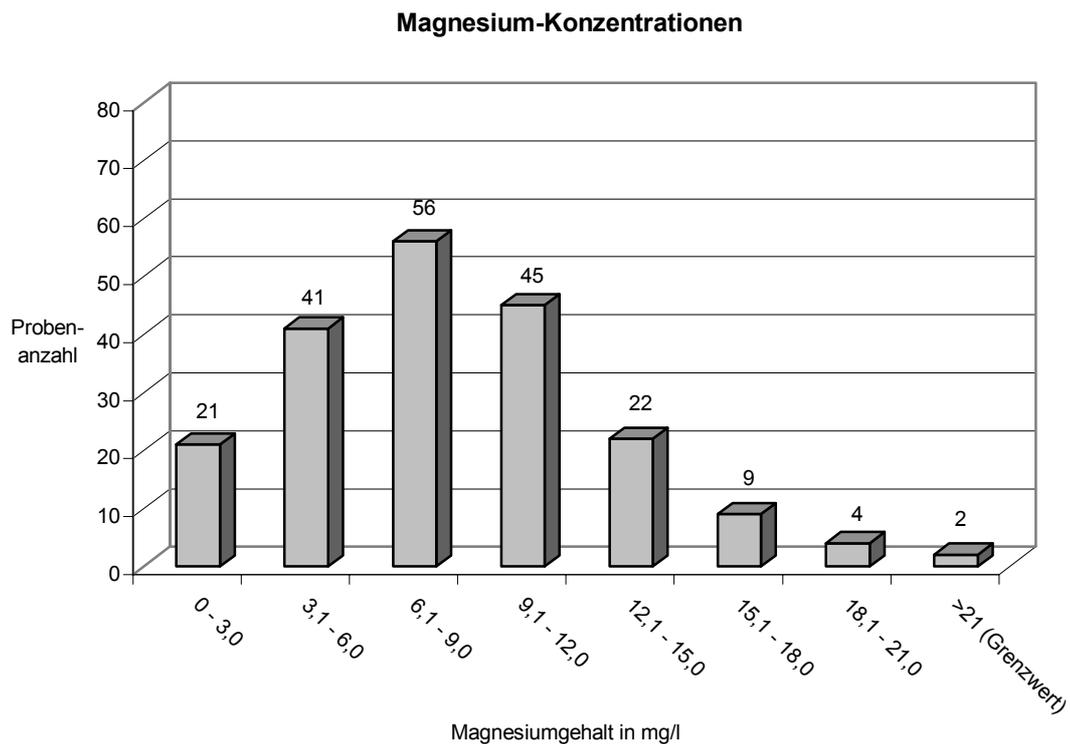


Abbildung 20: Magnesium-Konzentrationen

Abbildung 20 gibt den Magnesiumgehalt wieder. Im gesamten untersuchten Areal befanden sich nur zwei Werte oberhalb des Grenzwertes von 21 mg/l. Ungefähr ein Viertel aller Probenwerte lag in einem Bereich zwischen sechs und neun mg/l Magnesium.

Die Kationen der Erdalkalimetalle Kalzium und Magnesium sind die häufigsten Kationen im Trinkwasser. Sie sind die Ursache der Wasserhärte und spielen eine entscheidende Rolle als Puffer im Wasser. Die im Wasser üblichen, normalerweise geogen verursachten Gehalte sind gesundheitlich unbedenklich und vor allem Magnesium sogar erwünscht. Wasser mit hohen Kalziumgehalten scheidet vor allem nach Erwärmung dasselbe bei entsprechendem Gehalt an Hydrogenkarbonat als Kalziumkarbonat ab. Wird Wasser bewegt und/oder erwärmt, erhöht sich die Kalkbildung, da Kohlendioxyd entweicht und der zuvor gelöste Kalk auskristallisiert. Es bildet sich der sogenannte Kesselstein. Man spricht vom Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, das u. a. durch die Erwärmung des Wassers gestört wird. Aus diesem Grund verfügt auch ein Drittel aller Haushalte über eine „Enthärtungs- bzw. Entkalkungsanlage“.

Fast die Hälfte der Proben im untersuchten Areal wies kein Nitrat im Wasser auf. Lediglich sechs Probenwerte lagen über dem Nitrat-Grenzwert von 50 mg/l. Ein erhöhter Nitratwert ist normalerweise ein Hinweis auf eine Verunreinigung durch organische Stoffe z. B. aus Gülle, Jauche, Fäkalien, Abwasser, Klärschlamm, aber auch aus Mineraldünger oder Luftschadstoffen. Nitrat selbst ist relativ ungiftig. Nur in höheren Konzentrationen kommt es zu Wirkungen auf die Darmschleimhaut und die Schilddrüse. Durch Umwandlung zu Nitrit, das sich im Körper (durch Bakterien oder enzymatisch) oder außerhalb des Körpers z. B. durch Bakterien im Wasser und in Lebensmitteln bilden kann, wird es besonders für Säuglinge zu einem Atemgift, indem es die Sauerstoffaufnahme des Hämoglobins blockiert. Die Folge ist eine Methämoglobinämie bis hin zu einer Blausucht (Zyanose) durch Atemnot. Außerdem kann Nitrit mit bestimmten Aminen (z. B. aus Medikamenten) krebserregende Nitrosamine bilden. Der Grenzwert für Nitrat ist nach der TrinkwV 50 mg/l. Abbildung 21 zeigt die Verteilung des Nitratgehaltes im untersuchten Areal.

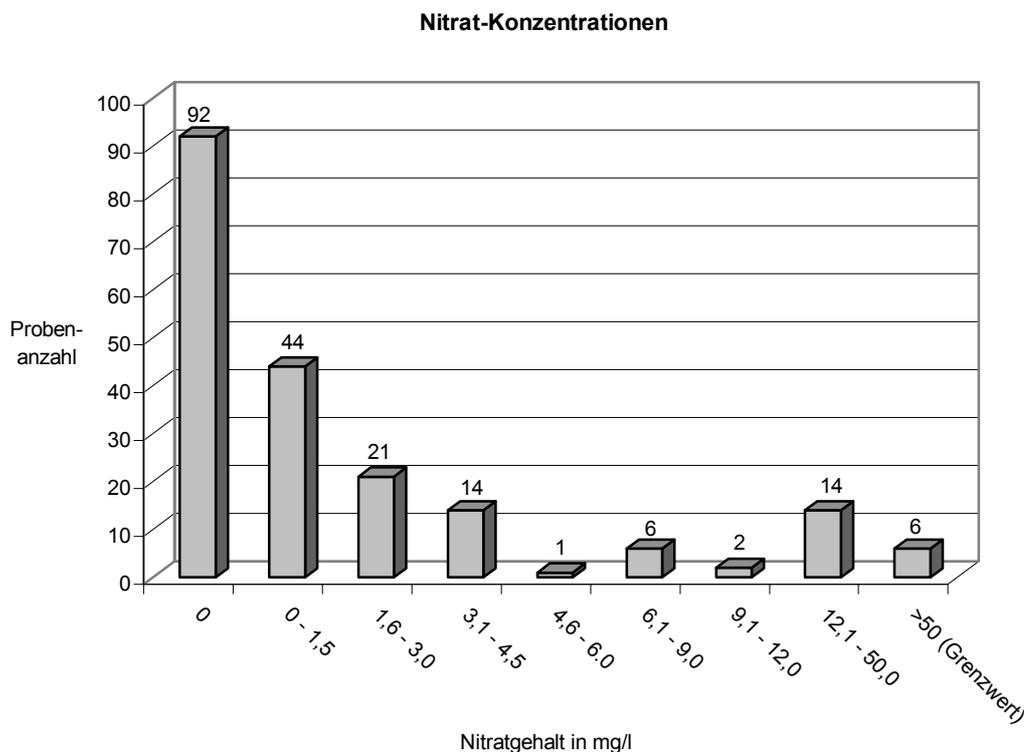


Abbildung 21: Nitrat-Konzentrationen

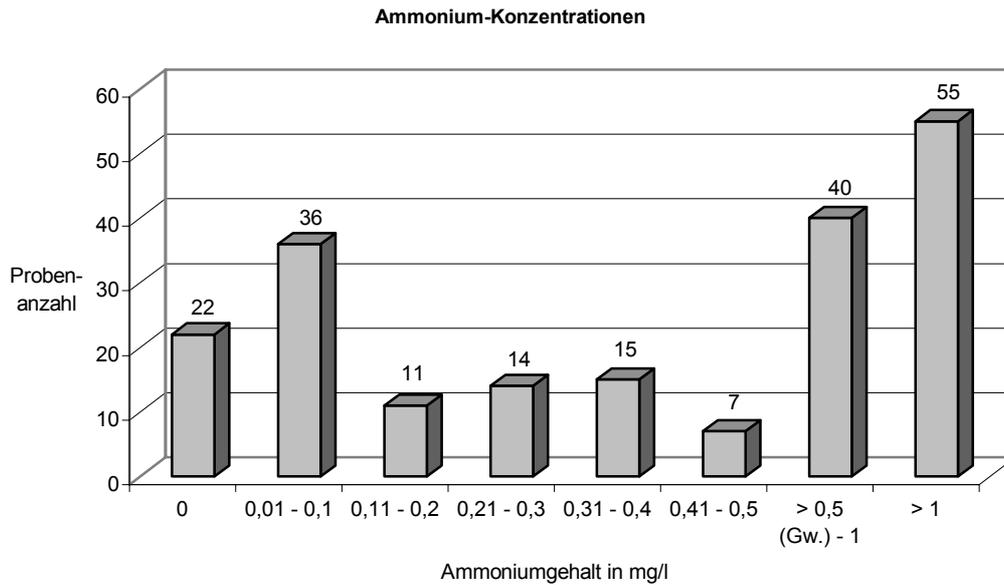


Abbildung 22: Ammonium-Konzentrationen

Die Abbildung 22 zeigt, daß fast die Hälfte der Werte über dem festgelegten Grenzwert von 0,5 mg/l liegen. Ammonium wird natürlicherweise bei der Zersetzung organischer Substanz gebildet. Es kann aber auch anthropogen bedingt aus Abwässern und durch Auswaschung organischer Düngemittel freigesetzt werden. Natürlich erhöhte Ammoniumgehalte finden sich vor allem unter huminstoffreichen, moorigen Bodenschichten. Lokal erhöhte Werte lassen dagegen meist auf anthropogene Einträge, meist aufgrund von Fäkalverunreinigungen schließen. Ammonium kann darüber hinaus zu Geruchsbeeinträchtigungen führen, vor allem wenn das Wasser gechlort wird und sich deswegen als Reaktionsprodukte Chloramine bilden. Der Geruch des Wassers läßt sich sensorisch über den Geruchsschwellenwert (Verdünnung bis zur Geruchsschwelle) nach Erwärmen bestimmen.

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen die Chlorid- und Sulfat-Verteilung im untersuchten Probenareal. Über die Hälfte aller Werte weisen einen Chloridgehalt von 0 bis 50 mg/l auf, und nur acht der untersuchten Proben liegen mit den ermittelten Werten über dem Grenzwert von 250 mg/l. Bei der Sulfatuntersuchung zeigt sich eine fast gleichmäßige Abnahme des Sulfatgehaltes. Die meisten Werte liegen zwischen 0 und 20 mg/l, und kein Probenwert – der höchste Wert liegt bei 140 mg/l – überschreitet den Grenzwert von 240 mg/l.

Sulfat und Chlorid gehören zu den natürlichen Wasserinhaltsstoffen, die in niedrigen Konzentrationen den Geschmack des Wassers positiv beeinflussen. Erst bei höheren Konzentrationen kommt es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Während erhöhte Chloridkonzentrationen das Wasser ungenießbar machen und erhöhten Blutdruck (in Kombination mit Natrium: NaCl) bewirken können, verursachen höhere Sulfatwerte eine abführende Wirkung. Sulfat und Chloridbelastungen können durch natürliche, geogene Gegebenheiten bedingt sein (Salz- und Gipslagerstätten). Sulfat kann nicht nur aus Gipslagerstätten, sondern durch Verwitterung sulfidischer Erze (z. B. Pyrit: FeS) stammen. Andererseits können in reduzierenden (sauerstoffarmen) Wässern auch aus Sulfaten Sulfide entstehen, die dann durch einen Schwefelwasserstoffgeruch erkennbar sind.

In der Regel sind erhöhte Belastungen auf Abwässer, Deponiesickerwässer oder Straßenabschwemmungen (Chlorid aus Streusalz), aber auch auf Dünger bzw. Niederschläge in Oberflächengewässern zurückzuführen.

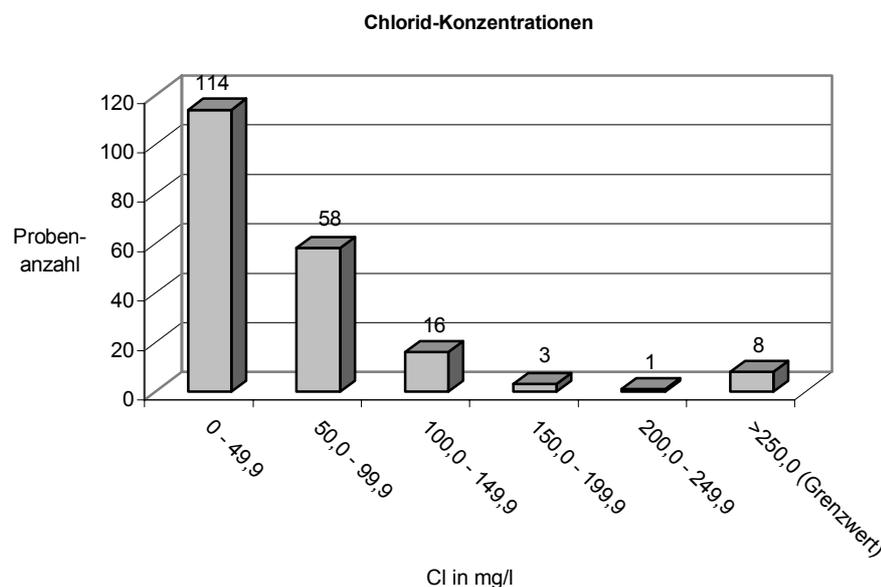


Abbildung 23: Chlorid-Konzentrationen

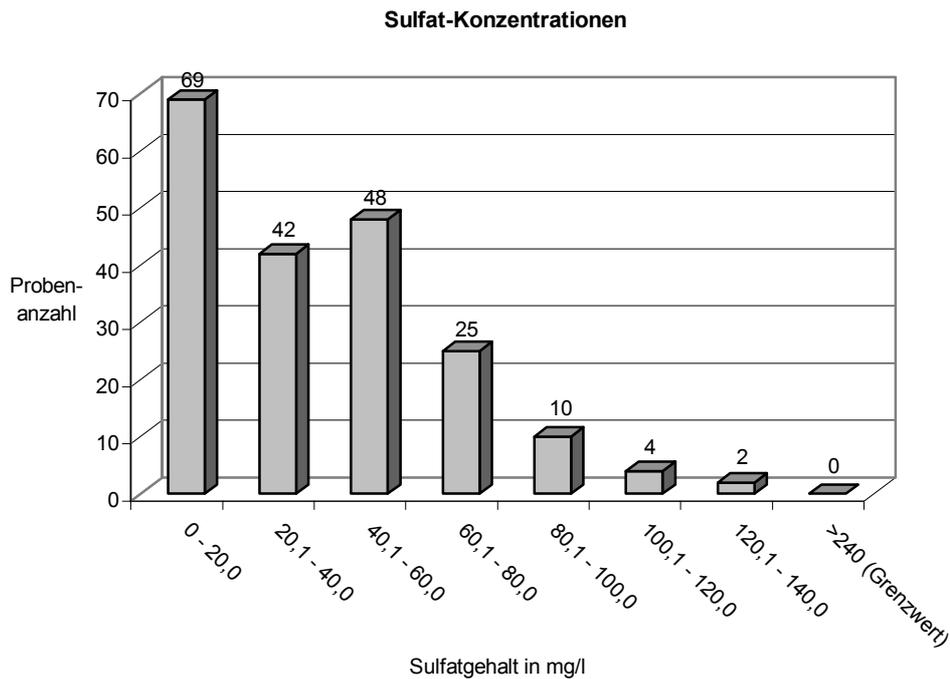


Abbildung 24: Sulfat-Konzentrationen

Die folgende Abbildung 25 zeigt die Boratverteilung im untersuchten Areal. Es liegt ungefähr ein Viertel aller Probenwerte über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 1 mg/l. Bor kommt als natürlicher Spurenstoff in magmatischen Gesteinen vor. Eine erhöhte Konzentration ist ein Hinweis auf eine Belastung des Wassers durch Dünger, aber vor allem durch häusliche Abwasser mit hohem Waschmittelanteil (Perborate). Für den Menschen sind Perborate nur sehr schwach giftig, sie besitzen aber eine deutliche ökotoxische Wirkung (z. B. auf Fische).

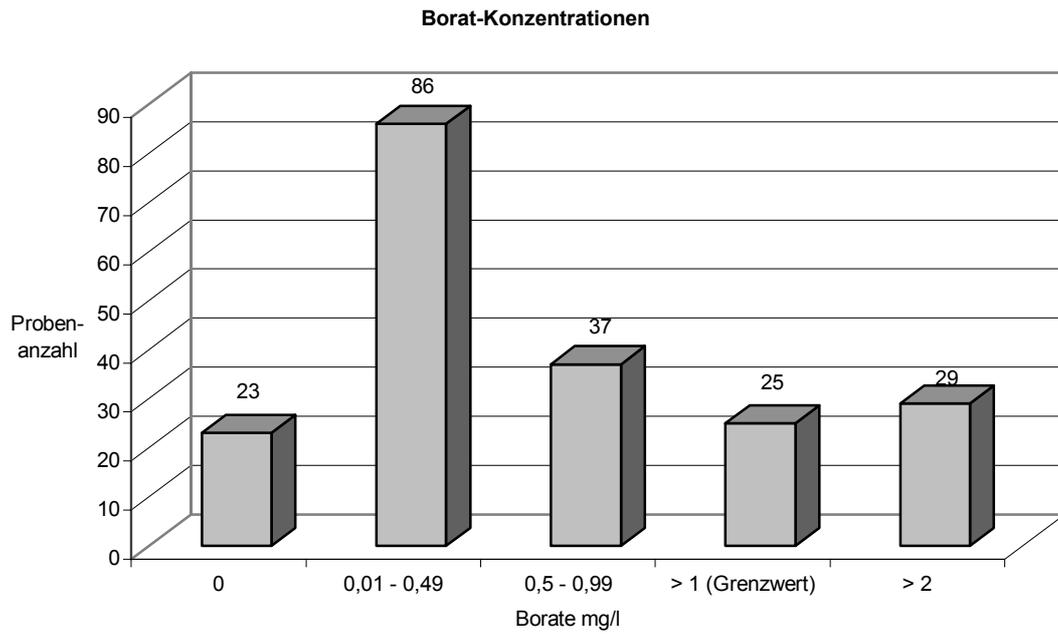


Abbildung 25: Borat-Konzentrationen

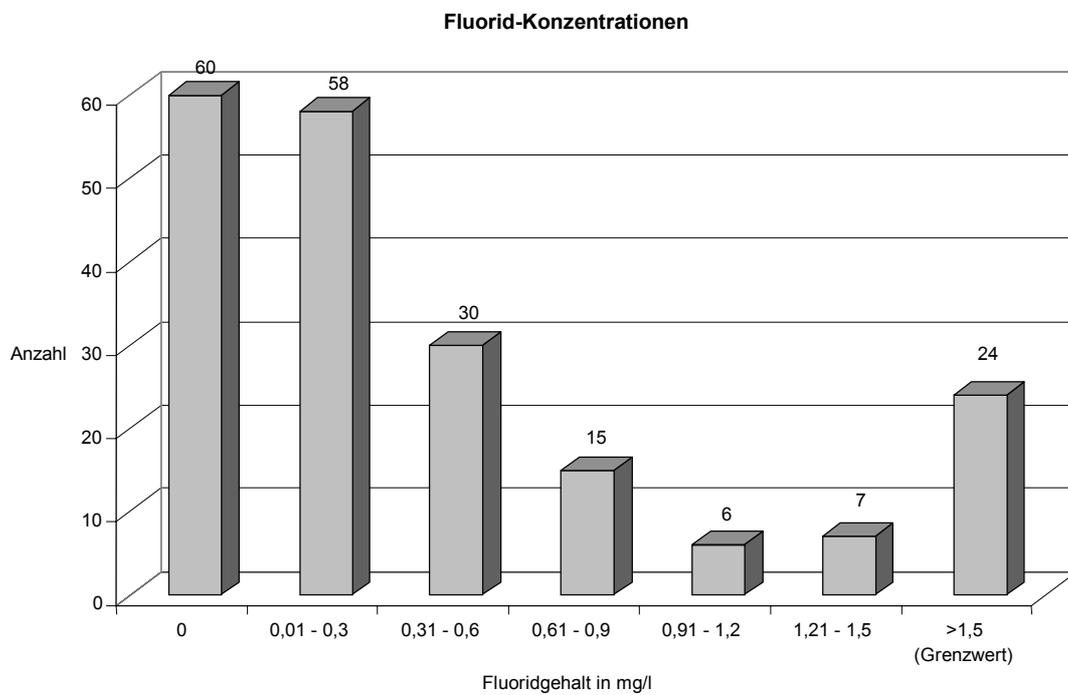


Abbildung 26: Fluorid-Konzentrationen

Die Abbildung 26 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Fluoride. In fast einem Drittel der Proben konnte kein Nachweis von Fluoriden erbracht werden. Über dem Grenzwert von 1,5 mg/l lagen im untersuchten Areal 24 Werte der Eigenwasserproben. Über die Problematik von Fluoriden wird im weiteren Verlauf der Ergebnisauswertung noch näher eingegangen.

Abbildung 27 zeigt die pH-Wert-Verteilung des Wassers im untersuchten Areal. Über drei Viertel aller Eigenwasserproben weisen einen pH-Wert zwischen 7 und 8 auf, wobei keine Eigenwasserprobe den Grenzwert der TrinkwV – sowohl im basischen als auch im sauren Bereich – überschreitet.

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration an H^+ (Protonen) bzw. H_3O^+ (Oxoniumionen). Er wird vor allem durch den Gehalt an freier Kohlensäure (CO_2) bestimmt. Bei Wasser mit einem hohen Gehalt an freier CO_2 liegt er im sauren Bereich ($pH < 7$; $pH = 7 =$ Neutralpunkt). Liegt der pH-Wert deutlich unter dem Wert der Kalziumkarbonat-Sättigung (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht: s.u.) des Wassers, wird Kalk aufgelöst (Kalklösevermögen). In diesem Fall ist mit aggressiver Kohlensäure, die Schäden und Korrosion an Leitungen, Installation und Behältermaterialien fördert, zu rechnen. Liegt der pH-Wert über dem der Kalziumkarbonatsättigung, kommt es zu Kalkabscheidungen. Bei einem pH-Wert von 8,2 ist keine freie und aggressive Kohlensäure mehr vorhanden. In Oberflächengewässern und Grundwässern aus wenig gepufferten Böden kann der pH-Wert auch durch den sauren Regen erniedrigt werden. Nach der Trinkwasserverordnung soll der pH-Wert nicht unter 6,5 und nicht über 9,5 (Grenzwerte) liegen.

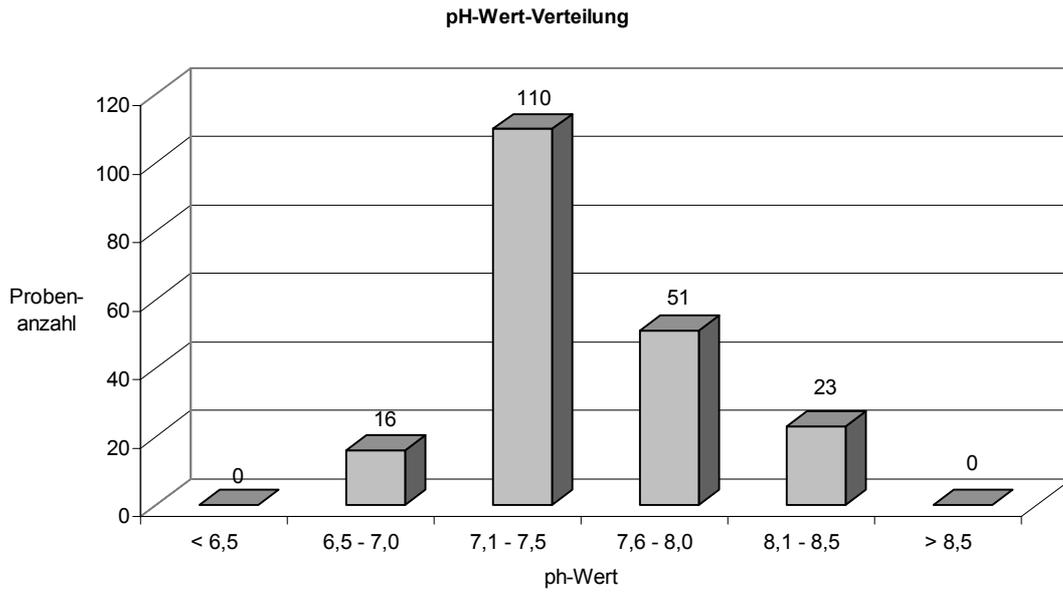


Abbildung 27: pH-Wert-Verteilung

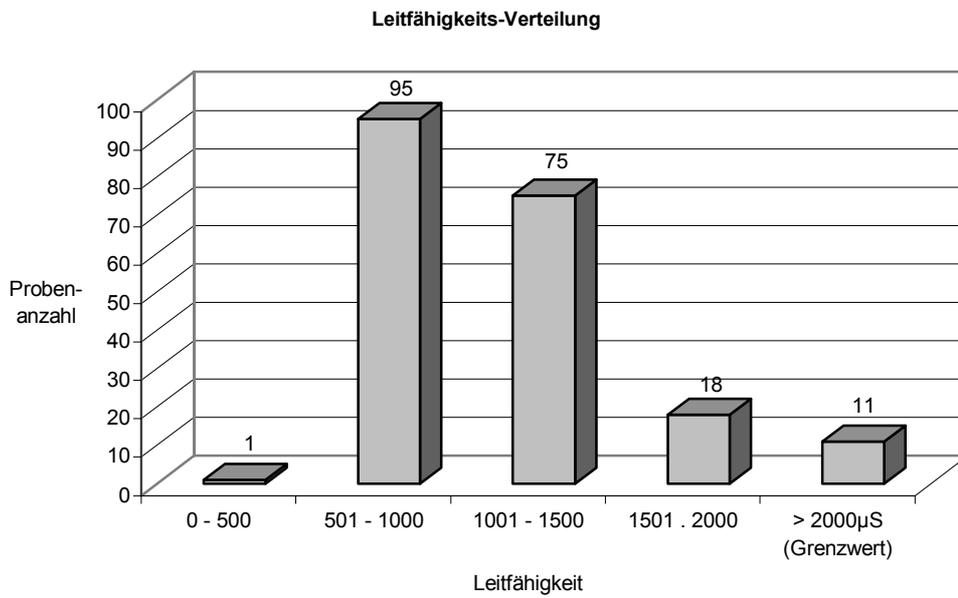


Abbildung 28: Leitfähigkeits-Verteilung

Die Abbildung 28 zeigt die Leitfähigkeit der untersuchten Wasserproben. Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für den Gehalt an gelösten Salzen (Ionen, Elektrolyte) im Trinkwasser, gemessen in $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bzw. S/m). Eine Veränderung der normalerweise im unbeeinflussten Wasser stabilen Leitfähigkeit ist ein erster wichtiger Hinweis auf eine Verunreinigung desselben z. B. durch Salze (Erhöhung der Leitfähigkeit) oder durch Niederschlagswasser über oberflächennahe Einwirkung (Erniedrigung). Im untersuchten Areal lagen 11 Werte über dem Grenzwert von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Im Bezug auf Ionen und Zusammenhänge der untersuchten Wasserproben lassen sich in einer statistischen Analyse Korrelationen erstellen. Der Pearson-Product-Moment-Korrelationskoeffizient (r), oder in Kurzform, der Korrelationskoeffizient, ist eine Kennzahl für den linearen Zusammenhang von 2 quantifizierbaren Variablen X und Y . Die beiden Variablen X und Y sind dabei austauschbar.

Die Kennzahl des Korrelationskoeffizienten kann jeden Wert zwischen +1 und -1 annehmen. Das Vorzeichen der Kennzahl (+/-) definiert die jeweilige Richtung des Zusammenhangs; entweder steigen die Werte beider Variable gemeinsam an bzw. fallen gemeinsam und signalisieren somit einen positiven Zusammenhang (+) oder die Werte der einen Variablen steigen an während die Werte der anderen fallen und signalisieren einen negativen Zusammenhang (-).

So konnte festgestellt werden, daß ein Korrelationskoeffizient nach Pearson von 0,6558 zwischen dem Fluorid- und Boratgehalt des Wassers vorliegt. Demnach nimmt der Fluoridgehalt mit steigendem Boratgehalt zu. Dieser Korrelationskoeffizient ist auf dem Stand von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 29).

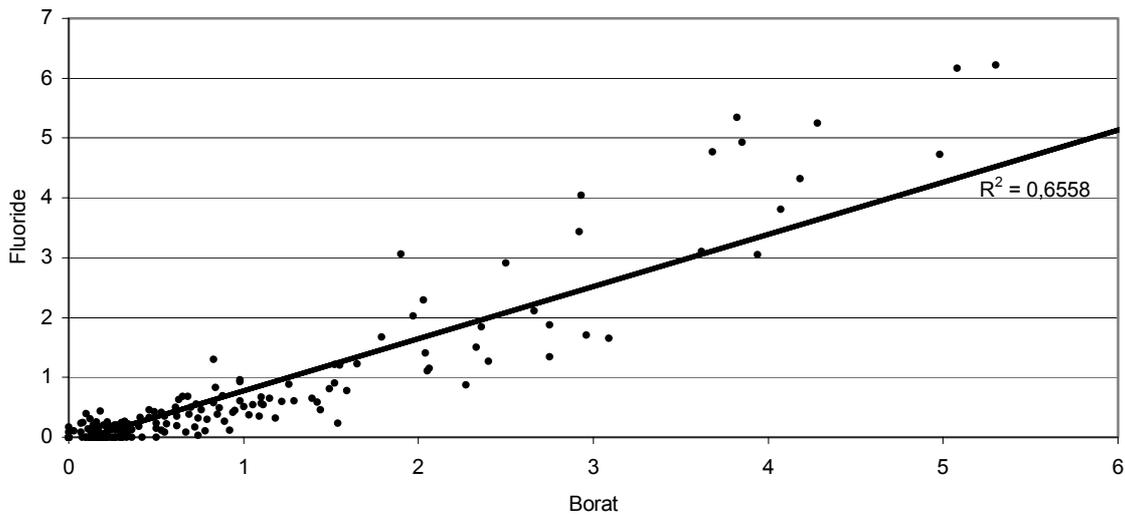


Abb. 29: Streudiagramm Fluorid / Borat

Ähnlich verhält es sich mit der Leitfähigkeit, denn mit steigendem Fluoridgehalt finden sich erhöhte Werte für die Leitfähigkeit. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,3618 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 30).

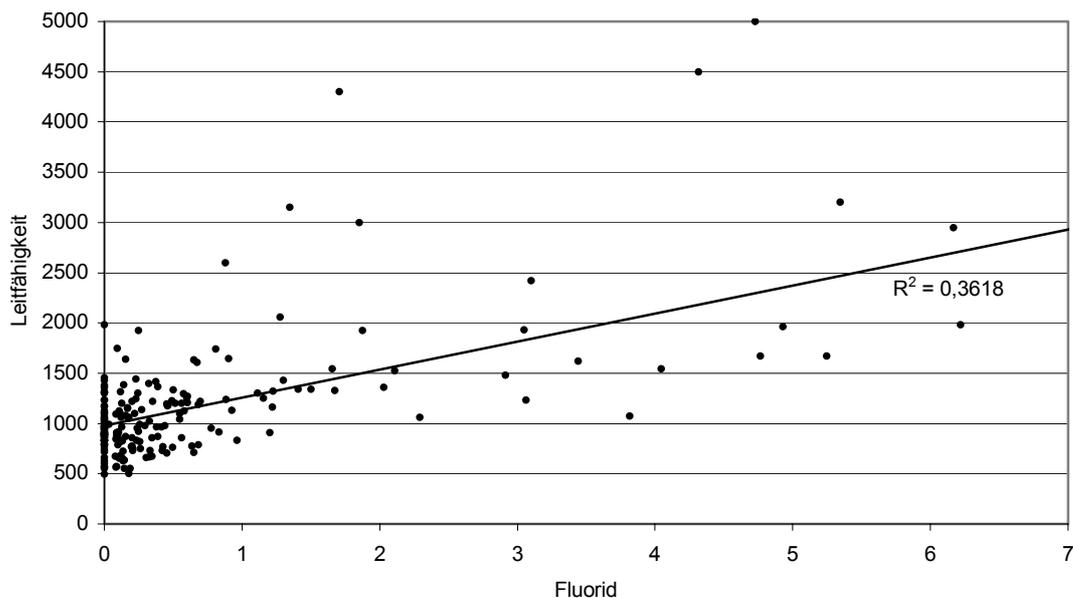


Abb. 30: Streudiagramm Fluorid / Leitfähigkeit

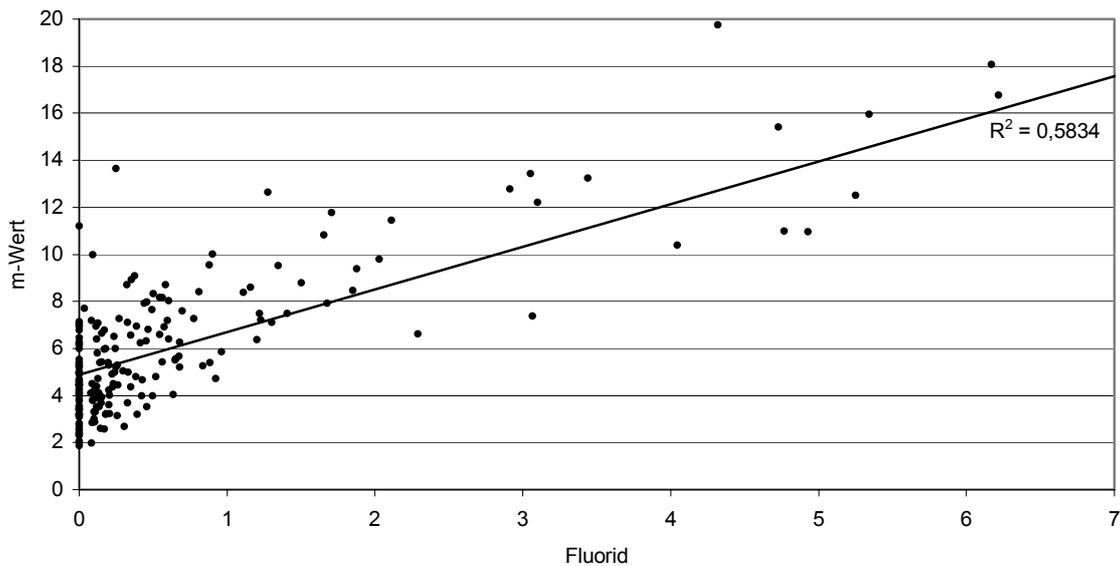


Abb. 31: Streudiagramm Fluorid / m-Wert

Auch bei den ermittelten m-Werten konnte beobachtet werden, daß hohe Fluoridwerte mit hohen m-Werten einhergehen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,5834 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) konstant (Abb. 31).

Im Gegensatz dazu findet sich bei dem Verhältnis Fluorid / Kalzium ein negativer Korrelationskoeffizient nach Pearson. Dieser beträgt - 0,2407, d. h. bei niedrigen Fluoridkonzentrationen finden sich hohe Kalziumkonzentrationen. Der Korrelationskoeffizient ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 32).

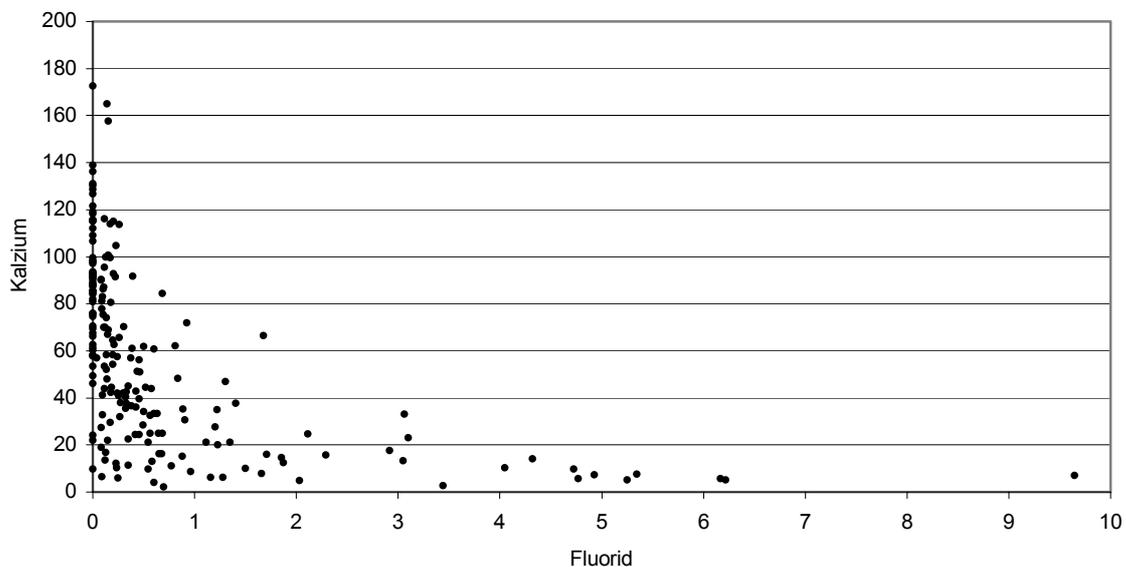


Abb. 32: Streudiagramm Fluorid / Kalzium

Auch bei den Magnesiumwerten finden sich derartige Bezüge. Es konnte festgestellt werden, daß hohe Fluoridwerte in Verbindung mit niedrigen Magnesiumwerten stehen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt - 0,1859 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 33).

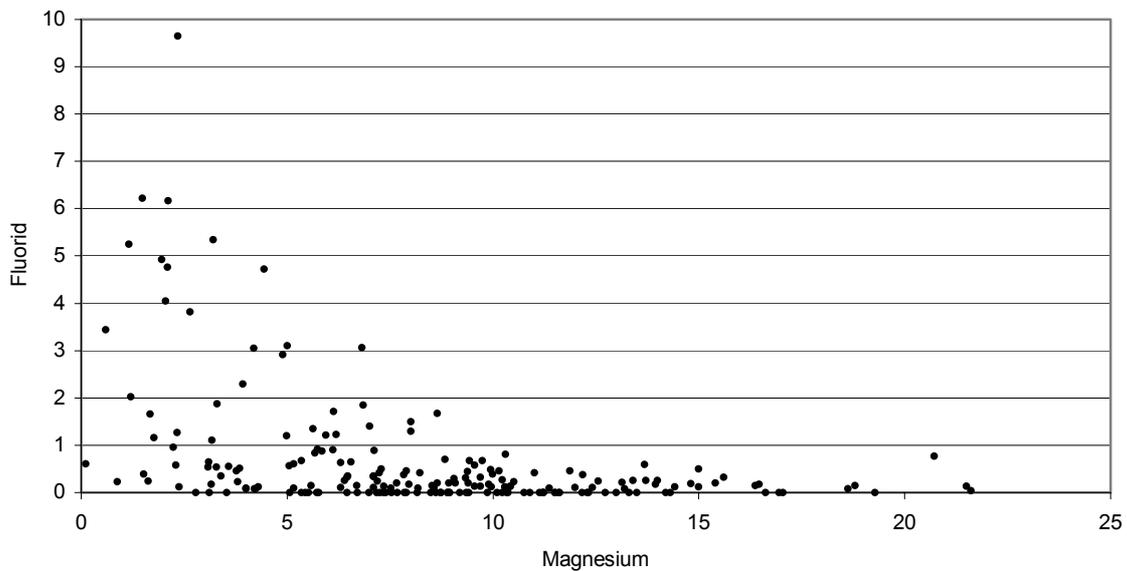


Abb. 33: Streudiagramm Fluorid / Magnesium

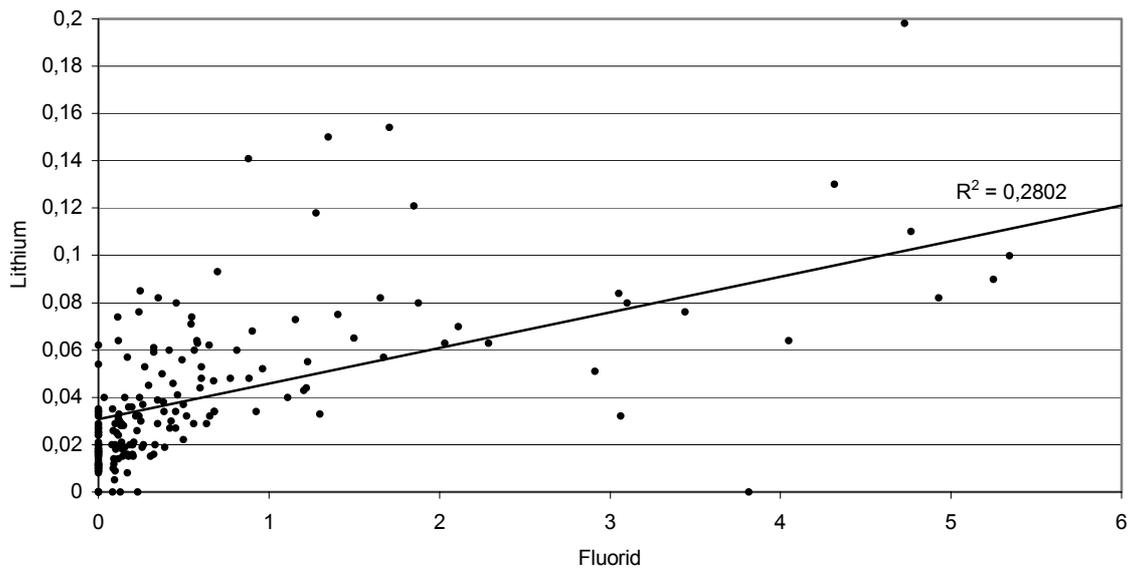


Abb. 34: Streudiagramm Fluorid / Lithium

Betrachtet man das Streudiagramm, welches das Verhältnis von Fluoriden und Lithium widerspiegelt, so erkennt man einen Zusammenhang zwischen einer steigenden Fluoridkonzentration und einer dementsprechend einhergehenden Lithiumkonzentration. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt 0,2802 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 34).

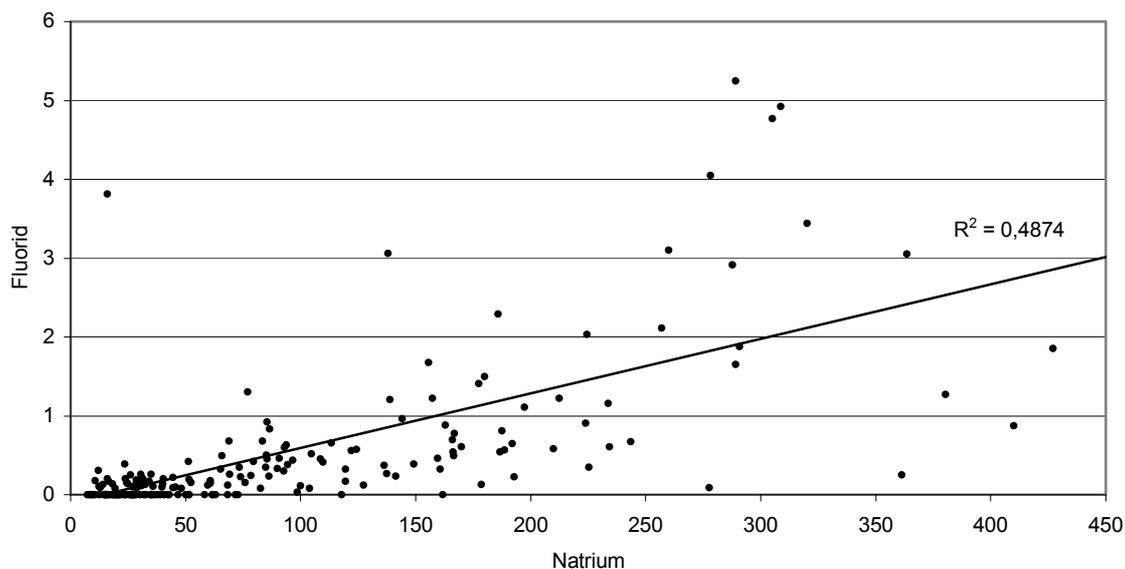


Abb. 35: Streudiagramm Fluorid / Natrium

Das Verhältnis von Fluoriden und Natrium zeigt ebenfalls einen Zusammenhang: der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt bei 0,4874 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 35).

In den vorliegenden Proben ergab sich bei einer Reihe von Streudiagrammen bzw. Auswertung der Proben ein direkter Zusammenhang zwischen den einzelnen Ionen oder auch Ionenverteilungen. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Fluoridkonzentrationen und bestimmten Ionen und anderen Parametern konnte aufgezeigt werden. Es liegt jedoch nicht nur ein Korrelationskoeffizient zwischen dem Fluorid und anderen Parametern und Ionen vor, sondern auch bei der Auswertung der Boratkonzentrationen ergaben sich bestimmte Korrelationskoeffizienten. Diese können sowohl positiv als auch negativ ausfallen.

Das Verhältnis der Boratkonzentration zu den entsprechenden m-Werten der Proben zeigt einen direkten Bezug zwischen dem Boratgehalt und Höhe des m-Wertes. Hohe Borgehalte gehen mit entsprechend hohen m-Werten einher. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt hierbei 0,5907 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 36).

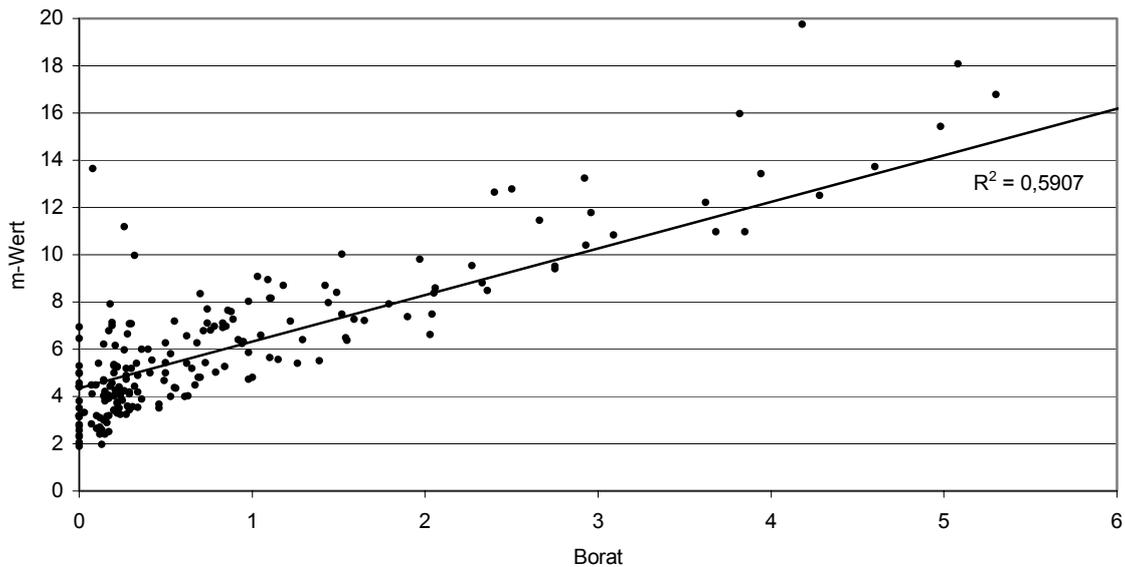


Abb. 36: Streudiagramm Borat / m-Wert

Das Verhältnis der Boratkonzentration zu der Leitfähigkeit der einzelnen Proben zeigte ebenfalls eine positive Abhängigkeit. Je höher der in den Proben vorgefundene Borgehalt war, desto höher lag auch die Leitfähigkeit in den jeweiligen Proben. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson betrug hier 0,4149 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 37).

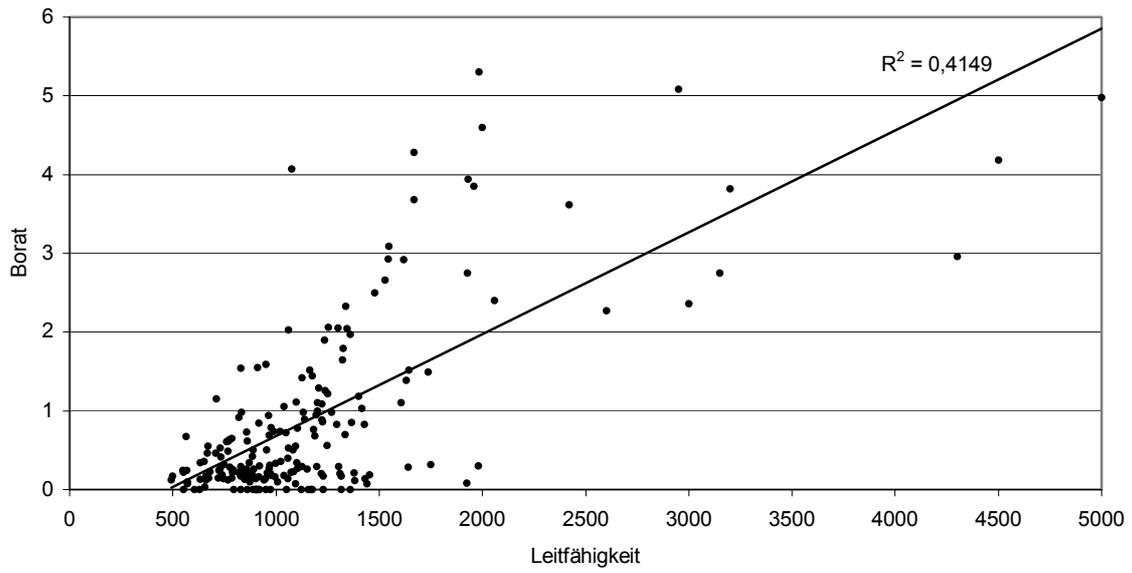


Abb. 37: Streudiagramm Borat / Leitfähigkeit

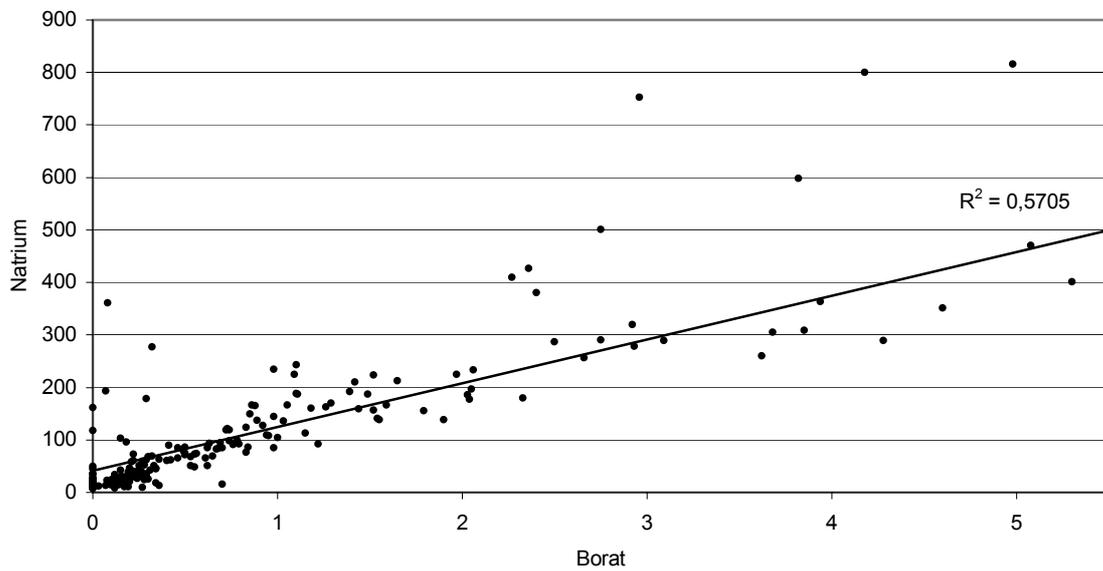


Abb. 38: Streudiagramm Borat / Natrium

Die vorangehende Abb. 38 zeigt das Verhältnis zwischen Boraten und Natrium. Genau wie beim Verhältnis Fluorid/Natrium zeigt sich auch hierbei eine Abhängigkeit der jeweiligen Ionenkonzentrationen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt hier bei 0,5705 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 38).

Das Verhältnis bzw. die Abhängigkeit von Borat und Kalzium liegt dagegen im negativen Bereich. Hohe Kalziumkonzentrationen gehen mit niedrigen Boratkonzentrationen einher. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt bei - 0,3042 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 39).

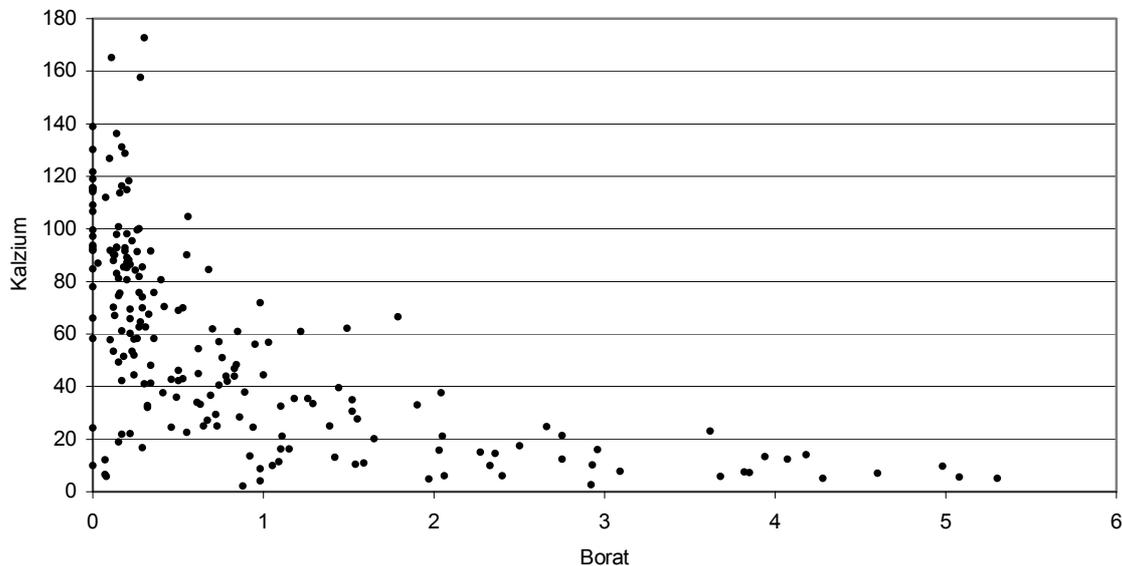


Abb. 39: Streudiagramm Borat / Kalzium

Die folgende Abb. 40 zeigt das Verhältnis zwischen m-Wert und Leitfähigkeit der untersuchten Proben. Liegt bei einer Probe eine hohe Leitfähigkeit vor, so ist in der jeweiligen Probe auch ein hoher m-Wert zu erwarten bzw. festzustellen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt hier 0,5978 und ist auf dem Niveau von $p < 0,01$ (2-seitig) signifikant (Abb. 40).

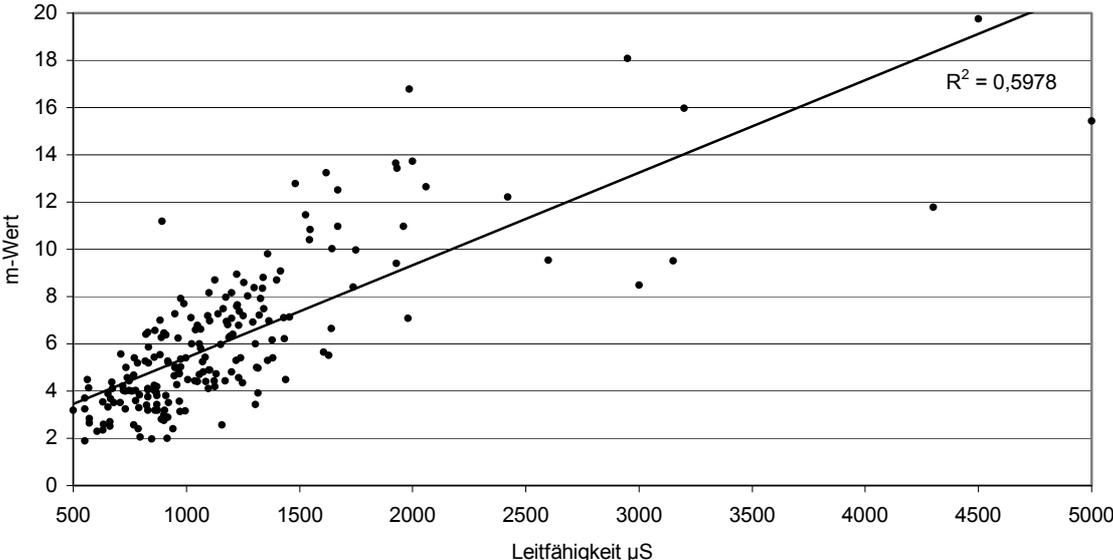


Abb. 40: Streudiagramm Leitfähigkeit / m-Wert

5 Diskussion

Die Diskussion über das Für und Wider von Fluoriden im Trinkwasser wird seit vielen Jahren geführt und auch von den Medien immer wieder aufgegriffen. In vielen Veröffentlichungen werden die Fluoride – in der Milch, im Speisesalz, in Tabletten, im Trinkwasser, aber auch in Lacken oder Zahnpasten – aus unterschiedlichen Gründen abgelehnt. Diese Diskussion hat in weiten Bevölkerungsschichten zu einer erheblichen Verunsicherung geführt, so daß die Kariesprophylaxe vor allem bei Eltern und Lehrern sehr kritisch gesehen wird.

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, das Trinkwasser in den privaten Eigenwasseranlagen im östlichen Münsterland zu analysieren. Dabei wurde insbesondere Augenmerk auf das Auftreten und die Verteilung erhöhter Fluoridkonzentrationen gelegt, da durch einen erhöhten Fluoridgehalt im Trinkwasser und Aufnahme weiterer Fluoride über Zahnpasta, Tabletten oder Fluoridgelees das Risiko einer Fluorose um ein Vielfaches steigt.

Gemäß einer Veröffentlichung des Wissenschaftlichen Instituts der Ortskrankenkassen wird die Fluoridkonzentration im Trinkwasser in der Stadt Münster der Kategorie I zugeordnet. Dies entspricht einem Fluoridgehalt von weniger als 0,25 mg/l. Die verschiedenen Netzeinspeisungen weisen nach Angaben der Stadtwerke Münster einen Fluoridgehalt auf, der zwischen 0,08 und 0,14 mg/l liegt. Auch in den Kreisen Coesfeld und Warendorf werden ausschließlich Fluoridkonzentrationen von unter 0,25 mg/l angegeben.

Die Bewohner dieser Gebiete werden durch Trinkwasser versorgt, das keinen nennenswerten kariesprophylaktischen Effekt aufweist. Bei einer geplanten Fluoridtablettengabe bräuchte das Wasser also demzufolge nicht berücksichtigt werden, um Überdosierungen auszuschließen. Hierzu ist anzumerken, daß es sich bei solchen Untersuchungen lediglich um Durchschnittswerte relativ großer Gebiete handelt und im Einzelfall durchaus überhöhte Meßwerte beobachtet werden können. Diese, auch in kleineren Regionen auftretenden, erhöhten Meßwerte sind jedoch in derartigen Statistiken nicht zu finden.

Das Trinkwasser einzelner Ortsnetze wird in vielen Fällen aus verschiedenen Bezugsquellen in das vorhandene Netz eingespeist. Allgemeine Angaben zu den Fluoridwerten können in vielen Fällen schwanken, auch wenn eine große Anzahl von privaten Versorgungsanlagen besteht. Das Trinkwasser der Stadt Münster wird aus verschiedenen Bezugsquellen zusammengestellt: Geist mit einem Fluoridgehalt von 0,13 mg/l, Hohe Ward mit einem Fluoridgehalt von 0,18 mg/l, Kinderhaus mit einem Fluoridgehalt von 0,08 mg/l, Hornheide mit einem Fluoridgehalt von 0,12 mg/l und Gelsenwasser AG mit einem Fluoridgehalt von 0,14 mg/l (Stadtwerke Münster 2002).

Liegen größere Schwankungen innerhalb der Angaben zu den einzelnen Fluoridgehalten der jeweiligen Bezugsquellen – speziell Eigenwasseranlagen – vor, so können diese bisweilen die Fluoridsupplementierung komplizieren. In diesem Fall müßte die jeweilige Konzentration gemessen werden und zwar idealerweise in der Form, wie sie den Verbraucher erreicht, d. h. direkt an der Bezugsquelle im Haus.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Areal näher betrachtet, das sich durch eine besondere räumliche Situation auszeichnet. Die meisten Haushalte verfügen über Eigenwasseranlagen, da die einzelnen Haushalte sehr weitläufig verteilt liegen. Die Problematik besteht darin, daß ein Anschluß an das öffentliche Wasserversorgungsnetz praktisch nicht zu realisieren ist.

Ein bislang nicht erwähntes Problem kann bei langen Stichleitungen auftreten: die Verkeimung. Durch große Aufenthaltsdauern des Wassers in langen Leitungen – hervorgerufen durch geringe Entnahmemengen – können sich gesundheits-schädliche Keime bilden (Steuer 1989).

Ein weiteres Problem, das allerdings nicht die Wasserqualität betrifft, sind die auftretenden Kosten. Viele Verbraucher wehren sich gegen einen Anschluß an das öffentliche Trinkwassernetz, da sie immense Kosten erwarten.

Zusammenfassend haben sich nach Auswertung der Wasserproben folgende Ergebnisse herausgestellt:

Insgesamt liegen bei dem untersuchten Areal die durchschnittlichen Fluoridkonzentrationen bei 0,9 mg/l. Die Ergebnisse der WidO werden somit überschritten (Eberle 1985). Insbesondere in Telgte und Warendorf 1 finden sich sehr hohe durchschnittliche Fluoridkonzentrationen.

Die folgende Darstellung (Abb. 41) zeigt die durchschnittliche Fluoridkonzentration in einzelnen Teilen des Areals. Die jeweiligen Boratkonzentration wurden ebenfalls mit dargestellt. Die Aufteilung in Telgte 1, Telgte 2, Warendorf 1 und Warendorf 2 wurde anhand von Orts- und Bauernschaften durchgeführt. Zu dem Gebiet Telgte 1 gehören die Bauernschaften Müssingen, Versmar, Wester, Böckenhagen, Delsener Heide, Raestrup und Bester Feld. Zu Telgte 2 gehören Püning, Wettendorf, Berdel, Schwienhorst, Kreuzbach und Kasewinkel. Warendorf 1 setzt sich aus den Bauernschaften Neuwarendorf, Westbezirk und Walgern zusammen. Der Bezirk Warendorf 2 umfaßt die Gebiete Mehringen, Erter und Müssingen.

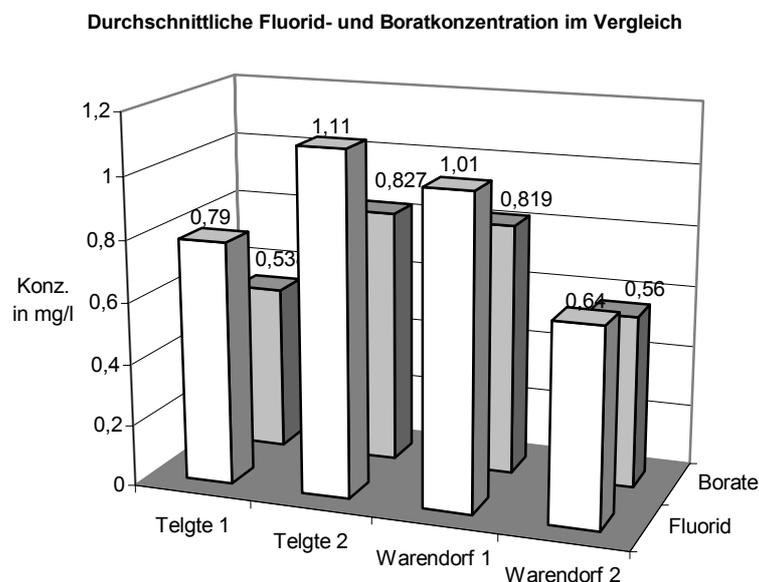


Abb. 41: Durchschnittliche Fluorid- und Boratkonzentration

Eine Veröffentlichung des Wissenschaftlichen Instituts der Ortskrankenkassen zeigte nach Untersuchungen von über 90 % aller bundesdeutschen Gemeinden, daß in 90 % der Fälle Fluoridgehalte von unter 0,3 mg/l vorliegen. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 1,5 mg/l wird hier nicht annähernd erreicht.

Lediglich in 2 % der Gemeinden enthielten Trinkwasserproben natürlicherweise 0,5 mg/l und mehr. Diese sehr kleinen und stark abgegrenzten Gebiete sind vornehmlich in Rheinland-Pfalz und Bayern lokalisiert.

Erhöhte bzw. die höchsten bisher in der Literatur beschriebenen Fluoridwerte Deutschlands und Österreichs fanden sich in Schleswig-Holstein mit einem Fluoridgehalt von bis zu 0,5 mg/l (Weidner 1974) und in Bayern mit bis zu 3 mg/l (Hübers 1980). In Hessen wurden Regionen mit Fluoridwerten zwischen 1 und 1,5 mg/l beschrieben, und in Niederösterreich treten Werte in Höhe von bis zu 3 mg/l auf (Langer 1969).

Auch in einer Untersuchung in Ostwestfalen konnten erhöhte Fluoridwerte von über 3 mg/l gemessen werden (Vollmer 1993).

Im Gegensatz zu diesen Regionen sind jedoch in dem hier dargestellten Areal Spitzenwerte von bis zu 9,6 mg/l aufgetreten. Neben diesem Maximalwert wurden im Trinkwasser der privaten Wasserversorgungsanlagen auch erhöhte Durchschnittswerte ermittelt, die gegenüber der öffentlichen Wasserversorgung bei 0,7 mg/l liegen.

So übersteigen im untersuchten Areal insgesamt 24 Proben den laut Trinkwasserverordnung vorgegeben Grenzwert von 1,5 mg/l. Veranschaulicht wird dieses in folgender Abbildung 42.

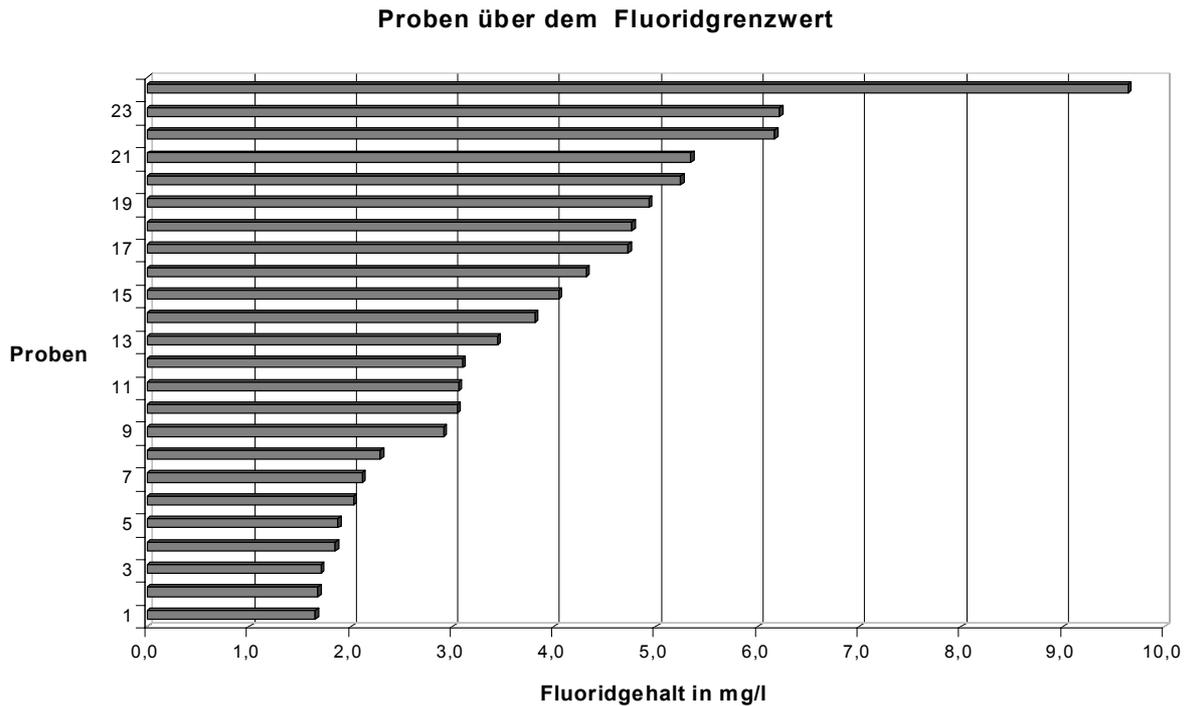


Abbildung 42: Grenzwertüberschreitungen der Fluoridkonzentrationen

Als Ursache der hohen Fluoridgehalte sind nicht etwa Umweltverschmutzung, Altlasten oder ähnliches zu nennen. Das Spurenelement kommt im Münsterland natürlicherweise im Gestein und daher auch im Wasser in größeren Mengen vor. Im Unterconiac kam es zur Ablagerung mergeliger Kalksteine (70 - 90 % CaCO_3) und kalkiger Mergelsteine (50 - 70% CaCO_3), die im Raum Erwitte-Geseke-Paderborn Rohstoffgrundlage der dort ansässigen Zementindustrie sind. Mit dem Mittelconiac begann die für die höhere Oberkreide typische, sehr gleichförmige Schichtenfolge aus Tonmergel- und Mergelsteinen als Ausdruck einer lang andauernden Stillwasserfazies zur Zeit des Höhepunktes der Transgression des Kreidemeeres. Die Ablagerungen, die stratigraphisch bis in das Mittelsanton reichen, werden unter dem Begriff „Emscher-Mergel“ zusammengefasst. Das Verbreitungsgebiet des Emscher Mergel umfasst Teile der Kreise Coesfeld, Hamm, Münster, Soest, Steinfurt, Warendorf und Unna. Des weiteren reichen die Brunnenbohrungen in der heutigen Zeit viel tiefer als früher und erreichen wasserführende Schichten, in denen ein Austausch von Salz- und Süßwasser erfolgt (Michel 1995).

Bemerkenswert ist, daß die Fluoridkonzentrationen von einem Bohrbrunnen zum anderen innerhalb weniger Meter stark variieren können. Zwei Bohrlöcher ähnlicher Tiefe im Abstand von 200 bis 300 Metern können deutlich unterschiedliche Werte liefern, so beispielsweise in Neuwarendorf.

Bekannt ist ebenfalls, daß Schwankungen von einer Woche auf die andere oder aber jahreszeitlich auftreten können. Neben der Niederschlagsmenge, die im Münsterland bei jährlich ca. 700 bis 800 mm liegt, spielt auch eine Rolle, wie stark der Brunnen genutzt wird (Grobler 1994, Nair 1984). Weitere Untersuchungen stehen hierzu noch aus.

Je nach geographischer Lage sowie Art und Ausmaß der Trinkwassernutzung kann die tägliche Fluoridaufnahme der betroffenen Anwohner merklich schwanken.

Das eigentliche Problem besteht neben der Unwissenheit der Betroffenen und weiter Bevölkerungskreise bezüglich der allgemeinen und ihrer jeweiligen Fluoridproblematik darin, daß die Spanne zwischen einer nützlichen und schädlichen Fluoridkonzentration relativ gering ist.

Betrachtet man den positiven kariesprophylaktischen Effekt eines fluoridhaltigen Trinkwassers in Deutschland, so muß festgestellt werden, daß über 90 % der Bevölkerung mit Wasser versorgt werden, das keinen kariespräventiv wirksamen Fluoridgehalt aufweist (Eberle 1985).

Allerdings verfügen auch Haushalte über Wasser mit einem Fluoridgehalt, der merklich über dem kariespräventiven Gehalt liegt. Der absolut höchste, in diesem Areal gefundene Wert lag bei 9,6 mg/l. Bei einer regelmäßigen Aufnahme von Wasser mit einem Fluoridgehalt von 9,6 mg/l kann es durchaus zu gesundheitsschädlichen Beeinträchtigungen kommen. Es können sowohl fluorotische Schmelzflecken als auch andere Gesundheitsschäden auftreten.

Ebenso können sich bei übermäßiger Aufnahme von Bor gesundheitliche Beeinträchtigungen ergeben.

In dem Untersuchungsgebiet der vorliegenden Studie weisen 70 % der Proben einen Fluoridgehalt auf, der in diesem Zusammenhang als nicht ausreichend bezeichnet werden müsste und somit durch andere Formen der Fluoridgabe ergänzt werden sollte.

Auf der anderen Seite können besonders bei Kindern Schäden entstehen, wenn überdurchschnittlich hohe Werte vorliegen. Häufig sind sich Eltern über deren Folgen nicht bewußt, teils durch Unwissenheit, teils aber auch aus Desinteresse.

Besonders zu beachten ist auf dieser Grundlage auch, daß ein Großteil der Familien im untersuchten Areal das Wasser für die Zubereitung von Babynahrung benutzt oder genutzt hat.

Bei einem Fluoridgehalt von 3 mg/l reichten pro Tag schon 0,5 Liter aus, um bei Kindern fluorotische Veränderungen an den Zähnen zu bewirken. In diese Rechnung sollte auch Wasser mit einbezogen werden, das nicht direkt getrunken, sondern zum Kochen verwendet wird. Betrachtet man den durchschnittlichen Wasserverbrauch von ca. 1,2 l pro Person und Tag, so liegt dieser Wert doppelt so hoch wie die Trinkmenge im oben aufgeführten Beispiel.

Zusammenfassend läßt sich fordern, daß Wert auf eine umfangreiche Aufklärung der Bevölkerung gelegt werden muß und des weiteren regelmäßige Fluoridwertkontrollen erfolgen sollten. Bei einem Großteil der Bewohner des untersuchten Areals liegt keine ausreichend hohe, kariespräventive Fluoridkonzentration vor, so daß in diesen Fällen andere kariesprophylaktische Maßnahmen ergriffen werden sollten und die Fluoridsupplementierung entsprechend abgestimmt werden muß. Bei den Haushalten mit Fluoridwerten über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung sollte dazu noch eine ausreichende Information erfolgen.

Wenn nun die Bewohner eines Gebietes mit hohem Fluoridgehalt Kenntnis über die Problematik in ihrem Trinkwasser besitzen, ergibt sich für sie ein Dilemma:

In den meisten Fällen ist aus oben genannten Gründen ein Anschluß an das öffentliche Trinkwassernetz nicht möglich, zum anderen ist der Einbau eines Filters in vielen Fällen mit hohen Kosten verbunden.

Bei der Auswertung der Eigenwasserproben deutet sich jedoch auch ein anderes gesundheitliches Problem an. Viele andere Ionenkonzentrationen überschritten die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung.

Ähnlich der Fluoridkonzentration findet sich auch eine geringe Anzahl von Proben, die den Boratgrenzwert der Trinkwasserverordnung von 1 mg/l überschreiten. Die jeweiligen Werte sind in Abbildung 43 aufgeführt.

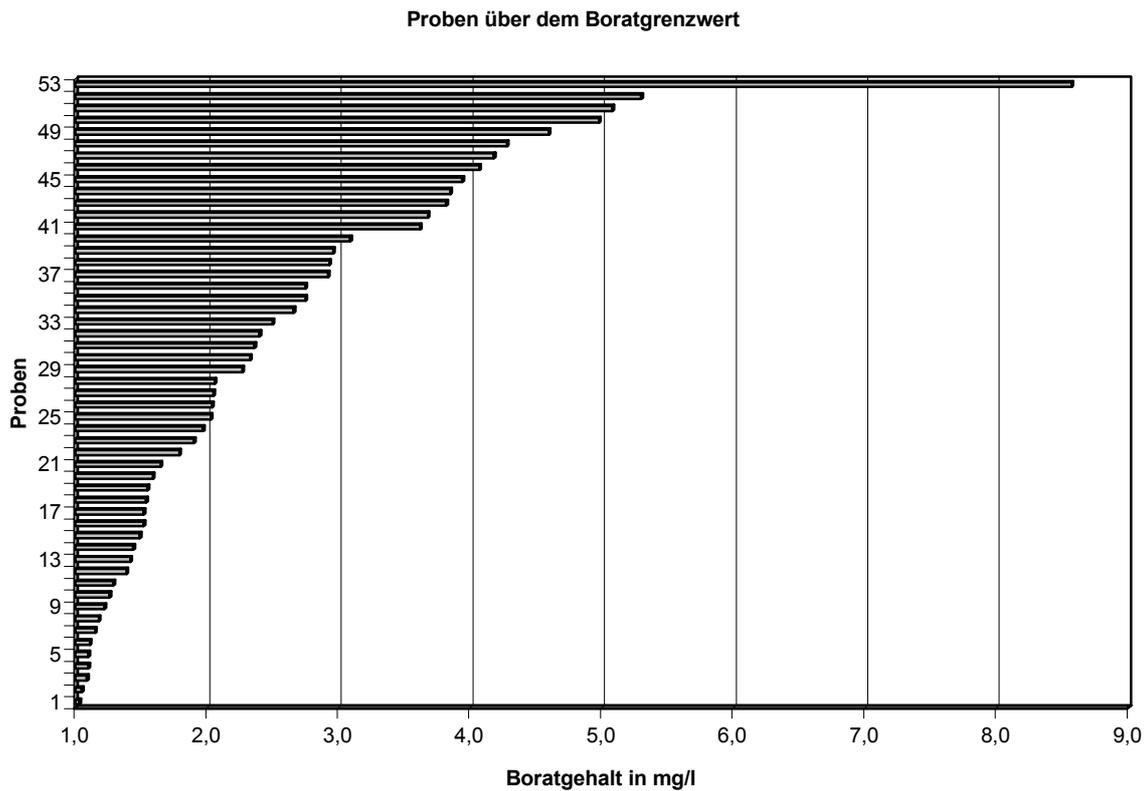


Abbildung 43: Grenzwertüberschreitungen der Boratkonzentrationen

So wurden deutlich erhöhte Borgehalte festgestellt. Diese lagen im Extremfall bei 8,57 mg/l und überschritten den Richtwert der Trinkwasserverordnung von 1 mg/l um ein Vielfaches. Der Problematik der Borate in Eigenwasseranlagen bzw. im Trinkwasser aus Hausbrunnen wurde in den vergangenen Jahren immer größere Bedeutung zugemessen. Grund dafür ist die Schwierigkeit, Borate aus dem Trinkwasser herauszufiltern. Das Problem liegt zum einen in einer Verkeimung des behandelten Trinkwassers und zum anderen in der Beschaffung geeigneter Filteranlagen (Abteilung Wasserwirtschaft Kreis Coesfeld 2002).

In vielen Regionen des Münsterlandes, aber auch Ostwestfalens beziehen die Anwohner ihr Trinkwasser aus Eigenwasseranlagen. Ob in vielen dieser Fälle die Fluorid-, Borat- und andere Ionenwerte erhöht sind, bedarf, unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Gesundheitsschäden, einer genauen Untersuchung und flächendeckenden Analyse privater Hausbrunnen.

6 Schlußfolgerung

- Durchschnittlich wurden in dem untersuchten Areal Fluoridkonzentrationen von 0,9 mg/l gemessen. Der Spitzenwert mit einer Fluoridkonzentration von 9,64 mg F/l wurde in Neuwarendorf gefunden. Es gibt in Deutschland zwar eine flächendeckende Kartierung der durchschnittlichen Fluoridkonzentrationen, jedoch wurden diese in dem von uns untersuchten Areal in einigen Fällen deutlich überschritten.
- In 17 % der von uns analysierten Wasserproben fanden sich Fluoridkonzentrationen, die über einem Wert von 1,0 mg/l lagen. Hinsichtlich der Empfehlung der DGZMK sollten die betroffenen Haushalte darüber informiert werden. Somit kann eine überhöhte Fluoridgabe gerade aus dem Grunde vermieden werden, da fast alle Haushalte das Wasser zur allgemeinen Nahrungszubereitung und bis auf einige Ausnahmen auch zur Zubereitung von Babynahrung verwenden.
- Die Auswertung der Wasserproben zeigte ebenfalls, daß 12 % der Haushalte nicht über Trinkwasser, hinsichtlich des Fluoridgehaltes, gemäß der Trinkwasserverordnung verfügen bzw. die Werte über dem in der Trinkwasserverordnung angegebenen Grenzwert von 1,5 mg/l liegen. Hierzu muß allerdings auch angemerkt werden, daß es bei den einzelnen Brunnen und Bohrlöchern jahreszeitlich bedingte Schwankungen gibt. Um diese genau zu analysieren, kann man in regelmäßigen Abständen Eigenwasserproben entnehmen, analysieren und so genaue Informationen über die Fluoridwerte oder deren jahreszeitliche Schwankungen erhalten.
- Im Gegensatz zu den Haushalten mit erhöhten Fluoridwerten ergab die Analyse auch, daß in 70 % der untersuchten Wasserproben ein Fluoridgehalt von weniger als 0,5 mg/l vorliegt. In diesen Fällen sollte, gemäß den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde eine tägliche Fluoridsupplementierung erfolgen.

- In dem untersuchten Areal fanden sich in vielen Fällen nicht nur erhöhte Werte hinsichtlich der Fluoridkonzentration, sondern es wurden auch die Grenzwerte einiger anderer Ionen, z. B. Borate, zum Teil deutlich überschritten. Daher sind für die Vermeidung von Gesundheitsschäden flächendeckende Analysen und eine zentrale Kartierung der einzelnen Werte erforderlich.
- Seitens der Haushalte und Kommunen sollte über einen Anschluß an die öffentliche bzw. kommunale Trinkwasserversorgung nachgedacht werden.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden 200 Wasserproben aus privaten Eigenwasseranlagen im Bereich des östlichen Münsterlandes auf ihren Fluoridgehalt und andere Parameter hin untersucht und analysiert. Desweiteren wurden mittels eines Fragebogens detaillierte Auskünfte über die Trinkgewohnheiten der angeschlossenen Familien, die Nahrungszubereitung, die Brunnentiefe, das Brunnenalter, die zum Haushalt gehörenden Personen, die Kinder und das Alter der Kinder gewonnen.

Die räumliche und geographische Situation macht es in vielen Fällen der Kreise Münster, Warendorf und Coesfeld nicht möglich, alle Haushalte flächendeckend an die kommunale Trinkwasserversorgung anzuschließen. Die Probleme, die hierbei auftreten, sind unter anderem eine schnelle Verkalkung der Stichleitungen und eine mögliche Verkeimung des Wassers. Aus diesem Grund bietet sich für die Anwohner häufig keine andere Alternative zu dem von ihnen verwendeten Brunnenwasser.

Die Untersuchungsergebnisse der Studie zeigen, daß in 17 % der untersuchten Proben bezüglich der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ein erhöhter Fluoridgehalt von über 1 mg/l vorliegt. In 9 % der analysierten Wasserproben treten Spitzenwerte von über 2 mg/l auf. Durchschnittlich werden Konzentrationen von 0,9 mg/l gemessen mit einem Spitzenwert von 9,64 mg/l. Dieser Wert wurde in Neuwarendorf gefunden.

Im Gegensatz dazu zeigte sich aber auch, daß in 30 % der untersuchten Proben keine hinreichende Vorkommen von Fluorid festgestellt werden konnten und in 38 % der Fälle eine Fluoridkonzentration von 0,1 bis 0,5 mg/l vorliegt. Gemäß den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde sollte in diesen Fällen die tägliche Fluoridaufnahme im Rahmen der Kariesprophylaxe entsprechend ergänzt werden.

Bei den Bewohnern, die an eine Anlage mit hohem Fluoridgehalt angeschlossen sind, sollte ein Bewußtsein für den Sachverhalt geschaffen werden, damit gesundheitliche Schädigungen, wie sie in der Vergangenheit schon einmal im Kreis Coesfeld aufgetreten sind, zukünftig nicht wieder auftreten. Nur eine umfangreiche Information und Darlegung des Sachverhaltes kann diesem entgegenwirken. Auch die Anwohner, die sich aus finanziellen Gründen gegen geeignete Filter oder Anschlüsse an die kommunale Trinkwasserversorgung aussprechen, müssen sich bei erhöhten Ionenkonzentrationen Gedanken über die gesundheitliche Problematik machen.

Da sich neben den zum Teil deutlich erhöhten Fluoridkonzentrationen in den analysierten Wasserproben auch andere erhöhte Ionenkonzentrationen fanden, z. B. Borate, die die entsprechenden Grenzwerte der Trinkwasserverordnung zum Teil drastisch überschreiten, sind unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Gesundheitsschäden weitere flächendeckende Analysen indiziert.

Viele der im untersuchten Areal liegenden Haushalte werden auch zu Beginn des Jahres 2003 vor ein erneutes Problem gestellt. In diesem Jahr tritt die neue Trinkwasserverordnung in Kraft, und eine Vielzahl von Eigenwassernutzern, sowohl im Kreis Warendorf, aber auch in den Kreisen Coesfeld und Münster, verfügt ab da an nicht mehr über Wasser, welches den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht. Seitens der kommunalen Wasserversorgungsabteilungen und Wasserbehörden sah man diesem Problem nachdenklich entgegen, wobei eine Lösung noch aussteht.

1. Abteilung Wasserwirtschaft Kreis Coesfeld (2002)
3. Informationsveranstaltung zu Problemen bei der Grundwassernutzung des Emscher-Mergels.
Ergebnisprotokoll Informationsveranstaltung Kreis Coesfeld
2. Ahrens, G. (1978)
Die Wirkmechanismen des Fluorids.
In: Kariesprophylaxe mit Fluorid. IME Frankfurt 2. Aufl. 1982
3. Austen, K.F., Dworetzky, M., Farr, R.S. (1971)
Statement on the question of allergy to fluoride as used in the fluoridation of community water supplies.
J Allergy 47, 347 - 348
4. Batazar, R.F., Mower, M.M., Funk, M. (1980)
Acute fluorid poisoning leading to fatal hypercalcemia.
Chest 4: 660
5. Berry, W. (1958)
Study of incidence of mongolism in relation to fluoride content water.
Armer J Ment Defic 62: 499
6. Bhussy, B.R. (1970)
Toxic effects of larger doses of fluoride.
WHO-Monograph Series 59 WHO, Genf
7. Bößmann, K. (1985)
Wirkstoffe in Zahnpasten.
Oralprophylaxe 7, 138 - 144
8. Bramstedt, W., Büttner, W., König, K.G. (1976)
Entgegnung auf K.-H. Wagners: Bedenken gegen die TWF.
Öff. Gesundheitswesen 38: 397
9. Brudevold, F., Messer, A.C. (1961)
Seeding of a H^+ in calcifying solutions containing different levels of fluoride.
J Dent Res 40: 728
10. Burt, B.A. (1992)
Changing patterns of fluoride intake.
J Dent Res 71, 1228
11. Büttner, W. (1968)
Der Fluorstoffwechsel bei niedriger und hoher Zufuhr von Fluorid.
Dtsch Zahnärztl Z 23, 2: 123

-
12. Büttner, W. (1978)
Fluoridstoffwechsel und gesundheitliche Aspekte der Fluoridanwendung zur Kariesprophylaxe.
Kariesprophylaxe mit Fluorid. IME Frankfurt 2. Auflage 1982
 13. Chilvers, C. (1982)
Cancer mortality by site and fluoridation of water supplies.
J Epidemiol Community Hlth 26, 237
 14. Clarkson, J., O'Mullane, D. (1989)
A modified DDE-Index for use in epidemiological studies of enamel defects.
J Dent Res 68, 445
 15. Colora Messtechnik GmbH: Bedienungsanleitung für Orion Fluorid Elektroden
Orion Res., Cambridge, Mass., 02139 USA
 16. Dean, H.T. (1942)
Domestic water and dental caries.
Publ. Health Report 57: 1155
 17. Dean, H.T. (1945)
On the epidemiologie of fluoride and dental caries.
WJ Gies: Fluoride in dental public health. Institut of clinical oral pathology, New York
 18. Dean, H.T., (1946)
Epidemiological studies in the United States.
Dental caries and fluorine, Moulton, F.R., ed American Association for the Advancement of Science, Lancaster
Science Press, 1946, pp 5 - 31
 19. Degner, R. (1995)
Tipps für die potentiometrische Fluoridmessung.
CLB 46: 536 - 538
 20. Deutscher Verbraucherschutzverband (1984)
Der (Alp-) Traum vom Fluor.
Information des DVS Nr. 32, Wiesbaden
 21. DIN EN 27888 C8 (2002)
Untersuchung von Wasser auf elektrische Leitfähigkeit.
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung AM-UH-104-/-A SOP

-
22. DIN EN ISO 10304-1 D19 (2002)
Untersuchung von Wassers auf Fluorid, Chlorid, Nitrat, Sulfat mit der Ionenchromatographie.
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung
AM-UH-117/A
 23. DIN 38404-5 C5 (2002)
Untersuchung von Wasser auf pH-Wert.
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung
AM-UH-103/A SOP
 24. DIN 38405-4 D4 (2002)
Untersuchung von Wasser auf Fluorid mit der ionenselektiven Elektrode
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung
AM-UH-115/A SOP
 25. DIN 38405 D17 (2002)
Photometrische Untersuchung von Wasser auf Bor.
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung
AM-UH-111/A
 26. DIN 38406-5 E5 (2002)
Photometrische Untersuchung von Wasser auf Ammonium.
Institut für Hygiene Münster, Arbeitsanweisung zur Methodendurchführung
AM-UH-113/A SOP
 27. DGZMK-Stellungnahme (2002)
Richtwerte für Fluoridsupplemente.
Zahnärztl Mitt 16, 13
 28. Driessens, F.C.M., van Dijk, J.W.E., Verbeek, R.M.H., Borggreven, J.M.P.M., Rotgans, J. (1982)
Die anorganische Zusammensetzung und die Kariesempfindlichkeit des Zahnschmelzes.
Kariesprophylaxe 4, 37 - 42
 29. Eberle, G. (1985)
Fluoridkarte der Bundesrepublik Deutschland.
Wissenschaftliches Institut der Ortskrankenkassen (Hrsg) WidO- Materialien
Bd. 25, Bonn
 30. Einwag, J. (1983)
Bioverfügbarkeit von Fluoriden nach lokaler Anwendung.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 54 - 57

31. Einwag, J. (1983)
Fluorid Konzentrationen im Serum nach Löffelapplikation von Gelees mit unterschiedlichem Gehalt an Aminfluorid.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 650 - 654
32. Einwag, J. (1991)
Möglichkeiten der Fluoridanwendung.
DAJ, Schmelzhärtung zur Kariesprophylaxe, 12 - 23
33. Einwag, J., Hellwig, E., Hotz, P., Städtler, P., Bößmann, K. (1993)
Die relative karieshemmende Wirksamkeit von Aminfluorid und Natriumfluorid in kompatiblen Zahnpasten.
Quintessenz 44, 1697 - 1707
34. Einwag, J., Reich, E. (1990)
Mundgesundheitszustand bayrischer Grundschüler.
LAGZ
35. Ekstrand, J., Hardell, C.I., Spak, C.J. (1984)
Balance studies in infants in a 1 ppm fluoridation area.
Car Res 18: 87
36. Ekstrand, J., Whitford, G. (1988)
Fluoride metabolism.
Fluoride in dentistry. Munksgaard, Kopenhagen, 150
37. Erickson, J.C. (1980)
Down syndrom, water fluoridation and maternal age.
Teratology 21, 177
38. Ericsson, Y. (1974)
Report on the safety of drinking water fluoridation.
Car Res 8: 16
39. Fanning, E.A., Cellier, K.M., Leadbetter, M.M., Sommerville, C.M. (1975)
South Australien kindergarten children fluoride tablet supplements and dental caries.
Aus Dent J 20, 7
40. Forum Zahngesundheit (2002)
Was sind Fluoride?
Forum Zahngesundheit ISO 690-2 [online]: <http://www.gesundheit.de/-static/themen/gesundleben/zaehne/fluoride.html>
41. Gaba dental Deutschland (2002)
Meridol Zusammensetzung
ISO 690-2, letzte Aktualisierung 2002 [online]: www.gaba-dent.de/dental_profi/meridol_Mundspuel-Loesung.html

-
42. Gavin, G., O'Hickey, S., Attwood, D., Blinkhorn, D. (1992)
Incidence of enamel defects in children resident in Dublin.
J Dent Res 71, 543 Abst. 219
 43. Gedalia, I., Deutsch, D. (1983)
Fluoridverteilung in Zähnen von menschlichen Feten während der
Entwicklung.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 58 - 60
 44. Grobler, S. R., Janse van Regensburg, S. D., Rossouw, R. J., Holtshousen,
W. S. J. (1994)
The fluoride concentration in the drinking water of towns in the transversal,
Orange Free State Natal.
J Dent Assoc S Afr 49, 67 - 70
 45. Groeneveld, A., van Eck, A.A.M.J., Backer Dirks, O. (1990)
Fluoride in caries prevention: Is the effect pre- or posteruptive?
J Dent Res (Spec Iss) 69, 751
 46. Groenewald, A., Van Eck, A.A.M.J., Backer Dirks, O. (1990)
Fluoride in caries prevention: is the effect pre or posteruptive?
J Dent Res 69 (spec issue) 751
 47. Grunsven, M.F., Hoff, M., Henry, P.P., Purdell-Lewis, D. (1980)
Praktische preventie.
Rijks universiteit Groningen, Subfaculteit tandheelkunde 31, Groningen
 48. Gülzow, H.J. (1995)
Präventive Zahnheilkunde: Grundlage und Möglichkeit der Karies- und
Gingivitisprophylaxe.
Hanser München Wien
 49. Gülzow, H.J., Strübig, W. (1984)
Über die Notwendigkeit der kontinuierlichen Einnahme von Fluoridtabletten.
Dtsch Zahnärztl Z 39, 512
 50. Hagan, T.L., Parernak, M., Scholz, G.C. (1954)
Waterborne fluorides and mortality.
US publ Hlth Rep 69, 450
 51. Hellwig, E., Attin, K., Metke, W. (1993)
Beeinflusst eine Fluoridlack-Applikation die De- und Remineralisation von
kariösen initialen Läsionen in vitro?
Schweiz Monatsschr Zahnmed 103, 150 - 155
 52. Hellwig, E. (1996)
Fluoride – Chemie und Biochemie.
Dtsch Zahnärztl Z 51, 638 - 648

-
53. Henschler, D., Patz J. (1979)
Bioverfügbarkeit von Fluorid in Abhängigkeit von der Bindungsform und von Nahrungsbestandteilen.
Dtsch Zahnärztl Z 34: 710
 54. Hodge, H.C. (1956)
Fluoride metabolism: Its significance in water fluoridation.
JADA 52: 307
 55. Hodge, H.C., Smith, F.A., Gedalia, I. (1970)
Excretion of fluorides.
WHO-monographs series 59 WHO, Genf
 56. Hübers, B., Naujoks, R. (1980)
Zahngesundheitszustand 12- bis 14jähriger in zwei fluorendemischen Gebieten Nordbayerns.
Dtsch Zahnärztl Z 51, 649 - 654
 57. Knappwost, A. (1978)
Spekulationen und gesicherte Tatsachen über die physiologische Fluoridwirkung.
Kariesprophylaxe mit Fluorid. IME, Frankfurt 2. Auflage 1982
 58. König, K.G. (1971)
Der Stand der TWF in den Niederlanden.
Öff. Gesundheitswesen 33 Sonderheft 4: 190
 59. König, K.G. (1971)
Fluorid als Umweltfaktor.
Öff. Gesundheitswesen 33 Sonderheft 4: 146
 60. König, K.G. (1971)
Karies und Kariesprophylaxe.
Goldmann, München
 61. König, K.G. (1987)
Karies und Parodontopathien. Ätiologie und Prophylaxe.
Thieme, Stuttgart
 62. Krüger, B.J. (1968)
Ultrastructural change in ameloblasts from fluoride treated rats.
Arch. Oral. Biol: 13, 969
 63. Künzel, W. (1976)
Trinkwasserfluoridierung als kollektive vorbeugende Maßnahme.
VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin

-
64. Langer, H. Bauer, E., Binder, K. (1969)
Der Gebisszustand in einem Gebiet mit hohem Fluoridgehalt des
Trinkwassers.
Österr Z Stomat 66,2
 65. Larsen, M.J., Jensen, S.J. (1989)
Solubility, until cell dimensions and crystallinity of fluoridated human dental
enamel.
Arch Oral Biol 34, 969
 66. Lehman R., Buhe H., Sluka H. (1984)
Methoden und Mittel zur Kariesprophylaxe im kindlichen und jugendlichen
Gebiß.
Zahnärztl Welt 93, 1:54
 67. Lehmann, R. (1984)
Fluorid – Bedeutung, Wirkung, Grenzen.
Zahnärzteblatt Westf-Lippe, Sonderheft Januar 1984
 68. Lehmann, R. (1991)
Ökologie der Mundhöhle.
Thieme, Stuttgart New York 1991; 43
 69. Lemke, C.W., Doherty, J.M., Arra, M.C (1970)
Controlled fluoridation: the dental effects of discontinuation in Antigo.
J Am Dent Assoc 80, 782
 70. Leone et al. (1954)
Medical Aspects of excessive fluoride in a water supply.
Publ Health Report 69: 925
 71. Leverett, D. (1986)
Prevalence of dental fluorosis in fluoridated and non fluoridated
communities.
J Publ Health Dent 46, 184
 72. Marthaler, T.M. (1989)
A standardized system of recording dental conditions.
Helv Odond Acta 10, 1
 73. Marthaler, Th. (1979)
Kariesprophylaxe in ihrer aktuellen Bedeutung.
Kariesprophylaxe 1, 15 - 23
 74. Marthaler, Th. (1982)
Aktueller Stand der Salzfluoridierung. 1. Teil: Kariesprophylaktische
Wirksamkeit.
Kariesprophylaxe 4, 111 - 114

-
75. Marthaler, Th. (1984)
Aktueller Stand der Salzfluoridierung. 2. Teil: Urinfluoridkonzentration bei Wasser- und Salzfluoridierung.
Kariesprophylaxe 6, 74 - 76
 76. Marthaler, Th. (1987)
Sind heute einfache und gesicherte Empfehlungen zur Fluoridprophylaxe möglich?
Oralprophylaxe 9, 19 - 25
 77. Marthaler, Th. (1990)
Fluorid beim Kleinkind.
Schw. Mschr. Zahnmed. 7, 864 - 867
 78. Marthaler, Th. (1992)
Möglichkeiten und Wirksamkeiten der Kariesprophylaxe mit fluoridiertem Speisesalz.
Zahnärztl Praxis 43, 130 - 133
 79. McKay, F.S., 1945
Fluorine and mottled enamel.
WJ Gies (ed.): Fluorine in dental public health. New York, NY Institute of Clinical Oral Pathology: 10
 80. Menghini, G. (1990)
Kariesprophylaxe mit Fluoriden: Aktuelle Empfehlungen.
Schweiz Mschr Zahnmed 9, 1204 - 1205
 81. Micheelis, W., Bauch, J. (1989)
Mundgesundheitszustand und –verhalten in der Bundesrepublik Deutschland.
Deutscher Ärzteverlag, Köln
 82. Michel, G. (1995)
Das Münsterländer Becken als hydrogeologisches System.
Geologie im Münsterland, 118 -125
 83. Mühlemann, H.R. (1978)
Patientenmotivation mit individuellem Intensivprogramm für orale Gesundheit.
Prophylaxe. Ein Leitfaden für die tägliche Praxis. Quintessenz, Berlin
 84. Mühlemann, H.R. (1983)
Entwicklung der Aminfluoride und ihre Anwendung in der Kariesprophylaxe.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 3 - 5

-
85. Nair K. R., Manji, F., Gitonga, J.N. (1984)
The occurrence and distribution of fluoride in groundwaters of Kenya.
East Afr Med J 61 (7), 503 - 512
 86. Naujoks, R. (1978)
Kariesprophylaxe durch Fluoridanwendung.
Kariesprophylaxe mit Fluoriden. Sonderdruck IME, Frankfurt 2. Aufl. 1982
 87. Naujoks, R. (1983)
Effizienz und Ökonomie der Anwendungsformen von Fluoriden;
Zahnpasten.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 30 - 36
 88. Newesely (1978)
Fluorid für die Zahnschmelzbildung.
In: Kariesprophylaxe mit Fluorid. Sonderdruck IME Frankfurt 2. Aufl. 1982
 89. Newesely, H. (1981)
Über De- und Remineralisationsvorgänge in Oberflächenbereichen des
Zahnschmelzes.
Kariesprophylaxe 3, 61 - 65
 90. Nizel, A.E. (1981)
Nutrition in preventive dentistry.
W.B. Saunders Comp. Philadelphia
 91. Ogaard, B., Seppä, L., Rolla, G. (1994)
Relationship between oral hygiene and approximal caries in 15-year old
Norwegians.
Caries Res 28, 297
 92. Patz, J. (1975)
Pharmakokinetische Untersuchungen zum Fluorstoffwechsel.
Thieme, Stuttgart
 93. Patz, J., Karle, E.J. (1979)
Bioverfügbarkeit von Fluoriden bei der Ratte.
Dtsch Zahnärztl Z 34: 710
 94. Pendrys, D.G., Katz, R.V., Powell, E.A., Doherty, N. (1986)
Prevalence of fluorosis in a non-fluoridated population.
J Dent Res 65, 1406
 95. Pendrys, D.G., Stamm, J.W. (1990)
Relationship of total fluoride intake to beneficial effects and enamel
fluorosis.
J Dent Res 69, 529

-
96. Peters, E. (1984)
Stellungnahme zur TWF und die Argumentation der Gegner.
Zahnärztl Mitt 7: 737 - 748

 97. Pieper, K., Peters, R. (1991)
Orale Prophylaxe bei Xerostomiepatienten mit Aminfluorid/Zinnfluorid.
Flores-de-Jacoby (Hrsg.), Möglichkeit der Plaque- und Gingivitisprävention,
Quintessenz Berlin, 81 - 93

 98. Plasschaert, A.J.M., König, G. (1973)
Die Wirkung von Zahngesundheitsinformation und von Fluoridtabletten auf
den Karieszuwachs bei Schulkindern. Experimentelle Ergebnisse nach 2
Jahren Versuchsdauer.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 83, 421

 99. Reich, E., Schmalz, G., Bergmann, R.L., Bergler, H., Bergmann, K.E. (1992)
Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von
Fluoridtabletten.
Dtsch Zahnärztl Z 47, 232 - 234

 100. Richards, A., Fejerskov, O., Ekstrand, J. (1982)
Fluorid pharmacokinetics in the domestic pig.
J Dent Res 61, 9: 1099

 101. Rotgans, J., Rosendahl, R. (1983)
Ist die Fluoridanwendung schädlich für die Gesundheit?
Oralprophylaxe 5: 29

 102. Sakkab, N.Y., Cilley, W.A., Habermann, J.P. (1984)
Fluoride in deciduous teeth from an anti-caries clinical study.
J Dent Res 63, 1201

 103. Saxer, U.P. (1991)
Plauehemmung mit verschiedenen Konzentrationen von Aminfluorid und
Zinnfluorid.
Quintessenz Berlin, Flores-de-Jacoby (Hrsg.), Möglichkeit der Plaque und
Gingivitisprävention

 104. Schmalz, G., Wilfart, G., Reich, E., Hiller, K.A. (1993)
Entwicklungsbedingte Schmelzveränderungen bei niedriger
Fluoridkonzentration des Trinkwassers.
Dtsch Zahnärztl Z 48, 629

 105. Schöhl, H. (1972)
Schnelleres Altern durch überhöhte Fluoridzufuhr.
Schriftenreihe Erfahrungsheilkunde 21: 41

-
106. Schulte, A., Schiefer, M., Stoll, R., Pieper, K. (1996)
Fluoridkonzentration in deutschen Mineralwässern.
Dtsch Zahnärztl Z 51, 763 - 767
 107. Segreto, V.A., Collins, E.M., Camann, D., Smith, C.T. (1984)
A current study of mottled enamel in Texas.
J Am Dent Assoc 108, 56
 108. Silness, J., Løe, H. (1964)
Periodontal disease in pregnancy II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition.
Acta Odont Scand 22, 121
 109. Souci, S.W., Fachmann, W., Krant, H. (1985)
Zusammensetzung der Lebensmittel.
Wiss. Verl. Ges., Stuttgart
 110. Stadtwerke Münster (2002)
Mittelwerte der Trinkwasseranalyse.
Stadtwerke Münster GmbH online: http://www.stadtwerke-muenster.de/privatkunden/wasser/Trinkwasseranalyse_mittlere_Messwerte.cfm?seite=51
 111. Stamm, J.W. (1994)
Achievements in preventions.
Int Dent J 34, 66
 112. Steuer, W. (1989)
Probleme bei der Durchführung der Trinkwasserversorgung. Exemplarisch dargestellt an kleinen Wasserversorgungsunternehmen und Einzelwasserversorgungen in Baden - Württemberg.
Bundesgesundhbl 4/89, 140 - 144
 113. Stookey, G.K., De Paola, P.F., Featherstone, J.D., Fejerskov, O., Möller, I.J., Rotberg, S., Stephen, K.W., Wefel, J.S. (1993)
A critical review of the relative anticaries efficacy of sodium fluoride and sodium monofluorophosphate dentifrices.
Caries Res 27, 337 - 360
 114. Strubelt, O., Iven, H., Younes, M. (1982)
The pathophysiological Profile of the acute cardiovascular Toxicity of sodium Fluoride.
Toxicology 24, 313 - 323
 115. Strübig, W. (1981)
Über die Auswirkung der Trinkwasserfluoridierung auf den Fluoridgehalt des Oberflächenschmelzes.
Kariesprophylaxe 3, 113 - 115

-
116. Strübig, W., Aeckerle-Witten, B., Lange-v.d. Burchard, G. (1982)
Karies-statistische Ergebnisse nach 2jähriger Tablettenfluoridierung.
Öffent. Gesundheitswesen 44, 462
 117. Szupunar, S.M., Burt, B.A. (1987)
Trends in the prevalence of dental fluorosis in the United States.
J Pub Health Dent 47, 71
 118. Szupunar, S.M., Burt, B.A. (1988)
Dental caries, fluorosis and fluoride exposure in Michigan schoolchildren.
J Dent Res 67, 802
 119. Szupunar, S.M., Burt, B.A. (1992)
Evaluation of appropriate use of dietary fluoride supplementation in the United States.
Community Dent Oral Epidemiol 20, 148
 120. Ten Cate, J.M. (1990)
In vitro studies on the effects of fluoride on the de- and remineralization.
J Dent Res (Spec Iss) 69, 614
 121. Thylstrup, A (1990)
Clinical evidence of the role of pre-eruptive fluoride in caries prevention.
J Dent Res (Spec Iss) 69, 742
 122. Thylstrup, A., Fejerskov, O. (1994)
Textbook of clinical cariology.
2nd edition , Munksgaard, Copenhagen
 123. Thylstrup, A., Fejerskov, O., Bruun, C., Kann, J. (1979)
Enamel changes and dental caries in 7-year old children giving fluoride tablets from shortly after birth.
Caries Res 13, 265
 124. Thylstrup, A., Fejerskov, O. (1978)
Clinical appearance of dental fluorosis in permanent teeth in relation to histologic changes.
Community Dent Oral Epidemiol 6, 315
 125. Toth, S. (1990)
Über die Salzfluoridierung.
Oralprophylaxe 12, 3 - 9
 126. Trautner, K. (1987)
Fluorid aus Trinkwasser und Nahrung.
Dtsch Zahnärztl Z 10, 81 - 84

-
127. Trinkwasserverordnung (1991)
Einführung und Erläuterung für Wasserversorgungsunternehmen und
Überwachungsbehörden.
3. bearb. und erw. Auflage - Berlin - ISBN 3-503-03202-9
128. Tyler, J.E., Poole, D.F.G., Stack, M.V., Dowell, T.B. (1986)
Superficial fluoride levels and response to in vitro caries-like lesions
induction of enamel from Bristol (U.K.) and Birmingham (U.K.) human
deciduous teeth.
Arch Oral Biol 31, 201
129. Vollmer, C. (1993)
Untersuchungen über den Fluoridgehalt des Trinkwassers aus privaten
Wasserversorgungsanlagen der Region Rietberg 3 (Mastholte).
Med. Diss. Münster
130. Wagner, K.H. (1975)
Bedenken gegen die TWF.
Öffent. Gesundheitswesen 37: 799
131. Weidner, F., Bößmann, K. (1974)
Fluoridkonzentration im Trinkwasser Schleswig Holsteins.
Öffent. Gesundheitswesen 36, 662 - 667
132. Wetzel, W.E. (1996)
Dentalfluorose bei Fluoridmehrfachanwendungen.
Quintessenz 10, 1799 – 1807
133. Wilfart, G., Reich, E., Hiller, K.A. (1995)
Wirkung der Fluoridtablettengabe und des Mundhygiene- und
Ernährungsverhaltens auf den Kariesbefall.
Dtsch Zahnärztl Z 50, 813 - 815
134. Wilfart, G., Schmalz, G., Hiller, K.A., Reich, E. (1994)
Entwicklungsbedingte Schmelzveränderungen bei Kindern mit
unterschiedlicher Fluoridsupplementierung.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 879
135. WTW, (1988)
Fibel zur ionenselektiven Messtechnik.
WZW GmbH, Weilheim, Ob., FRG
136. Yiamouyiannis, J., Burk D. (1977)
Fluoridation and cancer: age dependence of cancer mortality related to
artificial fluoridation.
Fluoride 10, 3: 102 -123

-
137. Zentralinstitut für Ernährung der Akademie der Wiss. der DDR (1980)
Empfehlungen für die tägliche Energie- und Nährstoffaufnahme in der
Ernährungspraxis der Bevölkerung der DDR.
2. Aufl. Rehbrücke Potsdam

Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Name	Schütte
Vorname	Tobias
Geburtsdatum / -ort	15.11.1974 in Salzkotten
Familienstand	ledig
Konfession	römisch-katholisch
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Eltern	Ludger Schütte Irmgard Schütte geb. Deimel
Geschwister	Judith Schütte

Schulbildung

07/1981 – 08/1985	Grundschule Haaren
09/1985 – 06/1995	Mauritiusgymnasium Büren

Wehrdienst

07/1995 – 04/1996	Allgemeiner Wehrdienst beim Sanitätsbatallion Hildesheim und Heeresmusikkorps 100 in Münster
-------------------	--

Studium

04/1996 – 02/2002	Studium der Zahnmedizin an der WWU Münster
-------------------	---

Prüfungen

03/1998	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
03/1999	Zahnärztliche Vorprüfung
02/2002	Zahnärztliche Prüfung (Examen)

Berufliche Tätigkeit

04/2002 – dato	Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Poliklinik für Zahnerhaltung des Universitätsklinikums der Westfälischen- Wilhelms-Universität Münster Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. Ott
----------------	---

Hiermit bedanke ich mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr. W. Mathys ganz herzlich für die Überlassung des Themas und die engagierte Betreuung meines Promotionsvorhabens.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Herrn Univ.-Prof. Dr. K. Ott für zahlreiche Anregungen.

Mein Dank gilt Frau Dipl. Ing. Anni Bommer für die Unterstützung während der Laborauswertungen.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Markus Antonius Bruns für diverse Anregungen.

Meinen Eltern und meiner Schwester danke ich herzlich für ihre liebevolle Unterstützung während meines gesamten Studiums.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
PH	7,60	7,30	7,40	7,40	7,50	7,50	8,10
µS	1440,00	1304,00	1127,00	786,00	869,00	967,00	1960,00
m-Wert	4,50	6,00	4,20	2,40	4,20	4,80	10,96
Borate	0,07	8,57	0,29	0,15	0,34	0,69	3,85
Fluoride	0,23	0,24	0,11	0,00	0,10	0,38	4,93
Ca	12,20	57,66	70,00	49,30	41,23	36,69	7,30
Mg	0,87	12,55	12,41	8,89	11,37	7,83	1,95
Na	192,91	78,46	35,87	21,61	45,63	94,41	308,77
K	0,00	2,41	2,24	1,39	2,25	1,42	0,88
SO4	90,94	10,29	44,42	45,33	11,96	21,27	4,30
Li	0,00	0,04	0,03	0,01	0,03	0,04	0,08
Cl	76,79	61,34	64,76	32,68	37,34	52,67	146,61
Sr	0,00	7,69	3,93	5,17	9,30	4,99	1,74
NO3	3,29	3,02	1,64	0,39	0,00	0,61	0,00
NH4	0,00	0,00	0,00	0,10	0,87	0,59	1,17
Nr.	8	9	10	11	12	13	14
pH	8,10	7,30	7,60	8,30	7,30	7,40	7,20
µS	2000,00	1415,00	1234,00	1360,00	1640,00	918,00	970,00
m-Wert	13,74	9,08	7,38	9,80	6,66	5,26	3,56
Borate	4,60	1,03	1,90	1,97	0,28	0,84	0,31
Fluoride	9,64	0,38	3,06	2,03	0,15	0,83	0,00
Ca	6,99	56,88	33,10	4,89	157,64	48,33	62,73
Mg	2,35	12,19	6,81	1,20	16,37	5,68	7,25
Na	351,92	136,38	138,08	224,57	52,23	86,46	42,79
K	0,78	2,12	1,36	0,69	1,92	1,55	1,24
SO4	5,39	2,96	5,09	28,59	81,17	11,33	32,55
Li	0,09	0,05	0,03	0,06	0,02	0,28	0,02
Cl	113,56	64,73	39,46	33,52	133,49	42,14	53,87
Sr	5,39	7,44	2,18	1,30	1,82	2,10	2,54
NO3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	0,00	0,00
NH4	0,95	2,64	2,19	0,82	0,76	1,94	0,45
Nr.	15	16	17	18	19	20	21
pH	7,20	7,10	7,30	7,80	7,,7	7,60	7,10
µS	900,00	1247,00	1200,00	1927,00	1300,00	904,00	868,00
m-Wert	2,76	4,36	4,80	9,40	8,38	3,20	3,94
Borate	0,00	0,56	1,00	2,75	2,05	0,00	0,15
Fluoride	0,00	0,23	0,52	1,88	1,11	0,00	0,15
Ca	84,77	104,75	44,43	12,49	21,22	97,16	100,74
Mg	8,74	10,50	3,85	3,30	3,17	5,76	6,70
Na	19,31	73,83	104,55	290,67	197,29	18,39	24,21
K	1,30	1,59	1,19	0,96	0,68	1,46	1,20
SO4	24,64	75,48	38,77	5,28	17,77	47,30	67,29
Li	0,01	0,03	0,03	0,08	0,04	0,01	0,02
Cl	95,23	131,56	48,28	192,96	39,86	65,90	46,35
Sr	2,00	3,46	1,50	2,47	1,54	0,11	0,43
NO3	0,00	1,52	0,00	0,00	0,51	1,96	0,00
NH4	0,25	0,00	0,55	0,87	0,11	0,00	0,30

Nr.	22	23	24	25	26	27	28
pH	7,50	7,20	7,00	7,80	7,10	7,90	7,10
µS	964,00	777,00	1230,00	821,00	892,00	1040,00	730,00
m-Wert	6,24	3,60	4,56	6,40	11,20	6,60	3,24
Borate	0,94	0,28	0,00	0,92	0,26	1,05	0,27
Fluoride	0,42	0,20	0,00	0,12	0,00	0,55	0,21
Ca	24,50	64,71	119,06	13,62	91,40	9,87	62,72
Mg	8,23	9,09	8,89	4,30	6,71	3,07	9,39
Na	109,56	23,84	26,20	127,42	31,93	166,35	31,29
K	1,78	1,48	15,82	1,39	1,36	1,50	1,68
SO4	11,37	11,72	59,88	4,85	40,17	2,31	31,15
Li	0,06	0,02	0,02	0,06	0,02	0,07	0,02
Cl	24,51	48,15	69,45	15,11	34,80	11,13	41,24
Sr	8,21	3,17	0,00	3,68	1,49	2,81	6,25
NO3	0,00	0,00	11,48	0,00	0,00	0,00	0,00
NH4	1,04	0,36	1,31	1,02	0,96	1,26	0,74
Nr.	29	30	31	32	33	34	35
pH	7,20	7,70	7,50	7,20	7,10	7,40	7,21
µS	1182,00	3000,00	900,00	872,00	1360,00	1316,00	1132,00
m-Wert	6,80	8,48	3,00	3,20	5,30	4,96	4,72
Borate	0,76	2,36	0,14	0,10	0,00	0,00	0,98
Fluoride	0,46	1,85	0,10	0,39	0,00	0,00	0,92
Ca	50,90	14,56	82,96	91,83	130,18	115,53	71,86
Mg	11,87	6,85	8,18	1,51	6,46	7,54	5,74
Na	90,80	426,96	27,05	23,38	35,26	50,12	85,48
K	2,43	1,30	1,78	1,51	45,70	43,97	1,67
SO4	6,37	14,32	48,41	73,84	101,46	125,00	46,75
Li	0,04	0,12	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
Cl	41,57	543,19	69,39	44,45	48,75	93,32	36,92
Sr	6,54	5,78	1,53	0,06	0,34	0,36	0,63
NO3	0,00	0,00	0,00	0,92	23,73	0,55	0,00
NH4	3,12	1,32	0,11	0,07	0,11	3,28	0,32
Nr.	36	37	38	39	40	41	42
pH	7,40	7,50	6,90	7,60	7,20	7,10	7,20
µS	857,00	1630,00	1980,00	1644,00	917,00	862,00	1150,00
m-Wert	4,24	5,52	7,08	10,02	2,88	3,20	5,96
Borate	0,26	1,39	0,30	1,52	0,16	0,00	0,26
Fluoride	0,20	0,65	0,00	0,90	0,10	0,00	0,17
Ca	58,27	25,03	172,70	30,63	75,48	106,53	99,51
Mg	7,66	6,55	19,28	6,11	6,31	3,11	16,46
Na	40,38	192,08	68,35	223,93	27,37	15,57	34,02
K	1,22	1,25	3,43	1,89	1,20	1,37	3,02
SO4	19,46	32,28	134,92	3,23	39,79	74,30	68,75
Li	0,02	0,06	0,03	0,07	0,02	0,00	0,02
Cl	31,78	182,54	142,69	104,74	51,80	32,52	37,89
Sr	3,07	2,77	6,06	3,62	0,61	0,49	8,28
NO3	0,00	0,00	2,64	0,00	0,44	2,89	0,53
NH4	2,63	1,35	0,00	3,31	0,07	0,00	3,33

Nr.	43	44	45	46	47	48	49
pH	8,20	8,30	7,20	8,10	7,60	7,20	7,30
µS	2950,00	1670,00	1432,00	5000,00	1738,00	830,00	1400,00
m-Wert	18,08	12,52	6,22	15,42	8,40	4,06	8,70
Borate	5,08	4,28	0,14	4,98	1,49	0,17	1,18
Fluoride	6,17	5,25	0,00	4,73	0,81	0,00	0,32
Ca	5,65	5,12	136,29	9,83	62,13	21,86	35,50
Mg	2,11	1,16	16,95	4,44	10,30	10,10	15,60
Na	470,50	289,02	21,27	816,16	187,64	19,76	160,72
K	0,98	0,74	2,10	1,12	1,76	9,94	1,83
SO4	14,60	1,97	111,51	3,66	79,29	37,69	1,81
Li	0,14	0,09	0,01	0,20	0,06	0,06	0,06
Cl	133,99	15,70	54,84	979,40	98,09	30,92	49,02
Sr	2,51	1,24	4,35	6,28	8,33	2,72	6,50
NO3	0,00	0,00	2,31	0,00	1,85	2,89	0,00
NH4	1,37	1,02	8,60	1,71	0,22	0,95	1,25
Nr.	50	51	52	53	54	55	56
pH	7,70	7,40	8,20	7,00	7,70	7,90	7,50
µS	1082,00	1219,00	3200,00	920,00	1527,00	4500,00	990,00
m-Wert	5,42	5,30	15,96	3,52	11,46	19,76	7,70
Borate	0,50	0,20	3,82	0,00	2,66	4,18	0,74
Fluoride	0,15	0,20	5,34	0,00	2,11	4,32	0,04
Ca	69,00	115,00	7,50	9,90	24,80	14,00	57,10
Mg	18,80	15,40	3,20	14,20	14,00	11,40	21,60
Na	75,88	31,24	598,56	117,70	256,89	800,48	98,63
K	1,81	1,35	0,82	1,68	2,70	1,95	1,80
SO4	31,67	74,78	3,38	44,63	36,50	2,64	33,04
Li	0,04	0,02	0,10	0,01	0,07	0,13	0,04
Cl	66,78	46,74	503,95	62,11	59,33	744,66	9,31
Sr	7,20	6,80	1,90	0,86	7,50	6,20	13,30
NO3	1,94	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11
NH4	0,00	0,03	1,00	0,04	0,92	1,77	0,29
Nr.	57	58	59	60	61	62	63
pH	6,90	7,10	7,30	7,30	7,30	7,60	7,40
µS	1096,00	948,00	766,00	572,00	829,00	550,00	968,00
m-Wert	4,12	4,64	4,68	2,84	4,12	3,24	4,72
Borate	0,08	0,14	0,49	0,07	0,29	0,24	0,27
Fluoride	0,00	0,00	0,43	0,09	0,13	0,19	0,13
Ca	112,00	98,00	36,00	6,50	74,00	44,50	100,00
Mg	7,90	11,50	11,00	13,20	21,50	14,80	15,00
Na	23,50	28,26	79,50	13,00	32,40	28,50	59,60
K	2,50	1,40	1,30	1,30	3,10	1,66	1,70
SO4	75,59	53,45	9,18	57,93	48,68	13,76	71,37
Li	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03
Cl	47,70	37,81	34,50	29,80	59,48	34,45	76,20
Sr	1,50	5,30	3,40	2,60	10,00	34,45	3,05
NO3	2,19	0,00	0,00	0,00	15,51	0,00	0,00
NH4	0,00	0,30	0,50	0,24	0,62	0,99	0,70

Nr.	64	65	66	67	68	69	70
pH	7,20	7,30	7,50	7,60	7,30	7,50	7,20
µS	720,00	655,00	900,00	674,00	568,00	733,00	830,00
m-Wert	4,22	3,32	6,46	4,10	4,14	5,00	3,20
Borate	0,15	0,03	0,00	0,15	0,24	0,41	0,00
Fluoride	0,00	0,11	0,00	0,08	0,00	0,33	0,00
Ca	74,50	87,00	99,60	19,00	58,00	37,60	92,00
Mg	14,30	7,10	7,40	4,00	11,50	7,10	13,50
Na	42,30	12,30	27,80	103,70	26,50	89,90	27,20
K	1,30	0,60	1,60	0,50	5,40	1,20	2,00
SO4	71,13	66,02	72,02	31,06	11,04	12,91	41,61
Li	0,02			0,02	0,02	0,02	0,01
Cl	32,86	24,85	63,17	34,20	16,26	23,94	77,69
Sr	4,20			1,00	5,90	2,50	2,20
NO3	0,84	0,00	3,00	0,73	0,00	0,81	0,00
NH4	0,04	0,21	0,04	0,04	0,40	0,15	0,30
Nr.	71	72	73	74	75	76	77
pH	7,00	7,30	7,60	7,50	7,70	7,60	7,30
µS	859,00	631,00	910,00	666,00	710,00	564,00	494,00
m-Wert	4,02	2,34	6,38	3,68	5,56	4,50	3,10
Borate	0,20	0,00	1,55	0,46	1,15	0,67	0,12
Fluoride	0,00	0,00	1,20	0,33	0,65	0,09	0,00
Ca	87,29	91,72	27,73	42,64	16,34	27,31	53,50
Mg	8,94	2,79	4,98	6,45	3,10	4,24	7,35
Na	46,77	9,92	138,68	65,10	113,21	82,53	8,16
K	1,89	0,86	1,23	1,37	0,91	1,19	1,19
SO4	39,01	67,28	24,47	51,75	0,00	1,87	5,92
Li	0,02	0,00	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01
Cl	87,31	42,27	29,67	28,64	22,87	12,98	17,51
Sr	1,33	0,00	3,35	5,39	2,46	2,63	6,45
NO3	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	1,46	0,70
NH4	0,48	0,06	0,92	1,02	0,62	0,08	0,48
Nr.	78	79	80	81	82	83	84
pH	7,50	7,00	7,20	7,10	7,20	7,60	7,10
µS	790,00	870,00	747,00	792,00	633,00	1607,00	572,00
m-Wert	3,30	3,44	4,02	3,84	2,60	5,66	2,65
Borate	0,22	0,20	0,14	0,25	0,13	1,10	0,10
Fluoride	0,10	0,00	0,21	0,00	0,14	0,68	0,00
Ca	86,39	98,21	92,87	84,23	66,99	16,27	57,88
Mg	5,17	7,17	8,92	8,73	8,52	5,35	9,35
Na	39,88	25,60	16,00	51,44	29,33	243,35	24,08
K	4,04	1,58	1,62	1,93	1,31	1,28	2,71
SO4	78,81	36,23	33,22	28,79	83,56	2,99	68,95
Li	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01
Cl	33,04	66,92	37,74	49,15	25,81	288,46	29,34
Sr	0,17	0,42	1,04	4,50	3,27	4,43	1,33
NO3	78,81	0,00	0,00	3,67	0,00	0,00	0,23
NH4	0,04	0,27	0,29	0,06	0,26	1,65	0,11

Nr.	85	86	87	88	89	90	91
pH	6,70	7,20	7,60	7,20	6,90	6,90	7,00
µS	994,00	768,00	1480,00	552,00	662,00	796,00	915,00
m-Wert	3,16	2,56	12,78	1,88	2,70	2,06	2,00
Borate	0,16	0,12	2,50	0,00	0,12	0,00	0,00
Fluoride	0,26	0,00	2,91	0,00	0,31	0,00	0,00
Ca	113,77	87,89	17,56	66,16	70,32	109,14	138,99
Mg	13,40	12,32	4,90	5,72	9,33	9,19	8,49
Na	30,64	34,63	287,56	7,22	11,96	15,74	16,97
K	1,56	1,82	1,77	1,02	1,41	1,51	3,31
SO4	43,56	82,72	5,49	26,95	14,19	55,17	72,39
Li	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01
Cl	61,24	48,80	21,31	41,08	57,23	42,63	53,33
Sr	1,16	1,50	2,90	0,00	5,52	0,26	0,00
NO3	0,58	0,69	0,00	0,00	0,00	79,92	79,00
NH4	0,04	0,03	0,93	0,05	0,17	0,04	0,04
Nr.	92	93	94	95	96	97	98
pH	6,90	6,80	7,13	7,30	7,30	6,90	7,10
µS	662,00	680,00	847,00	740,00	825,00	1006,00	885,00
m-Wert	2,52	3,52	1,98	4,58	3,40	4,48	7,00
Borate	0,17	0,23	0,13	0,19	0,20	0,10	0,19
Fluoride	0,00	0,12	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	61,27	53,50	90,22	92,81	80,75	126,75	91,57
Mg	8,61	10,29	4,21	10,90	13,31	5,06	12,16
Na	20,42	29,58	19,31	10,76	20,07	15,17	21,22
K	1,91	1,98	16,11	1,82	2,09	1,80	1,73
SO4	3,40	3,70	44,13	31,71	51,51	49,71	31,91
Li	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
Cl	23,41	22,16	38,58	34,65	58,99	32,82	40,50
Sr	3,04	3,42	0,00	5,05	6,83	1,21	8,18
NO3	0,00	0,00	103,93	0,00	0,00	29,14	8,47
NH4	0,31	0,36	0,04	0,36	1,65	0,05	0,58
Nr.	99	100	101	102	103	104	105
pH	7,10	7,30	7,50	6,90	8,00	7,20	7,30
µS	1455,00	1750,00	1270,00	1050,00	4300,00	1195,00	1230,00
m-Wert	7,14	9,98	8,04	4,40	11,78	6,32	6,78
Borate	0,19	0,32	0,98	0,00	2,96	0,95	0,17
Fluoride	0,00	0,09	0,60	0,00	1,71	0,45	0,00
Ca	128,66	32,70	4,19	114,94	16,00	56,14	131,20
Mg	12,99	7,52	0,12	10,22	6,13	10,15	16,63
Na	38,98	277,56	234,29	16,22	752,35	108,62	26,50
K	26,01	1,20	0,04	2,40	1,71	1,68	2,62
SO4	82,92	89,49	13,19	66,02	2,90	47,88	72,30
Li	0,02	0,01	0,05	0,02	0,15	0,03	0,02
Cl	67,96	120,85	75,25	54,69	1076,73	35,43	28,28
Sr	2,25	6,57	0,00	4,84	8,13	2,21	9,71
NO3	2,50	2,91	0,00	0,37	0,00	0,00	3,12
NH4	1,42	0,04	0,13	0,27	1,47	0,52	0,03

Nr.	106	107	108	109	110	111	112
pH	7,30	7,20	7,30	7,50	7,40	8,00	7,80
µS	1199,00	974,00	1177,00	1225,00	1139,00	1222,00	1932,00
m-Wert	7,08	5,36	6,94	7,64	7,26	8,94	13,42
Borate	0,29	0,20	0,00	0,86	0,89	1,09	3,94
Fluoride	0,13	0,00	0,00	0,49	0,27	0,35	3,05
Ca	16,87	85,22	24,20	28,40	37,91	11,52	13,32
Mg	2,37	11,22	5,34	9,95	10,22	3,39	4,19
Na	178,43	36,52	161,82	166,59	137,50	225,19	363,58
K	0,70	2,32	1,70	1,79	1,96	1,94	3,17
SO4	69,04	31,40	46,88	14,73	25,30	25,33	12,00
Li	0,00	0,03	0,06	0,06	0,05	0,08	0,08
Cl	19,45	24,68	31,46	64,85	33,91	40,13	130,00
Sr	1,22	4,63	1,96	8,78	10,50	3,04	1,67
NO3	0,23	1,37	3,20	14,73	0,00	3,30	1,00
NH4	0,03	0,13	0,19	1,21	1,07	0,04	0,93
Nr.	113	114	115	116	117	118	119
pH	8,70	7,70	7,20	8,20	7,10	7,10	7,20
µS	1619,00	1048,00	1429,00	1926,00	1076,00	885,00	1382,00
m-Wert	13,24	6,78	7,10	13,66	4,80	5,54	5,40
Borate	2,92	0,72	0,83	0,08	4,07	0,42	0,11
Fluoride	3,44	0,17	1,30	0,25	3,81	0,00	0,14
Ca	2,76	29,49	47,00	5,94	125,19	70,46	165,12
Mg	0,59	9,90	8,00	1,63	2,65	11,60	9,70
Na	320,27	119,58	77,00	361,28	15,86	61,71	24,85
K	0,46	2,04	5,00	2,29	2,42	2,13	8,38
SO4	21,51	19,85	12,10	57,38	13,74	45,80	40,14
Li	0,08	0,06	0,03	0,09	0,00	0,03	0,02
Cl	137,58	21,00	59,00	53,75	84,89	15,10	17,31
Sr	0,51	9,36	1,90	0,65	1,33	4,85	2,06
NO3	0,85	0,47	16,00	13,74	0,00	30,75	0,84
NH4	0,71	1,50	0,03	0,89	0,04	0,33	0,04
Nr.	120	121	122	123	124	125	126
pH	7,40	7,50	7,60	7,20	7,80	6,90	8,30
µS	1338,00	1335,00	2420,00	921,00	1175,00	1310,00	1984,00
m-Wert	8,80	8,34	12,22	5,20	7,98	5,00	16,78
Borate	2,33	0,70	3,62	0,30	1,44	0,20	5,30
Fluoride	1,50	0,50	3,10	0,25	0,46	0,00	6,22
Ca	10,00	62,00	23,00	41,00	39,70	89,13	5,16
Mg	8,00	15,00	5,00	14,00	7,90	17,05	1,49
Na	180,00	85,00	260,00	26,00	159,50	32,65	401,58
K	1,00	7,60	6,00	2,00	2,45	3,33	0,62
SO4	15,00	46,00	18,00	29,00	20,53	48,18	3,35
Li	0,07	0,04	0,08	0,03	0,08	0,04	0,12
Cl	34,00	47,00	230,00	32,00	36,60	62,01	52,64
Sr	2,77	10,50	1,59	6,50	7,82	18,04	1,63
NO3	9,00	1,00	4,00	0,00	6,49	0,91	0,24
NH4	0,24	0,05	0,32	0,40	1,19	0,56	0,93

Nr.	127	128	129	130	131	132	133
pH	6,90	6,80	6,70	7,00	6,60	8,00	7,60
µS	1305,00	1315,00	890,00	941,00	1158,00	1239,00	1323,00
m-Wert	3,42	3,92	2,82	2,40	2,58	5,40	7,22
Borate	0,29	0,17	0,00	0,12	0,00	1,26	1,65
Fluoride	0,00	0,12	0,00	0,00	0,17	0,88	1,23
Ca	85,46	116,24	93,69	90,27	114,08	35,35	20,06
Mg	8,17	9,96	6,99	5,45	3,16	7,12	6,19
Na	61,69	27,89	12,57	14,70	16,56	163,00	212,55
K	2,78	23,09	2,58	1,07	1,42	5,09	1,50
SO4	53,47	84,69	63,18	99,13	69,74	27,39	54,73
Li	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,06
Cl	77,08	51,77	27,20	38,09	23,98	138,14	91,09
Sr	4,11	1,88	1,20	0,77	0,74	6,49	4,56
NO3	78,74	26,22	29,18	0,00	94,58	5,50	0,00
NH4	0,05	0,50	0,08	0,25	0,01	0,98	1,56
Nr.	134	135	136	137	138	139	140
pH	7,40	8,10	7,70	7,00	7,40	7,50	7,10
µS	775,00	1543,00	1162,00	1170,00	760,00	860,00	1062,00
m-Wert	4,04	10,40	7,50	4,44	4,00	6,56	5,80
Borate	0,63	2,93	1,52	0,00	0,61	0,62	0,53
Fluoride	0,63	4,05	1,22	0,00	0,50	0,35	0,12
Ca	33,32	10,28	35,06	115,61	34,11	44,96	70,08
Mg	6,29	2,06	5,95	7,68	7,29	6,47	10,40
Na	93,87	278,13	157,24	19,16	65,66	84,90	68,32
K	10,59	0,96	1,36	2,61	1,54	1,70	1,72
SO4	51,82	6,83	36,88	115,40	44,81	14,97	48,31
Li	0,03	0,06	0,04	0,00	0,02	0,03	0,03
Cl	46,99	72,17	52,77	51,06	33,85	25,61	24,65
Sr	4,18	1,70	4,58	0,73	5,86	3,96	7,84
NO3	0,27	0,00	0,00	1,89	0,00	0,00	14,58
NH4	1,59	0,71	1,38	0,25	1,61	8,90	0,01
Nr.	141	142	143	144	145	146	147
pH	8,10	7,00	7,10	7,20	7,10	7,20	7,10
µS	2600,00	1038,00	1104,00	1295,00	1022,00	997,00	1073,00
m-Wert	9,54	4,44	4,90	6,92	6,01	5,40	5,24
Borate	2,27	0,18	0,27	0,83	0,36	0,33	0,22
Fluoride	0,88	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00
Ca	15,16	85,47	75,75	44,05	75,89	67,45	69,37
Mg	5,85	9,42	10,36	9,55	12,72	12,29	10,34
Na	409,95	27,54	37,44	124,17	62,97	51,48	72,72
K	1,65	2,27	1,85	2,43	2,57	2,14	1,89
SO4	23,02	41,23	52,44	12,86	33,76	37,92	64,06
Li	0,14	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03
Cl	449,93	28,01	31,08	47,91	43,03	33,67	35,82
Sr	5,98	2,88	8,47	5,50	9,57	6,93	64,06
NO3	2,95	36,55	0,00	0,00	4,21	3,07	20,97
NH4	0,40	0,03	0,01	0,87	0,32	0,54	0,01

Nr.	148	149	150	151	152	153	154
pH	7,20	6,90	7,20	7,40	7,30	7,40	7,30
µS	832,00	1057,00	1378,00	1058,00	1086,00	500,00	830,00
m-Wert	5,20	4,70	6,16	6,00	4,40	3,20	3,76
Borate	0,27	0,14	0,21	0,40	0,23	0,17	0,22
Fluoride	0,00	0,00	0,00	0,18	0,12	0,18	0,00
Ca	81,87	93,07	118,42	80,61	95,50	42,25	60,32
Mg	11,22	10,76	8,95	13,95	14,42	7,97	9,87
Na	9,21	14,50	58,29	60,84	30,75	10,64	40,60
K	2,04	2,51	3,10	3,54	1,71	1,87	2,36
SO4	15,73	53,66	71,03	68,27	81,49	14,32	57,81
Li	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03
Cl	23,04	45,77	65,23	39,33	101,92	11,73	39,14
Sr	13,07	1,71	3,74	12,02	7,73	3,94	6,34
NO3	0,00	7,84	34,57	11,01	2,16	0,00	8,43
NH4	0,22	0,00	0,00	0,45	0,56	1,17	0,31
Nr.	155	156	157	158	159	160	161
pH	7,40	7,80	8,20	7,10	7,40	8,00	7,30
µS	955,00	834,00	2060,00	605,00	769,00	950,00	1365,00
m-Wert	5,00	5,86	12,64	2,30	5,40	7,26	6,96
Borate	0,50	0,98	2,40	0,00	0,62	1,59	0,85
Fluoride	0,24	0,96	1,28	0,00	0,20	0,77	0,39
Ca	42,16	8,65	6,13	58,20	54,40	11,01	61,00
Mg	7,19	2,24	2,32	7,85	8,65	20,71	9,99
Na	86,23	144,19	380,39	8,57	51,56	166,87	149,08
K	1,85	0,98	0,85	1,84	1,88	1,07	2,25
SO4	49,87	9,45	22,17	42,79	15,64	2,77	31,42
Li	0,03	0,05	0,12	0,01	0,04	0,05	0,03
Cl	27,50	1,98	195,18	46,09	25,30	18,55	134,18
Sr	6,01	30,83	2,79	2,49	5,95	3,21	7,23
NO3	1,22	0,34	0,00	1,47	0,00	1,55	0,00
NH4	0,00	0,35	0,92	0,00	0,95	0,00	1,18
Nr.	162	163	164	165	166	167	168
pH	7,00	7,10	7,30	7,00	7,70	7,30	7,90
µS	950,00	973,00	1250,00	1124,00	1222,00	1104,00	3150,00
m-Wert	5,00	3,14	7,20	4,44	7,60	6,96	9,52
Borate	0,00	0,00	1,22	0,00	0,88	0,78	2,75
Fluoride	0,00	0,00	0,60	0,00	0,70	0,11	1,35
Ca	121,61	93,08	60,91	115,39	2,25	44,07	21,29
Mg	5,51	3,54	13,67	11,23	8,83	11,99	5,64
Na	17,86	35,23	92,94	22,90	165,86	99,83	500,73
K	13,75	1,28	1,93	5,38	2,25	6,57	1,51
SO4	112,75	47,22	16,94	91,78	56,27	14,75	2,58
Li	0,00	0,01	0,04	0,03	0,09	0,07	0,15
Cl	21,40	115,90	54,34	70,11	52,18	56,02	646,27
Sr	0,00	1,13	19,88	1,48	9,55	14,96	3,46
NO3	0,00	6,96	1,38	17,61	0,00	0,25	0,00
NH4	0,08	0,00	0,00	0,00	1,97	1,97	1,08

Nr.	169	170	171	172	173	174	175
pH	7,20	8,40	7,00	7,20	7,40	7,40	7,60
µS	890,00	1254,00	1095,00	653,00	1327,00	976,00	1020,00
m-Wert	6,28	8,60	7,20	3,90	7,92	7,92	7,12
Borate	0,50	2,06	0,55	0,36	1,79	0,18	0,74
Fluoride	0,00	1,16	0,08	0,13	1,67	0,44	0,33
Ca	46,20	6,13	90,23	58,35	66,48	51,38	40,56
Mg	11,13	1,76	18,63	10,43	8,65	9,38	9,70
Na	71,67	233,74	48,09	13,94	155,72	96,51	119,49
K	2,33	0,71	1,94	1,48	2,79	1,48	1,67
SO4	27,11	50,91	57,65	26,57	55,28	14,64	21,30
Li	0,05	0,07	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06
Cl	20,89	33,44	47,65	34,27	82,43	26,21	28,11
Sr	14,06	1,88	13,50	9,22	4,32	2,02	3,32
NO3	0,00	0,23	0,20	0,00	0,92	0,00	1,04
NH4	1,25	0,72	1,37	0,57	0,51	0,30	0,00
Nr.	176	177	178	179	180	181	182
pH	7,80	7,50	7,40	7,30	7,00	7,10	7,10
µS	1099,00	1200,00	1189,00	1343,00	1101,00	820,00	831,00
m-Wert	8,16	8,16	6,26	7,50	4,90	5,28	6,50
Borate	1,11	1,10	0,68	2,04	0,34	0,22	1,54
Fluoride	0,55	0,56	0,68	1,41	0,22	0,26	0,24
Ca	21,23	32,49	84,46	37,70	91,58	65,75	10,35
Mg	3,29	5,05	9,75	7,01	13,13	13,71	3,80
Na	186,78	188,53	83,46	177,45	44,61	35,12	141,43
K	0,96	5,65	1,74	1,47	2,20	2,47	1,19
SO4	28,23	50,64	61,39	55,89	55,51	16,21	0,24
Li	0,07	0,06	0,03	0,08	0,03	0,04	0,08
Cl	23,99	92,92	72,59	77,64	99,63	38,04	22,98
Sr	2,35	2,85	1,61	5,36	10,40	13,26	4,32
NO3	0,78	3,23	4,03	0,44	0,95	2,30	0,00
NH4	0,25	1,37	0,07	1,04	0,32	0,00	1,39
Nr.	183	184	185	186	187	188	189
pH	7,20	7,10	7,40	7,60	7,30	8,10	7,90
µS	632,00	957,00	730,00	672,00	871,00	1670,00	785,00
m-Wert	3,54	4,28	4,00	4,38	3,80	10,98	5,20
Borate	0,34	0,21	0,53	0,55	0,15	3,68	0,65
Fluoride	0,14	0,00	0,42	0,35	0,09	4,77	0,68
Ca	48,00	88,18	42,94	22,50	81,05	5,81	24,96
Mg	9,55	11,61	7,24	7,10	8,57	2,09	9,44
Na	18,09	30,20	51,28	73,34	28,73	305,10	68,94
K	1,43	1,40	1,35	1,44	1,11	0,90	2,17
SO4	10,60	52,77	28,37	2,58	54,36	4,77	0,00
Li	0,03	0,02	0,03	0,04	0,01	0,11	0,03
Cl	32,54	67,75	30,53	27,71	60,46	122,71	11,31
Sr	8,83	1,10	4,88	6,66	0,13	2,35	5,29
NO3	0,00	4,11	2,96	0,00	3,60	0,00	0,00
NH4	0,55	0,65	0,06	1,18	0,15	1,26	1,69

Nr.	190	191	192	193	194	195
pH	7,70	7,40	8,00	7,30	7,70	8,00
µS	1206,00	976,00	1062,00	723,00	1125,00	1546,00
m-Wert	6,40	5,04	6,62	4,04	8,70	10,84
Borate	1,29	0,79	2,03	0,24	1,42	3,09
Fluoride	0,60	0,30	2,29	0,14	0,58	1,66
Ca	33,44	42,11	15,71	52,06	13,10	7,82
Mg	5,16	9,05	3,92	7,35	2,30	1,67
Na	169,93	92,66	185,94	40,09	209,82	289,13
K	1,18	1,59	0,85	1,06	0,96	0,88
SO4	2,72	49,78	15,86	20,54	3,60	1,08
Li	0,05	0,05	0,06	0,02	0,06	0,08
Cl	132,79	50,82	80,66	23,37	37,37	86,97
Sr	3,00	5,75	2,37	2,70	1,63	1,65
NO3	0,40	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00
NH4	1,31	1,16	1,24	0,00	0,92	1,03
Nr.	197	198	199	200		
pH	7,60	7,80	8,00	8,00		
µS	707,00	748,00	858,00	551,00		
m-Wert	3,52	4,44	5,44	3,70		
Borate	0,46	0,32	0,73	0,22		
Fluoride	0,46	0,26	0,56	0,15		
Ca	24,50	31,95	25,06	22,06		
Mg	3,77	6,39	3,57	5,58		
Na	85,46	68,98	121,99	60,72		
K	1,10	1,32	1,32	2,21		
SO4	29,04	17,06	12,04	21,16		
Li	0,03	0,02	0,03	0,03		
Cl	36,98	36,87	47,19	33,42		
Sr	2,85	3,08	0,97	5,60		
NO3	0,00	0,31	2,50	0,00		
NH4	0,91	1,69	0,00	2,76		

Fragebogen zur Eigenwasserprobe

Probe Nr.:

Adresse:		Rechtswert: Hochwert: Entnahmedatum:
----------	--	--

Angaben zum Brunnen / Bohrloch:

Bohrbrunnen Schachtbrunnen unbekannt

Lage des Brunnens:

Nähe Haus im Garten im Feld im Wald

Entfernung zum Haus: m

Filterstrecke (soweit bekannt): m

Baujahr Firma

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

Existiert eine Wasseraufbereitung? ja nein

Wenn ja welche?

einstufige mehrstufige offen geschlossen

Enteisung Entmanganung Nitrifizierung

Enthärtung Umkehrosmose Hersteller

Trübung des Wassers?

Leitfähigkeit vor Ort:

Angaben zum Verbrauchsverhalten:

Seit wann lebt die Familie im Haus?

Wie viele Familien leben im Haus?

Seit wann nutzt die Familie das Wasser?

Wie viele Personen sind angeschlossen?

Wie viele Erwachsene?

Wie viele Kinder?

Alter der Kinder?

Für welchen Zweck wird das Wasser verwendet?

Trinken Kochen Zubereitung von Babynahrung andere

Sodastream Gerät vorhanden? ja nein

Wie hoch schätzen sie den Trinkwasserverbrauch getrennt nach Personen ein?

Abbildungsverzeichnis

	Seite	
Abb. 1	Anteil freier Fluoridionen in Abhängigkeit des pH-Wertes	40
Abb. 2	Ortsverteilung der untersuchten Brunnen	47
Abb. 3	Untersuchungsgebiet	48
Abb. 4	Brunnentiefen	49
Abb. 5	Jahr der Brunnenbohrung	49
Abb. 6	Prozentualer Anteil der Wasseraufbereitungsanlagen an der Gesamtzahl der Eigenwasseranlagen	50
Abb. 7	Art der Wasseraufbereitung	50
Abb. 8	Angeschlossene Familien pro Anlage / Bohrloch	51
Abb. 9	Verhältnis kinderloser Familien zu Familien mit Kindern	52
Abb. 10	Anteil Kinder an der Gesamtpersonenzahl	52
Abb. 11	Altersaufteilung der Kinder	53
Abb. 12	Trinkverhalten der Haushalte	54
Abb. 13	Herstellung von Mineralwasser mittels Sodastreamgerät	54
Abb. 14	Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Kopf	55
Abb. 15	Fluoridwertkategorien der untersuchten Eigenwasserproben	55
Abb. 16	Fluorid- und Boratkonzentration im Vergleich	56
Abb. 17	Natrium-Konzentrationen	57
Abb. 18	Kalium-Konzentrationen	57
Abb. 19	Kalzium-Konzentrationen	58
Abb. 20	Magnesium-Konzentrationen	59
Abb. 21	Nitrat-Konzentrationen	60
Abb. 22	Ammonium-Konzentrationen	61
Abb. 23	Chlorid-Konzentrationen	62
Abb. 24	Sulfat-Konzentrationen	63
Abb. 25	Borat-Konzentrationen	64
Abb. 26	Fluorid-Konzentrationen	64
Abb. 27	pH-Wert-Verteilung	66
Abb. 28	Leitfähigkeits-Verteilung	66
Abb. 29	Streudiagramm Fluorid / Borat	68
Abb. 30	Streudiagramm Fluorid / Leitfähigkeit	68
Abb. 31	Streudiagramm Fluorid / m-Wert	69
Abb. 32	Streudiagramm Fluorid / Kalzium	69

Abb. 33	Streudiagramm Fluorid / Magnesium	70
Abb. 34	Streudiagramm Fluorid / Lithium	70
Abb. 35	Streudiagramm Fluorid / Natrium	71
Abb. 36	Streudiagramm Borat / m-Wert	72
Abb. 37	Streudiagramm Borat / Leitfähigkeit	73
Abb. 38	Streudiagramm Borat / Natrium	73
Abb. 39	Streudiagramm Borat / Kalzium	74
Abb. 40	Streudiagramm Leitfähigkeit / m-Wert	75
Abb. 41	Durchschnittliche Fluorid- und Boratkonzentration	78
Abb. 42	Grenzwertüberschreitungen der Fluoridkonzentrationen	80
Abb. 43	Grenzwertüberschreitungen der Boratkonzentrationen	83

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tab. 1	Fluoridkonzentrationen einer Auswahl versch. Lebensmittel	3
Tab. 2	Fluorid-Konzentration im menschlichen Organismus	4
Tab. 3	Fluoridgehalt verschiedener Mineral- und Heilwässer	11
Tab. 4	Schädigung durch chronische Fluoridüberdosierung	13
Tab. 5	Vergleich der Fluoridgehalte unterschiedlicher Kinderzahnpasten	15
Tab. 6	Inhaltsstoffe von Meridol®	25
Tab. 7	Übersicht über die Fluoridierungsprogramme in der Welt	27
Tab. 8	Fluoridsupplementierung der DGZMK	29

Abkürzungsverzeichnis

a = Jahr

AMF = Aminfluorid

Br⁻ = Brom

bzw. = beziehungsweise

Ca²⁺ = Kalzium-Ion

CDTA = Cyclohexyldiamintetracetat

Cl⁻ = Chlorid

CLD = Certainly Letal Dosis

d = Tag

DDE-Index = Developmental Defects of Enamel Index

DDR = Deutsche Demokratische Republik

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

dmfs = decayed missed filled surfaces

dmft = decayed missed filled teeth

Dr. = Doktor

F⁻ = Fluorid

(HCO₃)⁻ = Hydrogencarbonat-Ion

HF = Fluorwasserstoff

J⁻ = Jod-Ion

kg = Kilogramm

l = Liter

LaF₃ = Lanthanfluorid

log = Logarithmus

m³ = Kubikmeter

M = mol

MFP = Monofluorphosphat

mg = Milligramm

Mg²⁺ = Magnesium

m-Wert = Säurekapazität Ks 4,3 ~ m-Wert entspricht 2,8° dH

Karbonathärte

MTVO = Mineralwasser- und Tafelwasserverordnung

Mrd. = Milliarde

Na₂SiF₆ = Natriumsilikofluorid

NaCl = Natriumchlorid
NaF = Natriumfluorid
NaMFP = Natriummonofluorphosphat
(NO₃)⁻ = Nitrat
(OH)⁻ = Hydroxylgruppe
PO₄³⁻ = Phosphat
ppm = parts per million
Prof. = Professor
PTD = Probably Toxic Dose
PVC = Poly-Vinyl-Chlorid
S = Siemens = 1S = 1A/V = 1W⁻¹
SF = Salzfluoridierung
SnF = Zinnfluorid
(SO₄)²⁻ = Sulfat
TBF = Tablettenfluoridierung
TISAB = Total Ionic Strength Adjustment Buffer
TWF = Trinkwasserfluoridierung
v. a. = vor allem