

Zum Beitrag von Mineral- und Leitungswasser zur entwicklungsphasenabhängigen Aufnahme
zahnbildender Mineralstoffe (Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählten Seltenen
Erden wie Lanthan und Cer) mit der Nahrung

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades
einer Doktorin der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigte

Dissertation

von Kristin Elisabeth Holzhausen
aus Braunschweig

1. Referent: apl. Professor Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Ewald Schnug
2. Referent: Professor Dr. Peter Winterhalter
eingereicht am: 12.10.2015
mündliche Prüfung (Disputation) am: 10.12.2015

Druckjahr 2016
Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig,
Fakultät für Lebenswissenschaften

Für meine "kleine Oma" Elisabeth

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Herrn Professor Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Ewald Schnug für die freundliche Überlassung des Themas sowie für seine Inspiration, die mich jederzeit motivierte und für die geduldige und wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Geogr. Frank Jacobs für die Unterstützung bei der Anlage der Metadatenbank.

Wertvolle Hilfe in Sachen Aufbereitung und Auswertung der erhobenen Daten in Form von Tabellen und Abbildungen bekam ich von Herrn Dipl.-Ing. Thomas Freese, der mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Frau Dr. Silvia Haneklaus und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde gebührt ein großer Dank für die freundschaftliche und kollegiale Unterstützung insbesondere bei der Aufbereitung und Auswertung des Datenmaterials.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Kay Hattwig für die Durchsicht und Formatierung sowie für die Unterstützung beim Layout dieser Arbeit.

Für den kreativen Freiraum, der mir durch die stetige Geduld meiner Angehörigen, meines Lebensgefährten Herrn Torsten Fröhlich und meines Freundes- und Kollegenkreises verschafft wurde, möchte ich mich in aller Liebe bedanken. Ohne solchen Rückhalt im Rahmen meiner Promotion wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Die vorliegende Arbeit widme ich in tiefer Verbundenheit meiner "kleinen Oma" Elisabeth, die fortwährend an mich geglaubt hat und ohne deren Hilfe das Studium der Zahnheilkunde nicht möglich gewesen wäre. Sie hat mir meinen Lebenstraum erfüllt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Material und Methoden.....	10
2.1 Herkunft der Mineral- und Leitungswasserproben.....	10
2.2 Analytische Methoden.....	11
2.2.1 Bestimmung der Elemente.....	11
2.2.2 Qualitätssicherung analytischer Daten.....	14
2.3 Ernährungsszenarien als Vergleichsgrundlage.....	15
2.3.1 Entwicklung standardisierter Ernährungsszenarien.....	15
2.3.2 Entwicklungsphasenabhängige Ernährungsszenarien.....	19
2.3.3 Bedarfszahlen und physiologische Grenzwerte.....	21
2.4 Metadaten für die Elementgehalte in fester Nahrung.....	22
2.5 Statistische Methoden und Originaldaten.....	23
3 Bedeutung von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählten Seltenen Erden wie Lanthan und Cer für die menschliche Ernährung unter besonderer Berücksichtigung der Zahnbildung und -gesundheit.....	24
3.1 Allgemeine Zahnentwicklung.....	24
3.2 Calcium.....	30
3.4 Fluor.....	39
3.5 Strontium.....	45
3.6 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer).....	48
4 Vorkommen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in festen Nahrungsmitteln.....	55
5 Vorkommen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in Trinkwasser.....	61
5.1 Elementkonzentrationen in Mineralwässern unterschiedlichen Gesamtlösungs- inhaltes.....	61
5.2 Häufigkeitsverteilung der Elementkonzentrationen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in deutschen Mineralwässern und deutschen.....	

	Leitungswässern im Vergleich	63
	5.3 Beziehungen der Korrelation von Ca, P, F, Sr, La und Ce in deutschem Mineralwasser	75
	5.4 Regionale Verteilung der Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce im deutschen Leitungswasser	77
6	Beitrag von Mineral- und Leitungswässern zur täglichen Aufnahme von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählter Seltener Erden wie Lanthan und Cer in verschiedenen Ernährungsszenarien	79
	6.1 Calcium	80
	6.2 Phosphor.....	82
	6.3 Fluor	84
	6.4 Strontium.....	87
	6.5 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer)	89
7	Bedeutung des Beitrages von Mineral- und Leitungswässern für die Aufnahme von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählter Seltener Erden wie Lanthan und Cer in verschiedenen Entwicklungsstadien des Menschen unter besonderer Berücksichtigung der Zahnbildung und -gesundheit	93
	7.1 Calcium	93
	7.2 Phosphor.....	95
	7.3 Fluor	96
	7.4 Strontium.....	98
	7.5 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer)	99
8	Diskussion	102
9	Schlussfolgerung	107
10	Zusammenfassung.....	110
11	Abstract (Contribution of mineral- and tap waters to the development stage depending dietary intake of calcium, phosphorus, fluorine, strontium and selected rare elements by humans)	111
12	Literatur	112
13	Abkürzungsverzeichnis	130
14	Anhang	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zur Elementbestimmung in Mineral- und Leitungswässern eingesetzte Analysemethoden.	11
Tabelle 2: Anzahl verfügbarer Datensätze für Ca-, P-, F-, Sr-, La- und Ce-Konzentrationen in deutschem Leitungswasser und Größe der Population mit potentiellm Zugang zu Wasser dieser Qualität.....	12
Tabelle 3: "Standardernährung", abgeleitet aus der Ernährungspyramide.....	16
Tabelle 4: Durchschnittlicher Energiegehalt von Nahrungsmittelkategorien..	16
Tabelle 5: Relativer Anteil der unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien zur Deckung eines täglichen Energiebedarfs von (2.000 kcal) bei unterschiedlichen Ernährungstypen.....	18
Tabelle 6: Durchschnittlicher Verbrauch (g/d) der unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien bei einem Energiegehalt von 2.000 kcal/d bei unterschiedlichen Ernährungstypen.....	18
Tabelle 7: Altersabhängige Zufuhr (g/d) an Nahrungsmittelkategorien einer Standardernährung.	20
Tabelle 8: Referenzwerte für die tägliche Nährstoffzufuhr	22
Tabelle 9: Metadatenstrukturen.....	23
Tabelle 10: Zusammensetzung der Zahnhartsubstanzen nach Gewichts- und Volumenprozent	25
Tabelle 11: Zeitlicher Ablauf der Milchzahnentwicklung (1. Dentition)	26
Tabelle 12: Zeitlicher Ablauf der Entwicklung der bleibenden Zähne (2. Dentition)	26
Tabelle 13: Anorganische Zusammensetzung der Zahnhartsubstanzen in Prozent des Trockengewichtes.....	28
Tabelle 14: Durchschnittliche Durchbruchszeiten der Milchzähne	29
Tabelle 15: Durchschnittliche Durchbruchszeiten der permanenten Zähne	29
Tabelle 16: Alters- und geschlechtsspezifischer Mehrbedarf von Ca anhand der Nationalen Verzehrsstudie.....	34
Tabelle 17: Anamnestischen Beurteilung des F-Gehaltes von Mineralwasser.....	44

Tabelle 18: Sr-Gehalte im menschlichen Körper	46
Tabelle 19: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (mg/kg) in den Nahrungsmittelkategorien "Getreide und Getreideprodukte", "Gewichtete tierische Produkte"	59
Tabelle 20: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (mg/kg) in den Nahrungsmittelkategorien "Milch, Eier und Produkte daraus" und "Gemüse/Früchte und Produkte daraus"	60
Tabelle 21: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (Ca: mg/L alle anderen: µg/L) mit geringem (TDS<500) und hohem (TDS>1.500) Gesamtlösungsinhalt.....	62
Tabelle 22: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (Ca: mg/L alle anderen: µg/L) in Mineralwässern weltweiter (ohne deutsche Herkünfte) und deutscher Herkunft und deutschem Leitungswasser.....	63
Tabelle 23: Ca-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen)	65
Tabelle 24: P-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 455, insgesamt betroffene Personenzahl = 6,8 Millionen)	67
Tabelle 25: F-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen)	69
Tabelle 26: Sr-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen)	71
Tabelle 27: La-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen)	73
Tabelle 28: Ce-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen)	74

Tabelle 29: Einfache Korrelationskoeffizienten ($p < 0,05$) für Elementpaare in deutschem Leitungswasser.	75
Tabelle 30: Regionale (Postleitzahlregionen) Unterschiede in den Ca-, P-, F-, Sr-, La- und Ce-Konzentrationen im deutschen Leitungswasser	77
Tabelle 31: Mittlere Ca-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ca-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	81
Tabelle 32: Mittlere P-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen P-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	83
Tabelle 33: Mittlere F-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen F-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	86
Tabelle 34: Mittlere Sr-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Sr-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	88
Tabelle 35: Mittlere La-Aufnahme ($\mu\text{g/d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen La-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	91
Tabelle 36: Mittlere Ce-Aufnahme ($\mu\text{g/d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ce-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).....	92
Tabelle 37: Mittlere Ca-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ca-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Aufnahme	94
Tabelle 38: Mittlere P-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen P-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen P-Aufnahme	95
Tabelle 39: Mittlere F-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen F-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme	97

Tabelle 40: Mittlere Sr-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Sr-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Sr-Aufnahme.....	98
Tabelle 41: Mittlere La-Aufnahme (µg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen La-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme	100
Tabelle 42: Mittlere Ce-Aufnahme (µg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ce-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme	101
Tabelle 43: Ernährungsszenarien mit höchster täglicher Zufuhr an Ca, P, F, Sr, La und Ce im Mittelwert.....	108
Tabelle 44: Ernährungsszenarien mit niedrigster täglicher Zufuhr an Ca, P, F, Sr, La und Ce im Mittelwert.....	108
Tabelle 45: Maximales prozentuales Steigerungspotential für die tägliche Aufnahme von Ca, P, F, Sr, La und Ce durch Änderung des Ernährungsregimes (fest und flüssig (Berechnung auf Basis der Mittelwerte))	109
Tabelle 46 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d	143
Tabelle 47 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d	143
Tabelle 48 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d	144
Tabelle 49 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d	144
Tabelle 50 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei Standardernährung in µg/d	145
Tabelle 51 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei Standardernährung in µg/d	145
Tabelle 52 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d	146

Tabelle 53 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d	146
Tabelle 54 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d	147
Tabelle 55 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d	147
Tabelle 56 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in µg/d	148
Tabelle 57 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in µg/d	148
Tabelle 58 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.....	149
Tabelle 59 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.....	149
Tabelle 60 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.....	149
Tabelle 61 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.....	150
Tabelle 62 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei veganer Ernährung in µg/d	150
Tabelle 63 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei veganer Ernährung in µg/d.	150
Tabelle 64 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.....	151
Tabelle 65 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.....	151
Tabelle 66 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.....	152

Tabelle 67 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.....	152
Tabelle 68 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in $\mu\text{g/d}$	153
Tabelle 69 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in $\mu\text{g/d}$	153

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kostenloses und trinkbares Wasser für jedermann auf den Straßen Kairos (links) und in Delhis Restaurants (rechts).....	4
Abbildung 2: Frischgepresster Zuckerrohrsaft in Ägypten (links) und Kokosnusswasser in Indien (rechts) – uralte Erfrischungsgetränke	5
Abbildung 3: Internationale Getränkemultis machen trinkbares Wasser zur Marktware.....	6
Abbildung 4: "Von der Wiege bis zum Kästle isst und trinkt man nur noch Nestle" Ägyptisches Quellwasser avanciert zum Markenprodukt eines multinationalen Lebensmittelkonzerns.....	6
Abbildung 5: Extaler-Mineralwasserwerbung: Als besonders gesundheitsförderlich werden in der Mineralwasserwerbung die Elemente Calcium, Magnesium und Fluor angesehen	8
Abbildung 6: "The eatwell plate" (links) und die Ernährungspyramide (rechts).....	15
Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung von Ca in deutschen Mineralwässern.....	65
Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung von Ca in deutschen Leitungswässern	65
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung von P in deutschen Mineralwässern.....	67
Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung von P in deutschen Leitungswässern.....	67
Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung von F in deutschen Mineralwässern.....	69
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung von F in deutschen Leitungswässern.....	69
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung von Sr in deutschen Mineralwässern.....	71
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung von Sr in deutschen Leitungswässern	71
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der summarischen La und Ce-Konzentrationen in deutschen Mineralwässern	73
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der summarischen La- und Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	73
Abbildung 17 Anhang: Postleitzahlgebiete in Deutschland.....	133
Abbildung 18 Anhang: Ca-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	134
Abbildung 19 Anhang: P-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	135

Abbildung 20 Anhang: F-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	136
Abbildung 21 Anhang: Sr-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern	137
Abbildung 22 Anhang: La-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	138
Abbildung 23 Anhang: Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.....	139
Abbildung 24 Anhang: Ca-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	140
Abbildung 25 Anhang: P-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	140
Abbildung 26 Anhang: F-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	141
Abbildung 27 Anhang: Sr-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	141
Abbildung 28 Anhang: La-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	142
Abbildung 29 Anhang: Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete).....	142

1 Einleitung

Wasser ist Lebensmittel Nummer eins: Hinter dem, was eigentlich mehr wie eine Plattitüde klingt, verbergen sich gleich mehrere zentrale Funktionen des Wassers in Organismen. Alle biochemischen Reaktionen laufen in einem wässrigen Medium ab. Dazu ist Wasser das universelle Transportmittel für Nährstoffe und dient bei höheren Lebewesen zusätzlich der Wärmeregulation (Hendel und Ferreira 2001).

Die Bedeutung des Elements Wasser für das Leben spiegelt sich auch bei den Suchergebnissen im Internet wieder. So erbrachte die oben genannte Aussage im Januar 2013 allein im deutschsprachigen Internet 1.080.000 Ergebnisse und im World Wide Web 1.680.000.000 Ergebnisse.

In Deutschland wird per Gesetz zwischen Mineral-, Quell-, Heil-, Tafel- und Trinkwasser und deren chemische und mikrobielle Zusammensetzung unterschieden. Ebenso werden deren Gewinnung, Herstellung und Verarbeitung dort festgeschrieben. Trinkwasser unterliegt der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2006), Mineral-, Quell- und Tafelwasser der Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO 2006). Heilwässer werden als Arzneimittel betrachtet und unter dem Arzneimittelgesetz (AMG 2007) geführt.

Mineralwässer müssen ihren Ursprung in einem natürlichen, unterirdischen und vor Verunreinigung geschütztem Wasservorkommen haben und direkt am Quellort, entweder durch natürlich oder künstlich erschlossene Quellen, zutage gefördert werden. Des Weiteren müssen sowohl die Zusammensetzung des Wassers, die Temperatur in der Quelle als auch die weiteren Merkmale im Rahmen natürlicher Schwankungen konstant bleiben (MTVO 2006). Alle Begrifflichkeiten, wie z. B. die zulässigen Höchstwerte für die Inhaltsstoffe und Behandlungen, sind festgeschrieben. Die amtliche Anerkennung für ein Mineralwasser umfasst mehr als 200 Einzeluntersuchungen, die teilweise täglich wiederholt werden.

Quell- und Mineralwasser entstammen aus natürlichen, schadstoffgeschützten, unterirdischen Wasservorkommen. Es wird unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen der Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO 2006) direkt am Ort der Quelle in die für den Endverbraucher bestimmte Verpackung abgefüllt. Quellwasser muss einen hohen Reinheitsgrad vorweisen und darf weder chemisch noch durch etwaige Filtertechniken aufbereitet werden. Es muss außerdem den Anforderungen an Trinkwasser genügen. Die ursprüng-

liche Reinheit und Konstanz des Mineralstoffgehaltes unterliegt jedoch keiner Nachweispflicht. Laut der Mineral- und Tafelwasserverordnung sind nur bestimmte Verfahren zur Behandlung von Quellwasser erlaubt, z. B. die Entfernung von Eisen, Mangan und Schwefel durch Belüftung, Dekantation und Filtration, sowie der Zusatz und der Entzug von Kohlensäure, sofern die Zusammensetzung des Quellwassers und seine Eigenschaften bestimmenden Bestandteile nicht verändert werden.

"Heilwasser ist per definitionem" natürliches Grundwasser, das aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung, z. B. Spurenelemente, oder aufgrund physikalischer Eigenschaften, z. B. Temperatur, nach balneologischen (bäderkundlichen) Erfahrungen oder medizinischen Erkenntnissen geeignet ist, therapeutischen Zwecken zu dienen. Heilwässer müssen einen Gehalt von mindestens 1.000 mg/kg an gelösten festen Mineralstoffen aufweisen. Die Benennung als Heilwasser bedarf in Deutschland und Österreich der amtlichen Anerkennung. Die Voraussetzung für die Zulassung ist die sogenannte Heilwasseranalyse, die spätestens alle 10 Jahre durchgeführt werden muss, da Heilwässer als Arzneimittel gelten und somit dem Arzneimittelgesetz (AMG) unterliegen. Die zuständige Zulassungsstelle ist das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) in Bonn. Dabei entsteht ein Überblick über die Zusammensetzung, die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie die hygienische Beschaffenheit des Heilwassers.

Tafelwasser ist nach der Mineral- und Tafelwasserverordnung (MTVO 2006) ein künstliches Mineralwasser, das zur geschmacklichen Aufbesserung mit Zusatzstoffen versetzt wird. Für die Mischungsverhältnisse gibt es keine gesetzlichen Vorschriften. Da es an jedem beliebigen Ort hergestellt und abgefüllt werden darf, sind Angaben über eine bestimmte geographische Herkunft oder über die chemische Zusammensetzung nicht erlaubt (VDM 2005). Laut der Mineral- und Tafelwasserverordnung, § 11 Absatz (1), dürfen für die Herstellung von Tafelwasser nur folgende Zusatzstoffe, außer Trinkwasser und natürlichem Mineralwasser, verwendet werden: Meerwasser, Natriumchlorid, Natursole und Zusatzstoffe nach Maßgabe der Zusatzstoff-Zulassungsverordnung. Ein Tafelwasser, das mehr als 570 Milligramm Natriumhydrogencarbonat sowie Kohlendioxid in einem L enthält, kann seine Verkehrsbezeichnung von "Tafelwasser" in "Sodawasser" ändern (MTVO 2006, § 14 Absatz (1)). In der Regel werden Tafelwässer beim Hersteller mit einem Zulauf aus dem örtlichen Trinkwassernetz außerhalb des Quellortes abgefüllt.

"Tafelwässer dürfen nur so hergestellt werden, dass sie die in der Trinkwasserverordnung für chemische Inhaltsstoffe vorgegebenen Grenzwerte einhalten" (Martin und Eiblmaier 2005). Tafelwässer dürfen auf ihrem Etikett bzw. in ihrem Namen weder den Begriff "natürlich" führen noch einen Brunnen- oder Quellnamen tragen, was die Unterscheidung zu einem natürlichen Mineralwasser für den Verbraucher vereinfacht.

Die Definition von Trinkwasser ist in Deutschland in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) festgelegt (Heinrich 2006). Es handelt sich dabei um Süßwasser mit einem hohen Reinheitsgrad. Es wird aus den unterschiedlichsten Wasservorkommen geschöpft, unter anderem aus Niederschlags- und Oberflächenwasser in Flüssen, Seen und Talsperren sowie aus Grund-, Mineral- und Quellwasser (Donhauser und Riese 2009). Im Sinne der Trinkwasserverordnung ist Trinkwasser "alles Wasser, im ursprünglichen Zustand oder nach Aufbereitung, das zum Trinken, Kochen, zur Zubereitung von Speisen und Getränken oder zu anderen allgemeinen häuslichen Zwecken, wie die Körperpflege und -reinigung, die Reinigung von Gegenständen, die bestimmungsgemäß nicht nur vorübergehend mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommt" (nach § 3 TrinkwV 2001).

In der vorliegenden Arbeit steht Trinkwasser als Synonym für trinkbares Wasser, welches sowohl Mineralwässer und Leitungswässer umfasst. Ebenso werden die Elemente zur sprachlichen Vereinheitlichung durch ihre Elementsymbole ersetzt.

Der wesentliche Unterschied zwischen den "gesetzlich definierten" Wasserarten ist ihr Gehalt an Mineralstoffen, wobei die geringsten Gehalte im Trinkwasser, die höchsten in Heilwässern zu erwarten sind. Diese Mineralstoffe liegen in den Wässern als Ionen gelöst vor.

Aus physiologischer Sicht können Mineralstoffe essentiell (lebensnotwendig) oder toxisch (giftig) sein.

Hierbei gibt es jedoch kein Entweder-oder, Essentiell oder Toxisch, sondern die Antwort auf diese Frage liegt in den Mengen, die dem Organismus verabreicht werden, bzw. den Konzentrationen des Elementes, die sich nach Ingestion im Organismus einstellen. Paracelsus (1538) postulierte dementsprechend: "Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift. Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist." Das gilt insbesondere für Spurenelemente, wie z. B. F, bei denen essentielle oder auch nur nützliche Zufuhren oft dicht beieinanderliegen. In diesem Kontext stellt sich die Frage, aus welchem Teil der Nahrung dem Individuum welche

Mengen zugeführt werden und wie mit gezieltem Einfluss auf die Zusammensetzung der täglichen Nahrung gesundheitsschädliche Ernährungsszenarien vermieden werden können.

Für die menschliche Zahnentwicklung, die im Fokus der vorliegenden Arbeit steht, sind insbesondere die Elemente Calcium (Ca), Phosphor (P), Fluor (F) sowie nach neueren Erkenntnissen auch Strontium (Sr) und die Seltenen Erden Cer (Ce) und Lanthan (La) von Bedeutung.

Neuerdings wird auch das Element Bor in Verbindung mit Zahnbildung und Zahngesundheit als relevantes Spurenelement diskutiert (Kliegel 1980). Die Frage, in welchem Umfang Mineral- und Leitungswässer zur täglichen Aufnahme von Bor mit der Nahrung beitragen, wurde von Hassoun (2011) im Zusammenhang mit der Tatsache, dass Bor in nicht unerheblichen Mengen über die Düngung in den Boden und nachfolgend ins Grundwasser eingetragen wird, untersucht.

Obgleich Wasser gerne als *Lebensmittel Nummer eins* bezeichnet (der Eingangs- und Leitsatz der DIN 2000 spricht vom wichtigsten und zugleich von einem unersetzlichen Lebensmittel), ist trinkbares Wasser mittlerweile weder überall frei zugänglich noch verfügbar, geschweige denn global von allen Ländern als Menschenrecht anerkannt. Den Respekt, dem der Mensch Trinkwasser entgegenbringt, verspürt man noch in den Ländern der Dritten Welt, wie Ägypten, wo überall auf den Straßen Trinkwasser in Tonkrügen zur freien Benutzung zur Verfügung steht (Abbildung 1).



Abbildung 1: Kostenloses und trinkbares Wasser für jedermann auf den Straßen Kairos (links) und in Delhis Restaurants (rechts) (Fotos: Schnug 2004 & 2013).

Durch die große Popularität, die zurzeit viele Mineral- und Heilwässer erleben, gerät das profane Leitungs- bzw. Trinkwasser immer mehr in den Hintergrund.

Mit dem allgemeinen Wandel des Lebensstils werden selbst in Entwicklungsländern zunehmend traditionelle, nahrhafte, gesunde und preiswerte Getränke, wie z. B. frisch gepresster Zuckerrohrsaft (Abbildung 2), gegen ein vielfach teureres industrielles Massenprodukt substituiert (Abbildung 2).



Abbildung 2: Frischgepresster Zuckerrohrsaft in Ägypten (links) und Kokosnusswasser in Indien (rechts) – uralte Erfrischungsgetränke (Fotos: Schnug 2004 & 2013).

Das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser ist am 28. Juli 2010 von der Vollversammlung der Vereinten Nationen als Menschenrecht anerkannt worden (als eines der sogenannten Millennium-Entwicklungsziele). Bolivien und 33 andere Staaten haben die Resolution 64/292 in die Vollversammlung eingebracht. Da die allgemeinen Menschenrechte und damit auch das Recht auf sauberes Wasser für alle 192 Staaten der Vereinten Nationen rechtlich nicht bindend sind, sind sie auch nicht einklagbar. Jedoch hat die Verankerung des Menschenrechts auf Wasser einen hohen politischen Stellenwert. Das Menschenrecht auf Wasser wird nach Art. 11.1 des Internationalen Paktes über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte abgeleitet. Das Menschenrecht auf Wasser ist die Voraussetzung für andere, etwa das Menschenrecht auf Leben, angemessene Ernährung und medizinische Versorgung. 122 Staaten stimmten für die Resolution, 29 Staaten waren bei der Versammlung nicht anwesend, 41 enthielten sich ihrer Stimme, darunter auch Kanada und die USA. In ihrer Begründung heißt es, dass die Resolution nicht eindeutig sei und es kein "internationales Recht" auf Wasser gebe. Deutschland befürwortete die Resolution, hätte sich allerdings eine klarere Verantwortung gewünscht (O.V. 2014a).

Dieser *Lifestyle*-getriebene Wandel der Einstellung gegenüber Getränken hat längst auch trinkbares Wasser erfasst: Selbst in Ländern, in denen bis vor nicht allzu langer Zeit frisches Trinkwasser kostenlos zum Essen gereicht wurde (Abbildung 1), kommt man heute nicht mehr umhin, für Wasser zur Kasse gebeten zu werden, wobei in manchen Regionen dafür höhere Preise als für alkoholische Getränke verlangt werden (Törne 2002). Längst auch haben sich die multinationalen Getränkekonzerne des Trinkwassermarktes bemächtigt (Abbildung 3) und bringen sich mehr und mehr auch in das Geschäft mit auf Flaschen gezogenes Quellwasser (Mineralwasser) ein (Abbildung 4).



Abbildung 3: Internationale Getränkemultis machen trinkbares Wasser zur Marktware.



Abbildung 4: "Von der Wiege bis zum Kästle isst und trinkt man nur noch Nestle" (Arens 2011, Besch 1975). Ägyptisches Quellwasser avanciert zum Markenprodukt eines multinationalen Lebensmittelkonzerns.

Aber auch innerhalb der Getränkegruppe "Wasser" läuft ein erheblicher Wettbewerb: Leitungswässer gegen Mineralwässer einerseits und innerhalb der Mineralwässer Discounterware gegen Markenware andererseits. Im Kampf um Marktanteile eines eigentlich "gesichtslosen" Rohstoffs (engl. commodity), wie es trinkbares Wasser eben ist, wird nun überall intensiv nach Verkaufsargumenten gesucht. Mineralwässer beanspruchen dabei für sich "das bessere Trinkwasser" zu sein (O.V. 2014b). Oft steht hierhinter lediglich ein *Lifestyle*-Empfinden ohne jeglichen Bezug zu stofflichen oder gesundheitlichen Aspekten (Pils 2010). Das führt u. a. dazu, dass – weitgehend unabhängig vom sonstigen Ernährungsverhalten – Konsumenten bestimmter, hochmineralisierter Flaschenwässer erheblich mehr vom gesundheitlich schädlichen Uran aufnehmen als z. B. Konsumenten, die sich ausschließlich am örtlichen Leitungswasser bedienen (Hassoun 2011).

Schadstoffe wie Nitrat und Uran werden üblicherweise von den Herstellern selbst nicht weiter werbetechnisch thematisiert. Allenfalls und auch nur in seltenen Fällen und wenn, unterhalb gesetzlicher festgelegter, für die Bewerbung toxikologisch aber irrelevanter Grenzwerte der Mineralwasserverordnung (MTVO 2006) in der Positivwerbung, "für die Zubereitung von Säuglingsnahrung geeignet". Ausgewählte Mineralien, wie z. B. Calcium und Magnesium, werden hingegen immer wieder als besonders gesundheitsförderlich dargestellt und sollen unterschwellig das positive Image des Produktes unterstreichen. Ein plakatives Beispiel aus der Werbung, die Marke Extaler, beworben als "der Stoff den unsere Helden trinken" (Extaler 2012), wird von Tamiflu (O.V. 2011a) im Internet wie folgt für seine Inhaltsstoffe gepriesen: Dieses Wasser (Extaler) stammt aus der gleichnamigen Extaler-Quelle in Rinteln, Südniedersachsen, und kann laut einer Analyse des Fresenius-Institutes vom 22.08.2005 mit äußerst guten Werten bei den Inhaltsstoffen auftrumpfen. Nachfolgend die Werte, nachzulesen auf jeder Flasche: Kationen: 11,3 mg/L Natrium, 355 mg/L Calcium, 59,2 mg/L Magnesium; Anionen: 880 mg/L Sulfat, 269 mg/L Hydrogencarbonat, 7,30 mg/L Nitrat. Woran sich die "äußerst guten Werte" dabei orientieren, bleibt allerdings offen.

Die Zahnentwicklung des Menschen wird in der fünften Embryonalwoche eingeleitet, und unabhängig um welchen Zahn es sich handelt, unterliegen alle Zähne den gleichen biologischen Gesetzmäßigkeiten der Zahnentwicklung (Schroeder 1992). Die Entstehung des Zahnschmelzes (Amelogenese) der bleibenden Frontzähne beginnt im dritten Lebensmonat und dauert bis zum fünften Lebensjahr.

Die Schmelzreifung der Sechsjahresmolaren beginnt im achten Schwangerschaftsmonat und dauert bis zum vierten Lebensjahr (Wöhrle 2008). Daraus ergibt sich eine anfällige Periode für die Zahnbildung in den ersten zehn Lebensmonaten sowie zwischen dem 18. und 60. Lebensmonat (Wöhrle 2008). Die Zahnentwicklung endet mit dem Weisheitszahn, dessen Keim erst Jahre nach der Geburt entsteht und dessen Zahnkrone knapp vor der Mitte des zweiten Lebensjahrzehnts fertig wird (Schroeder 1992).



Abbildung 5: Extaler-Mineralwasserwerbung: Als besonders gesundheitsförderlich werden in der Mineralwasserwerbung die Elemente Calcium, Magnesium und Fluor angesehen.

Wasser ist ein Lebensmittel, das außer Mineralstoffen keine weiteren Nährstoffe enthält. Daher wird die Vermarktung von Wasser in der Wasserindustrie hinsichtlich einer Produktdifferenzierung ernährungsphysiologisch immer auf dessen Mineralstoffgehalt abzielen.

Zähne sind mit Knochen die mineralstoffreichsten Organe des menschlichen Körpers und benötigen daher im Stoffwechsel die meisten Mineralstoffe und diese zudem noch in unterschiedlichen Mengen in den einzelnen Entwicklungsphasen. Die ernährungsphysiologische Relevanz einer Mineralstoffquelle richtet sich nach ihrem Anteil an der Deckung des Gesamtbedarfes und an ihrer biologischen Verfügbarkeit (Leitzmann 2003). Aufgabe dieser Arbeit ist es, die relative Bedeutung von Trinkwasser für die Mineralstoffversorgung des Menschen zu quantifizieren. Dabei wird unterstellt, dass die Mineralstoffe im Wasser als Ionen gelöst vorliegen, weshalb der Aspekt "biologische Verfügbarkeit" nicht Bestandteil dieser Arbeit ist.

Um eine möglichst biasfreie Bewertungsgrundlage zu erzielen, wird dabei methodisch auf das von Hassoun (2011) entwickelte Konzept des relativen Vergleichs des Beitrags von Trinkwasser in einem hinsichtlich der Zufuhr über feste Nahrung standardisierten Ernährungsmodells zurückgegriffen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Untersuchung der an der Zahnbildung beteiligten bzw. die für die Zahngesundheit relevanten Elemente Calcium (Ca), Phosphor (P), Fluor (F), Strontium (Sr) und die Seltenen Erden Lanthan (La) und Cer (Ce), wobei der Fokus darauf liegt zu untersuchen, zu welchem Anteil mit dem Trinkwasser aufgenommene Mengen dieser Elemente zur täglichen Gesamtaufnahme des Menschen beitragen.

Differenzierungsebenen sind dabei einmal Mineral- und Leitungswässer, vier verschiedene Ernährungsszenarien und Entwicklungsstadien des Menschen. Primäres Ziel hierbei ist eine möglichst realistische Einschätzung der Bedeutung von Trinkwasser für die Mineralstoffernährung des Menschen mit vorrangiger Betrachtung der Zahnentwicklung und Zahnerhaltung. Darüber hinaus soll abgeschätzt werden, inwieweit sich unterschiedliche Wasserherkünfte auf die tägliche Versorgung und dies bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien auswirken.

2 Material und Methoden

2.1 Herkunft der Mineral- und Leitungswasserproben

Das Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig verfügt über eine Datenbank mit Elementkonzentrationen in Mineralwässern (Flaschenwässer) und eine mit solchen in Leitungswässern. Ursprünglich wurden diese Datenbanken angelegt, um den Beitrag von Grundwässern zur Ernährung von Pflanzen mit Mineralstoffen zu quantifizieren. Im besonderen Fokus stand dabei Sulfat wegen seiner großen Bedeutung als Mangel-element im Pflanzenbau nach Greifen der Luftreinigungsmaßnahmen der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts (Wiese 2000), welche die Schwefelzufuhr zu landwirtschaftlichen Böden fast völlig zum Erliegen gebracht (Wiese 2000) und damit die Relevanz von anderen Schwefelquellen für die Pflanzenernährung erheblich gesteigert haben (Schnug und Beringer 1998).

Eine einzigartige Besonderheit beider Datenbanken ist die Geokodierung der Analysen. Hierbei sind die Mineralwässer mit den geographischen Koordinaten ihres Ursprungsbrunnens versehen, was ein Verschneiden mit geologischen Informationen ermöglicht, wie sie von Knolle (2011) für Uran vollzogen wurde und derzeit Grundlage einer Gesamtbetrachtung der Elementmuster der Wässer durch Hundhausen (2016) ist. Der Leitungswasserdatenbank liegt ein anderes Geokodierungsprinzip zugrunde. Jeder Analyse ist eine fünfstellige Postleitzahl zugeordnet. Das Zuordnungsverfahren wird bei Hassoun (2011) beschrieben. Diese räumliche Kodierung erlaubt nur bedingt eine Zuordnung der Wässer zu ihrem Gewinnungsort. Viele Gebiete erhalten ihr Trinkwasser über Fernleitungen, und dies oft aus den Talsperren der Mittelgebirge, wie z. B. der norddeutschen Tiefebene. Die Geokodierung mit Postleitzahlen erlaubt jedoch eine Zuordnung von Trinkwasserqualitäten zur Anzahl der Personen, die diese Wässer konsumieren und damit eine quantitative Aussage zur Betroffenheit.

Eine solche Zuordnung von betroffenen Personen/Konsumenten zu Mineralwässern ist demgegenüber nicht möglich, da von den Herstellern keine regionalen Verkaufsangaben zu erhalten sind.

Das weitere Interesse galt in den bisherigen Forschungsarbeiten Uran und anderen Elementen, die in bestimmten Konzentrationen eine Gefährdung der Gesundheit durch Mineralwässer als Lebensmittel darstellen könnten (Hassoun 2011, Knolle 2009).

2.2 Analytische Methoden

2.2.1 Bestimmung der Elemente

Das sehr umfangreiche Probenmaterial wurde mit den zur Verfügung stehenden analytischen Verfahren auf alle bestimmbaren Elemente untersucht, bzw. es wurden alle für das Material verfügbaren Analysedaten anderer Labore gesammelt, verifiziert und in die Datenbanken eingepflegt.

Für die Elementbestimmung wurden die in Tabelle 1 zusammengestellten analytischen Verfahren eingesetzt.

Tabelle 1: Zur Elementbestimmung in Mineral- und Leitungswässern eingesetzte Analysemethoden.

Element	Analysemethode
Calcium (Ca)	ICP-OES; ICP-QMS
Cer (Ce)	ICP-OES; ICP-QMS
Lanthan (La)	ICP-OES; ICP-QMS
Strontium (Sr)	ICP-OES; ICP-QMS
Phosphor (P)	ICP-OES
Fluor (F)	HR-CS-MAS; IC; ISE

ICP-OES: Optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppelten Plasmas

ICP-QMS: Induktiv gekoppelte Quadrupol-Plasma-Massenspektrometrie

HR-CS-MAS: High-Resolution-Continuum Source-Molekülabsorptionsspektrometrie

IC: Ionenchromatographie

ISE: Ionensensitive Elektrode

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Methoden der Elementbestimmung sind gängiger Standard. In vielen Fällen sind die früher üblichen kostengünstigeren, aber arbeitsintensiveren Methoden der Kolorimetrie durch optische Emissionsspektrometrie in der Plasmafackel (ICP-OES, z. B. bei P) oder Massenspektrometrie mit Plasmaanregung (ICP-MS, z. B. bei La und Ce) ersetzt worden. Ein besonderer Vorteil, insbesondere bei der Wasseranalyse, ist, dass keine Vorbereitungen, z. T. noch nicht einmal mehr Verdünnungen (wegen der großen linearen Messbereiche der Verfahren), nötig sind.

Die routinemäßigen Bestimmungsgrenzen ($y_B + 9 s_B$; y_B = Mittelwert des Blindwertes, s_B = Standardabweichung des Blindwertes) betragen im Mittel (mg/L): Ca: 0,5; P, Sr, F: 0,1 und für La und Ce im Mittel ($\mu\text{g/L}$): 0,002. Lagen die Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze, wurde ein fiktiver Gehalt in Höhe der halben Nachweisgrenze ($0,5 * (y_B + 3 s_B$; y_B = Mittelwert des Blindwertes, s_B = Standardabweichung des Blindwertes) angenommen und für die weiteren Berechnungen herangezogen.

Der TDS-Wert ("total dissolved solids") ist ein quantitativer chemischer Parameter und beinhaltet die Gesamtheit aller in einer Probe gelösten anorganischen und organischen Stoffe. Die Angabe erfolgt entweder in ppm oder in mg/L. Herangezogen wurden die TDS-Werte laut Herstellerangaben oder Veröffentlichungen. Wenn diese nicht zur Verfügung standen, wurde der TDS mittels eines Auswertungsverfahrens aus den Proben mit den bekannten TDS-Werten und den Konzentrationen der wichtigsten mineralischen Bestandteile ermittelt (Hassoun 2011, Hundhausen 2016).

Die praktische Laborarbeit für die vorliegende Dissertation bestand in der Bestimmung bzw. Erfassung der Elementkonzentrationen der seit Ablauf der Vorläuferarbeiten von Knolle (2008), Hassoun (2011) und Smidt (2012) neu hinzugenommenen Proben sowie der Kreuzvalidierung und Nachanalyse einzelner Werte im Rahmen einer Plausibilitätsüberprüfung. Insgesamt verdoppelte sich der Bestand beider Datenbanken bis zum Ende dieser Arbeit.

Tabelle 2 gibt einen Hinweis zur Repräsentanz des Datensatzes für Elementkonzentrationen in Leitungswasser. Gut ein Drittel der deutschen Bevölkerung hat demnach Zugang zu Wasser dieser Qualität.

Tabelle 2: Anzahl verfügbarer Datensätze für Ca-, P-, F-, Sr-, La- und Ce-Konzentrationen in deutschem Leitungswasser und Größe der Population mit potentiellm Zugang zu Wasser dieser Qualität.

Elemente	Anzahl der Datensätze	Einwohnerzahl	% der gesamten Bevölkerung Deutschlands
Ca, F, Sr, La, Ce	621	29.478.391	35,9
P	455	6.754.367	8,24

Durch die regelmäßige Aktualisierung der Datenbank umfasste diese zum Zeitpunkt der Auswertungen für die vorliegende Arbeit 3.297 Mineralwassermarken unterschiedlicher Herkunft, davon 637 aus der Bundesrepublik Deutschland.

Die Auswertung der Daten erfolgte bislang unter verschiedensten Fragestellungen. Dem Element Schwefel und seiner Bedeutung für die Pflanzenernährung folgte eine thematische Konzentration auf Uran, welche von Knolle (2009) und Smidt et al. (2011) bearbeitet wurde.

Hassoun (2011) nahm in ihrer Arbeit zum Beitrag von Mineral- und Leitungswasser zur täglichen Aufnahme von Arsen (As), Bor (B), Kupfer (Cu), Lithium (Li), Blei (Pb), Uran (U) und Zink (Zn) auch Fragen der Humanernährung auf.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war die Analyse des Beitrages von Mineral- und Leitungswasser zur täglichen Aufnahme von Calcium (Ca), Phosphor (P), Fluor (F), Strontium (Sr), Lanthan (La) und Cer (Ce) durch den Menschen.

Bei Hassoun (2011) wurde die bedarfsbezogene Bewertung der nach fester und flüssiger Zufuhr differenzierten Aufnahme an für den Entwicklungsstand des Individuums konstanten Richtwerten vorgenommen und nicht weiter für einzelne Organe des menschlichen Körpers differenziert. Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen jedoch die Zähne des Menschen, die einen sehr ausgeprägten, am Lebensalter eines Individuums orientierten Bedarf an Mineralstoffen haben, weshalb eine weitere Differenzierung des von Hassoun (2011) entwickelten Ernährungsmodelles vorgenommen wurde.

Eines der Hauptziele dieser Studie war, den Stellenwert des Wassers in der Nahrung, bezogen auf die Tagesdosis der Elemente Calcium (Ca), Phosphor (P), Fluor (F), Strontium (Sr), Lanthan (La) und Cer (Ce), zu quantifizieren. Um zu genauen Ergebnissen zu gelangen, erforderte die Auswertung Daten über die Tagesdosis der Elementkonzentration in der festen Nahrung und die Berücksichtigung unterschiedlicher Ernährungsszenarien.

Anhand der Häufigkeitsverteilung der TDS-Werte von 2.134 Mineralwässern aus der "Welt-Mineralwasser-Datenbank" erfolgte eine pragmatische Einteilung nach Mineralisation, das heißt in Wasser mit niedrigem ($TDS < 500$) und hohem ($TDS > 1.500$) Gesamtlösungsinhalt. Im Gegensatz zu Hassoun (2011) wurden in dieser Arbeit die Teilszenarien "Mineralwässer

Deutschlands und benachbarter Länder" und Mineralwässer mit mittlerer Mineralisation nicht mehr berücksichtigt, weil diese keine über die Extreme hinausgehenden Erkenntnisse erbrachten.

2.2.2 Qualitätssicherung analytischer Daten

Die Qualitätssicherung der erhobenen analytischen Daten wurde durch die ständige Teilnahme an WEPAL (Wageningen Evaluation Programme for analytical Laboratories, van Dijk und Houba 1999) und die Einhaltung der Standards der GLP (Gute Laborpraxis, Hochheimer 2011) gewährleistet.

2.3 Ernährungsszenarien als Vergleichsgrundlage

2.3.1 Entwicklung standardisierter Ernährungsszenarien

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA 2009) verfügt über eine große Datenbank, die den Lebensmittelverzehr der Bevölkerung der einzelnen EU-Länder dokumentiert. Allerdings schränken die eingesetzten Methoden zur Datenerhebung und die "Breite der Nahrungsmittel" die Relevanz dieser Datenbank erheblich ein. Als Beispiel hierfür ist die Pro-Kopf-Flüssigkeitsaufnahme: Den Daten der EFSA zufolge würde ein Däne fast 6-mal so viel Flüssigkeit zu sich nehmen wie ein bulgarischer Staatsbürger (Hassoun 2011).

Hassoun (2011) entwickelte daher eine Standardisierungsmethode, die im Grundsatz auch in dieser Arbeit Anwendung findet, aber erweitert wurde. Grundlage der standardisierten Ernährungsszenarien ist ein Energiebedarf von 2.000 kcal/d (Eastwood 2003) und die Einteilung der Lebensmittelkategorie nach der Ernährungspyramide.



Abbildung 6: "The eatwell plate" (links) und die Ernährungspyramide (rechts).

Hassoun (2011) hat hieraus eine "Standardernährung" abgeleitet, deren Hauptkomponenten in Tabelle 3 beschrieben sind.

Die drei Hauptnährstoffgruppen Kohlenhydrate, Eiweiß und Fette sollen der Ernährungspyramide nach zu 55 %, 15 % und 30 % zum täglichen Energiebedarf beitragen (2.000 kcal/d), wie in Tabelle 3 aufgelistet.

Innerhalb der Nährstoffgruppen wurden dann Energieanteile an Nahrungsmittelgruppen vergeben, die einer als ausgewogen anzusehenden Ernährung entsprechen.

Tabelle 3: "Standardernährung", abgeleitet aus der Ernährungspyramide (Hassoun 2011).

Nährstoffe	Prozentualer Anteil des gesamten Energiebedarfs	Nahrungsmittelkategorien
Kohlenhydrate	55 %	Getreide- und Getreideprodukte
Eiweiße	15 %	5 % Milch und Milcherzeugnisse 10 % Fleisch/Fisch/Meeresfrüchte und Fleisch/Fisch/Meeresfrüchteprodukte
Fette	30 %	15 % Milch und Milcherzeugnisse 15 % Fleisch/Fisch/Meeresfrüchte und Fleisch/Fisch/Meeresfrüchteprodukte

Für eine Gesamtkalorienaufnahme von täglich 2.000 kcal entspricht dies 314 g Getreide und Getreideprodukte, 122 g Fleisch (angenommen wurde ein Anteil verzehrter Innereien von 2 %), Fisch/Meeresfrüchte und deren Produkte (Fleisch: Fisch = 6:1, das entspricht der typischen fischarmen Ernährung der Deutschen ("Freitag = Fischtag")), 120 g Milch/Ei und deren Produkte und 320 g Gemüse und Früchte sowie deren Produkte (40 % Blattgemüse, 38 % Wurzelgemüse und 18 % Früchte) (Hassoun 2011).

Die 2.000 kcal täglich verteilten sich dabei wie in Tabelle 4 angegeben auf die einzelnen Nahrungsmittelgruppen.

Tabelle 4: Durchschnittlicher Energiegehalt von Nahrungsmittelkategorien (Hassoun 2011).

Nahrungsmittelkategorien	Energiegehalt (kcal/100 g)
Getreide und Getreideprodukte	350 kcal/100 g
Fisch/Meeresfrüchte und deren Produkte (10 % Fett)	100 kcal/100 g
Fleisch und Fleischprodukte inkl. Innereien (20 % Fett)	250 kcal/100 g
Milch/Eier und Milchprodukte (20 % Fett)	250 kcal/100 g
Gemüse/Früchte und deren Produkte	60 kcal/100 g

Das Modell einer Standardernährung reflektiert jedoch nur noch das Ernährungsverhalten eines Teiles der Bevölkerung. Um den Beitrag von Wasser zur täglichen Zufuhr an Calcium (Ca), Phosphor (P), Fluor (F), Strontium (Sr), Lanthan (La) und Cer (Ce) genauer abbilden zu

können, wurde das Modell einer Standardernährung um drei heute gängige Ernährungstypen erweitert, und zwar den Ovo-Lacto-Vegetarier, den Veganer und den Karnivoren.

Ovo-Lacto-Vegetarier bilden die größte Gruppe unter den Vegetariern. Sie essen weder Fleisch noch Fisch oder deren Produkte, nehmen stattdessen Eier und Milch und deren Produkte als Quelle tierischer Eiweiße und Fette zu sich. Veganer akzeptieren keine tierischen Produkte wie Honig. Bei der karnivoren Ernährungspraxis stehen Fleisch und Fisch sowie deren Produkte im Vordergrund. Es gibt unterschiedliche Gründe für den Wandel diätetischer Szenarien. Am Anfang der Vegetarier-Bewegung standen ethische oder religiöse Gründe. Heute sind die Motivationen vielfältig, sodass eine bestimmte Ernährungsform auch als Maßnahme im Rahmen einer präventiven Gesundheitsförderung angesehen werden kann.

Für jede der drei Nichtstandard-Ernährungstypen wurde die Standardernährung entsprechend modifiziert, aber stets auf einer summarischen Energiezufuhr von 2.000 kcal/d gehalten: Bei Ovo-Lacto-Vegetariern fällt die Kategorie Fleisch/Fisch weg, dafür erhöht sich die Zufuhr an Milch, Eiern, Gemüse, Früchten und deren Produkten (Tabelle 4). Bei Veganern entfällt zusätzlich auch die Gruppe Milch, Eier und deren Produkte, bei Karnivoren stellen Fleisch/Fisch/Krustentiere und deren Produkte die Hauptenergiequelle der täglichen Ernährung dar. Wiederum sei an dieser Stelle angemerkt, dass es sich hier um ein modellhaftes Konstrukt von Ernährungsplänen handelt, die im realen Einzelfall erheblich unterschiedlich ausfallen können. Ziel des Modells ist es jedoch, grundsätzliche Unterschiede von Ernährungsszenarien und nicht deren individuell bestimmte Variabilität zu erfassen.

Tabelle 5 zeigt den relativen Anteil der unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien zur Deckung eines täglichen Energiebedarfs von 2.000 kcal für die vier Ernährungstypen dieser Arbeit. Zur Ergänzung wurde in der Tabelle der entsprechende tägliche Verbrauch der für diese Arbeit definierten Nahrungsmittelkategorien zusammengestellt.

Tabelle 5: Relativer Anteil der unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien zur Deckung eines täglichen Energiebedarfs von (2.000 kcal) bei unterschiedlichen Ernährungstypen (Hassoun 2011).

Ernährungstyp	Energiezufuhr in % aus den verschiedenen Nahrungsmittelkategorien			
	Getreide und Getreideprodukte	Fleisch/Fisch/Krustentiere und deren Produkte	Milch/Eier und deren Produkte	Gemüse und Früchte und deren Produkte
Standard	55	14	15	16
Ovo-Lacto-Vegetarier	50	-	25	25
Veganer	60	-	-	40
Karnivore	30	50	10	10

Unter Berücksichtigung der mittleren Energiegehalte der einzelnen Nahrungsmittelkategorien ergaben sich dann die in Tabelle 6 gelisteten durchschnittlichen täglichen Verzehrmenen.

Unter Berücksichtigung der in der Metadatenbank gesammelten Elementgehalte konnten hieraus die für den Vergleich mit der Zufuhr durch Wasser durch feste Nahrung aufgenommene Elementmengen bestimmt werden.

Tabelle 6: Durchschnittlicher Verbrauch (g/d) der unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien bei einem Energiegehalt von 2.000 kcal/d bei unterschiedlichen Ernährungstypen (Hassoun 2011).

Ernährungstyp	Täglicher Verbrauch (g/d) aus den einzelnen Nahrungsmittelkategorien			
	Getreide und Getreideprodukte	Fleisch/Fisch/Krustentiere und deren Produkte	Milch/Eier und deren Produkte	Gemüse und Früchte und deren Produkte
Standard	314	123	120	320
Ovo-Lacto-Vegetarier	200	-	200	833
Veganer	343	-	-	1.333
Karnivore	171	439	80	333

2.3.2 Entwicklungsphasenabhängige Ernährungsszenarien

Es besteht allgemeiner Konsens, dass die Ernährung und dadurch ggf. ausgelöste Erkrankungen Auswirkungen auf die Bildung oraler Strukturen haben (Wöhrl 2008).

Da in dieser Studie der Einfluss der Aufnahme von bestimmten Spurenelementen hauptsächlich durch Mineral- und Leitungswässer auf die unterschiedlichen Entwicklungsphasen der Zahnbildung untersucht wurde, ist das Ernährungsverhalten nicht nur nach Ernährungstyp, sondern auch nach Altersgruppen bezüglich der Entwicklungsperioden der Zahnbildung eingeteilt worden.

Bei den Nahrungsmittelkategorien der Ernährungspyramide galt es zu berücksichtigen, dass die Auswahl an Nahrungsmitteln bei Säuglingen nur über ein begrenztes Spektrum verfügt, das sich mit dem Lebensalter erweitert und durch soziale und kulturelle Einflüsse geprägt wird und sich so mit zunehmendem Alter das Bewusstsein für einen bestimmten Ernährungsstil (vegan, karnivor, ovo-lacto-vegetarisch) entwickelt.

Als ausgewogen gilt eine Ernährung, die durch eine bedarfsgerechte Zufuhr von Energie und Nährstoffen für Gesundheit und Wohlbefinden sorgt (EFSA 2012a).

Unter Berücksichtigung der Zahnentwicklung und der Ernährungsgewohnheiten wurde in dieser Arbeit die Nahrungsmittelaufnahme im Lebensalter vom 1.-12. Lebensmonat, vom 1.-3. Lebensjahr, vom 15.-18. Lebensjahr und ab dem 30. Lebensjahr separat betrachtet.

In den ersten Lebensmonaten musste berücksichtigt werden, dass die Mahlzeiten von Kindern im Säuglingsalter ausschließlich aus Muttermilch oder industriell hergestellter Säuglingsmilchnahrung (gemäß EG- Richtlinie 2006/141/EG2) bestehen, die spätestens ab dem 7. Lebensmonat durch Beikost ersetzt werden, bis der Säugling auf Familienkost umsteigt.

Der Anteil an zusätzlich benötigter Flüssigkeit steigt proportional mit dem Anteil der aufgenommenen festen Nahrung. Idealerweise soll als Flüssigkeit Trinkwasser (Leitungswasser) oder Mineralwasser aus dem Einzelhandel (deklariert mit dem Zusatz "geeignet für die Säuglingsnahrung") verwendet werden.

Die Ernährungsbedürfnisse von Kindern und Jugendlichen richten sich nach dem schnellen Wachstum und dem damit verbundenen Gewinn in Knochen und Muskulatur. Dabei gilt es zu bedenken, dass Kinder und Jugendliche durch viele physiologische Veränderungen gehen, die Auswirkungen auf das Ernährungsverhalten haben.

Mit dem Alter steigt neben der Unabhängigkeit von den Eltern auch die damit verbundene Entscheidung über die Ernährungsgewohnheiten. Zusätzlich nimmt die Industrie mittels Medien (gezielte Produktplatzierung) Einfluss auf die neuen Bedürfnisse, besonders im sensiblen Bereich der Nahrungsmittelaufnahme. So können die individuellen Ernährungsstrategien in einer relativ bewegungsarmen Gesellschaft beeinflusst werden.

Unter Berücksichtigung der ernährungsphysiologischen Regeln in der Kinderernährung (Kersting et al. 1998, Alexy et al. 1999) sowie der modifizierten altersgemäßen Lebensmittelverzehrmengen in der optimierten Mischkost nach Alexy et al. (2008) wurde für den Modellfall "Standardernährung" ein nach Altersgruppen differenziertes, dem Schema der Ernährungstypen angepasste Zusammenstellung der Aufnahme an Nahrungsmittelkategorien entwickelt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Altersabhängige Zufuhr (g/d) an Nahrungsmittelkategorien einer Standardernährung.

Nahrungsmittelkategorie	Alter (Jahre)			
	<1	1-3	15-18	>30
Getreide und Getreideprodukte	80	120	390	314
Fleisch/Fisch/Krustentiere und deren Produkte	48	60	189	123
Milch/Eier und deren Produkte	300	380	150	120
Gemüse/Früchte und deren Produkte	240	300	400	320
Flüssigkeit (ml/d)	600	700	1.500	2.000
Gesamtenergie (kcal)	950	1.100	2.500	2.000

2.3.3 Bedarfswerte und physiologische Grenzwerte

Sowohl Trinkwasser als auch Mineralwässer enthalten, wie auch die festen Nahrungsmittel, unterschiedlich hohe Konzentrationen an Mineralstoffen (Wöhrl 2008). Da es in dieser Studie um den Beitrag unterschiedlicher Wässer zum Haushalt zahnbildender Elemente und die Ableitung von Ernährungsstrategien zur Optimierung der menschlichen Mineralstoffernährung bezüglich der Zahnentwicklung ging, sollten die Mineralstoffe und Spurenelemente betrachtet werden, die den größten Anteil am Aufbau der Zahnhartsubstanzen haben. Es handelte sich dabei um Ca, P und F.

Grundsätzlich sind Mineralstoffe und Spurenelemente wichtig für alle Stoffwechselwege und die Aufrechterhaltung der Stabilität des Genoms. Sie gelten als unverzichtbare Bestandteile oder Co-Faktoren in allen vitalen Systemen (Hartwig et al. 2013). Trotz der bekannten biochemischen und physiologischen Funktionen liegen den Zufuhrempfehlungen häufig nur Schätzwerte zugrunde, und die Fragen nach der optimalen Aufnahmemenge und die Effektivität von Mineralstoffen in Form von Nahrungsergänzungsmitteln werden in wissenschaftlichen Gremien weiterhin kontrovers diskutiert (Hartwig et al. 2013).

Bis heute scheint kein ideales Modell zur Ableitung von Höchstmengen für den Zusatz von Mineralstoffen in Lebensmitteln vorzuliegen, obwohl die EU-Kommission als "Risikomanager" Höchstmengen festlegen könnte (Mason 2007), um eine Sicherstellung eines hohen Verbraucherschutzniveaus zu garantieren (Großklaus 2013).

In Tabelle 8 sind die Referenzwerte für die tägliche Zufuhr an Ca, P und F nach DGE, ÖGE, SGE/SVE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung/Schulvorbereitende Ernährung 2013), den Schemata dieser Arbeit angepasst, zusammengestellt. Die entsprechenden Werte nach EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit 2012a) sind in Klammern angegeben.

Tabelle 8: Referenzwerte für die tägliche Nährstoffzufuhr der DGE, ÖGE, SGE/SVE (2013) und EFSA (2012a).

Alter (Jahre)	Ca (mg/d)	P (mg/d)	F (mg/d)
<1	275 (keine Angabe)	210 (300)	0,380 (0,300)
1-3	600 (1.300)	500 (300)	0,700 (0,700)
15-18	1.200 (2.100)	1.250 (700)	3,10 (3,00)
>30	1.000 (keine Angabe)	700 (550)	3,50 (3,50)

2.4 Metadaten für die Elementgehalte in fester Nahrung

Die Elementkonzentrationen in festen Nahrungsmitteln, wie sie als Berechnungsgrundlage für die Modelle in Kapitel 2.3 gebraucht werden, wurden als Metadaten erfasst. Durch die Zusammenfassung einer großen Zahl von Einzelwerten mussten dabei möglichst stabile Mittelwerte erstellt werden. Anders als bei Hassoun (2011), wo nur die Mittelwerte der Metadaten berichtet wurden, wurden in der vorliegenden Arbeit auch Medianwerte und das Perzentil 95 für die Auswertung herangezogen. Alle Angaben bezogen sich auf die Trockensubstanz des jeweiligen Lebensmittels. Eine Übersicht der Datenbank gibt Tabelle 9.

Die Inhaltsstoffe zahlreicher Lebensmittel werden in vielen Nährstofftabellen zusammengefasst. Eine Unterteilung der Lebensmittel erfolgte in Gruppen, die sich über die Herkunft definieren. Dazu gehören Getreide/Getreideprodukte, Fleisch/Innereien/Fleischprodukte und Fisch/Fischprodukte. Sowie zusätzlich Krustentiere/Krustentierprodukte, Milch/Milchprodukte/Eier, Obst/Obstprodukte und Blattgemüse/Gemüse/Gemüseprodukte (Hassoun 2011). Um eine möglichst repräsentative Metadatenbank zu erstellen, wurden unterschiedliche Quellen aus der Ernährungswissenschaft und Ratgeber aus der Ernährungsberatung in den Informationspool mit einbezogen (Literaturverzeichnis Anhang).

Tabelle 9: Metadatenstrukturen

Anzahl Gruppenda- tensätze		800		1.434			701		105		946			778		1.273		
Anzahl Datensätze (Σ 6.037)		153	647	670	267	497	413	288	85	20	97	792	57	600	178	412	641	220
Lebensmittel	Literaturquelle	Getreide	Getreideprodukte	Fleisch	Innereien	Fleisch produkte	Fisch	Fischprodukte	Krustentiere	Krustentierprodukte	Milch	Milchprodukte	Eier	Obst roh	Obstprodukte	Blattgemüse	Gemüse roh	Gemüseprodukte

Die Anlage einer Datenbank für Ce, La (Seltene Erden) und Sr in festen Nahrungsmitteln gestaltete sich weitaus schwieriger, da diese Elemente nicht im Fokus der Ernährungswissenschaft stehen und sich somit nur sehr sporadische Angaben über deren Konzentrationsgehalte in Lebensmitteln finden.

2.5 Statistische Methoden und Originaldaten

Statistische Analysen wurden unter Verwendung des SPSS Programmpaketes Version 17 (Duller 2006) ausgewertet. Die Datenbanken mit den Originaldaten liegen der Prüfungskommission vor und sind im

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI)

Bundesallee 50

D-38116 Braunschweig

archiviert.

3 Bedeutung von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählten Seltenen Erden wie Lanthan und Cer für die menschliche Ernährung unter besonderer Berücksichtigung der Zahnbildung und -gesundheit

3.1 Allgemeine Zahnentwicklung

Die Zahnentwicklung (Odontogenese) umfasst einen komplexen Prozess, da der Mensch zwei Dentitionen hat (Lehmann 1993). Unterschieden werden die Dentitionen nach dem Zeitpunkt des Durchbruchs, der Größe und der Form der Milchzähne (Dentes decidui = Zahnzahl 20) und der bleibenden Zähne (Dentes permanentes = Zahnzahl 32) nach dem Zahnwechsel (Lehmann 1993). Die erste Dentition ist etwa mit 2,5-3 Jahren abgeschlossen (Hurme 1957) und die zweite Dentition umfasst den Zeitraum vom 6.-12. Lebensjahr (Demirjan 1973).

Entwicklungsgeschichtlich sind Zähne Derivate der Außenhaut (Ektoderm), die in den Mund gewandert sind (Wehner und Gehring 1995) und durch Induktion des darunterliegenden Mesenchyms (embryonales Bindegewebe) der Neuralleiste (erste Anlage des zentralen Nervensystems) entstehen (Moore und Lütjen-Drecoll 1990).

Zähne bestehen aus drei kristallinen, apatithaltigen Zahnhartsubstanzen: Zahnschmelz (Enamelum), Zahnbein (Dentin) und Wurzelzement (Cementum).

Der Zahnschmelz besteht zu 95 % aus Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5[\text{OH}/(\text{PO}_4)_3]$) und ummantelt das Dentin im koronalen Anteil des Zahnes, der Zahnkrone. Da der Zahnschmelz geringfügig für wasserlösliche Stoffe, wie seine Hauptbestandteile Ca und P, durchlässig ist, kann durch Anwesenheit von Fluor im Speichel das Hydroxylapatit in das wesentlich gegenüber Säuren widerstandsfähigere Fluorapatit ($\text{Ca}_5[\text{F}/(\text{PO}_4)_3]$) umgewandelt werden (Lehmann 1993).

Die Hauptmasse des Zahnes stellt das Dentin. Es besteht nur zu zwei Dritteln aus Ca und P. Das Wurzelzement (Cementum) ist aufgrund seines geringen Mineralgehaltes weicher als die Knochensubstanz (Stegemann und Davis 2007) und bedeckt das Dentin im Wurzelbereich.

Sowohl das Wurzelzement als auch das Dentin können im Gegensatz zum Zahnschmelz aufgrund ihrer Reaktionsfähigkeit nach dem Zahndurchbruch neu synthetisiert werden (Lehmann 1993).

Nach dem Zahndurchbruch findet je nach Beschaffenheit des Mundmilieus ein Austausch von Mineralstoffen wie F, Na, Zn und Sr im größeren Ausmaß über den Speichel an der Schmelzoberfläche statt (Geurtsen et al. 2012). Trotz dieser Umbauprozesse (Demineralisation/Remineralisation) behält der Zahnschmelz die meisten seiner ursprünglichen Mineralverbindungen ein Leben lang.

Grundsätzlich ist die Entwicklung gesunder und normaler Zahnhartsubstanz abhängig von Stoffwechselfaktoren wie Hormonen und der Verfügbarkeit von Ca, P und weiteren Nährstoffen (Stegemann und Davis 2007).

Da das primäre Ziel dieser Studie eine Einschätzung der Bedeutung von Trinkwasser für die Mineralstoffernährung des Menschen in Abhängigkeit von der Zahnentwicklung und der Zahnerhaltung war, sollten hier die aufgestellten Ernährungsziele anhand der Zahnentwicklung und Aufbau der Zahnhartsubstanzen (Tabelle 10) in vier Entwicklungsstadien bestimmter Altersgruppen dargestellt werden.

Die Odontogenese beginnt im menschlichen Embryo etwa 28-40 Tage nach der Ovulation (Schroeder 1992). Etwa 44-53 Tage nach der Ovulation erscheinen die Anlagen der oberen und der unteren Schneidezähne, der Eckzähne und der Molaren der ersten Dentition (Ooe 1981). Die Zahnhartsubstanzentwicklung setzt in etwa 12-16 Wochen nach der Ovulation ein (Tonge 1969).

Tabelle 10: Zusammensetzung der Zahnhartsubstanzen nach Gewichts- und Volumenprozent (in Klammern) nach Schroeder (1992).

Zahnhartsubstanz	Mineral	Organische Matrix	Wasser
Schmelz	95 (86)	1 (2)	4 (12)
Dentin	70 (45)	20 (30)	10 (25)
Zement	61 (33)	27 (30)	12 (36)
Knochen	45 (23)	30 (37)	25 (40)

Tabelle 11: Zeitlicher Ablauf der Milchzahntwicklung (1. Dentition) modifiziert nach Schroeder 1992.

Stand der Entwicklung	I1 (Inzisivus) (mittlerer Schneidezahn)		I2 (Inzisivus) (seitlicher Schneidezahn)		C (Caninus) (Eckzahn)		M1 (Molar) (Milchbackenzahn)		M2 (Molar) (Milchbackenzahn)		Zeiteinheit
	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	
Kiefer	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	
Beginn der Mineralisation	14		16		17		15,5		18		Wochen nach Ovulation
Beginn des Durchbruchs	10	8	11	13	19	20	16	16	29	27	Monate nach der Geburt
Abschluss der Wurzelbildung	2/9	2/9	2/9	2/6	3/7	3/7	3/1	2/10	3/11	3/6	Jahre und Monate nach der Geburt

OK = Oberkiefer; UK = Unterkiefer

Gleichzeitig entstehen alle drei Zuwachszähne, die noch der ersten Dentition zugezählt werden müssen, da sie keine Zahnvorgänger besitzen (Ooe 1981). Die Ersatzzähne, die als zweite Dentition Milchzähne ersetzen müssen, entstehen im 5. Monat nach der Ovulation und deren Entstehungsende im Alter von 2-3 Jahren ist.

Tabelle 12: Zeitlicher Ablauf der Entwicklung der bleibenden Zähne (2. Dentition) modifiziert nach Schroeder 1992.

Stand der Entwicklung	I1 (Inzisivus) (mittlerer Schneidezahn)		I2 (Inzisivus) (seitlicher Schneidezahn)		C (Caninus) (Eckzahn)		P1 (Prämolar) (vorderer Backenzahn)		P2 (Prämolar) (hinterer Backenzahn)		M1 (Molar) (großer Backenzahn)		M2 (Molar) (großer Backenzahn)		M3 (Molar) (Weißheitszahn)	
	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK
Kiefer	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK	OK	UK
Beginn der Mineralisation	3-4M		10-1 2M	3- 4M	4-5M		18-24M		24-30M		7-8NO		30-36M		7- 9J	8- 10J
Beginn des Durchbruchs	67- 81J	60- 69J	70- 88J	68- 81J	100- 122 J	92- 114J	96- 109J	96- 115J	102- 114J	101- 121J	61- 67J	59- 69J	119- 128J	112- 122J	170- 190J	170- 190J
Abschluss der Wurzelbildung	86- 98J	77- 86J	96- 108 J	85- 96J	112- 133 J	108- 130J	112- 136J	110- 134J	116- 140J	117- 143J	93- 108J	78- 98J	129- 162J	110- 157J	195- 196J	200- 208J

OK = Oberkiefer; UK = Unterkiefer; NO = Monate nach der Ovulation; M = Monate nach der Geburt; J = Jahre nach der Geburt

Jede Zahntwicklung, einschließlich der Entwicklung der Zahnhartsubstanzen, ist als Resultat einer Kette von Induktionen zwischen den produktiven und koordinativen Leistungen hochdifferenzierter Zellen des Ektoderms und des Mesoderms aufzufassen (Koch 1972).

Dentin und Schmelz werden schichtweise gebildet, welches anhand sogenannter Wachstumslinien erkennbar ist. Somit sind Störungen in der Zahnentwicklung nachvollziehbar (Schroeder 1992). Viele Daten zeigen, dass die Schmelzbildung und die anschließende Schmelzreifung von Zahn zu Zahn an verschiedenen Flächen eines Zahnes zu unterschiedlichen Zeitpunkten beendet werden kann (Schroeder 1992). Für die Entwicklung bedeutet dies, dass je länger der Zahnschmelz an einer Fläche des Zahnes sich im unreifen Zustand befindet, er stärker den Einflüssen der Umwelt ausgesetzt ist. Die Verdichtung des Mineralgehalts im heranreifenden Zahnschmelz verläuft in zwei Schüben und gradientenartig (Suga 1982).

Anhand der Tabellen 11 und 12 kann ein Zusammenhang zwischen den Mineralisationszeiten der einzelnen Zähne der ersten und zweiten Dentition und der Zufuhr der zu untersuchenden Mineralstoffe während der vier Entwicklungsstadien durch die Nahrungsaufnahme erstellt werden.

Das Prinzip der Zunahme der Mineraleichte im Zahn beruht auf einem zeitlich parallel laufenden Zuwachs des Kristallwachstums durch Einbau von Ca, P, F, Sr und den Seltenen Erden bei gleichzeitiger Abnahme des Protein- und Wassergehaltes (Suga 1982). Da diese anorganischen und organischen Zustandsänderungen auf zellulärer Leistung beruhen (Schroeder 1992), kann z. B. die Ca-Zufuhr über Diffusion oder Zelltransport gesteuert werden (Crenshaw und Takano 1982).

Die Grundvoraussetzung für die Schmelzformation (Amelogenese) und die Bildung der Zahnhartgewebe Schmelz und Wurzelzement ist die Bildung von Dentin durch Odontoblasten (hochdifferenzierte Zellen zur Bildung von Dentin).

Ein Teil des Wurzelzements entsteht während der Bildung der Zahnwurzel, ein anderer Teil während und nach Abschluss des Zahndurchbruchs. Später wird er zeitlebens gebildet (Schroeder 1992).

Die Eigenschaften der Zahnhartsubstanzen ergeben sich aus der Art ihrer Entstehung und ihrer Struktur (Tabelle 13).

Tabelle 13: Anorganische Zusammensetzung der Zahnhartsubstanzen in Prozent des Trockengewichtes modifiziert nach Schroeder 1992 (Sr-Werte in ppm/TG).

	Ca (Calcium) %	P (Phosphor) %	F (Fluor) %	Sr (Strontium) ppm
Zahnschmelz	33,6-39,7	16,1-19,4	300-1.200 (ppm/TG*)	26,0-280
Dentin	24,5-29,4	11,6-18,5	0,020-1,00	70,0-620
Wurzelzement	21,2-26,5	10,0-12,3	0,180-0,460	(keine Angaben)

* Wert in ppm/TG (Trockengewicht) variiert durch Aufnahme von Trinkwasser, Nahrungsmittel und F-Substitution in der Kariesprophylaxe

Nach Durchbruch der Zähne wird kein Zahnschmelz mehr gebildet (Stegemann 2007). Es erfolgt für etwa zwei bis drei Jahre die sogenannte Schmelzreifung (Maturation) (Wöhrl 2008). Ab diesem Zeitpunkt hat nur noch die Beschaffenheit des Mundmilieus einen Einfluss auf die Zahnhartsubstanzen, indem ein langsamer Austausch von Mineralstoffen an den Zahnoberflächen stattfindet. Dabei kann Ca aus dem Zahnschmelz durch Elemente wie F oder Sr ersetzt werden (Stegemann 2007).

In den folgenden Tabellen 14 und 15 sind nochmal in vereinfachter Form die durchschnittlichen Durchbruchszeiten der Zähne, sowohl im Milchgebiss als auch im permanenten Gebiss, dargestellt.

Anhand der Durchbruchszeiten der jeweiligen Zähne können die Entwicklungsvorgänge des Gesamtorganismus und die des stomatognathen Systems in Verbindung gebracht werden. Sie sind sowohl für die odontologische Therapieplanung und die forensische Odontologie von signifikanter Bedeutung (Habib 2007).

Habib fand 2007 heraus, dass bei Vergleichen der Zahndurchtrittsalter im permanenten Gebiss auf internationaler Ebene viele Länder über keine Studien verfügen und dass bei der Auswertung der Daten die ungenaueren Werte (z. B. nicht exakte Geburtsdaten der Probanden) berücksichtigt werden müssen und die Durchbruchsreihenfolge der bleibenden Zähne in Ländern wie z. B. der Türkei und dem Irak im Vergleich zu Deutschland abweichen kann.

Tabelle 14: Durchschnittliche Durchbruchzeiten der Milchzähne (Lehmann und Hellwig 2005).

Milchzahn	OK-Zähne %	UK-Zähne %	Lebensmonat
Mittlerer Schneidezahn	51,6	71,8	6.-8.
Seitlicher Schneidezahn	52,6	72,8	8.-12.
1. Milchmolar	54,6	74,8	12.-16.
Eckzahn	53,6	73,8	16.-20.
2. Milchmolar	55,7	75,9	20.-30.

Tabelle 15: Durchschnittliche Durchbruchzeiten der permanenten Zähne (Mörrike et al. 1969).

Zähne	OK-Zähne %	UK-Zähne %	Lebensjahr
1. Molar	16,3	36,5	6.-7.
Mittlerer Schneidezahn	11,2	31,4	6.-8.
Seitlicher Schneidezahn	12,2	32,4	8.-9.
Eckzahn im UK		33,4	9.-11.
1. Prämolare	14,2	34,4	10.-12.
Eckzahn im OK	13,2		11.-13.
2. Prämolare	15,3	35,5	11.-13.
2. Molar	17,3	37,5	12.-14.
Weisheitszahn	18,3	38,5	17.-30.

3.2 Calcium

Chemische und physikalische Eigenschaften:

Das chemische Element Calcium (Ca) steht mit seiner Ordnungszahl 20 in der zweiten Hauptgruppe des Periodensystems und gehört somit zu den Erdalkalimetallen. In seiner elementaren Form liegt es als glänzendes, silberweißes Metall vor und ist in chemischen Verbindungen mit elektronegativen Bindungspartnern zweiwertig mit der Oxidationsstufe $+2$ (Holleman und Wiberg 2007). Aufgrund seiner Reaktionsfähigkeit kommt es in der Natur nicht im gediegenen, sondern nur im gebundenen Zustand als Bestandteil von Mineralien vor (Eisenbrand und Schreier 2006). Ca liegt in der Natur in kationischer Form von Salzen vor, welche in Wasser schwer- oder unlöslich sind (Holleman und Wiberg 2007).

Natürliches Vorkommen und Ca-Quellen für den Menschen:

Ca ist das dritthäufigste Metall der Erdkruste (3,63 %) und im menschlichen Organismus der mengenmäßig am stärksten vertretene Mineralstoff. Bis zu 99 % des Körpercalsiums befindet sich, im Plasma liegend, in den Knochen und Zähnen. Der Rest ist auf den Extra- und Intracellulärraum aufgeteilt. Im Skelett und in den Zähnen ist es in Form von Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5[\text{OH}/(\text{PO}_4)_3]$) vertreten und verleiht dort Stabilität und Festigkeit. Der Ca-Anteil macht 39 % des Gesamtmineralgehaltes des Knochens aus (Biesalski et al. 2002). Das eingelagerte Ca in den Zähnen (bestehend aus 95 % Hydroxylapatit) verbleibt dort dauerhaft, während das Ca im Knochen das sogenannte Reservedepot bildet. Es ist für den Erhalt eines konstanten Ca-Serumspiegels verantwortlich. Deshalb und aufgrund der Unterlegenheit der ständigen Remodellierungsprozesse (Resorption und Neubildung von Knochensubstanz) der Masse des Knochens ergibt sich bei unzureichender Ca-Zufuhr schneller ein lokaler Ca-Mangel als in den unterschiedlichen Zahnstrukturen (Stegemann und Davis 2007).

Mengen und Verteilung Calciums im menschlichen Körper:

Bei der Geburt beträgt die Ca-Masse 25-30 g, das entspricht ca. 0,8 % des Körpergewichts, bei erwachsenen Menschen etwa 1.000-1.100 g, das sind ca. 1,7 % des Körpergewichts. Bei ausreichender Versorgung ist das Ca etwa zu 1 % im Blut vorhanden und hat dort annähernd eine konstante Konzentration von 0,090-0,105 mg/L. Der Ca-Spiegel im Blut ist essentiell für lebenswichtige Prozesse wie Blutgerinnung, Muskelkontraktionen, die Übertragung von Nervenimpulsen und die Aktivierung von Enzymen (Wöhrl 2008).

Bis zum 30. Lebensjahr ist der Maximalwert der Knochenmineraldichte ("peak bone mass") erreicht (Hahn 2001). Danach nimmt die Knochenmineraldichte trotz einer ausreichenden Ca-Aufnahme kontinuierlich ab. Bei einem gesunden Menschen kommt es jährlich zu einem Verlust von 1 % an Knochenmineralstoffmasse (Hahn 2001). Die Ausscheidung von Ca steigt mit dem Alter, da durch die gesteigerte Tätigkeit der knochenabbauenden Zellen (Osteoklasten) vermehrt Knochengewebe abgebaut und ausgeschieden wird. In Folge dessen weisen ältere Menschen eine negative Ca-Bilanz auf (Biesalski et al. 2002).

Sämtliche Ca-haltigen Körperstrukturen gehen aus einer anorganischen und organisch bestehenden Strukturproteinmatrix (Kollagen) hervor. Der Anteil des Kollagens an der organischen Knochenmatrix liegt bei 90-95 %. Auch der Zahnhalteapparat (Parodontium) und die Gingiva bestehen hauptsächlich aus Kollagen (Stegemann und Davis 2007).

Die Folgen von Ca-Mangel und -Übersorgung für den menschlichen Körper

Die häufigsten Studien, über die Wirksamkeit von Ca auf die Entwicklung des Knochens beruhen auf Untersuchungen mit Ca-Supplementen (Burckhardt 2008).

Doch bevor auf Supplemente zurückgegriffen wird, sollte eine Ca-Zufuhr zunächst mit Milchprodukten und/oder mit Ca-reichen Mineralwässern versucht werden, da Milchprodukte ca. 50 % des Ca unserer Nahrung stellen und aufgrund des hohen Gehalts an Phosphaten und Proteinen besonders gut absorbiert werden (Bohmer et al. 2000). Des Weiteren stellen Mineralwässer eine ebenfalls wertvolle Ca-Quelle dar, da das Ca aufgrund des hohen Bicarbonatgehalts der Mineralwässer sogar noch besser und schneller resorbiert wird als das Ca der Milchprodukte (Baran et al. 1990). Die Ursache liegt in dem alkalisierenden Effekt des Bicarbonats, der die Knochenresorption hemmt (Waldvogel et al. 2002), selbst wenn die Ca-Aufnahme hoch ist (Dumartheray et al. 2006).

Die intestinale Absorption von Ca beträgt bei einer Einnahme von 1 g ca. 20 % und bei 500 mg ca. 30 % (Burckhardt 2008). Deshalb sind hoch dosierte Supplemente weniger wirksam als gering dosierte.

Schwindel, rote Gesichtsfarbe, Obstipation, Nephrolithiasis (Nierensteine), Kribbelgefühl, Xerostomie (Mundtrockenheit), kardiovaskuläre Störungen (Bolland et al. 2010), Müdigkeit und Hypertonie (Bluthochdruck) und die Herabsetzung der Wirksamkeit von Medikamenten

wie Antibiotika und Bisphosphonaten (Peters et al. 2001) können Symptome von überhöhter Ca-Zufuhr sein, eine regelrechte Ca-Vergiftung durch die Nahrungsmittelaufnahme ist eher unwahrscheinlich, da Ca bei normaler Nierentätigkeit schnell wieder ausgeschieden wird.

Wesentlich häufiger lässt sich ein ernährungsbedingter Ca-Mangel beobachten. Lediglich 38 % der Jungen und 29 % der Mädchen im Alter von 6-11 Jahren nehmen die empfohlene Ca-Menge zu sich. In einer Querschnittsstudie über die Wirkung von Milchprodukten konnte nachgewiesen werden, dass eine Supplementierung mit Milchprodukten bei weiblichen Teenagern eine erhöhte Knochendichte erbracht hat (Cadogan et al. 1997), diese wieder auf Kontrollwerte absinkt, wenn keine Milchprodukte mehr aufgenommen werden (Merrilees et al. 2000). Ein regelmäßiger Konsum von Milchprodukten im Kindesalter verringert das Frakturrisiko im Erwachsenenalter (Kalkwarf et al. 2003).

In der Altersgruppe der 12-49-Jährigen erfüllen nur 32 % der männlichen und 16 % der weiblichen Personen das Soll, noch dramatischer ist es bei den über 49-Jährigen, denn hier nehmen weniger als 15 % der Menschen die ernährungsphysiologisch geforderte Menge an Ca zu sich (USDA 1998). Die Gründe hierfür sind der Mangel an Wissen bezüglich des Ca-Bedarfes des Menschen oder werden durch vorsätzlich mangelhafte Ernährung verursacht, die heute besonders durch die gesellschaftliche und soziale Umgebung geprägt wird (Scholz-Ahrens 2003). Ebenfalls müssen Faktoren, wie z. B. Schwangerschaften und damit verbundene Stillzeiten, bei der Ernährung berücksichtigt werden, denn während der Zahnbildung und -reifung des Embryos muss eine ausreichende tägliche Ca-Zufuhr gewährleistet sein.

Ca-Mangel verursacht häufig Muskelkrämpfe, Atem- und Zahnprobleme, die sich in Form von erhöhter Kariesanfälligkeit bemerkbar machen (Stegemann und Davis 2007). Bei längerfristiger Ca-Unterversorgung erhöht sich das Osteoporose-Risiko, eine altersbedingte Knochenstoffwechselstörung mit erhöhter Frakturneigung des Skelettsystems. Außerdem spielt das Vitamin-D-Hormon Calcitriol bei der Ca-Resorption eine große Rolle, da es die Ca- und P-Homöostase reguliert (Dusso et al. 2005). Die Aufnahme von Lebensmitteln wie Butter oder fetthaltigem Fisch sowie eine ausreichende Sonnenexposition tragen zu einem ausgeglichenen Vitamin-D-Haushalt bei. Insbesondere Kinder, die sowohl Mangel an Ca und Vitamin D, bedingt durch die Ernährung, haben, erkranken häufiger an Rachitis, eine Knochenwachstumsstörung als Folge von Mineralisationsdefekten, welche sich später durch verzögerten

Zahndurchbruch oder Störungen im Zahnschmelz sogenannter Schmelzdysplasien bemerkbar machen (Waes und Stöckli 2001).

Zahnentwicklung unter Betrachtung der Einlagerung von Calcium

Nach dem Durchbruch der Zähne wird kein Zahnschmelz mehr gebildet. Es erfolgt für etwa zwei bis drei Jahre die sogenannte Schmelzreifung oder Maturation (Wöhrli 2008), bei der Ca durch andere Elemente substituiert wird (z. B.: Sr, P, La, Ce). Ab diesem Zeitraum hat nur noch die Beschaffenheit des Mundmilieus eine Auswirkung auf die Zusammensetzung der Zahnhartsubstanz (Schmelz, Dentin, Zement), da ein langsamer Austausch von Mineralstoffen an den Zahnoberflächen stattfindet. Während der Zahnbildung und -reifung kann eine reduzierte Ca-Aufnahme zu einer erhöhten Kariesanfälligkeit führen.

In zahlreichen Studien zur Untersuchung der Zahnentwicklung treten häufig große individuelle zeitliche Schwankungen auf. Der erste Molar der permanenten Dentition kann sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer bereits vor der Geburt mit der Mineralisation (28.-32. Alterswoche) beginnen (Christensen und Kraus 1965). Der zweite Prämolare der permanenten Dentition kann sich auch unerwartet spät (40.-60. Altersmonat) entwickeln (Ravn und Nielsen 1977).

Der Speichel ist mit Ca und P gesättigt und stellt somit eine essentielle Ca-Quelle für unreife oder demineralisierte Zahnoberflächen dar. Durch diese Pufferfunktion wird unter anderem verhindert, dass Ca aus der Zahnhartsubstanz durch die Säuren der Plaquebakterien gelöst wird und folglich der Kariesentstehung entgegengewirkt werden kann.

Weiterhin wirkt sich ein Ca-Mangel auch auf andere Strukturen des Zahnhalteapparates aus, wodurch es zu einem Funktionsverlust eines vorher gesunden Zahnhalteapparates kommen kann. Osborn et al. berichteten 1977 in einer Studie über an Parodontitis erkrankte Patienten, die eine geringere als die empfohlene Ca-Zufuhr aufwiesen.

Versorgungslage der Bevölkerung mit Calcium

Das Bundesforschungsinstitut für Lebensmittel (MRI) führte im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2008 die Nationale Verzehrstudie (NVS II) durch. Ziel dieser Studie war es, repräsentative Daten über den aktuellen Verzehr und Ernährungsstand der deutschen Bevölkerung zu gewinnen. Anhand dieser Studie

konnte belegt werden, dass die Versorgungssituation bezüglich der Zufuhr von Mineralstoffen, besonders von Ca, bei vielen Bundesbürgern nicht ausreichend ist.

Die Studie zeigte, dass sich fast die Hälfte der Bevölkerung nicht den Ca-Referenzwerten entsprechend ernähren (Tabelle 16), obwohl hier der deutlich geringere Parameter der DGE (im Vergleich zu den Referenzwerten in Tabelle 8 (S.22)) zugrunde gelegt wurde. Interessanterweise nimmt das Ca-Defizit mit dem Alter zu.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ergeben sich aus zunehmenden Studien weitere Ca-Quellen wie Mineralwässer (Bohmer 2000). Viele Mineralwasserhersteller nutzen das Wissen über die häufige Unterversorgung an Mineralstoffen zu ihren Gunsten und lenken deshalb ihre Werbekampagnen gezielt in diese Richtung. Dem Konsumenten wird vermittelt, dass bestimmte Heil- und Mineralwässer über einen erhöhten Ca-Gehalt von bis zu 600 mg/L verfügen. Ein Mineralwasser darf als "calciumhaltig" bezeichnet werden, wenn sein Ca-Gehalt über 150 mg/L liegt (MTVO 2006).

Tabelle 16: Alters- und geschlechtsspezifischer Mehrbedarf von Ca anhand der Nationalen Verzehrsstudie (NVS II).

Geschlecht	Alter (Jahre)	Referenzwerte der DGE (mg/d)	Personen (%) oberhalb (+) bzw. unterhalb (-) des Referenzwertes	Mehrbedarf für die am schlechtesten versorgten 5 % der Fallgruppe (mg)
Männlich	19–24	1.000	-32,4	455
Männlich	25–34	1.000	-38,4	412
Männlich	35–50	1.000	-41,3	457
Männlich	51–64	1.000	-50,5	501
Männlich	65–80	1.000	-61,1	532
Weiblich	19–24	1.000	-51,5	529
Weiblich	25–34	1.000	-49,7	485
Weiblich	35–50	1.000	-48,8	470
Weiblich	51–64	1.000	-54,7	478
Weiblich	65–80	1.000	-64,5	531
Weiblich (schwanger/stillend)	19–24	1.000	-51,7	529
Weiblich (schwanger/stillend)	25–34	1.000	-49,7	485
Weiblich (schwanger/stillend)	35–50	1.000	-48,8	470

3.3 Phosphor

Chemische und physikalische Eigenschaften von Phosphor

Phosphor (P), mit der Ordnungszahl 15, ist ein anisotropes Nichtmetall der fünften Hauptgruppe/Stickstoffgruppe (Hollemann und Wiberg 2007). Es tritt natürlich aufgrund seiner relativ hohen Reaktionsfähigkeit nicht elementar, sondern ausschließlich chemisch gebunden in Mineralien und Organismen, z. B. in Form von verschiedenen Phosphaten und speziell als Calciumphosphat, auf. P ist mit Ca zusammen maßgeblich in Form von Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5[\text{OH}/(\text{PO}_4)_3]$) am Aufbau des Knochengewebes und der Zahnhartsubstanz beteiligt (Lautenschläger et al. 2007). Phosphate bilden die Grundsubstanz der Nukleinsäuren, den Trägern der genetischen Information und bilden die Basis des Energiestoffwechsels (Bertau et al. 2013) und der Regulation des Säure-Basen-Haushaltes sowie weiterer Stoffwechselreaktionen (Wöhrl 2008). Somit gehört P zu den essentiellen Nahrungsbestandteilen (Belitz et al. 2008).

Natürliches Vorkommen und Phosphorquellen für den Menschen

P-Erze treten vornehmlich als sedimentäre marine Apatite auf, deren Lagerstätten in Nordafrika, China, im Mittleren Osten und in den Vereinigten Staaten liegen.

Die Schätzungen der P-Reserven und -Ressourcen schwanken erheblich, da der größte Anteil der heute bekannten Vorkommen einer Ausbeutung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zugänglich ist (Bertau et al. 2013). Die bekanntesten und bedeutendsten Vorkommen liegen in Marokko, Jordanien, Südafrika und China.

Sowohl technische Schwierigkeiten bei der Gewinnung der P-Erze als auch die Verunreinigungen mit Schwermetallen wie Cadmium, Uran, Mangan und Radium lässt den P-Preis auf dem Weltmarkt ansteigen.

P ist bedeutend für die Organismen und ebenso wichtig für die Wirtschaft (Bertau et al. 2013). Ungefähr 90 % der Weltproduktion fließen in die Düngemittelproduktion (seit 1960 ist die Nachfrage nach P-Dünger um 400 % angestiegen) ein. Die verbleibenden 10 % verteilen sich auf Tenside, Pyrotechnik, Produkte der Halbleiterindustrie sowie Pestizide. Auch in der Futtermittelindustrie werden sogenannte Ca-Phosphate im Gemisch mit Phosphaten anderer Metalle eingesetzt. Des Weiteren finden Ca-Phosphate Anwendung in Backpulver und in fluoridhaltigen Zahnpasten als Calciumhydrogenphosphat (CaHPO_4) (Bertau et al. 2013).

Phosphate sind zum allgegenwärtigen Bestandteil der Ernährung in entwickelten Ländern geworden. Daher ist eine phosphorarme Ernährung die seltene Ausnahme. Insbesondere industriell verarbeiteten Lebensmitteln wie Schmelzkäse, Fleisch- und Wurstwaren sowie Softdrinks werden P-Verbindungen in Funktion als Trennmittel, Emulgatoren und Säurestabilisatoren zugesetzt. Nach Angaben des Berufsverbandes Deutscher Internisten (BDI) leiden immer mehr Menschen in Deutschland an einem zu hohen P-Spiegel im Blut (Klinikgruppe Enzenberg 2011).

Alle europaweit in Lebensmitteln zugelassenen Stoffverbindungen mit P werden in der Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV 2004) gelistet. Die tatsächlichen Konzentrationen der zugesetzten P-Verbindungen in Nahrungsmitteln müssen jedoch nicht angegeben werden.

Für die Herstellung von Zahnpasten wird P sowohl in Form von Calciumhydrogenphosphat (CaHPO_4) verwendet, welches mit seiner geringen Abrasionswirkung auf die Zahnhartsubstanzen einen guten Reinigungseffekt hat und dabei gleichzeitig andere Wirkstoffe in der Zahnpasta nicht inaktiviert. Außerdem wird P in Form von Natriummonofluorphosphat ($\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$) eingesetzt, welches in der präventiven Zahnheilkunde als Fluorverbindung zur Anwendung kommt (Rieben und Kielbassa 2006).

Mengen und Verteilung von Phosphor im menschlichen Körper

P ist nach Ca der zweithäufigste Mineralstoff im Körper. Der menschliche Körper enthält 600-700 g P, wovon ca. 85 % in Knochen und Skelett eingelagert sind (Stegemann und Davis 2007). Der P-Gehalt im Blut liegt bei Kindern doppelt so hoch wie bei Erwachsenen, was zeigt, wie wichtig dieses Element für Wachstum und Entwicklung ist (Emsley 2011). In Nahrungsmitteln ist P organisch gebunden oder liegt in Form anorganischer Salze vor.

Ein Mangel an P (Hypophosphatämie) kann durch die Einnahme bestimmter Medikamente entstehen, wodurch das Ca/P-Gleichgewicht gestört wird (Brunelli und Goldfarb 2007). Ebenso können Erkrankungen wie Morbus Crohn oder Alkoholabusus ursächlich dafür sein. Hypophosphatämie äußert sich durch Müdigkeit, Schwäche, Übelkeit und Herzinsuffizienz. P-Mangel-Versorgung bleibt häufig lange Zeit unbemerkt, da der Körper zwischenzeitlich seinen Bedarf aus der Remobilisierung von Knochenstrukturen nimmt.

Im Körper machen sich Störungen des Ca/P-Haushaltes sowohl in Form von degenerativen Prozessen des Knochenapparates wie Arthritis oder Osteoporose als auch durch Müdigkeit und Gewichtsverlust bemerkbar.

Bedeutsam für den menschlichen Körper ist der Ca/P-Quotient. Da P in der Nahrung für den Körper leichter zugänglich ist als Ca, wird in der Regel 1,5-mal mehr P als Ca aufgenommen. Erhöht sich der Serum-P-Spiegel, nimmt der Ca-Spiegel ab und umgekehrt (Scherberich 2008). Eine zu hohe P-Aufnahme bewirkt, dass die Ausscheidung von Ca über die Nieren verstärkt wird. Die ideale Zufuhr von Ca und P über die Nahrung sollte in einem Verhältnis von eins zu eins erfolgen. Nur so ist die Mineralisierung und Remineralisierung der Knochen ausreichend gewährleistet. Dieser Schutzmechanismus in Form der Remodellierung im Körper verhindert eine zu hohe Konzentration beider Mineralstoffe gleichzeitig und somit eine Calcifizierung der Weichgewebe und Steinbildung in den Nieren (Jahnen-Dechent 2004).

Die Gruppe um Karp fand 2007 heraus, dass bestimmte Lebensmittel mit ihrem P-Anteil die Knochenresorption beeinflussen. Sie stellte in einer Studie an jungen Frauen fest, dass durch eine erhöhte Fleischzufuhr die Knochenresorption gesteigert wird und bei einer vermehrten Aufnahme von Käse die Resorption geringer ist (Karp et al. 2007).

Betroffene einer Hyperphosphatämie leiden häufig an Sensibilitätsstörungen, Muskelkrämpfen, Gewebeverkalkungen, Bluthochdruck, Gelenkschmerzen sowie Herzfrequenz- und Herzrhythmusstörungen (Ackermann 2011). Eine P-Intoxikation aufgrund einer erhöhten alimentären Zufuhr ist bei gesunden Menschen noch nicht bekannt.

Zahnentwicklung unter Betrachtung der Einlagerung von Phosphor

Der P-Haushalt ist eng an den des Ca geknüpft. Deshalb kann ein P-Mangel während der Zahnbildung ebenfalls eine nicht ausreichende Kalzifikation der Zahnhartsubstanzen oder eine Störung in der Dentinogenese verursachen. Die Folge ist nach Zahndurchbruch eine erhöhte Kariesanfälligkeit der Zähne. Die erweiterten Dentintubuli ermöglichen den Bakterien das Eindringen in das Dentin, sobald eine Störung des Zahnschmelzes in Folge einer Demineralisation vorliegt (Gronwald 2012).

Versorgungslage der Bevölkerung mit Phosphor

Da sich alle Stoffwechselstörungen der Mutter ab dem ersten Schwangerschaftsmonat auf das ungeborene Kind auswirken und später bei der Dentition sichtbar werden können (Schule 2006), sollte schon von frühester Entwicklung an auf eine ausgewogene Ca/P-Zufuhr geachtet werden.

Durch Untersuchungen mit Isotopenmarkern konnte schon in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts nachgewiesen werden, dass parallel zu Ca auch P im wachsenden und reifenden Zahnschmelz während der Zahnentwicklung eingebaut wird, jedoch nicht mehr im ausgereiften Schmelz (Erbacher und Wannemacher 1941).

Eine Vielzahl von Probanden erreicht in vielen Ländern aufgrund dieser Ernährungsweise den oberen Grenzwert (D-A-CH-Referenzwert) für die Aufnahme von P-Verbindungen von 3,5 g/d. Studienergebnisse aus Finnland um die Gruppe von Kemi et al. zeigen, dass die negativen Einflüsse eines zu hohen P-Konsums auf den Ca- und Knochenstoffwechsel nicht durch eine erhöhte Ca-Aufnahme verhindert werden können (Kemi et al. 2006).

Auch bei den immer populärer werdenden vegetarischen und veganen Ernährungsweisen kann das empfohlene Aufnahmeverhältnis nicht erreicht werden, da auch Lebensmittel nicht-tierischer Herkunft mehr P als Ca enthalten.

3.4 Fluor

Chemische und physikalische Eigenschaften von Fluor

Fluor (F) ist das elektronegativste Element des Periodensystems mit einer EN von rund 4,0 nach Pauling (1960). Es gehört zur siebten Gruppe des PSE, hat die Ordnungszahl 9 und ist der klassische Vertreter der Halogene. Wegen seiner sehr hohen Reaktionsfreudigkeit tritt es natürlich nicht elementar auf, sondern meist gebunden in Salzen.

Elementares F ist ein blassgelbes, stark ätzendes Gas, das mit organischen Stoffen zu Verbindungen reagiert, die seine extreme Giftigkeit erklären (Tressaud 2006). F bezeichnet das einfach negativ geladene Anion des Fluors, das als wasserlösliches Salz oder gebunden in schwerlöslichen Mineralien auftritt (Mittelsdorf 2010). Ubiquitär vorkommendes F macht ca. 0,06 % der Erdoberfläche aus (Holleman und Wiberg 2007) und gelangt sowohl durch vulkanische Eruptionen als auch durch Lösungsvorgänge in Gewässer und Luft in den Nahrungskreislauf (zitiert in Mittelsdorf 2010). F kann in Abhängigkeit von der verabreichten bzw. aufgenommenen Dosis physiologisch, therapeutisch und toxisch sein (zitiert in Schütte 2003).

Mengen und Verteilung von Fluor im menschlichen Körper

F ist kein essentieller Mineralstoff, wird aber in die Knochenmatrix eingebaut. Dadurch wird die Knochenfestigkeit erhöht und gleichzeitig die Knochenlöslichkeit verringert (Wöhrl 2008).

Aus vielen Studien ist bekannt, dass F-Verbindungen aus dem Trinkwasser zu 86-97 % und aus der festen Nahrung zu 75-80 % im Magen-Darm-Trakt resorbiert werden (zitiert in Schramm 2002). Je nach Quelle und Menge der aufgenommenen Speisen schwanken die F-Gehalte im Plasma und im Speichel. Sie variieren tageszeitlich zwischen 0,01-0,08 µg/ml F im Plasma und zwischen 0,01-0,03 µg/ml F im Speichel. Das absorbierte F wird entweder über die Nieren ausgeschieden oder in den Hartgeweben wie Zähne und Knochen gebunden. Etwa 99 % des gesamten Körperfluors befinden sich in den kalzifizierten Geweben und stehen dem Skelett ein Leben lang zur Verfügung (Ekstrand und Whitford 1988). Im Zahnhartgewebe sind F-Ionen irreversibel gebunden, da dort kein Stoffwechsel stattfindet (Mittelsdorf 2010). Mineralisierte Zähne und Milchzähne enthalten F im Mittel in folgenden Konzentrationen: (mg/kg) Schmelz: 22; Dentin: 100 (Heintz 1997).

F hat eine hohe Affinität zu Knochen und Zahnhartgeweben. Die Interaktion der aufgenommenen F-Ionen wirkt insbesondere auf die hartgewebsbildenden Zellen. Deshalb wird nachfolgend der Mineralisationsprozess des Zahnschmelzes nach Schuhmacher et al. (1990) zusammengefasst.

Versorgungslage der Bevölkerung mit Fluor

Sowohl die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) als auch das US-amerikanische Institute of Medicine der National Academy of Science (NAS) haben "Richtwerte für die F-Gesamtzufuhr (aus Nahrung, Trinkwasser und Supplementen) sowie der F-Supplemente zur Kariesprävention" formuliert (DGE/ ÖGE/ SGE/ SVE 2000).

F wird durch Nahrungsmittel, wie z. B. Mineralwasser, Trinkwasser, Speisesalz, schwarzen Tee und Supplemente (Zahnpasta, Zahnpflegemittel oder Arzneimittel), aufgenommen. Der F-Gehalt in festen Lebensmitteln liegt unter 1 mg/100 g Frischgewicht. Lediglich Fisch und Fischprodukte, Schwarzteeblätter und fluoridiertes Speisesalz weisen eine deutlich höhere Konzentration auf (Leitzmann 2003). Das Trinkwasser ist in Deutschland relativ fluorarm, wohingegen in vielen Ländern, wie z. B. in den USA, dem Trinkwasser F zugesetzt wird (Stegemann und Davis 2005). Der Gehalt in Mineralwässern liegt zwischen 0,5 mg/L F und 6,5 mg/L F.

Seit dem 1. August 2008 darf bei Mineralwässern ein Höchstwert von 5,0 mg/L F nicht mehr überschritten werden (MTVO Anl. 4 (zu § 6a, Abs. 1)). Durch diese Maßnahmen soll insbesondere bei Kindern unter sieben Jahren eine Überdosierung durch die Kombination mit anderen F-Supplementen verhindert werden.

Da auch natürliche Mineralwässer zur Gesamtfluorbilanz beitragen (Freund und Thumeyer 2005), muss laut der "Dritten Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung" vom 24. Mai 2004 bei Mineralwässern mit einem Gehalt über 1,5 mg/L F der Gehalt ausgewiesen und mit folgendem Hinweis versehen werden: "Enthält mehr als 1,5 mg/L F: Für Säuglinge und Kinder unter sieben Jahren nicht zum regelmäßigen Verzehr geeignet".

Seit 1991 wird in Deutschland fluoridiertes Speisesalz in Packungen zu je 500 g nur für den häuslichen Gebrauch und mit einem Gehalt von 250 mg/kg F angeboten. Nach Schulte et al.

(2003) sollte fluoridiertes Salz nur zur Nahrungsergänzung genommen werden, wenn das Trinkwasser weniger als 0,7 mg/L F enthält. Bergmann und Bergmann (1995) fordern für eine Kariesprophylaxe eine Fluoridierung des Tafelsalzes in Höhe von 0,05 % F. Dies würde bei Kindern und einer geschätzten mittleren täglichen Aufnahme von 0,5 g F Tafelsalz einer zusätzlichen Zufuhr von 280 µg F entsprechen.

Es gibt zahlreiche Faktoren, die bei der F-Zufuhr, insbesondere bei Kleinkindern, beachtet werden müssen. Der wohl bedeutendste und bekannteste unerwünschte Nebeneffekt, hervorgerufen durch eine übermäßige F-Exposition während der Zahnbildung, ist die sogenannte Dentalfluorose. Das bedeutet, dass die Zähne bei sehr milden Formen weißlich-opake bis weiße oder braune Flecken aufweisen. Bei einer schweren Form der Erkrankung zeigen die Zähne eine sekundär bedingte bräunliche Verfärbung und unterschiedliche Grade von Fleckenbildung. Diese Zähne sind gänzlich kariesanfällig. Die Dentalfluorose kann allerdings nicht mehr auftreten, wenn die Zahnentwicklung abgeschlossen ist (Schroeder 1992).

Besonders kritisch für die Bildung einer Schmelzfluorose ist für Jungen der Zeitraum zwischen dem 19. und 20. Lebensmonat und für Mädchen zwischen dem 25. und 26. Lebensmonat, da sich in diesem Intervall alle bleibenden Zähne in der Phase der Schmelzentwicklung befinden (Evans 1993). Die F-Aufnahme ist außerdem einer der drei Eckpfeiler der Kariesprävention. Die zwei weiteren Pfeiler sind sowohl eine ausreichende als auch zweckdienliche Mundhygiene und eine gesunde ausgewogene Ernährung.

Zahnentwicklung unter Betrachtung der Einlagerung von Fluor

F stört bedingt durch seinen toxischen Einfluss auf die Mitochondrien der schmelzbildenden Ameloblasten (Yan et al. 2007), die Schmelzbildung. Bei einer Höhe der F-Konzentration von (>5 mg/kg F) wird sowohl die Schmelzformation als auch die Dentin- und Zementbildung beeinflusst. Zahnschmelz fungiert einerseits als Molekularsieb und andererseits als Ionenaustauscher (Schroeder 1992).

Durch Inhibition der kollagenbildenden Enzyme entsteht eine fehlerhafte Schmelzmatrix, die der Mineralisation zur Verfügung steht (Maciejewska et al. 2006). Der organische Restanteil oxidiert an der Zahnoberfläche und zeigt sich klinisch in Form von gelben, braunen oder schwarzen Flecken (Murphy 2008).

Schmelz mit hohem F-Anteil ist poröser (Kakei et al. 2007) und enthält einen niedrigeren Mineralanteil (Tanimoto et al. 2008), so dass seine Widerstandskraft nur noch 40-60 % beträgt. Da F auch auf die dentinbildenden Odontoblasten wirkt, kann es zu fluorotisch verändertem Dentin kommen (Wurtz et al. 2008).

Die systemische Aufnahme von F-Ionen innerhalb der Grenzwerte wirkt sich vor dem Zahndurchbruch durch Mineral- und Leitungswasser, Tabletten und später lokal durch F-haltige Zahnpasten, Gele, Lacke, Mundspüllösungen oder durch gezieltes Lutschen von F-Tabletten auf die Zähne aus. Somit summieren sich die kariesprotektiven Wirkungen von F bei lokaler und systemischer Zufuhr.

Durch die systemische Aufnahme von F zeigen sich auch Veränderungen in der Zahnmorphologie. Featherstone wies 1999 nach, dass die Grobstruktur der Backenzähne in Gegenden mit fluoridiertem Trinkwasser veränderte Muster zeigten: Weißere Oberflächen, rundere Höcker und engere, weniger leicht penetrierbare Fissuren und Grübchen zeigen die F-Aufnahme an. Die Anwesenheit von F-Ionen senkt generell die Kariogenität des Mundmilieus herab. Lokal verfügbares F verhindert eine Demineralisation der Zahnhartsubstanzen. Eine Remineralisation wird gefördert und die Aktivität von Säurebakterien gehemmt, da sich an der Zahnoberfläche ein Ca/F-Präzipitat bildet, aus dem F in den Schmelz diffundieren kann (Mittelsdorf 2010). Diese Anreicherung ist jedoch nur von kurzer Dauer, da das F wieder in den Speichel zurück diffundiert (Hellwig et al. 1995). Bis zum achten Lebensjahr ist die kariesprotektive Wirkung des systemisch aufgenommenen F am größten, da die Mineralisierung der noch nicht durchgebrochenen zweiten Zähne stattfindet.

Toxizität von Fluor

In der Literatur unterscheidet man die wahrscheinliche toxische Dosis (Probably Toxic Dose = PTD) von der sicher tödlichen Dosis (Certainly Letal Dose = CLD). Bei einem Erwachsenen liegt die LD (letale Dosis) für F bei ca. 5-10 g NaF (= 32-64 mg/kg F) und bei Kindern bei ca. 2 g NaF (= 14,3 mg/kg F) (Bhussy 1970, Knappwost 1979 und Lehmann 1984). Nach Strubelt (1991b) müsste demnach ein Erwachsener 20 kg fluoridiertes Speisesalz zu sich nehmen, um zu sterben. Bei Kindern führen Dosen von 5 mg/kg F zu leichten Vergiftungssymptomen wie Übelkeit, Erbrechen und Diarrhö (Trube 2004). Die Wirksamkeit von F-Anwendungen in der Kariesprophylaxe gilt als gut belegt (Walsh et al. 2010). Dennoch wird weiterhin die chronische und akute Giftwirkung von Fluoren kontrovers diskutiert, da F-

Verbindungen wie das Natriumfluor auch als Ratten- und Insektengifte in der Holzschutzmittelindustrie eingesetzt werden (Lautenschläger 2007). Die Symptome einer akuten Vergiftung mit F gleichen der einer Säurevergiftung, da das Natriumfluorid mit der Magensäure zu Flusssäure reagiert, die aufgrund ihrer starken Lipidlöslichkeit ein hohes Penetrationsvermögen besitzt und die Magenschleimhaut angreift (Strubelt 1991b). Als spezifisches Symptom gilt die Hypocalciämie, weil sich Ca mit F zu dem schwer löslichen Calciumfluorid (CaF_2) verbindet. Dies kann unbehandelt zum Herzkreislaufversagen führen (Trube 2004).

Für Zahnmediziner ist der bedeutendste Effekt der chronischen F-Vergiftung das Auftreten der Dentalfluorose. Da sie sowohl im Milch- als auch im bleibenden Gebiss vorkommt, lässt sich ihre Entstehung auf eine frühe Störung des Reproduktionszyklus der Ameloblastentätigkeit in der Phase der Schmelzbildung und -reifung zurückführen (Gaengler et al. 2005).

Entscheidend für eine Dentalfluorose ist die aufgenommene Menge, die täglich über einen längeren Zeitraum 2 mg F überschreiten muss (Pendry und Katz 1989). Viele Studien haben aber gezeigt, dass schon eine F-Aufnahme von 0,03 bis 0,1 mg/kg Körpergewicht makroskopische Veränderungen im Zahnschmelz bewirken können (Fejerskov et al. 1987). Überhöhte F-Zufuhr erzeugt bei Erwachsenen Schäden am Knochenapparat. Bei einem Gehalt von 20-80 mg/L F im Trinkwasser wurden in Südafrika und Indien schwere Skelettfluorosen festgestellt. Dabei verknöchern Sehnen- und Muskelansätze (Strubelt und Bargfeld 1973). Unterhalb eines Gehalts von 4 mg/L F sind keine Skelettfluorosen bei Erwachsenen beobachtet worden (Strubelt 1991a).

Seit Januar 2008 ist der Höchstgehalt im Trinkwasser auf 5 mg/L F festgelegt. Das BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) fordert aus Gründen des vorsorgenden gesundheitlichen Verbraucherschutzes den Wert weiter zu senken, da bereits 1 L Mineralwasser, das 5 mg/L F enthält, den UL ("tolerable upper intake level") für Kinder und Jugendliche unter 15 Jahren überschreitet und bei Erwachsenen 71 % des UL ausschöpft (BfR 2003).

Angelehnt an die Empfehlungen der DGZMK sind die Mineralwässer 2004 zur besseren Beurteilung der individuellen F-Aufnahme in eine Liste von der LAGH (Landesarbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege in Hessen) eingeteilt worden (Tabelle 17).

Tabelle 17: Anamnestischen Beurteilung des F-Gehaltes von Mineralwasser (LAGH 2004).

	F-Gehalt im Mineralwasser (mg/L)	Bedeutung für die F-Anamnese
I	0-0,290	ohne Bedeutung
II	0,300-0,690	muss berücksichtigt werden
III	0,700-1,50	keine zusätzlichen Supplemente nötig
IV	über 1,50	Achtung: Überdosierung möglich

Die Ausscheidung des F im Urin spiegelt die Gesamtfluoraufnahme wieder. Sie beträgt bei Säuglingen 50 %, im Skelett von Erwachsenen jedoch 90 %.

3.5 Strontium

Chemische und physikalische Eigenschaften von Strontium

Strontium (Sr) ist ein silbergrauglänzendes, relativ weiches Leichtmetall mit der Ordnungszahl 38, das an der Luft gelb-grau anläuft. Mit Luft reagiert es zunächst zu Sr-Oxid (SrO), um dann später unter Einfluss der Luftfeuchtigkeit zu Sr-Hydroxid (Sr(OH)₂) zu reagieren. Es steht im Periodensystem in der fünften Periode und gehört zu der zweiten Hauptgruppe, den Erdalkalimetallen. Die Elementhäufigkeit in der Erdhülle (= Erdkruste + Wasser + Lufthülle) liegt bei 10⁻¹ bis 10⁻² und ist vergleichbar mit der von Barium, Schwefel oder Kohlenstoff (Holleman und Wiberg 2007). Sr kommt in der Natur nicht elementar, sondern nur in Verbindungen vor, von denen mittlerweile 211 bekannt sind. Die bekanntesten sind aufgrund ihrer geringen Löslichkeit Sr-Sulfat (SrSO₄) und Sr-Carbonat (SrCO₃).

Natürliches Vorkommen und Strontiumquellen für den Menschen

Mehr als 90 % des im menschlichen Körper fixierten Strontiums sind im skelettalen Anteil gebunden (Schroeder et al. 1972). Neben den natürlichen Sr-Isotopen kommt in der Umwelt radioaktives ⁹⁰Sr vor, welches den zahlreichen Atombombenversuchen aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts entstammt und heute noch die Isotopensignatur von Lebewesen aus dieser Zeit prägt (Jung 2007).

Mengen und Verteilung von Strontium im menschlichen Körper

Sr zählt nicht zu den essentiellen Elementen. Natürlich vorkommende Sr-Isotope weisen auch kein toxisches Verhalten im Organismus auf. Da die chemischen Eigenschaften, darunter auch der Ionenradius und die Ladung, denen von Ca ähneln, wird es in Knochen und Zahnhartsubstanzen anstelle von Ca eingelagert (Bertau et al. 2013) (Tabelle 18). Nach Bertau (2013) beträgt die tägliche Aufnahme beim Menschen 1,5-2,5 mg Sr. Bis zu einem Lebensalter von sechs Monaten bleibt der Sr-Gehalt des kompletten Skelettsystems und der Zähne konstant (ca. 50 µg Sr je g Ca), da der Sr-Gehalt in der Milch wesentlich geringer ist als in pflanzlichen Lebensmitteln (Bertau et al. 2013). Sr hat natürlicherweise vier stabile und 29 instabile Isotope, deren Atommasse 75-105 u beträgt (Emsley 2011). Teilweise sind diese auch Bestandteile der verschiedensten Ökosysteme. So bleibt es nicht aus, dass der Mensch auch kleine Mengen an (radioaktivem) Sr durch die Atemluft, den Kontakt mit Sr-haltigem Boden und vor allem mit der Nahrung aufnimmt. Aufgrund der hohen Vielfalt von Bodenmerkmalen treten in den unterschiedlichsten Gegenden verschiedene Werte in der Gesamtbilanz von Sr auf. Die höchsten Werte finden sich in Wüsten und in Böden von Wäldern.

Tabelle 18: Sr-Gehalte im menschlichen Körper (Emsley 2011).

Blut	30 ppb
Knochen	35-140 ppm
Gewebe	120-350 ppb
Gesamt im Körper	320 mg

Zahntwicklung unter Betrachtung der Einlagerung von Strontium

Ausgereifter Zahnschmelz enthält Sr, das einen positiven Einfluss auf die Kariesanfälligkeit des Zahnschmelzes hat (Losee et al. 1974 und Schroeder 1992).

Nach der Zahnschmelzbildung und -reifung und mit dem Durchbruch des Zahns stellt der Zahnschmelz kein stoffwechselaktives Medium mehr dar. Das im Schmelz fixierte Sr zeichnet besonders in den "6-Jahres-Molaren" die lokale Isotopensignatur der ersten vier Lebensjahre auf (Grupe et al. 1997). Zähne enthalten ca. 50-350 µg/g Sr je g Ca, welches sich gleichmäßig auf die Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin verteilt (Bertau et al. 2013).

Der Isotopenvergleich wird eingesetzt, um die Heimatregion einer Person zu ermitteln und ob ggf. ein Ortswechsel zu Lebzeiten stattgefunden hat (Hansen 2005). Dies ist möglich, da der Gehalt von Sr im Knochen und in den Zahnhartsubstanzen durch die Ernährung, die Region und durch Vererbung bestimmt wird (Sealy et al. 1991).

Einsatz und Aufnahme von Strontium

Sr-Salze werden in der Behandlung von an Osteoporose erkrankten Patienten zur Stimulation des Knochenwachstums und damit zur Erhöhung der Knochendichte eingesetzt (Emsley 2011). Des Weiteren gibt es Sr-haltige Medikamente, die bei Frauen in der Postmenopause das Risiko von Knochenbrüchen verringern sollen.

In der Zahnheilkunde werden Salze wie Sr-Chlorid (SrCl_2) und Sr-Acetat ($\text{Sr}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) zur Behandlung überempfindlicher Zahnhälse eingesetzt (Selent 2010). Das Prinzip beruht auf der Bildung einer Mineralschicht. Die freiliegende Dentinfläche und die Dentintubuli werden dadurch verschlossen, und eine Reizweiterleitung an den Nerven wird unterbrochen.

Im Rahmen einer Untersuchung zum geographischen Vorkommen von Sr und der kariesprophylaktischen Wirkung natürlicher Trinkwasserbestandteile eines Kollektivs in

Nordwest-Ohio (USA) korrelierte das geringste Kariesvorkommen in den Gebieten, die den höchsten Sr-Gehalt aufwiesen (Buddecke 1981). Jedoch zeigte sich in Tierversuchen, dass es sich ausschließlich um eine kariostatische Wirkung handelt, wenn das Sr während der Entwicklungsphase aufgenommen wurde (Buddecke 1981).

In der Zahnheilkunde ist die sogenannte Dentinhypersensibilität ein klinisch häufig anzutreffendes Problem (Gernhardt et al. 2001). In zahlreichen Untersuchungen zeigt sich eine Kumulation zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr (Addy und Urquhart 1992). Auch sind Frauen häufiger betroffen als Männer (Dababneh et al. 1999). Als Ursachen gelten hier die zunehmende Inzidenz von Parodontalerkrankungen, Attachmentverlust und Rezessionen des Zahnfleisches (Chabanski et al. 1996) sowie das gewachsene Gesundheitsbewusstsein mit seinen verstärkten Therapie- und Prophylaxemaßnahmen. So entstehen bei übertriebener Durchführung der Putztechnik freiliegende Dentinareale, sogenannte Putzdefekte mit erhöhter Sensibilität (Absi et al. 1987). Als eine der präventiven Maßnahmen gilt hier der Einsatz einer speziellen Zahnpasta wie Sensodyne® Rapid, die Sr-Acetat ($\text{Sr}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) als Wirkstoff enthält. In klinischen Studien (Mason et al. 2010) konnten gute Ergebnisse erzielt werden. Die Ausbildung eines stabilen Sr-Silica-Pfropfens auf dem freiliegenden Dentin, der bis tief in die Dentintubuli reicht, kann die Schmerzentstehung entsprechend der hydrodynamischen Theorie vermindern (bevorzugte wissenschaftliche Theorie zur Erklärung der Dentinhypersensibilität: Durch Reize (z. B. Kälte) werden Flüssigkeitsverschiebungen in den Dentinkanälchen ausgelöst, wodurch Mechanorezeptoren in Nervnähe stimuliert werden) (Earl et al. 2010).

Das heute in hessischen Umweltproben nachweisbare ^{90}Sr stammt überwiegend aus den oberirdischen Atombombenexplosionen der 60er-Jahre des letzten Jahrhunderts. Im Vergleich zum Reaktorbrand von Tschernobyl wurde hier weitaus mehr ^{90}Sr freigesetzt (Jung 2007). Aufgenommenes ^{90}Sr verbleibt ein Leben lang im menschlichen Organismus. Daher müssen die Aktivitätskonzentrationen auf den Expositionspfaden in allen Umweltkompartimenten regelmäßig kontrolliert werden.

Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) hat 2006 folgende Umweltbereiche untersucht: Wasser (Trinkwasser), Fisch, Boden, Futterpflanzen, Milch und Lebensmittel pflanzlicher Herkunft (Jung 2007).

3.6 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer)

Chemische und physikalische Eigenschaften der Seltenen Erden

Der Begriff "Seltene Erden" (REE, engl. Rare Earth Elements) umschreibt eine Gruppe von Elementen, die zu den 17 Übergangsmetallen, der dritten Gruppe des Periodensystems, gehören. Zu den REE gehören die Elemente Scandium, Yttrium und die Gruppe der 14 Lanthanide, die dem Lanthan folgen.

Zu den Lanthaniden gehören Cer (Ce), Praeseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu).

Seltene Erden sind silberglänzende Metalle, die sehr schnell an der Luft oxidieren. Alle Elemente dieser Gruppe treten nicht nur häufig zusammen in Mineralien auf, sondern zeichnen sich auch durch ein ähnliches chemisches und physikalisches Verhalten aus. Charakteristisch sind polare Bindungen, bei denen die Seltenen Erden als dreiwertige Kationen vorliegen; aber auch die Bildung von Chelaten.

In der Natur kommen REE als Phosphate, Silikate und Carbonate in Form von Mineralien vor. Der Gehalt an Lanthaniden in der festen Erdrinde liegt bei etwa 0,01 Gew.-% (Holleman und Wiberg 2007). Das bedeutet, dass Ce weitaus häufiger vorkommt als Blei, Arsen und Quecksilber. Selbst das seltenste Lanthanid, das Europium tritt fast so häufig auf wie Silber.

Ihre magnetischen, magnetoptischen, lumineszenzmikroskopischen, katalytischen und röntgenstreuenden Eigenschaften setzt die Industrie z. B. in der Metallurgie als Reduktionsmittel ein. Außerdem werden die REE im Glas- und Keramiksektor, in der Leuchtstoffröhrenproduktion, in der Kern- und Lasertechnik, in der Glasfaserproduktion und in der Radiologie eingesetzt.

Natürliches Vorkommen und REE-Quellen für den Menschen

Das Hauptvorkommen der Seltenen Erden und damit auch die Hauptproduktionsstätte (80 % des Weltvorkommens) befindet sich in Bergbaugebieten der Inneren Mongolei Chinas (Blume 2001) sowie in Zaire, New Mexico, Sierra Nevada, Brasilien und Südindien (Holleman und Wiberg 2007).

Es sind weitaus mehr als 100 Lanthanid-Mineralien bekannt, von denen nur wenige industriell genutzt werden können und somit von wirtschaftlichem Interesse sind. Da in den meisten biologischen Versuchen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen und Konzentrationen der La-Verbindungen gearbeitet wurde und in diesen vorwiegend die Elemente La und Ce auftraten, wurden im Rahmen dieser Studie La und Ce stellvertretend für die Gruppe der Seltenen Erden betrachtet.

Bei der Produktion hochreiner REE-Verbindungen fallen im großen Umfang weniger Reststoffe an, für die eine Weiterverwendung gesucht wird.

Insbesondere China hat hier intensive Forschungen zum Einsatz in der Landwirtschaft als Dünger und Futterzusatz betrieben (Hu et al. 2006), so dass REE auf diesem Wege auch vermehrt in die Nahrungskette gelangen könnten.

Mengen und Verteilung der Seltenen Erden im menschlichen Körper

Aufgrund ihrer biochemischen und pharmakologischen Eigenschaften können die Lanthanide mit Zellbestandteilen wie Aminosäuren, Enzymen, Nukleoproteinen reagieren (Barry und Meehan 2000). Sie binden sich an Membranproteine von Zellen, was zu einer Neutralisation der Oberflächenladung und einer Veränderung der Flexibilität der Zellmembran an der Zelloberfläche der Bakterien führen und unter Ausbildung von La-Brücken zu einer Zellaggregation der Bakterien kommen kann (Evans 1990).

In hohen Konzentrationen (10^{-4} bis 10^{-2} M) wirken Seltene Erden antibakteriell, bedingt durch die Wachstumshemmung von Bakterien, Hefen und Pilzen (Muroma 1958), indem die äußere Zellmembran zerstört wird (Peng et al. 2004). Hingegen in niedrigen Konzentrationen und je nach Art der Elementkomplexe können sie sich auch stimulierend auf das Bakterienwachstum, abhängig ob grampositiv oder -negativ, auswirken (Zhang et al. 2000).

Wenhua et al. (2003) konnten sogar am selben Bakterienstamm nachweisen, dass durch die Anwesenheit von La die Aufnahme externer DNA in die E. coli-Bakterienzelle unmöglich wird. Damit verhindern La-Ionen den horizontalen Gentransfer und wirken damit Antibiotikaresistenzen entgegen. Folglich kann die These widerlegt werden, dass sich La-Ionen negativ auf die Umwelt auswirken.

In der Literatur werden auch antivirale Eigenschaften der Seltenen Erden beschrieben. Liu et al. (1998) konnten in ihren Versuchen mit Zellkulturen gute Hemmeffekte auf Influenzaviren nachweisen.

Durch die hohe chemische und physikalische Ähnlichkeit mit Ca können Lanthanide mit Ca um die verschiedensten Bindungsstellen konkurrieren (Evans 1990) und somit viele calciumabhängige Systeme stören (Barry und Meehan 2000), so dass die Weiterleitung von nervalen Impulsen in der Muskulatur nicht mehr gegeben ist (Fawzi und McNeill 1985).

Wegen ihres Einflusses auf Ca-abhängige Enzyme legen Vermutungen nahe, dass sie die Blutgerinnung hemmen.

Interessant ist die Vermutung, dass Seltene Erden die pathogene Zellproliferation bei Krebserkrankungen stoppen können. Seltene Erden neigen dazu, sich in Tumorgewebe anzureichern (Evans 1990). Doch es bleibt vorab zu klären, ob die Seltenen Erden nicht selbst einen mutagenen Effekt auslösen können. Die Gruppe um Damment et al. untersuchte das mutagene Potential von La-Carbonat ($\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$) in vitro an Bakterienstämmen in Höchstdosierungen von 5.000 mg/Platte und in vivo an Ratten, Mäusen und Hamstern. Es war kein genotoxischer Effekt in vitro oder in vivo nachweisbar (Damment et al. 2004).

Bei In-vitro-Versuchen mit Magenkrebs verursachenden Zellen konnten Xiao et al. (1997) zeigen, dass nach dem Hinzufügen von La-Chlorid (LaCl_3) und Ce-Chlorid (CeCl_3) in einer Konzentration von 69,5 mg/L das Tumorwachstum gestoppt und die Zellmorphologie verändert wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die Expression einiger Tumor-Suppressor-Gene gesteigert und andere unterdrückt wurden.

In einem Versuch mit humanen Kolonkrebszellen konnten Weiss et al. (2001) nachweisen, dass die antiproliferative Wirkung von La darauf beruht, dass die Krebszellen Ca benötigen.

Auch die Gruppe um Dai et al. (2002) berichteten von einer Hemmung des Zellwachstums von Leukämiezellen unter Einfluss von La- und Ce-Chloriden, wobei keine signifikanten Auswirkungen der La-Salze auf das normale Knochenmarkwachstum zu erkennen waren.

Zahntwicklung und Einlagerung von Seltenen Erden

In einer Studie um Brown wurde 2004 der Spurenelementgehalt von Zähnen aus der ersten Dentition von Kindern aus Uganda und aus Großbritannien verglichen. In den Zähnen von Kindern aus Uganda fanden sich signifikant höhere Ce-, La- und Pr-Gehalte im Zahnschmelz als in denen von Kindern aus Großbritannien. Hingegen fanden sich keine Unterschiede für Ca (Brown et al. 2004). Molleson (1988) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die mineralische Zusammensetzung des Trinkwassers einen entscheidenden Einfluss auf die Zusammensetzung der Zähne hat und regional nachvollzogen werden kann. Seltene Erden reichern sich unter anderem in Zähnen an (Evans 1990). Die Eindringtiefe von La in Zähne steht in direktem Zusammenhang zu Konzentration und Dauer der Oberflächenbehandlung mit ^{140}La (Fernandez-Gavarron et al. 1988). Diese und andere Autoren halten den Ersatz von Ca durch La als möglichen Grund für die Säureempfindlichkeit der Zähne (Yagi 1983). La stärkt den Widerstand von Zähnen gegenüber Säureausscheidungen (Kobayashi et al. 1980). Dieser Effekt steht in direktem Zusammenhang zur Minderung des Ansatzes von Karies (Yagi 1983 und Shimano 1980). La-, Eu-, Sa-, Yb-, Nd-Gehalte im Zahnschmelz und Dentin finden sich in der angegebenen Reihenfolge mit steigendem Anteil im Zahnschmelz und Dentin (Bánóczy et al. 1996). Gintner et al. (1993) weisen auf das Potential Seltener Erden zur Prävention von Karies hin. Forschung an biologischen Eigenschaften von Lanthaniden hat eine lange Tradition in der chinesischen Forschung (Hu et al. 2006). Dort werden die beobachteten Effekte auf Pflanzen und deren Ökosysteme zusammengefasst (Zhengy et al. 2006). Darüber hinaus wird aus China auch über die Applikation zur Kariesprophylaxe berichtet (Zhang et al. 1999d). Als mögliche Ursache wird dabei eine Härtung des Zahnschmelzes vor einer potentiell antimikrobiellen Wirkung der Lanthaniden selbst angesehen (Zhang et al. 1988 und Bánóczy et al. 1990). Dieser Effekt scheint je nach Lanthanid unterschiedlich stark ausgeprägt zu sein (Collys et al 1990, Regulati et al. 1975 und Beazley et al. 1980), ohne dass der Grund bislang gefunden wurde. Arai et al. (1991) vermuten eine geringere Entkalkung der anorganischen Zahnschmelzsubstanzen. Besonders ausgeprägte Effekte auf die Kariesentwicklung wurden bei der Kombination La mit F erzielt (Collys et al. 1990 und Zhang et al. 1999d). Für die spätere Diskussion der Ergebnisse dieser Arbeit sei bereits hier darauf hingewiesen, dass in den Versuchen in der Literatur mit z.T. hohen Konzentrationen und langen Einwirkzeiten gearbeitet wurde (z. B. Bánóczy et al. 1996: 10 %iges Lanthanchlorid (LaCl_3) und 60 Tage Einwirkzeit; Kobayashi et al. 1980: 1-8 %iges Lanthannitrat ($\text{La}(\text{NO}_3)_3$) und 7 bis 35 Tage Einwirkzeit; Yagi 1983: 2,5-10,3 %iges Lanthannitrat ($\text{La}(\text{NO}_3)_3$) für 1-4 Wochen).

Versorgungslage der Bevölkerung mit Seltenen Erden

In der Medizin scheint auch die Verabreichung radioaktiver Lanthanide erfolgsversprechend zu sein. So konnten Lewin et al. (1953) schon nachweisen, dass die Verabreichung i. p. von radioaktivem La-Chlorid das Wachstum von Ehrlich-Aszites-Tumoren bei Mäusen verhindert, die Anzahl lebender Tumorzellen verringert und somit die Überlebenszeit der Tiere verlängert. Allerdings ist die lokale Einnahme von radioaktiven La-Verbindungen immer denen der systemischen Verabreichung vorzuziehen, so dass das nichterkrankte bzw. nichttumoröse Gewebe möglichst wenig belastet wird (Evans 1990).

Die Toxizität der Seltenen Erden ist grundsätzlich von der Verfügbarkeit und der Art der Verabreichung abhängig. Die Verfügbarkeit steigt von <1 % durch orale Einnahme bis zu 100 % durch subkutane, intramuskuläre, intraperitoneale bis hin zur intravenösen Aufnahme (Evans 1990). Nach intravenöser Injektion von Lanthaniden beträgt die $LD_{50} = 10-100$ mg/kg Körpergewicht (Evans 1990), und es konnten bei In-vivo-Versuchen mit Hunden (Graca et al. 1964) Blutdruckabfall, Appetitverlust, Hypoglykämie und eine verlängerte Blutgerinnung beobachtet werden. Die Symptome einer akuten Vergiftung mit Seltenen Erden äußern sich durch Krümmen, Ataxie, erschwerte Atmung und Sedierung (Haley 1965). Allerdings verschwinden die Seltenen Erden innerhalb eines Tages aus der Blutbahn (Nakamura et al. 1991 a/b).

Auch die unterschiedlichen Formen der La-Verbindungen nehmen einen großen Einfluss auf die orale toxische Wirkung. Während 10 g La-Oxid (La_2O_3) oder 5 g La-Sulfat ($La_2(SO_4)_3$) pro kg Körpergewicht keine toxischen Wirkungen hervorgerufen haben, hatte La-Ammoniumnitrat ($H_4LaN_5O_{12}$) eine mittlere letale Dosis von 3.400 mg pro kg Körpergewicht (Richter 2003).

In Großbritannien wurde 1991 eine großflächige Studie (in 20 Städten) zu den Gehalten von 37 Elementen aufwendig durchgeführt (TDS = Total Diet Study 1991). Unter anderem wurde auch der La- und Ce-Gehalt in Nahrungsmitteln ermittelt. Die analysierten Lebensmittel repräsentierten den Verbrauch der allgemeinen Bevölkerung und einer durchschnittlichen Ernährungsform. Diese Proben wurden beim MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food; heute Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)) mit Hilfe der ICP-MS (induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie) nach Aufschluss mit Salpetersäure untersucht. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Gesamtstudie (TDS) 400 Einzelpro-

ben analysiert, in Hauptgruppen (z. B. Gemüse/Eier/Milchprodukte etc.) unterteilt und die jeweiligen Minimum-, Maximum- und Mittelwerte für die einzelnen Gruppen berechnet.

Bedarf des menschlichen Körpers an Seltenen Erden

In einer Langzeitstudie konnte man dem in der Humanmedizin eingesetzten La-Carbonat ($\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$), das in einer täglichen oralen Dosis von 3 g pro Person verabreicht wird, keine nachteiligen Auswirkungen oder toxische Effekte nachweisen (Harrison und Scott 2004).

Beim Menschen konnten Fiddler et al. (2003) eine sehr geringe Absorption nachweisen. Nach einer kumulativen Dosis von 15 g La-Carbonat ließen sich sehr geringe Mengen von 1ng/ml im Blutplasma nachweisen. Dies bedeutet, dass der größte Anteil über die Galle bzw. direkt über den Darm ausgeschieden wird. Das ist besonders wichtig für niereninsuffiziente Patienten. Bei einer oralen Aufnahme von 3 g La-Carbonat konnten lediglich 0,6-1,0 µg/d im Urin (= 0,0003 % Ausscheidung von La-Carbonat) über die Nieren nachgewiesen werden (De Broe und D'Haese 2004).

Zwar ist die Absorption Seltener Erden in den Blutkreislauf sehr gering, dennoch konnte nachgewiesen werden, dass ein Teil aufgenommen wird und sich in einigen Geweben anreichern kann (Harrison und Scott 2004). Histopathologisch scheint sich die Anreicherung im Knochengewebe von Lanthaniden weder toxisch auf den Knochen noch auf die knochenbildenden Zellen (De Broe und D'Haese 2004) auszuwirken.

In vielen Tierversuchen sind Seltene Erden hinsichtlich ihres chemischen und physikalischen Verhaltens, ihrer Applikation, Absorption, Toxizität und ihrer Elimination untersucht worden. In dieser Studie galt es herauszuarbeiten, welchen Anteil feste und flüssige Nahrung an der täglichen La- und Ce-Aufnahme haben.

Das Zulassungsverfahren der Europäischen Union zum Inverkehrbringen und zur Verwendung von Futtermittelzusatzstoffen unterliegt der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003. Parallel zum Antrag auf Zulassung muss ein Dossier der EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) zur wissenschaftlichen Bewertung vorliegen. Anhand der bereitgestellten Informationen prüft die Kommission der Europäischen Behörde, ob der Zusatzstoff den rechtlichen Anforderungen bezüglich der Wirksamkeit und Sicherheit genügt. Im Anschluss an die Prüfung kann die Zulassung, mit einem Eintrag in ein Gemeinschaftsregister, für zehn Jahre

erteilt werden (zitiert in Schöne 2009). Seit 2003 sind Seltene Erden noch als Zusatzstoffe für die Fütterung von Mastschweinen und Ferkeln in der Schweiz vorläufig zugelassen.

4 Vorkommen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in festen Nahrungsmitteln

Im nachfolgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der Metadatenanalyse der Elementgehalte in fester Nahrung vorgestellt. Ziel der Metadatenanalyse war es, eine robuste Kalkulationsbasis für die spätere Berechnung des Anteils fester Nahrungsquellen an der täglichen Gesamtzufuhr zu erstellen.

Hierzu wurden die unterschiedlichen Einzelnahrungsmittel zu Nahrungsmittelkategorien zusammengefasst. Die Vorgehensweise wurde im Detail in Kapitel 2.3 beschrieben. In den Tabellen 19 und 20 sind die für die weiteren Berechnungen dieser Arbeit aggregierten Daten zusammengestellt.

Für die weiteren Berechnungen wurden die Kategorien tierischer Produkte dahingehend weiter aggregiert, dass sich ein kombiniertes Ergebnis für einen Verzehr von einmal wöchentlich Fisch und einem Anteil von 2 % Innereien an Fleischprodukten ergibt. Die Wichtungsfunktion lautet dementsprechend: gewichtete tierische Produkte $(0,875 * (0,98 * \text{Fleisch- und Fleischprodukte} + 0,02 * \text{Innereien})) + 0,14 * \text{Fisch- und Fischprodukte}$

Die Konzentrationen wurden jeweils für die statistischen Szenarien in Mittelwert (arithmetisches Mittel), Median (der im Datensatz am häufigsten vorkommende Wert) und dem Perzentil 95 (nur 5 % der Proben im Datensatz überschreiten diesen Wert) angegeben.

Calcium

Die höchsten Ca-Gehalte fanden sich in Milch, Eiern und Produkten daraus, gefolgt von vegetarischen Produkten. Getreide und Getreideprodukte lagen in ihren Ca-Gehalten am niedrigsten, aber auch um 20 % niedriger als die der tierischen Erzeugnisse.

In Getreide und Getreideprodukten ist Phytinsäure enthalten, die aufgrund ihrer komplexbildenden Eigenschaften Mineralstoffe wie Calcium, Magnesium und Eisen im Magen-Darmtrakt unlöslich binden kann, so dass diese dem Körper nicht mehr zur Verfügung stehen. Somit sind Getreideprodukte trotz ihres hohen Mineralstoffgehaltes als Ca-Quelle nur beschränkt geeignet (Hahn 2006).

Mittlere und mediane Ca-Gehalte lagen in allen Nahrungsmittelkategorien relativ dicht beieinander, was für eine annähernd normale Verteilung der Daten spricht.

Die höchsten Ca-Gehalte überschritten nur in 5 % der Fälle das Doppelte der mittleren bzw. medianen Gehalte. Die mittleren Ca-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Milch, Eier und Produkte daraus" (9.288 mg/kg) über "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (3.774 mg/kg) sowie "Gewichtete tierische Produkte" (556 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukte" (449 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Phosphor

Die höchsten P-Gehalte fanden sich ebenfalls in der Kategorie "Milch, Eier und Produkte", im Anschluss gefolgt von der Kategorie "Gewichtete tierische Produkte", da in der Lebensmittelindustrie P in Form von Polyphosphaten als Lebensmittelzusatzstoffe besonders bei eiweißreichen Produkten (z. B. bei der Wasseraufbereitung und Käseerzeugung) verwendet wird (Eisenbrand und Schreier 1995). Die Werte in den pflanzlichen Produkten waren sich in ihrem P-Gehalt ähnlich und lagen in etwa bei der Hälfte der beiden übrigen Nahrungsmittelkategorien. Auch hier überschritt in ca. 5 % der Fälle das Doppelte der mittleren und medianen Gehalte.

Die mittleren P-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Milch, Eier und Produkte daraus" (7.944 mg/kg) über "Gewichtete tierische Produkte" (5.663 mg/kg) und "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (3.697 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukten" (3.153 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Fluor

Auffallend hoch war der höchste mittlere F-Gehalt in der Kategorie "Gemüse/Früchte und Produkte daraus", da er um das Dreifache von dem Median abweicht. In den übrigen Kategorien lagen die Mittelwerte und der Median dicht beieinander.

Um den täglichen F-Bedarf zu decken, reicht es aus, mit Speisesalz zu würzen oder ausreichend Trinkwasser aufzunehmen. In Lebensmitteln wie Früchten und Gemüse lag der Gehalt meist unter 1 mg/kg F. Allgemein waren die höchsten mittleren und medianen Werte in der

Gruppe "Gewichtete tierische Produkte". Ausgehend vom höchsten F-Anteil in Meerestieren sitzt dieser in den Gräten, die üblicherweise nicht mit verzehrt werden (Eisenbrand und Schreier 1995).

Die mittleren F-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (4,44 mg/kg) über "Gewichtete tierische Produkte" (2,26 mg/kg) und "Milch, Eier und Produkte daraus" (1,70 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukten" (1,06 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Strontium

Das Element mit den größten Unterschieden zwischen den Nahrungsmittelkategorien war Sr. In allen Kategorien differierten die Werte so stark auseinander, dass z. B. in der Kategorie "Milch, Eier und Produkte daraus" der Mittelwert um das 17-Fache gegenüber dem Median erhöht ist. Das höchste Sr-Gehalt fand sich in der Kategorie "Gemüse/Früchte und Produkte daraus".

Aufgrund dieser hohen Schwankungsbreite musste bei der Betrachtung der Mittelwerte berücksichtigt werden, dass der Mittelwert stark von auseinander differierenden Werten beeinflusst wird. Betrachtet man den reinen medianen Wert, war dieser in allen Gruppen mit Ausnahme in "Gemüse/Früchten und Produkten daraus" homogener.

Die hohe Schwankungsbreite der Sr-Werte in den unterschiedlichen Nahrungsmittelkategorien lässt sich durch die geologische Vielfalt, wie z. B. Bodenmerkmale der Anbaugelände und Haltung der Nutztiere, erklären (Jung 2007).

Die mittleren Sr-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (83,6 mg/kg) über "Milch, Eier und Produkte daraus" (34,0 mg/kg) und "Gewichtete tierische Produkte" (17,2 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukten" (14,6 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Seltene Erden (Lanthan und Cer)

Die Variabilitätskoeffizienten wichen bei den Seltenen Erden La und Ce nur in der Kategorie Gemüse/Früchte und Produkten daraus auffällig voneinander ab. Der mittlere Ce-Gehalt war hier fast doppelt so hoch wie der des Lanthans.

Die höchsten La-Gehalte waren in der Gruppe "Milch, Eier und Produkte daraus", wohingegen die höchste Ce-Konzentration in der Gruppe der tierischen Produkte zu finden war.

Grundsätzlich war der Mittelwert bei beiden Vertretern der Seltenen Erden um ein Vielfaches höher als der Medianwert. Ausnahme war der Ce-Gehalt in der Kategorie "Gewichtete tierische Produkte".

Die mittleren La-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Milch, Eier und Produkte daraus" (4,34 mg/kg) über "Gewichtete tierische Produkte" (2,99 mg/kg) und "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (1,84 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukten" (0,597 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Die mittleren Ce-Gehalte in den vier Nahrungsmittelkategorien nahmen von "Gemüse/Früchte und Produkte daraus" (3,08 mg/kg) über "Gewichtete tierische Produkte" (3,57 mg/kg) und "Milch, Eier und Produkte daraus" (0,593 mg/kg) bis hin zu "Getreide und Getreideprodukten" (0,436 mg/kg) kontinuierlich ab (Tabelle 19 und 20).

Tabelle 19: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (mg/kg) in den Nahrungsmittelkategorien "Getreide und Getreideprodukte", "Gewichtete tierische Produkte".

Element	Nahrungsmittelkategorie							
	Getreide und Getreideprodukte				Gewichtete tierische Produkte**			
	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- Koeff (%)*	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- Koeff (%)*
Ca	449	373	951	97,3	556	438	1.461	115
P	3.153	2.879	5.431	76,3	5.663	5.426	9.094	43,1
F	1,06	0,940	1,97	61,3	2,26	1,82	6,02	59,3
Sr	14,6	2,50	73,5	184	17,2	2,26	46,3	126
La	0,597	0,041	3,05	203	2,99	1,27	8,43	130
Ce	0,436	0,070	4,56	231	3,57	3,33	7,95	102

* des Mittelwertes

** gewichtete tierische Produkte (0,875 * (0,98 * Fleisch- und Fleischprodukte + 0,02 * Innereien)) + 0,14 * Fisch- und Fischprodukte

Tabelle 20: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (mg/kg) in den Nahrungsmittelkategorien "Milch, Eier und Produkte daraus" und "Gemüse/Früchte und Produkte daraus".

Element	Nahrungsmittelkategorie							
	Milch, Eier und Produkte daraus				Gemüse/Früchte und Produkte daraus			
	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- Koeff (%)*	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- Koeff (%)*
Ca	9.288	9.763	16.761	180	3.774	2.200	4.958	131
P	7.944	7.778	13.125	65,2	3.697	3.225	8.111	86,7
F	1,70	1,38	4,24	81,2	4,44	1,23	8,82	85,1
Sr	34,0	2,07	130	189	83,6	45,0	306	128
La	4,34	1,25	19,5	170	1,84	0,355	8,49	231
Ce	0,593	0,208	2,49	163	3,08	0,468	4,52	347

* des Mittelwertes

5 Vorkommen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in Trinkwasser

5.1 Elementkonzentrationen in Mineralwässern unterschiedlichen Gesamtlösungsinhaltes

In Tabelle 21 sollen anhand des TDS-Wertes ("total dissolved solids") die Zusammenhänge zwischen dem Mineralisationsgrad der Mineralwässer und der Elementkonzentration betrachtet werden.

Der TDS-Wert ist dabei ein quantitativer Wert und repräsentiert die Gesamtheit aller gelösten organischen und anorganischen Stoffe in einer Wasserprobe.

Grundsätzlich waren die mittleren Konzentrationen der einzelnen Elemente in Wässern mit hohem (TDS>1.500) Gesamtlösungsinhalt höher als in denen mit niedrigem (TDS<500) Gesamtlösungsinhalt. Die Ausnahme waren hier die Seltenen Erden wie La und Ce, deren Mittelwert in Wässern mit hohem Gesamtlösungsinhalt deutlich niedriger ausfiel, wobei der Median wieder anstieg. Auch der Variabilitätskoeffizient und der Perzentil 95 fielen (in gering mineralisierten Wässern) deutlich höher aus als in Wässern mit hohem Mineralisationsgrad.

Auffallend hoch waren auch hier alle Werte der Sr-Konzentrationen mit einem niedrigen Variabilitätskoeffizienten bei einem TDS-Wert von >1.500. Erneut lässt sich die Schwankungsbreite mit der geologischen Herkunft, der Gewinnung und Aufbereitung der Mineralwässer erklären (Hundhausen 2016).

Tabelle 21: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (Ca: mg/L alle anderen: µg/L) mit geringem (TDS<500) und hohem (TDS>1.500) Gesamtlösungsinhalt (TDS).

	Gesamtlösungsinhalt (TDS)							
Element	Gering (TDS<500)				Hoch (TDS>1.500)			
	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- koeff. (%)*	Mittel	Median	P ₉₅	Var.- koeff. (%)*
TDS	440	438	493	8,00	3.894	2.544	6.240	177
Ca	12,1	10,0	29,2	78,6	362	354	611	44
P	53,1	38,6	193	130	61,7	51,5	122	136
F	448	128	2.356	222	674	375	2.066	115
Sr	129	356	434	276	5.394	3.804	12.728	70
La	0,078	0,002	0,169	856	0,014	0,006	0,068	227
Ce	0,066	0,001	0,170	728	0,027	0,012	0,092	177

* des Mittelwertes

5.2 Häufigkeitsverteilung der Elementkonzentrationen von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium, Lanthan und Cer in deutschen Mineralwässern und deutschen Leitungswässern im Vergleich

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen dargestellt.

Trinkwasser steht in dieser Studie als Synonym für trinkbares Wasser und schließt Mineralwässer und Leitungswässer ein.

Eine Gegenüberstellung der beiden Trinkwassergruppen (Mineral- und Leitungswasser) erfolgt in Tabelle 22.

Tabelle 22: Deskriptive statistische Kennwerte für Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce (Ca: mg/L alle anderen: µg/L) in Mineralwässern weltweiter (ohne deutsche Herkünfte) und deutscher Herkunft und deutschem Leitungswasser.

Element	Mineralwasser								Deutsches Leitungswasser			
	Weltweit				Deutschland							
	Mittel	Median	P ₉₅	Var.-koeff. (%)*	Mittel	Median	P ₉₅	Var.-koeff. (%)*	Mittel	Median	P ₉₅	Var.-koeff. (%)*
Ca mg/L	78,3	48,9	282	133	149	94,5	519	98,6	66,3	63,5	127	51,8
P µg/L	50,8	35,5	133	225	61,8	53,0	138	92,6	83,3	63,5	178	188
F µg/L	509	194	2.000	174	391	248	1.200	110	111	94,5	203	101
Sr µg/L	991	277	4.803	204	2.404	526	9.987	4.254	301	228	814	104
La µg/L	0,029	0,002	0,038	1.306	0,012	0,005	0,052	173	0,006	0,001	0,007	609
Ce µg/L	0,028	0,001	0,053	975	0,022	0,010	0,081	209	0,075	0,001	0,006	669

Calcium

Mineral- und Leitungswässer unterschieden sich hinsichtlich ihrer mittleren und medianen Ca-Konzentration nicht wesentlich voneinander, allerdings hatten innerhalb der Gruppe der Mineralwässer solche aus deutschen Quellen fast doppelt so hohe Gehalte wie solche aus anderen Herkünften weltweit (Tabelle 22).

Bei Betrachtung des Variabilitätskoeffizienten weltweiter Mineralwässer (133 %) zeigte sich, dass die Schwankungsbreite der Ca-Konzentration weitaus höher lag als die der deutschen Mineral- und Leitungswässer (Tabelle 22).

Bei den in der Abbildung 7 und 8 gegenübergestellten Häufigkeitsverteilungen wurde die im Vergleich zu Leitungswässern erheblich größere Variationsbreite der Ca-Gehalte in Mineralwässern deutscher Herkunft sichtbar.

Tabelle 23 ergänzte die Information über die Häufigkeitsverteilung der Ca-Konzentrationen in den Leitungswasserproben um die Information darüber, wie viele Personen in Deutschland (in %) dem jeweiligen Probenkollektiv zuzuordnen waren und (Methodik siehe Kapitel 2.1) Wasser mit unterschiedlichen Ca-Konzentrationen zu sich nehmen.

Demnach konsumierten mehr als Dreiviertel der Bevölkerung Leitungswässer mit Konzentrationen unter 100 mg/L Ca. Während die Ca-Konzentrationen der Mineralwässer den natürlichen Hintergrund widerspiegeln, dürften höhere Konzentrationen in Leitungswässern durch die vielerorts übliche Entkalkung unterdrückt werden.

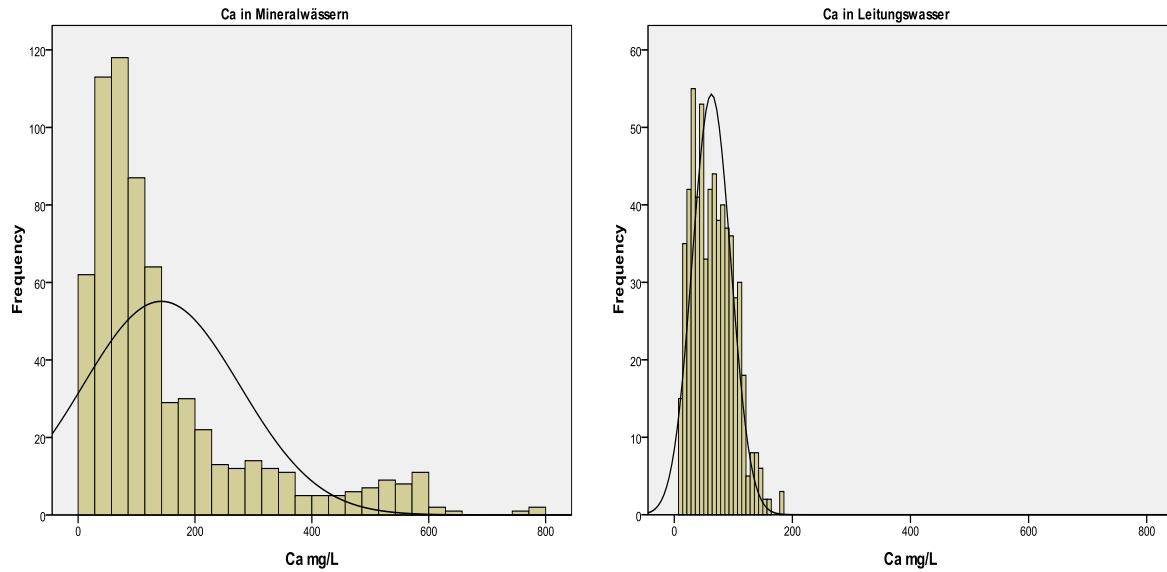


Abbildung 7 (links): Häufigkeitsverteilung von Ca in deutschen Mineralwässern.
 Abbildung 8 (rechts): Häufigkeitsverteilung von Ca in deutschen Leitungswässern.

Tabelle 23: Ca-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen).

Ca-Konzentrationen (mg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<50	38,8	30,1
50-100	43,8	48,6
100-150	16,3	20,8
>150	1,10	0,500

Phosphor

Der P-Gehalt war im deutschen Trinkwasser deutlich höher als in den weltweiten Mineralwässern. Grundsätzlich lag in allen Trinkwässern der mittlere P-Gehalt höher als der mediane Wert. Sowohl in deutschen als auch in den weltweiten Mineralwässern war die Konzentration niedriger als im deutschen Leitungswasser (Tabelle 22).

Faktoren, die die erhöhte P-Konzentration im Leitungswasser begünstigten, sind kommunale Abwässer, die Kunstdünger und Waschmittel enthalten, sowie landwirtschaftliche Einträge wie Gülle und dem Leitungswasser bewusst zugesetzte Phosphate, um Korrosionen und Ablagerungen in den Rohrsystemen zu vermeiden. Der Var.-Koeff. der P-Konzentration in den drei Trinkwasserkategorien nahm von den weltweiten Mineralwässern (225 %) über deutsches Leitungswasser (188 %) bis hin zu deutschen Mineralwässern (92,6 %) kontinuierlich ab (Tabelle 22).

Im Vergleich zu Ca ähnelten sich die Häufigkeitsverteilungen der P-Konzentrationen in den Trinkwässern deutlich stärker (Abbildung 9 und 10).

Insgesamt waren die P-Gehalte in den untersuchten Trinkwässern nur sehr gering. Fast Zweidrittel aller Proben wiesen Konzentration unter der Bestimmungsgrenze von 100 µg/L P auf. Und dementsprechend konsumierte die große Mehrzahl der in der Untersuchung erfassten Bevölkerung Wasser mit sehr niedrigen P-Gehalten (Tabelle 24).

Im Gegensatz zu Ca, das dem Wasser zur Vermeidung technischer Schäden in den Wasserwerken entzogen wird, wird P zur Verhinderung von Leitungskorrosionen vereinzelt zugesetzt. Die dabei gesetzlich vorgeschriebene Höchstkonzentration wurde aber in keiner der Proben auch nur annähernd erreicht (Tabelle 24).

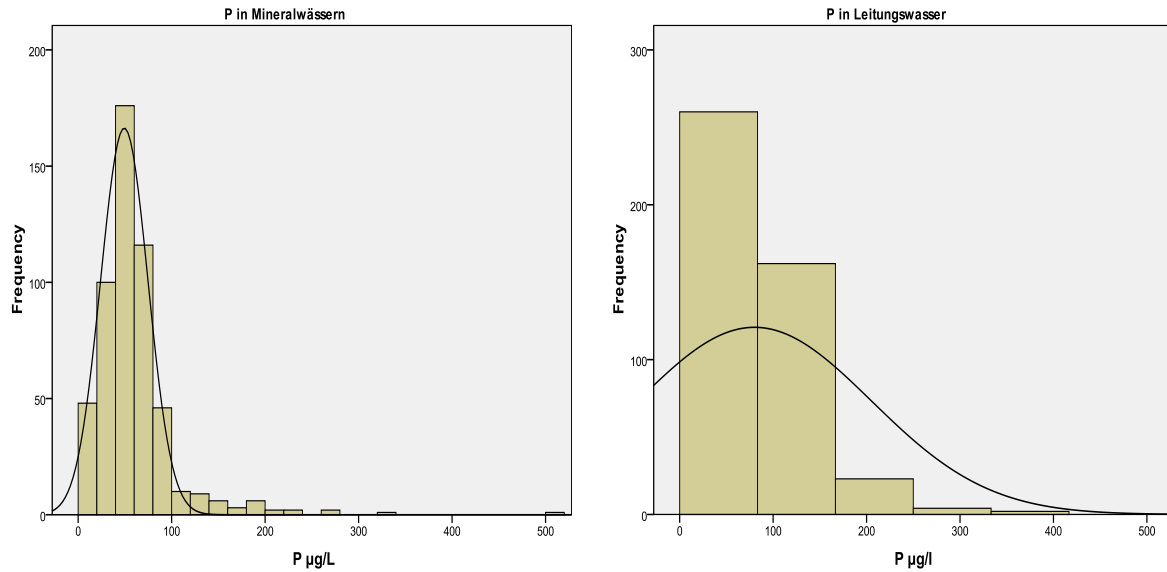


Abbildung 9 (links): Häufigkeitsverteilung von P in deutschen Mineralwässern.

Abbildung 10 (rechts): Häufigkeitsverteilung von P in deutschen Leitungswässern.

Tabelle 24: P-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 455, insgesamt betroffene Personenzahl = 6,8 Millionen).

P-Konzentrationen (µg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<NG*	46,4	67,7
NG-100	22,0	11,8
100-150	22,6	17,5
150-300	7,70	2,43
>300	1,30	0,550

* NG = Nachweisgrenze

Fluor

Auffallend an den F-Konzentrationen war der hohe Wert in den weltweiten Mineralwässern, der teilweise das Vierfache des Wertes in deutschen Trinkwässern überschritt (Tabelle 22).

In den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die weltweite Fluoridierung anfänglich in den USA eingeführt, jedoch in den europäischen Ländern, wie Deutschland, Österreich und der Schweiz, wieder eingestellt, um das Risiko einer Überversorgung (Dentalfluorose) zu vermeiden (Cheng et al. 2007). Dass die die weltweite Trinkwasserfluoridierung noch nicht abgeschafft wurde, erklärte das hohe Perzentil 95 von 2.000 und die hohe Schwankungsbreite des Mittelwerts von 174 %.

Im Allgemeinen ist die Konzentration in Trinkwässern von Natur aus abhängig von der geologischen Formation und kann Werte bis zu 1 mg/L F und mehr erreichen (Meiers 2011). Somit erklärte sich auch der erheblich höhere mittlere F-Gehalt deutscher Mineralwässer gegenüber deutschen Leitungswässern (Tabelle 22).

Für die Konzentrationen in Mineralwässern reichte die Schwankungsbreite bis zu 1000 µg/L F. Bei den Leitungswässern zeichnete sich die Tendenz ab, dass es in Deutschland keine Leitungswässer über 400 µg/L F gibt. Der Vergleich zwischen den Abbildungen 11 und 12 zeigt deutlich, wie sich Aufbereitungsprozesse des Leitungswassers bemerkbar machen.

Die Auswertung der F-Konzentrationen im Vergleich deutscher Mineral- und Leitungswässer untermauerte die Information des BfR vom 12.07.2005, in der mehr als 90 % des deutschen Trinkwassers einen Gehalt 300 µg/L F beinhalten (Tabelle 25).

In dieser Studie lagen über 90 % ebenfalls unter 300 µg/L F. Somit nahm der Großteil der Gesamtbevölkerung in Deutschland keine toxischen Fluorkonzentrationen über das Trinkwasser auf (Tabelle 25). Ausnahmen sind Trinkwässer, deren Gehalt regional begründet einen Gehalt 5.000 µg/L F überschreiten können. Es wird sogar in einigen Studien empfohlen, wenn der aufgenommene Trinkwassergehalt unter 700 µg/L F liegt, dass dieser um eine F-reiche Nahrung, z. B. durch fluoridiertes Speisesalz, ergänzt werden sollte (Schulte et al. 2003), denn erst ab einem Gehalt von 1.500 µg/L F kann es zu einer möglichen Überdosierung kommen (Tabelle 17).

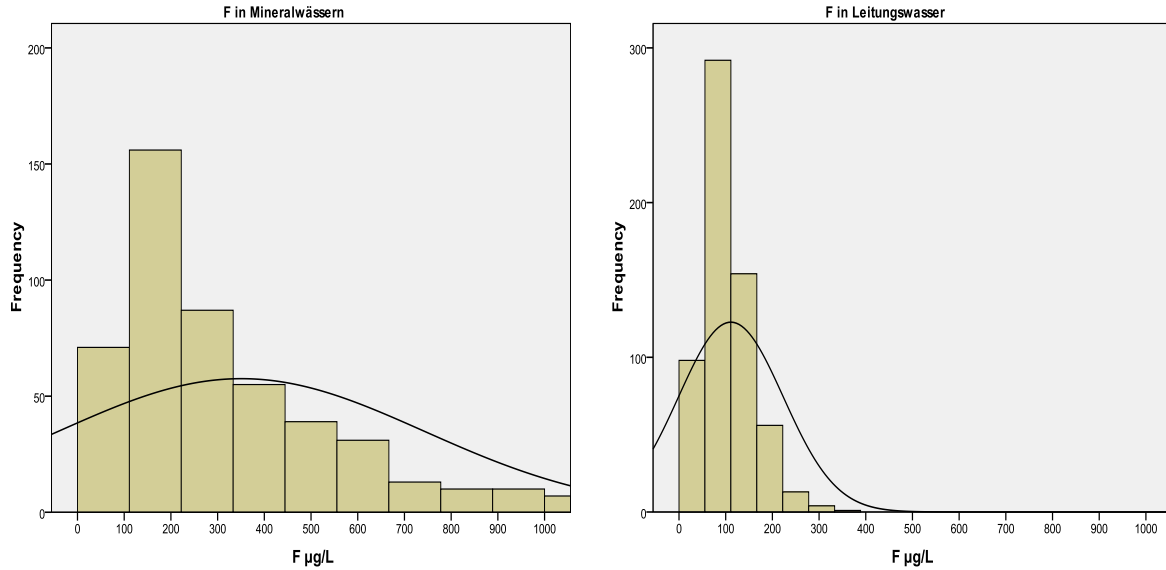


Abbildung 11 (links): Häufigkeitsverteilung von F in deutschen Mineralwässern.

Abbildung 12 (rechts): Häufigkeitsverteilung von F in deutschen Leitungswässern.

Tabelle 25: F-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen).

F-Konzentrationen (µg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<BG	54,6	39,0
BG-200	40,1	51,9
200-300	4,50	8,18
>300	0,800	0,910

* BG = Bestimmungsgrenze

Strontium

Die Konzentration war in deutschen Mineralwässern mit einem mittleren Gehalt von 2.404 µg/L Sr deutlich am höchsten. Der Var.-Koeff. von 4.254 % gab eine hohe Schwankungsbreite an. Auch hier erklärte sich diese durch die Unterschiede der geologischen Formationen (Tabelle 22).

Die niedrigsten Sr-Gehalte fanden sich im deutschen Leitungswasser, da Sr aus dem Grundwasser gefiltert wird und der Anteil an Sr-Salzen im häuslichen Schmutzwasser entsprechend der engen Einsatzmöglichkeiten sehr niedrig ist (Koppe und Stozek 1999) (Tabelle 22).

Wie aus der Tabelle 22 zu ersehen ist, unterlagen die Sr-Konzentrationen einer hohen Schwankungsbreite bezüglich der deutschen Mineralwässer. Abbildung 13 und 14 veranschaulichen die Spannbreite der Konzentrationen bis zu 14.000 µg/L Sr. Außerdem zeigte sich, dass in den ausgewerteten Trinkwasserproben aus Deutschland der Gehalt bei den Mineralwässern im Bereich weniger als 2.000 µg/L Sr doppelt so hoch war wie bei den Leitungswässern (Tabelle 26).

Diese im Gegensatz zu den Mineralwässern weniger von Ausschreitungen beeinflussten Werte zeigen, dass das deutsche Leitungswasser im Gegensatz zu Mineralwässern aufbereitet wird.

Mineralwässer und Leitungswässer unterliegen unterschiedlichen Verordnungen, und auch hier spielt bei der Sr-Konzentration die geologische Herkunft der Trinkwasserprobe eine große Rolle. Hochgerechnet konsumiert fast die gesamte deutsche Bevölkerung Trinkwasser mit einer Konzentration von <1.000 µg/L Sr (Tabelle 26).

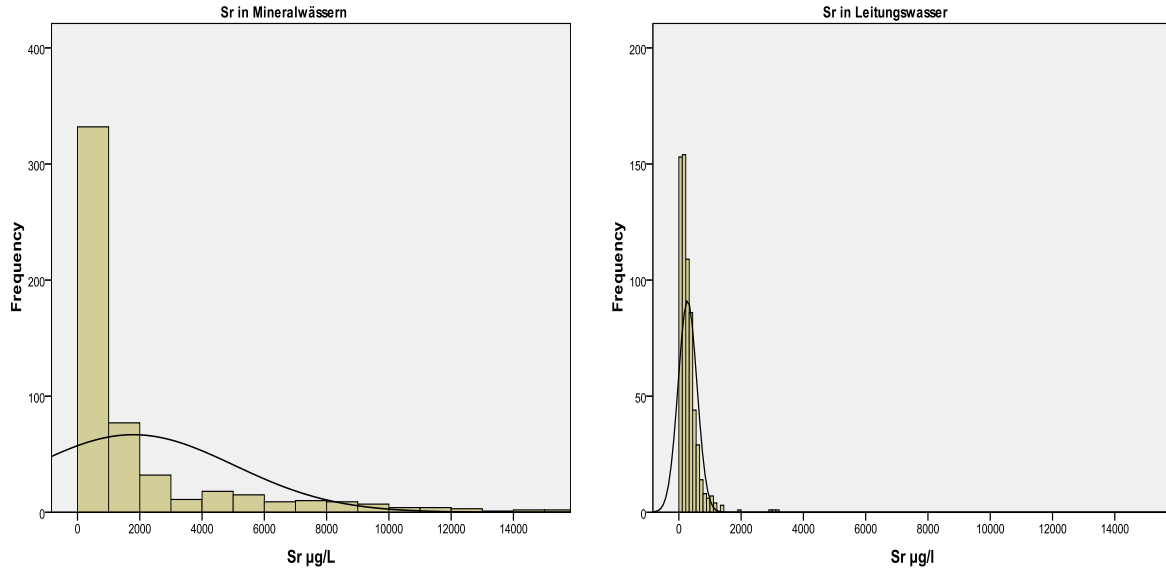


Abbildung 13 (links): Häufigkeitsverteilung von Sr in deutschen Mineralwässern.
 Abbildung 14 (rechts): Häufigkeitsverteilung von Sr in deutschen Leitungswässern.

Tabelle 26: Sr-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen).

Sr-Konzentrationen (µg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<NG *	8,50	3,17
NG-250	45,9	42,2
250-500	30,8	44,0
500-1.000	11,9	9,85
>1.000	2,90	1,10

* NG = Nachweisgrenze

Seltene Erden (Lanthan und Cer)

Der Var.-Koeff. "weltweiter Mineralwässer" nahm mit (975-1.306 %) über "deutsches Leitungswasser" (609-669 %) bis hin zu "deutschen Mineralwässern" (173-209 %) kontinuierlich ab (Tabelle 20).

In allen Trinkwässern waren die medianen Werte deutlich geringer als die mittleren Werte. Aufgrund des geringen natürlichen Vorkommens von La und Ce und der niedrigen Bestimmungsgrenze konnten keine zuverlässigen statistischen Aussagen getroffen werden (Tabelle 22).

Die Häufigkeit der höchsten La- und Ce-Konzentrationen lag sowohl bei den deutschen Mineralwässern als auch bei den deutschen Leitungswässern (Abbildung 15 und 16) bei ungefähr 0,05 µg/L. Auch hier zeigt sich, wie bei Sr, die größere Schwankungsbreite bei den Mineralwässern.

Bei beiden Vertretern der Seltenen Erden waren alle Werte bis auf kleinere Abweichungen identisch (Tabelle 27 und 28). Fast Dreiviertel aller Proben lagen unterhalb der Nachweisgrenze. Somit konsumierten fast 86 % der Bevölkerung Trinkwasser mit einer Konzentration an Seltenen Erden, die gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden konnte (Tabelle 27 und 28). Nur 3 % der Bevölkerung nahmen Trinkwasser mit einer Konzentration $>0,03$ µg/L zu sich.

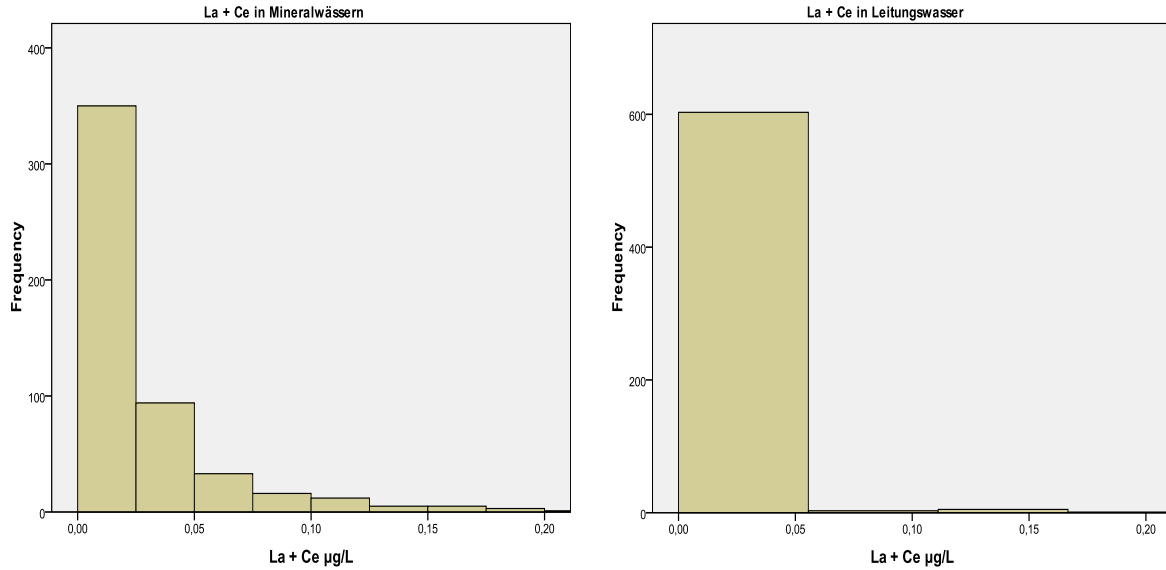


Abbildung 15 (links) Häufigkeitsverteilung der summarischen La und Ce-Konzentrationen in deutschen Mineralwässern.

Abbildung 16 (rechts): Häufigkeitsverteilung der summarischen La- und Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.

Tabelle 27: La-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen).

La-Konzentrationen (µg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<NG *	77,5	85,3
NG-0,01	18,2	11,7
0,01-0,03	2,10	0,840
>0,03	2,30	2,23

* NG = Nachweisgrenze

Tabelle 28: Ce-Gehalte in deutschem Leitungswasser sowie Anteil der Proben und Anteil der betroffenen Bevölkerung (Gesamtprobenzahl = 621, insgesamt betroffene Personenzahl = 29,5 Millionen).

Ce-Konzentrationen (µg/L)	Anteil (%)	
	Proben	Betroffene Bevölkerung
<NG *	77,0	85,3
NG-0,01	19,5	11,8
0,01-0,03	1,10	0,600
>0,03	2,40	2,27

* NG = Nachweisgrenze

5.3 Beziehungen der Korrelation von Ca, P, F, Sr, La und Ce in deutschem Mineralwasser

Tabelle 29 gibt eine summarische Auswertung der Korrelationsmatrix aller im deutschen Leitungswasser analysierten Elemente.

55 % aller möglichen Elementpaarungen zeigten in ihrer Konzentration keine statistisch signifikante Beziehung ($p < 0,050$). Die Paarungen mit einem $p > 0,050$ sind in der Tabelle 29 zusammengestellt. Von den in dieser Arbeit untersuchten Elementen zeigen nur F, La und Ce eine korrelative Verbindung zu anderen Elementgehalten: La und Ce nur untereinander, F zu den Gehalten an B (Tabelle 29).

Tabelle 29: Einfache (PEARSON) Korrelationskoeffizienten ($p < 0,050$) für Elementpaare in deutschem Leitungswasser.

Element	Parameter
TDS	As(0,787); B(0,831); Br(0,516); Ca(0,789); Cd(0,507); Ce(0,667); Cl(0,963); Co(0,694); Cs(0,551); Fe(0,790); HCO ₃ (0,676); Pr(0,515); Ti(0,677); Tl(0,647); In(0,712); K(0,522); La(0,534); Li(0,993); Na(0,965); Mg(0,448); Mn(0,894); Mb(0,648); Ni(0,547); Rb(0,733); S(0,939)
Al	Ge(0,614)
As	Cl(0,736); Fe(0,773); Na(0,656); Mn(0,512)
B	F(0,561); K(0,526); Li(0,589); Na(0,690)
Ba	Sr(0,940); Eu(0,586)
Br	Cl(0,723); Cs(0,504); K(0,504); Li(0,569); Na(0,575)
Cd	Fe(0,514)
Ce	Nd(0,541)
Cl	Rb(0,618); Cs(0,644); K(0,504); Li(0,937); Na(0,968); Mn(0,571)
Cs	Ge(0,777); K(0,611); Li(0,873); Na(0,621); Rb(0,926)
Dy	Er(0,847); Eu(0,682); Gd(0,944); Pr(0,709); Sm(0,889); Tb(0,926); Tm(0,682); Y(0,930); Yb(0,588)
Er	Eu(0,517); Gd(0,668); Ho(0,913); Lu(0,869); Nd(0,514); Sm(0,606); Tb(0,699); Tm(0,948); Y(0,775); Yb(0,919)
Eu	Pr(0,636); Gd(0,730); Ho(0,611); La(0,506); Nd(0,653); Sm(0,733); Tb(0,673); Y(0,635)

F	B(0,561)
Fe	Ta(0,545); Th(0,599); Sc(0,557); Na(0,625)
Gd	Ho(0,821); La(0,573); Nd(0,877); Pr(0,813); Sm(0,975); Tb(0,932); Y(0,891)
Ge	Rb(0,729); Li(0,717); Na(0,536)
HCO ₃	Mg(0,981); S(0,881)
Hf	Zr(0,966)
Ho	Pr(0,605); Tb(0,859); Y(0,870); Yb(0,728); Lu(0,659); Nd(0,661); Sm(0,768); Tm(0,821)
I	Nd(0,502)
K	Na(0,502)
La	Le(0,492); Pr(0,900); Nd(0,820); Sm(0,637)
Li	K(0,546); Na(0,960); Mg(0,738); Rb(0,899)
Mn	Ni(0,533);
Mq	S(0,925); S(0,644)
Na	K(0,502); Rb(0,671); Mn(0,506); S(0,599)
Nd	Pr(0,968); Sm(0,922); Tb(0,775); Y(0,735)
Pr	Sm(0,874); Tb(0,708); Y(0,678)
Sc	Th(0,734)
Sm	Tb(0,894); Y(0,842); Zn(0,523)
Ta	Th(0,620)
Tb	Y(0,871)
Th	Ti(0,507)
Tm	Y(0,958)
Tm	Y(0,603)
Y	B(0,506)

5.4 Regionale Verteilung der Konzentrationen an Ca, P, F, Sr, La und Ce im deutschen Leitungswasser

Die Frage nach der regionalen Verteilung der Ca-, P-, F-, Sr-, La- und Ce-Konzentrationen im deutschen Leitungswasser wird im Rahmen dieser Arbeit nur deskriptiv nachgegangen, eine weitaus differenzierte Betrachtung im Zusammenhang mit Ergründung der geo- und hydrochemischen Ursachen erfolgt bei Hundhausen (2016). Die Abbildung 17 im Anhang gibt einen Überblick über die räumlichen Verteilungen der Konzentrationen im Leitungswasser, die Tabelle 30 einen summarischen Überblick über die auf zweistelligen Postleitzahlengebiete aggregierten Werte. Die Originaldaten sind zwar bis auf fünfstelligen Postleitzahlen aufgelöst, für eine bessere Übersichtlichkeit wurde jedoch an dieser Stelle eine Zusammenfassung der Daten gewählt. Abbildung 17 im Anhang ermöglicht die räumliche Zuordnung dieser Zahlen zu Gebieten in Deutschland. Signifikante (F-Test $p < 0,001$) Unterschiede zwischen Herkünften von Leitungswässern zeigten sich lediglich bei den Elementen Ca, F und Sr.

Tabelle 30: Regionale (Postleitzahlregionen) Unterschiede in den Ca-, P-, F-, Sr-, La- und Ce-Konzentrationen im deutschen Leitungswasser.

Element	Niedrigster Mittelwert		Höchster Mittelwert		Signifikanzen (F-Test)
	PLZ	mg/L	PLZ	mg/L	
Ca	57	21,3	83	232	$P < 0,001$
P	21	5,10	76	163	$P > 0,050$
F	57	51,7	55	472	$P < 0,001$
Sr	54	32,9	48	960	$P < 0,001$
La	13	0,001	86	0,100	$P > 0,050$
Ce	26	0,001	86	0,128	$P > 0,050$

Im Ergebnis dieser grob gerechneten Auswertung ist die Bevölkerung im Südosten Bayerns mit den höchsten, die im Westen Kölns mit den geringsten Ca-Gehalten im Leitungswasser versorgt (Tabelle 30, Abbildung 18 Anhang). Unbedingt zu beachten ist, dass diese Ergebnisse nur begrenzt mit regionalen geologischen Gegebenheiten im Zusammenhang stehen müssen. Die Regionen westlich von Köln beispielsweise werden im großen Umfang mit Trinkwasser aus Talsperren versorgt, was die niedrigen Ca-Gehalte begründen könnte.

Bemerkenswerterweise finden sich höchste und niedrigste F-Konzentrationen beide im Umkreis von Köln: Im nordwestlichen Teil des Gebietes liegen die mittleren F-Gehalte im Trinkwasser mehr als neunfach über denen des südlichen Teils (Tabelle 30, Abbildung 20 Anhang). Bei Sr liegen die mittleren Gehalte im Leitungswasser vom nördlichen Rand des Ruhrgebietes um fast 300-mal höher als im Südwesten Kölns (Tabelle 30, Abbildung 21 Anhang). Für P, La und Ce gefundene Unterschiede sind statistisch (F-Test) nicht signifikant ($p > 0,050$).

Eine detailliertere Aufschlüsselung der Mittelwerte der einzelnen Elementkonzentrationen in deutschen Leitungswässern, gruppiert nach zweistelliger Postleitzahl, befindet sich im Anhang (Abbildungen 24 bis 29).

6 Beitrag von Mineral- und Leitungswässern zur täglichen Aufnahme von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählter Seltener Erden wie Lanthan und Cer in verschiedenen Ernährungsszenarien

Im folgenden Kapitel wird für verschiedene Ernährungsszenarien der Beitrag von in Wasser gelöstem Ca, P, F, Sr, La und Ce an der täglichen Gesamtaufnahme quantifiziert. Das Gesamtszenario setzt sich dabei aus einem "flüssigen" Teil, der die Art des Wasserkonsums, und einem Ernährungsszenario, welches die Art der festen Nahrungsaufnahme beschreibt, zusammen. Die Elementaufnahme bei Trinkwasser bezieht sich auf einen täglichen Konsum von 2 L, der allgemein als "optimal" angesehen wird (Mayo Clinic 2015). Als Kritik kann angeführt werden, dass kaum jemand zwei Liter Wasser am Tag konsumiert.

Hassoun (2011) konnte in einer Modellrechnung jedoch zeigen, dass die Summe aller mit Getränken jeglicher Art aufgenommene Wassermenge (alkoholische und nicht alkoholische Getränke, Heißgetränke, Milch, Leitungs- und Flaschenwasser) im Durchschnitt etwa 2 L/d ergibt. Berücksichtigt man weiterhin, dass die Basis all dieser Getränke fast immer Leitungs- oder Mineralwasser ist, kann die für die hier vorgestellten Modellrechnungen angenommene Menge von zwei Liter Wasser am Tag als durchaus zutreffend angesehen werden.

Die vier verschiedenen Ernährungsszenarien wurden bereits in Kapitel 3.2 dieser Arbeit erläutert. Die mittleren Aufnahmemengen ergeben sich aus der Multiplikation der in Tabelle 6 angegebenen täglichen Verbrauchsmengen und den in den Tabellen 19 und 20 aus der Metadatenanalyse gewonnenen Elementkonzentrationen für die einzelnen Nahrungsmittelkategorien.

Aus der Kombination der Art eines bestimmten Wasserkonsums mit einem Ernährungsszenario ergeben sich sodann verhaltensabhängige Minimal- und Maximalgrenzen für die tägliche Elementaufnahme. In den Tabellen dieses Kapitels wird weiterhin angegeben, inwieweit durch Änderung des Trink- und Essverhaltens die tägliche Aufnahme des jeweiligen Elementes beeinflusst wird.

Im Gegensatz zu Hassoun (2011) wurden in der vorliegenden Arbeit auch statistische Verteilungsparameter für die Metadaten der Elementkonzentrationen in festen Nahrungsmitteln berechnet. Neben dem arithmetischen Mittelwert werden der Median, als der in der Datenpopulation am häufigsten vorkommende Wert, und der Wert für das Perzentil 95 angegeben.

Letzterer entspricht dem Wert, unterhalb dessen sich die Konzentrationen von 95 % der Datenpopulation befinden.

6.1 Calcium

Ca ist eines der Elemente, welches maßgeblich zum Gesamtlösungsinhalt von Wasser beiträgt. Hochmineralisiertes Wasser findet sich nur unter den Mineralwässern und hat im Mittel fast 30-mal höhere Ca-Konzentrationen als niedrig mineralisierte ("leichte") Wässer, deren TDS wiederum im Mittel weniger als ein Fünftel des TDS von Leitungswasser entspricht.

Geht man von einem täglichen Bedarf von 1.000 mg Ca aus (Kapitel 2.3.3), so können Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt im Extremfall (Perzentil 95) durchaus alleine den Tagesbedarf eines Erwachsenen an Ca zu decken (Tabelle 16), immer unter der Annahme, dieses Mineralwasser sei die alleinige Flüssigkeitsquelle der betreffenden Person.

Im Gegensatz zur neuen Wasserkomponente sind die Unterschiede zwischen den Ernährungsszenarien fester Nahrung weniger stark ausgeprägt. Die niedrigste Ca-Zufuhr mit fester Nahrung hat eine Person mit betont karnivorer Ernährung, eine doppelt so hohe Zufuhr der Veganer (Tabelle 31). Dieser Unterschied differiert nur unwesentlich, wenn beide Quellen – flüssige und feste Nahrung – gemeinsam betrachtet werden. Dementsprechend ist die Änderung der Konsumstrategie beim Wasser etwa halb so effektiv im Hinblick auf die tägliche Ca-Zufuhr wie ein Wechsel des Ernährungsszenarios. In jedem der betrachteten Szenarien liegt die tägliche Zufuhr jedoch deutlich über der als ernährungsphysiologisch optimal angesehenen Menge von 1.000 mg/d Ca (NVS II). Dabei beträgt der Wasseranteil an der täglichen Ca-Aufnahme unter günstigen Bedingungen kaum mehr als ein Sechstel der Gesamtaufnahme an Ca (Tabelle 31).

Tabelle 31: Mittlere Ca-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ca-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	133	127	254
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	298	189	1.038
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	157	98	564
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	24,3	20	58,4
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	724	708	1.222
Ernährungsszenario			
I. Standard	2.532	2.047	2.267
II. Vegetarier (ovo-lacto)	5.091	3.860	7.672
III. Veganer	5.185	3.061	6.935
IV. Karnivore	2.312	1.770	3.796
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche Ca-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	4. + IV.	4. + IV.	4. + I.
Niedrigste tägliche Ca-Aufnahme (mg/d)	2.336	1.790	2.325
Beitrag des Wassers (%) zur täglichen Ca-Aufnahme beim Niedrigstaufnahmeszenario	1,04	1,12	2,51
Höchste tägliche Ca-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	5. + III.	5. + II.	5. + II.
Höchste tägliche Ca-Aufnahme (mg/d)	5.909	4.568	8.894
Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Aufnahme bei Höchstaufnahmeszenario (%)	12,3	15,5	13,7

Erläuterungen: Ca-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers bzw. des Ernährungsszenarios.

6.2 Phosphor

Von allen im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Elementen sind die Unterschiede zwischen flüssiger und fester Nahrung im Beitrag zur täglichen Gesamtaufnahme bei P am ausgeprägtesten (Tabelle 32).

Der Beitrag der flüssigen Nahrung zur täglichen Gesamtaufnahme an P liegt in jedem Modellansatz unterhalb von 0,1 %. P stellt heute auch etwa ein Problem im Hinblick auf eine zu hohe Versorgung dar (Anderson 2013). Die höchste tägliche P-Zufuhr hat nach den Modellberechnungen der vorliegenden Arbeit bemerkenswerterweise ein Veganer. Hohe und kontinuierliche tägliche P-Zufuhren werden in der Ernährungsmedizin mit ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung) bei Kindern (Hafer 1998), Herz-Kreislaufkrankungen (Rindlisbacher 2012, Yamamoto et al. 2013 und Bozic et al. 2014), aber auch mit Muskelschwund (Wada et al. 2015) in Verbindung gebracht. Obgleich seitens Gesundheitsorganisationen keine oberen Grenzwerte für die tägliche P-Zufuhr gegeben werden, im Vergleich zur allgemein empfohlenen Menge von 1 g/d P (Mayo Clinic 2015), könnten die im Extremfall bei Veganern möglichen täglichen Zufuhren >10 g P durchaus bedenklich sein.

Tabelle 32: Mittlere P-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen P-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	0,163	0,392	0,730
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,123	0,106	0,276
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,102	0,708	0,266
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,106	0,772	0,386
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,122	0,103	0,244
Ernährungsszenario			
I. Standard	3,82	2,70	7,37
II. Vegetarier (ovo-lacto)	5,30	4,82	10,5
III. Veganer	6,01	5,29	12,7
IV. Karnivore	4,89	4,57	8,67
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche P-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	3. + I.	1. + I.	5. + I.
Niedrigste tägliche P-Aufnahme (mg/d)	3,92	3,09	7,61
Beitrag des Wassers zur täglichen P-Aufnahme beim Niedrigstaufnahmeszenario (%)	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %
Höchste tägliche P-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	1. + III.	2. + III.	1. + III.
Höchste tägliche P-Aufnahme (mg/d)	6,17	5,39	13,4
Beitrag des Wassers (%) zur täglichen P-Aufnahme bei Höchstaufnahmeszenario	<0,1 %	<0,1 %	<0,1 %

Erläuterungen: P-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers bzw. des Ernährungsszenarios.

6.3 Fluor

Bei F kommt im Gegensatz zu P der flüssigen Nahrungskomponente wieder eine ausgeprägte Bedeutung zu. F tritt im Mittel häufiger in Wasser mit hohem Lösungsinhalt (HTDS) auf. Der Beitrag zur täglichen Gesamtaufnahme an F ist bei Leitungswasser um das Vierfache geringer als bei deutschen- oder weltweiten Mineralwässern.

Um den täglichen Bedarf laut der DGE (2013) von 3,5 mg/d F ab dem 30. Lebensjahr nur über die flüssige Komponente decken zu können, müsste folglich mindestens mehr als die dreifache empfohlene Wassermenge von 2 L/d (Mayo Clinic 2015) an weltweiten Mineralwässern mit hohem Lösungsinhalt aufgenommen werden. Zudem liefert eine Standardernährung allein nur knapp ein Drittel der von der DGE und EFSA als für einen Erwachsenen optimal angesehenen täglichen Zufuhr von 3,5 mg/d F (DGE 2013). Tatsächlich konnte dieses Defizit durch Mineralwässer, nicht jedoch durch Leitungswasser ausgeglichen werden.

Aus Tabelle 33 geht hervor, dass nach den Modellrechnungen dieser Arbeit Veganer die höchste tägliche F-Zufuhr haben, die alleine schon in ihrem festen Anteil fast das Dreifache einer Standardernährung hat und dass die höchste tägliche F-Aufnahme durch vegane Ernährung, kombiniert mit Mineralwässern mit hohem Lösungsinhalt, erreicht wird und dadurch der tägliche F-Bedarf um mehr als das Doppelte überschritten werden kann.

Laut Hagen (2014) lag in Deutschland im Jahr 2003 der Anteil der Haushalte, die nach einer veganen Ernährungsweise leben, bei ca. 0,1 %. Die methodische Schwierigkeit bei solchen Konsumentenbefragungen liegt immer darin, die Hochrechnung auf den Anteil der Landesbevölkerung zu beziehen statt auf den Haushalt. Nicht nur die vegane Ernährungsweise deckt den täglichen Bedarf von 3,5 mg/d F, sondern auch die ovo-lacto-vegetarische Ernährung.

In dem Beitrag von Hagen (2014) lag der Anteil der Vegetarier (ohne Fisch) in Deutschland im Jahr 2003 bei 1,6 %. Laut Leahy, Lyons und Tol (2010) ist die vegetarische Ernährungsweise ein Phänomen armer Länder, da sich die dort lebende Bevölkerung oftmals kein Fleisch leisten kann. In Deutschland als Industrienation nimmt der Großteil der Bevölkerung (>95 %) regelmäßig tierische Produkte zu sich. Das bedeutet, die deutschen Haushalte bevorzugen eine Ernährungsform, die Fleisch, Fisch und deren Produkte enthält.

In dieser Studie konnte nachgewiesen werden, dass die in Deutschland bevorzugten Ernährungsweisen den täglichen F-Bedarf nicht über die Aufnahme der festen Nahrung decken können. Daher sollte bei diesen Ernährungsszenarien zur Ergänzung des F-Bedarfs auf Mineralwässer mit einem hohen Lösungsinhalt geachtet werden. Wird der tägliche Wasserbedarf durch Leitungswasser gedeckt, ist es wiederum ratsam, eine fleischlose Ernährungsweise zu wählen, um den täglichen F-Bedarf zu decken. Demnach kann bei der Notwendigkeit einer Erhöhung der täglichen F-Zufuhr dies durch Auswahl geeigneter Wässer einfacher und effizienter geschehen als über eine Änderung des Ernährungsszenarios.

Tabelle 33: Mittlere F-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen F-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	0,222	0,189	0,500
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,782	0,496	2,40
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	1,01	0,388	4,00
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,896	0,244	4,71
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	1,35	0,750	4,13
Ernährungsszenario			
I. Standard	2,24	1,09	4,69
II. Vegetarier (ovo-lacto)	4,25	1,55	8,59
III. Veganer	6,28	1,96	12,4
IV. Karnivore	2,79	1,48	6,26
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche F-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	1. + I.	1. + I.	1. + I.
Niedrigste tägliche F-Aufnahme (mg/d)	2,46	1,20	5,19
Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme beim Niedrigstaufnahmeszenario (%)	9,02	15,8	9,63
Höchste tägliche F-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	5. + III.	5. + III.	5. + III.
Höchste tägliche F-Aufnahme (mg/d)	7,63	2,71	16,6
Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme bei Höchstaufnahmeszenario (%)	17,7	27,7	24,9

Erläuterungen: F-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers bzw. des Ernährungsszenarios.

6.4 Strontium

Sr, La und Ce sind Elemente, deren Bedeutung für Zahnentwicklung und Zahngesundheit mehr fakultativ ist, essentiell für höhere Organismen sind sie nach aller bisheriger Kenntnis nicht (Kapitel 3.5).

Der höchste Anteil an Sr findet sich auch hier in Mineralwässern mit hohem Lösungsgehalt (Tabelle 34), der den Mittelwert von Leitungswasser um das Zehnfache überschreitet. Grundsätzlich erfolgt die Aufnahme von Sr mit der festen Nahrung. Bei den unterschiedlichen Ernährungsszenarien ist besonders auffällig, dass sowohl die vegane als auch die ovo-lacto-vegetarische Ernährungsform maßgeblich zur Gesamtaufnahme an Sr beitragen. Der Mittelwert der Sr-Aufnahme der veganen Ernährungsweise überschreitet die Werte der fleischhaltigen Ernährungsformen um das dreifache. Im Extremfall kann bei veganer Ernährung die tägliche Sr-Aufnahme um mehr als das 10-Fache höher als bei normaler (Standard-) Ernährung sein. Sr gehört nicht zu den essentiellen Elementen, wird aber aufgrund seiner chemischen Ähnlichkeit mit Ca, aufgenommen, verstoffwechselt und stattdessen in die Hartgewebe (Knochen und Zahnhartsubstanzen) eingebaut (Bertau et al. 2013). Laut Bertau liegt die tägliche Aufnahme bei 1,5-2,5 mg/d Sr. Durch Fraktionierungsprozesse (Stoffwechsel- und Biomineralisationsereignisse) während des Gewebeaufbaus können aufgrund der systemischen Veränderungen Isotopenzusammensetzung, Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung der festen Nahrung und der verwendeten Trinkwasserquelle getroffen werden (DeNiro und Epstein 1978).

Im Gegensatz zur festen Nahrungskomponente spielt Wasser jedoch nur eine untergeordnete Rolle bei der täglichen Sr-Aufnahme. Maximal werden kaum mehr als 10 % durch diese Quelle gedeckt. Dementsprechend ausgeprägter gestaltet sich auch der Effekt einer Änderung des Ernährungsszenarios auf die tägliche Sr-Aufnahme. Die höchste tägliche Sr-Zufuhr hat laut den Modellberechnungen in der vorliegenden Arbeit ein Veganer, der Mineralwasser mit hohem Lösungsinhalt zu sich nimmt. Die niedrigste Sr-Aufnahme liegt bei der Standardernährung in Kombination mit Mineralwässern mit geringem Lösungsinhalt. Es liegen zurzeit keine Erkenntnisse vor, die eine gesundheitsgefährdende Auswirkung durch Aufnahme von Sr belegen können. Es ist aber erwiesen, dass eine zu hohe Aufnahme von Sr bei Kindern Knochenentwicklungsstörungen verursachen kann. Daher sollte in jungen Jahren die Sr-Aufnahme so gering wie möglich gehalten werden.

Tabelle 34: Mittlere Sr-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Sr-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	0,602	0,456	1,6
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	4,07	1,05	18,8
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	1,98	0,554	9,6
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,258	0,103	0,868
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	10,8	9,26	25,5
Ernährungsszenario			
I. Standard	37,6	15,7	142
II. Vegetarier (ovo-lacto)	79,4	38,4	296
III. Veganer	116	60,9	433
IV. Karnivore	40,6	16,5	145
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche Sr-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	4. + I.	4. + IV.	4. + I.
Niedrigste tägliche Sr-Aufnahme (mg/d)	37,9	16,7	143
Beitrag des Wassers zur täglichen Sr -Aufnahme beim Niedrigstufnahmeszenario (%)	0,680	0,616	0,606
Höchste tägliche Sr-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	5. + III.	5. + III.	5. + III.
Höchste tägliche Sr-Aufnahme (mg/d)	127	70,2	458
Beitrag des Wassers zur täglichen Sr-Aufnahme bei Höchstufnahmeszenario (%)	8,48	13,2	5,56

Erläuterungen: Sr-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers, bzw. des Ernährungsszenarios.

6.5 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer)

Wie Sr, sind La und Ce bislang nicht als lebensnotwendig für höhere Lebewesen identifiziert, werden aber im Rahmen dieser Arbeit wegen möglicher positiver Wirkungen auf die Zahnentwicklung und Zahngesundheit (Kapitel 3.6) ebenfalls bilanziert. Die Konzentration beider Elemente ist sowohl in fester und flüssiger Nahrung und Wässern sehr ähnlich, so dass die Ergebnisse in diesem Kapitel gemeinsam vorgestellt werden.

Für beide Elemente ergibt die Modellrechnung, dass eine Standardernährung die geringste tägliche Zufuhr erbringt (Tabelle 35 und 36). Leitungswasser bringt die geringsten Mengen an La und Ce in die tägliche Ernährung ein. Bemerkenswert ist, dass, ungewöhnlich im Vergleich zu anderen Elementen, die höchsten Mengen beim Konsum von Mineralwässern mit geringem Lösungsinhalt aufgenommen werden.

Der Beitrag der festen Nahrung zur täglichen Gesamtaufnahme von La liegt um das 40-Fache höher als die La-Aufnahme über die Wasserkomponente. Auch hier enthalten die Leitungswässer teilweise fünfmal weniger La als Mineralwässer, von denen die niedrig mineralisierten Wässer im Mittel das Fünffache an La enthalten wie Mineralwässer mit einem hohen Lösungsinhalt (Tabelle 35).

Im Gegensatz zu La hat Ce zusätzlich als weiteres Element der Seltenen Erden die höchste Konzentration im Leitungswasser. Auch bei Ce haben die niedrig mineralisierten Mineralwässer eine fast dreimal höhere Ce-Konzentration als die hochmineralisierten Mineralwässer (Tabelle 36).

Anders als bei La zeichnen sich hier Unterschiede in der Ce-Aufnahme zwischen den einzelnen Ernährungsszenarien fester Nahrung ab. Ein Veganer nimmt teilweise mehr als das Anderthalbfache an Ce, im Gegensatz zu den anderen Ernährungsszenarien, zu sich.

Insgesamt ändert sich durch eine andere Konsumstrategie bei der Wasseraufnahme nicht erheblich viel, da der Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme beim Niedrigst-aufnahmeszenario (ca. 0,6 %) und beim Höchstaufnahmeszenario (3 %) beträgt. Der Anteil von mit Flüssigkeiten aufgenommenen La und Ce an der täglichen Gesamtaufnahme erreicht jedoch insgesamt kaum mehr als 5 %.

Ebenso ist der Effekt einer veränderten Ernährungsweise im Vergleich zu den anderen in dieser Arbeit betrachteten Elementen vergleichsweise gering.

Haley konnte 1965 in Tierversuchen nachweisen, dass die Toxizität der Seltenen Erden zwar gering, jedoch abhängig von der Art der Verbindung, dem Applikationsweg, der Spezies und dem Geschlecht ist.

Harrison und Scott konnten 2004 keinerlei toxischen Auswirkungen bei einer täglichen Dosis von 3 g La-Carbonat, jedoch die Aufnahme und Anreicherung in einigen Geweben, wie Zahnhartsubstanzen (Evans 1990), nachweisen.

Da in China Seltene Erden immer häufiger ihren Einsatz in der Landwirtschaft als Dünger und Futtermittlersatz finden (Hu et al. 2006), stellt dies eine mögliche Eintrittspforte in die menschliche Nahrungskette dar.

Aufgrund teilweise mangelnder Informationen über die Herkunft, die Herstellung und Verarbeitung seiner konsumierten Nahrungsmittel bleibt der Verbraucher immer häufiger im Ungewissen, wie viel er mit seiner Ernährungsweise täglich an bestimmten Elementen wie La zu sich nimmt. Im Gegensatz zur Wasserkomponente weichen die Werte in den einzelnen Ernährungsszenarien kaum voneinander ab. Nur der Konsument einer Standardernährung nimmt über die feste Nahrungskomponente weniger La zu sich als alle anderen Ernährungstypen.

Wie bei Ca sind auch hier die Unterschiede bei Betrachtung beider Nahrungsquellen unwesentlich. Selbst bei einer Änderung der Konsumstrategie bezüglich sowohl der festen Nahrungsaufnahme als auch der flüssigen Komponente ändert sich die La-Aufnahme im Mittel nicht signifikant.

Tabelle 35: Mittlere La-Aufnahme ($\mu\text{g}/\text{d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen La-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	0,012	0,002	0,014
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,024	0,012	0,104
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,058	0,004	0,076
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,156	0,004	0,338
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,028	0,012	0,136
Ernährungsszenario			
I. Standard	1,67	0,556	7,06
II. Vegetarier (ovo-lacto)	2,52	2,81	11,7
III. Veganer	2,65	0,47	12,4
IV. Karnivore	2,37	0,79	8,61
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche La-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	1. + I.	1. + III.	1. + I.
Niedrigste tägliche La-Aufnahme($\mu\text{g}/\text{d}$)	1,68	0,482	7,07
Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme beim Niedrigstufnahmeszenario (%)	0,714	0,414	0,198
Höchste tägliche La-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	4. + III.	2. + II.	4. + III.
Höchste tägliche La-Aufnahme ($\mu\text{g}/\text{d}$)	2,81	2,82	12,74
Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme bei Höchstufnahmeszenario (%)	5,55	0,425	2,65

Erläuterungen: La-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers bzw. des Ernährungsszenarios.

Tabelle 36: Mittlere Ce-Aufnahme ($\mu\text{g}/\text{d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ce-Aufnahme bei unterschiedlichen Ernährungsszenarien (bei einer Energiezufuhr von 2.000 kcal/d).

	Szenario		
	Mittelwert-Szenario	Median-Szenario	P ₉₅ -Szenario
Wasserkonsument			
1. Leitungswasser (LW)	0,150	0,002	0,012
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,044	0,020	0,162
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,056	0,002	0,106
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,132	0,002	0,340
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,054	0,024	0,184
Ernährungsszenario			
I. Standard	1,60	0,607	4,16
II. Vegetarier (ovo-lacto)	2,78	0,44	5,18
III. Veganer	4,26	0,64	7,59
IV. Karnivore	2,72	1,65	5,98
Tägliche Gesamtaufnahme			
Niedrigste tägliche Ce-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	1. + IV.	1. + II.	1. + I.
Niedrigste tägliche Ce-Aufnahme($\mu\text{g}/\text{d}$)	2,74	0,442	4,17
Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme beim Niedrigstufnahmeszenario (%)	0,580	0,452	0,288
Höchste tägliche Ce-Aufnahme (Kombination Wasserkonsument mit Ernährungsszenario)	1. + III.	5. + IV.	4. + III.
Höchste tägliche Ce-Aufnahme	4,41	1,67	7,93
Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme bei Höchstufnahmeszenario (%)	3,00	1,43	4,29

Erläuterungen: Ce-Aufnahme bei Multiplikation eines Konsums von 2 L/d mit dem mittleren, Median- oder Perzentil 95-Gehalt des Wassers bzw. des Ernährungsszenarios.

7 Bedeutung des Beitrages von Mineral- und Leitungswässern für die Aufnahme von Calcium, Phosphor, Fluor, Strontium und ausgewählter Seltener Erden wie Lanthan und Cer in verschiedenen Entwicklungsstadien des Menschen unter besonderer Berücksichtigung der Zahnbildung und -gesundheit

Im folgenden Kapitel werden die statistischen Ernährungsszenarien des vorherigen Kapitels zeitlich aufgelöst, um die Frage des Beitrags von Mineral- und Leitungswässern zur täglichen Aufnahme von Ca, P, F, Sr, La und Ce in verschiedenen, für die Zahnentwicklung relevanten Lebensphasen zu evaluieren. Der Übersichtlichkeit halber wird die entwicklungsphasenbezogene Analyse des Beitrags von Wässern nur für das Standardernährungsszenario dargestellt (Tabelle 7). Zeitskala und -auflösung lehnen sich dabei im Wesentlichen an die allgemeine Zahnentwicklung an (Kapitel 3.1).

7.1 Calcium

Das bereits in Kapitel 6.1 mitgeteilte Bild des Beitrages von Wässern zur täglichen Ca-Aufnahme entspricht weitestgehend dem, was Tabelle 37 für die Altersgruppen bis 18 Jahren wiedergibt. Erst nach Abschluss der Wachstumsphasen im Erwachsenenalter kann demnach der Beitrag von Wässern an der täglichen Ca-Zufuhr von einem Sechstel auf ein Fünftel ansteigen. Insgesamt stammt Ca zwar aus Mineralwässern, aber ihnen kommt in keiner Altersstufe für die Ca-Versorgung eine tragende Bedeutung zu. Dennoch kann die Aufnahme von Mineralwässern mit einem hohen Lösungsinhalt die Ca-Konzentration beider aufgenommenen Nahrungsquellen (fest/flüssig) den täglichen Ca-Bedarf um 22,3 % ergänzen.

Tabelle 37: Mittlere Ca-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ca-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Aufnahme.

Altersklasse	<1	1-3	15-18	>30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Ca-Zufuhr mit Standardernährung	1.200	1.390	3.160	2.530
Ca-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	40	50	100	133
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	90	100	224	298
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	50	70	53	157
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	10	70	53	24,3
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	220	253	543	724
Tägliche Ca-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche Ca-Aufnahme	1.210	1.440	3.210	2.560
Höchste tägliche Ca-Aufnahme	1.420	1.640	3.700	3.250
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Aufnahme (%)	0,800	3,47	1,65	0,980
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Aufnahme (%)	15,5	15,4	14,7	22,3
Empfohlene Aufnahme laut DGE, ÖGE, SGE/SVE (2013) und EFSA (2012a,b) in Klammern	275 (k.A.)	600 (1.300)	1.200 (2.100)	1.000 (k.A.)

Erläuterungen: Ca-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

7.2 Phosphor

Auch bei einer nach Entwicklungsphasen differenzierten Betrachtung kommt dem mit Wässern konsumierten P keine mengenmäßige Bedeutung zu (Tabelle 38). In allen Altersstufen liegt der Anteil des mit Wässern an der täglich zugeführten Gesamtaufnahme von P deutlich unter 0,1 %.

Tabelle 38: Mittlere P-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen P-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen P-Aufnahme.

Altersklasse	<1	1-3	15-18	>30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
P-Zufuhr mit Standardernährung	1.810	2.100	4.780	3.823
P-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	0,540	0,057	0,122	0,163
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,036	0,046	0,092	0,123
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,031	0,036	0,077	0,102
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,032	0,037	0,080	0,106
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,037	0,043	0,092	0,122
Tägliche P-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche P-Aufnahme	1.811	2.100	4.780	3.823
Höchste tägliche P-Aufnahme	1.810	2.100	4.780	3.823
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen P-Aufnahme (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen P-Aufnahme (%)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Empfohlene Aufnahme laut DGE, ÖGE, SGE/SVE (2013) und EFSA (2005, 2012a) in Klammern	210 (300)	500 (300)	1.250 (700)	700 (550)

Erläuterungen: P-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

7.3 Fluor

Durch eine Änderung der Konsumstrategie bezüglich der Wasserkomponente kann die tägliche F-Aufnahme in allen Altersstufen erheblich beeinflusst werden (Tabelle 39). Im ersten Lebensjahrzent reicht die mit der festen Nahrung aufgenommene F-Menge aus, um den täglichen F-Bedarf zu decken (Tabelle 39). Insbesondere wenn Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt konsumiert werden, kann sich die tägliche F-Aufnahme um bis zu 50 % erhöhen.

Bis zum 18. Lebensjahr kann die Wasserwahl bis zu 28 % und ab dem 30. Lebensjahr sogar bis zu 40 % der täglich aufgenommenen F-Konzentration ausmachen. Bei einer Ernährungsstrategie mit fluoridreichen Produkten, wie z. B. fluoridiertes Speisesalz und zusätzlichen Fluor-Supplementen aus der Kariesprophylaxe (Gelees, Tabletten, Zahnpasta), kann besonders im Kindesalter hierzulande die tägliche F-Aufnahme durch Konsum von vorwiegend Leitungswasser möglichst gering gehalten werden, da es bekannter weise bei einem übermäßigen F-Verzehr zu sogenannter Dentalfluorosen (Gaengler et al. 2005) kommen kann (Kapitel 3.4). Erst im Erwachsenenalter stellen Mineralwässer eine geeignete und sinnvolle Ergänzung der F-Ernährung dar.

Tabelle 39: Mittlere F-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen F-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme.

Altersklasse	<1	1-3	15-18	>30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
F-Zufuhr mit Standardernährung	1,06	1,23	2,79	2,23
F-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	0,066	0,077	0,165	0,220
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,233	0,063	0,585	0,780
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,303	0,354	0,266	1,01
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,270	0,315	0,675	0,900
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,405	0,473	1,01	1,35
Tägliche F-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche F-Aufnahme	1,13	1,29	2,96	2,45
Höchste tägliche F-Aufnahme	1,47	1,70	3,80	3,58
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme (%)	5,86	4,87	5,57	8,98
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen F-Aufnahme (%)	27,6	27,7	26,6	37,7
Empfohlene Aufnahme laut DGE, ÖGE, SGE/SVE (2013) und EFSA (2012a) in Klammern	0,38 (0,3)	0,7 (0,7)	3,1 (3,0)	3,5 (3,5)

Erläuterungen: F-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

7.4 Strontium

Im Laufe des Heranwachsens verdoppelt sich in etwa die täglich aufgenommene Menge an Sr (Tabelle 40). In allen Altersklassen wird die höchste Sr-Konzentration über die feste Nahrung aufgenommen. Dabei liegt der geringste Beitrag der Wasserkomponente an Sr-Aufnahme <1 %.

Sofern sich die Hypothese eines positiven Beitrags von Sr zur Zahnentwicklung bestätigen sollte, kann durch eine bevorzugte Aufnahme von Mineralwässern mit hohem Lösungsinhalt der prozentuale Anteil des Wassers um 15 % bis zum 18. Lebensjahr und bis zu 22,3 % bis zum 30. Lebensjahr erhöht werden (Tabelle 40).

Tabelle 40: Mittlere Sr-Aufnahme (mg/d) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Sr-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Sr-Aufnahme.

Altersklasse	<1	1-3	15-18	>30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Sr-Zufuhr mit Standardernährung	17,9	20,7	47,0	37,6
Sr-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	0,180	0,210	0,450	0,602
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	1,22	1,42	3,05	4,07
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,594	0,693	1,49	1,98
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,078	0,091	0,068	0,268
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	3,24	3,78	8,09	10,7
Tägliche Sr-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche Sr-Aufnahme	18,0	20,8	47,1	37,9
Höchste tägliche Sr-Aufnahme	21,1	24,5	55,1	48,4
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen Sr-Aufnahme (%)	0,433	0,437	0,144	0,686
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen Sr-Aufnahme (%)	15,4	15,4	14,7	22,3

Erläuterungen: Sr-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

7.5 Ausgewählte Seltene Erden (Lanthan, Cer)

Auch die zeitlich aufgelöste Betrachtung des Beitrags von Wässern zur täglichen La- und Ce-Zufuhr erfolgt wie bereits im Kapitel 6.5 gemeinsam.

Die tägliche Zufuhr an den beiden Seltenen Erden erreicht im jugendlichen Alter (15-18 Jahre) ihr Maximum, wohingegen der Beitrag von Wässern mit zunehmenden Alter weiter ansteigt, und zwar bis auf einen Anteil von ca. 8 % (Tabelle 41).

Bei der Aufnahme von La und Cer kommt der größere Anteil aus der festen Nahrungskomponente. Der Beitrag des Wassers liegt in den ersten drei Altersstufen <1 % und steigt erst ab dem 30. Lebensjahr geringfügig an.

Der höchste Beitrag der Wasserkomponente wird durch die Aufnahme von Mineralwässern mit geringem Lösungsinhalt von bis zu 8,53 % ab dem 30. Lebensjahr erreicht.

Die Werte bei dem Element Ce verhalten sich ähnlich wie bei dem Element La. Auch hier kann der prozentuale Anteil des höchsten Beitrags des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme durch den Konsum von Mineralwässern mit geringem Lösungsinhalt gesteigert werden (Tabelle 42).

Tabelle 41: Mittlere La-Aufnahme ($\mu\text{g}/\text{d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen La-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme.

Altersklasse	<1	1-3	15-18	>-30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
La-Zufuhr mit Standardernährung	0,790	0,920	2,09	1,67
La-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	0,036	0,042	0,090	0,012
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,007	0,008	0,018	0,024
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,012	0,019	0,041	0,058
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,047	0,055	0,117	0,156
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,008	0,010	0,021	0,028
Tägliche La-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche La-Aufnahme	0,798	0,928	2,11	1,69
Höchste tägliche La-Aufnahme	0,837	0,975	2,21	1,83
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme (%)	0,877	0,862	0,853	1,42
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen La-Aufnahme (%)	5,62	5,64	5,30	8,54

Erläuterungen: La-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

Tabelle 42: Mittlere Ce-Aufnahme ($\mu\text{g}/\text{d}$) verschiedener Wasserkonsumenten im Vergleich zur täglichen Ce-Aufnahme bei Standardernährung in unterschiedlichen Lebensaltern sowie Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme.

Altersklasse	< 1	1-3	15-18	>30
Täglicher Flüssigkeitskonsum (ml)	600	700	1.500	2.000
Täglicher Energiebedarf (kcal)	950	1.100	2.500	2.000
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
Ce-Zufuhr mit Standardernährung	0,760	0,880	2,00	1,60
Ce-Zufuhr mit Wasser				
1. Leitungswasser (LW)	0,050	0,060	0,012	0,150
2. Deutsche Mineralwässer (DMW)	0,013	0,015	0,033	0,044
3. Weltweite Mineralwässer (WMW)	0,006	0,020	0,042	0,056
4. Mineralwässer m. geringem Lösungsinhalt (NTDS)	0,040	0,046	0,099	0,132
5. Mineralwässer m. hohem Lösungsinhalt (HTDS)	0,016	0,019	0,030	0,054
Tägliche Ce-Gesamtaufnahme bei Standardernährung				
Geringste tägliche Ce-Aufnahme	0,766	0,895	2,01	1,62
Höchste tägliche Ce-Aufnahme	0,810	0,940	2,10	1,73
Geringster Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme (%)	0,783	1,66	0,597	0,987
Höchster Beitrag des Wassers zur täglichen Ce-Aufnahme (%)	6,17	6,38	4,71	7,63

Erläuterungen: Ce-Aufnahme bei Multiplikation eines altersspezifischen Flüssigkeitskonsums mit den mittleren Aufnahmemengen einer Standardernährung bei altersspezifischer Energiezufuhr.

8 Diskussion

Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit war es, den Beitrag von Wässern an der täglichen Zufuhr der für Zahnbildung und Zahngesundheit bedeutsamen Elemente Ca, P, F, Sr, La und Ce zu quantifizieren. Von diesen Elementen sind Ca und P eindeutig essentiell, bei F ist die Frage, ob es lebensnotwendig ist, noch nicht eindeutig geklärt. Sr, La und Ce sind Elemente, denen neuerdings nützliche Effekte auf die Zahnbildung und Zahngesundheit zugesprochen werden (Kapitel 3.5 und 3.6).

Die Arbeit wurde insbesondere auch vor dem Hintergrund vielfältiger Ansprüche der Mineralwasserindustrie im Hinblick auf die Bedeutung ihrer Produkte für die Mineralstoffversorgung des Menschen angefertigt (Kapitel 2.3.1).

Methodisch wird in dieser Arbeit auf einem von Hassoun (2011) entwickelten Modell standardisierter Ernährungsszenarien aufgebaut. Dieses Vorgehen steht im Kontrast zur Methodik anderer Ernährungsstudien, wie z. B. die der EFSA (Beispiel Uran o.ä.), in die durch Befragung erhobene Konsumdaten eingehen. Eine nähere Betrachtung dieser Datensätze macht jedoch enorme Unterschiede zwischen Daten unterschiedlicher Herkunft deutlich: So nimmt ein Däne gemäß der Concise European Food Consumption Database (EFSA 2009) das Sechsfache an Flüssigkeit zu sich wie vergleichsweise ein Bulgare. Ebenfalls kritisch sind die dort sehr breit angelegten Nahrungsmittelkategorien zu sehen.

In dieser Arbeit geht es folglich um eine Abschätzung der Bedeutung des Beitrags von Wässern vor dem Hintergrund der natürlichen Variabilität ihrer Inhaltsstoffe. Durch Verwendung standardisierter Ernährungsszenarien wird der Einfluss von Variabilitäten eines individuellen Ernährungsverhaltens eliminiert und die relative Bedeutung der Wässer in ihrem Beitrag zur täglichen Zufuhr klarer dargestellt. Wenn auch die Variabilität des individuellen Verzehrs bei diesem Vorgehen eliminiert wird, gibt die vorliegende Arbeit, im Gegensatz zu Hassoun (2011), aber zusätzlich die Variabilität der Elementkonzentrationen in den einzelnen Nahrungsmittelkategorien wieder.

Der Selbstkritik der EFSA (2009) folgend, sind diese Nahrungsmittelkategorien in dieser Arbeit, wie bei Hassoun (2011), klarer im Hinblick auf eine homogenere Variabilität der Inhaltsstoffe hin definiert.

Wie die mengenmäßige Aufnahme fester Nahrung wird in dieser Arbeit auch die Aufnahme flüssiger Nahrung standardisiert und für 2 L/d berechnet. Man mag als Kritik hieran anführen, dass es unwahrscheinlich ist, dass eine einzelne Person 2 L Wasser, sei es als Leitungswasser oder als Mineralwasser, aus Flaschen aufnimmt. Hassoun (2011) konnte jedoch zeigen, dass die Mengen an Flüssigkeiten, die mit den verschiedensten Getränken aufgenommen werden und dabei auf Wässer jeglicher Art zurückgreifen, etwa 2 L/d betragen, so dass das hier verwendete Modell in seinen Grundlagen weitgehend der Realität entsprechen dürfte.

Ein spezielles Anliegen dieser Arbeit war es, den Aspekt der zeitlichen Differenzierung der Elementzufuhr entsprechend dem Bedürfnis des Zahnaufbaus zu betrachten. Betrachtet werden die Ernährungsszenarien vor dem Hintergrund von drei grob differenzierten Ernährungstypen: Vegetarier, Veganer und Karnivore.

Bei der Betrachtung der lebensaltersabhängigen Differenzierung wurde vom Standard-Ernährungsszenario ausgegangen, welches sich an einer empfohlenen täglichen Energieaufnahme von 2.000 kcal/d und 2 L/d Flüssigkeit orientiert.

Dabei wurden allein die Faktoren "Energieaufnahme" und "tägliche Flüssigkeitsaufnahme" altersabhängig differenziert. Unberücksichtigt bleibt dabei eine mögliche Differenzierung von Ernährungskategorien innerhalb des Standardernährungsmodells. Der in dieser Arbeit verwendete Modellansatz eliminiert somit die durch individuelle Ernährungsverhalten bedingte Variabilität in den Datensätzen, so dass allein die Variabilität der Konzentrationen der betrachteten Elemente in den einzelnen Nahrungsmittelkategorien bzw. Wässern zum Tragen kommt.

Nicht unerwähnt soll aber auch eine Einschränkung dieser Arbeit sein und zwar hinsichtlich der biologischen Verfügbarkeit der Elemente in den einzelnen Nahrungsmitteln, die bei einer reinen mengenmäßigen Bilanzierung nicht berücksichtigt wird. Die in dieser Arbeit angegebenen täglichen Zufuhren spiegeln demnach nicht die Zufuhr an physiologisch verfügbaren Mengen des jeweiligen Elementes wieder. Eine Berücksichtigung biologischer Verfügbarkeiten würden insbesondere bei den Elementen Ca und F zu einem höheren Anteil an der täglichen Versorgung führen.

Elementgehalte in festen Nahrungsmitteln sind im großen Umfang in der Literatur vorhanden, so dass für diesen Teil der Daten eine umfangreiche Metadatenanalyse angefertigt wur-

de, die im methodischen Ansatz den Datensammlungen, z. B. der EFSA (2011), entspricht. Im Unterschied zu ihnen wurden in dieser Arbeit jedoch Nahrungsmittelkategorien gebildet, die einmal Produkte mit ähnlichem ernährungsphysiologischen Chemismus zusammenfassen, um anschließend durch eine geeignete Gewichtung der Komposition der Tagesdiät bestimmt geprägter Ernährungstypen, wie Vegetarier, Veganer und Karnivore, abzubilden (Kapitel 2).

Im Gegensatz zu den Elementgehalten in fester Nahrung sind die Gehalte in Wässern originäre Analysendaten. Die Datenbanken mit Elementgehalten in Wässern, die dieser Arbeit zugrunde liegen, dürften derzeit immer noch weltweit die umfangreichsten ihrer Art sein.

Das mit am häufigsten als positiv in der Mineralwasserwerbung attributierte Element ist Ca. Bemerkenswerterweise liegt die tägliche Zufuhr an Ca bei einer reinen leitungswasserbasierten Ernährung kaum niedriger, als wenn man das Mittel des Weltsortiments annimmt (Tabelle 43 und 44). Deutsche Mineralwässer verdoppeln im Mittel die tägliche Zufuhr an Ca, und durch die gezielte Auswahl von Mineralwässern mit hohem Lösungsinhalt verfünffacht sich im Vergleich zu Leitungswässern die tägliche Zufuhr. Selbst in einem Höchstaufnahmeszenario stellt Wasser jedoch kaum mehr als ein Siebtel der täglichen Versorgung sicher (Tabelle 43).

Die niedrigste Ca-Aufnahme hat ein Individuum mit karnivorem Ernährungsstil und Konsum von Leitungswasser, hier macht der Beitrag des Wassers zur täglichen Ca-Zufuhr nur etwa 1 % aus (Tabelle 44). Mehr als 10-mal höher wird der Beitrag des Wassers, wenn ein Veganer mit dem Konsum von Mineralwässern mit hohem Lösungsinhalt das Maximalszenario der Ca-Aufnahme realisiert. Betrachtet man die mittleren Beitragswerte für Wasser im Verlauf der Zahnentwicklung, so kommen mengenmäßig maximal 15 % der täglichen Zufuhr durch Wasser zustande. Im Hinblick auf den konzentrierten lokalen Bedarf bei der Zahnentwicklung dürfte die rein mengenmäßige Bilanzierung die Bedeutung des Ca-Beitrages über Wasser allerdings unterschätzen.

P ist ein Element, dessen flüssigkeitsgebundener Beitrag zur täglichen Zufuhr mit $<0,1$ % vernachlässigbar klein ist, gleich in welchen Ernährungs- oder Altersmodell betrachtet (Tabelle 43 und 44). Damit hängt die tägliche P-Zufuhr so gut wie ausschließlich von der Gestaltung des festen Teils des Ernährungsszenarios ab. Dort wird das Maximum bei einem veganen Ernährungsstil erreicht.

Bei F ist der Anteil der Wässer an der täglichen Zufuhr von allen in dieser Arbeit betrachteten Elementen am höchsten. Schon im Niedrigstufnahmeszenario beträgt dieser fast ein Zehntel der Gesamtaufnahme und steigert sich bei geeigneter Kombination bis fast auf ein Fünftel (Tabelle 44).

Im Verlauf der für die Zahnentwicklung bedeutsamen ersten Lebensjahre liegt bei Betrachtung des Standard-Ernährungsszenarios der Anteil aus Wässern zunächst bei kaum mehr als 1 %, der sich im Laufe der Zeit jedoch fast verdoppelt.

Die tägliche Sr-Aufnahme ist, wie bei allen übrigen Elementen dieser Arbeit, bei veganer Ernährung am höchsten. Leitungswasserkonsumenten haben die niedrigste, Individuen, die Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt bevorzugen, nehmen dagegen mit Wässern mehr als das 10-Fache über diesen Pfad auf, aber auch hier weniger als ein Zehntel.

Die Datenbasis bei La und Ce muss, im Vergleich zu den anderen Elementen dieser Arbeit, als eher schwach angesehen werden. Es gibt nur wenige Angaben zu Gehalten in festen Lebensmitteln. Die Analysenergebnisse der Wässer liegen oft unterhalb der technischen Nachweisgrenze der ICP-Massenspektrometrie (Kapitel 2.2.1). Dennoch ist sie ausreichend, um die Bedeutung der Wässer an der täglichen Gesamtaufnahme als untergeordnet bezeichnen zu können.

Die beiden Lanthanide La und Ce wurden wegen möglicher positiver Wirkungen auf die Zahnentwicklung und -gesundheit, wie sie in der neueren Literatur beschrieben sind, in diese Arbeit einbezogen. Die erste Abschätzung der hier vorgestellten Untersuchungen indiziert einen Beitrag der Wässer zur täglichen Aufnahme von maximal einem Zwanzigstel der Gesamtaufnahme, wobei eine vegane Ernährung wiederum die höchste Grundzufuhr darstellt. Lanthanide sind allerdings Elemente, die, obgleich lange Zeit als wirtschaftlich und von untergeordneter Bedeutung angesehen, heute in großen Mengen im alltäglichen Leben in Erscheinung treten, sei es in Anwendungen in der Medizin, z. B. Dysprosium (Dy), oder bei der Herstellung von Magneten für die Elektrotechnik (Umweltbundesamt 2012). "Im Ergebnis dieser Entwicklung ist zu erwarten, dass in Zukunft spätere Mengen dieser Elemente in die Umwelt eingetragen werden und so auch in höheren Konzentrationen im Wasser in Erscheinung treten können, wie es etwa bei Dysprosium (Dy) schon der Fall ist."

Die gesundheitliche Bewertung der über Wässer zugeführten Mengen an La und Ce ist nicht Aufgabe dieser Arbeit. Festzuhalten bleibt aber, dass insbesondere im Standard-Ernährungsszenario mit Leitungswasser als Hauptquelle der flüssigkeitsgebundenen Zufuhr in Zukunft steigende tägliche Aufnahmen zu erwarten und diese in ihrer Bedeutung nicht allein für die Zahnentwicklung und -gesundheit kritisch zu bewerten sind, sondern auch für die allgemeine Integrität des menschlichen Organismus.

9 Schlussfolgerung

Wässer, gleich ob als Leitungswasser oder als in Flaschen abgefülltes Mineralwasser gehandelt, kommen bei der täglichen Aufnahme der für die Zahnentwicklung und -gesundheit relevanten Elemente Ca, P, F, Sr, La und Ce im Vergleich zur Zufuhr durch feste Nahrung eine unterschiedlich ausgeprägte Rolle zu.

Sofern und aus welchen Gesichtspunkten auch immer eine Erhöhung oder eine Reduzierung der mit der Nahrung zugeführten täglichen Menge angezeigt scheint, ergibt sich als Ergebnis dieser Arbeit eine Veränderung des gesamten Ernährungskonzeptes, vorzugsweise jedoch der Wahl der festen Nahrung, als am meisten erfolgsversprechend. Insgesamt sind die mit fester Nahrung zugeführten Mengen der essentiellen Elemente Ca, P und F bei jedem Ernährungsstil (Standard, ovo-lacto-vegetarisch, vegan, karnivor) stets ausreichend, um eine gesunde Funktion des menschlichen Organismus zu gewährleisten. Vegane Ernährung ergibt dabei stets die höchsten Zufuhren (Tabelle 43).

Wenn unter bestimmten Bedingungen (Krankheit, Stress etc.) eine höhere als die allgemein als ausreichend angesehene Zufuhr angezeigt sein sollte, kann durch Umstellung des Ernährungskonzeptes (feste und flüssige Nahrung) die Zufuhr an Ca und P um 50-60 % erhöht und die an F etwa verdoppelt werden (Tabelle 44).

Aus Tabelle 39 geht hervor, dass die F-Aufnahme durch Trinkwasser, explizit in den beiden Altersklassen <1 und 1-3, welche entscheidend für die Zahnentwicklung sind, beeinflussbar ist und dies in Verbindung mit den entwicklungsbedingten Dentalfluorosen, die bei erhöhter F-Exposition entstehen, gebracht werden kann.

Tabelle 43: Ernährungsszenarien mit höchster täglicher Zufuhr an Ca, P, F, Sr, La und Ce im Mittelwert.

Element	Kombination von Wasser- und Ernährungstyp	tägliche Zufuhr (mg/d)	Anteil des Wassers (%)
Ca	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	5.909	12,3
P	Leitungswässer und vegane Ernährung	6.010	<0,1
F	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	7,63	17,7
Sr	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	127	8,48
La	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	2,81	5,5
Ce	Leitungswässer und vegane Ernährung	4,41	3,0

Tabelle 44: Ernährungsszenarien mit niedrigster täglicher Zufuhr an Ca, P, F, Sr, La und Ce im Mittelwert.

Element	Kombination von Wasser- und Ernährungstyp	tägliche Zufuhr (mg/d)	Anteil des Wassers (%)
Ca	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und karnivore Ernährung	2.345	1,04
P	Weltweite Mineralwässer und Standardernährung	3.873	<0,1
F	Leitungswässer und Standardernährung	2,24	9,02
Sr	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und Standardernährung	37,9	0,680
La	Leitungswässer und Standardernährung	1,68	0,714
Ce	Leitungswässer und karnivore Ernährung	4,41	3,0

Tabelle 45: Maximales prozentuales Steigerungspotential für die tägliche Aufnahme von Ca, P, F, Sr, La und Ce durch Änderung des Ernährungsregimes (fest und flüssig (Berechnung auf Basis der Mittelwerte)).

Element	Niedrigstaufnahmeszenario	Höchstaufnahmeszenario	Steigerungspotential (%)
Ca	Mineralwässer mit niedrigem Lösungsinhalt und karnivore Ernährung	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	+52
P	Weltweite Mineralwässer und Standardernährung	Leitungswässer und vegane Ernährung	+57
F	Leitungswässer und Standardernährung	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	+96
Sr	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und Standardernährung	Mineralwässer mit hohem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	+235
La	Leitungswässer und Standardernährung	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	+67
Ce	Leitungswässer und Standardernährung	Mineralwässer mit geringem Lösungsinhalt und vegane Ernährung	+169

10 Zusammenfassung

Mit Mineralwässern werden bestimmte positive gesundheitliche Effekte assoziiert, die größtenteils auf ihren Gehalt an Mineralstoffen zurückgeführt werden. Ziel der Arbeit war es, die mengenmäßige Bedeutung von Wässern für die tägliche Gesamtaufuhr von Ca, P, F, Sr, La und Ce zu untersuchen. Diese Elemente sind relevant für die Zahnentwicklung und -gesundheit.

Unter diesem Aspekt wurden die Ergebnisse dieser Arbeit auch für die Hauptphasen der menschlichen Zahnentwicklung zeitlich differenziert betrachtet.

Methodisch wurde ein Ernährungsmodell verwendet, das auf einer täglichen Zufuhr von Energie in Höhe von 2.000 kcal und 2 L/d Flüssigkeit beruht. Die Komponente "feste Nahrung" wurde dabei in die Ernährungstypen "Standard", "Ovo-Lacto-Vegetarier", "Veganer" und "Karnivore" (Tabelle 5) differenziert. Untersuchungsgegenstand waren deutsche Leitungswässer und Mineralwässer deutscher und weltweiter Herkunft und solche mit geringem und hohem Gesamtlösungsinhalt.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit sind:

In allen Ernährungsmodellen ist die nach derzeitigen ernährungsmedizinischen Erkenntnissen erforderliche Grundversorgung mit Ca, P und F gewährleistet. Wässer ergänzen diese Grundversorgung je nach Kombination von Ernährungs- und Wassertyp: bei Ca um 1-12 % und bei F um 9-18 %. Bei P ist der Anteil, der über Wässer zur täglichen Aufnahme beigesteuert wird, mit <0,1 % unbedeutend. Im zeitlichen aufgelösten Standard-Ernährungsmodell liegt der Anteil, der mit Wässern zugeführten täglichen Mengen während der für die Zahnentwicklung kritischen ersten beiden Lebensdekaden stets niedriger als im Erwachsenenalter.

In dieser Arbeit wird erstmals auch eine Ernährungsbilanz für die nicht essentiellen Elemente Sr, La und Ce erstellt, da diesen in der neueren medizinischen Literatur vereinzelt eine positive Wirkung für Zahnentwicklung und -gesundheit zugesprochen werden.

Die täglichen Sr-Zufuhren betragen ungefähr je nach Ernährungsmodell zwischen 2-20 % der Ca-Zufuhr bei einem Anteil aus Wässern von weniger als 1-8 %. Die täglichen Zufuhren an La und Ce betragen etwa die Hälfte der Mengen, die an F aufgenommen werden, wobei der Anteil an Wässern jedoch unter 5 % liegt.

11 Abstract (Contribution of mineral- and tap waters to the development stage depending dietary intake of calcium, phosphorus, fluorine, strontium and selected rare elements by humans)

Health aspects have been associated with mineral water, many parts of which result from the amount of minerals in the water. The target of our study was to test the effect of the minerals taken in by our daily water consumption. The elements Ca, P, F, Sr, La and Ce play an important role on dental development and health. From this point of view, the results of this study have been considered separately in time for the main stages of human tooth development.

A method was used based on the nutrition model 2.000 calories and 2 L of liquid each day. The dietary patterns were also split up into standard, vegetarian, vegans and carnivores. Water types used were German tap water, German mineral water and world-wide mineral waters, which were also classified in high and low mineral contents.

The most important results of the study are as follows:

The current data suggest that, according to medical studies, the daily amount of Ca, P, and F are guaranteed in the combination of solids and water in the various diets. The water supplies the basic needs of the different minerals according to the diet: with Ca 1-12% and F 9-18%. The amount contributed from water with P is less than 0.1% and thus insignificant. In the Standard Nutrition model used in this study the amount of minerals consumed through water is very low in the first twenty years of adolescents, and in adulthood the intake is increased considerably.

In this study a food balance is provide for the first time also for the not essential elements Sr, La and Ce, because now and then a positive effect are awarded these in the newer medical literature for dental development and health.

The daily amount of Sr varies in the different diets between 2-20% by which Ca intake from water, is less than 1-8%. The daily intakes of La and Ce are roughly half of the amount taken F, where the water part is less than 5%.

12 Literatur

- Absi, E.-G.; Addy, M.; Adams, D. (1987)
Dentine hypersensitivity – A study of the patency of dentinal tubules in sensitive and non-sensitive cervical dentine, in: J of Clin Periodontol., 14(5): 280-284.
- Ackermann, S. (2011)
Phosphor Zusammenfassung.
[<http://www.eesom.com/go/REUDIGY4H5UJH6XCSRBZ2RD9JB52G26U>]
(Einsichtnahme: 19.07.2015).
- Addy, M.; Urquhart, E. (1992)
Dentine hypersensitivity: its prevalence, aetiology and clinical management, in: Dent Update., 19(10): 407-408, 410-412.
- Alexy, U.; Kersting, M.; Sichert-Heller, W.; Manz, F.; Schöch, G. (1999)
Macronutrient Intake of 3 to 36 Month-Old-German Infants and Children: Results of the DONALD-Study, in: Ann Nutr Metab., 43: 14-22.
- Alexy, U.; Clausen, K.; Kersting, M. (2008)
Die Ernährung gesunder Kinder und Jugendlicher nach dem Konzept der Optimierten Mischkost, in: Ernährungsumschau, 3/08: 168-177.
- AMG: Arzneimittelgesetz (2007)
Arzneimittelgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGB1. I S. 3394), das durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Juli 2013 (BGB1. I S. 2439) geändert worden ist.
- Anderson, J.-J.-B. (2013)
Potential health concerns of dietary phosphorus: cancer, obesity, and hypertension. Dietary phosphorus excess and health, in: Annals of the New York Academy of Sciences, 1301: 1-8.
- Arai, T.; Yokoi, A.; Nakagawa, K.; Mizano, N.; Ueda, S.; Miwata, T.; Nakamara, H.; Kobayashi, Y. (1991)
A study of the acid resistance of edta lanthanum treated dentin surfaces and of the intake of lanthanum into the surface, in: Aichi-Gakuin Journal of Dental Science, 29(3): 407-414.
- Arens, J. (2011)
Gegenwärtige Foodtrends und ihr Einfluss auf zukünftige Entwicklungen. Interview mit Hartmut Gahmann, Leiter der Abteilung „Presse- und Öffentlichkeitsarbeit“ der Nestlé AG, in: Ploeger et al. (Hrsg), Die Zukunft auf dem Tisch, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden 2011.
- Bánóczy, J.; Gintner, Z.; Kiss, J. (1996)
Incorporation of lanthanides in human dental teeth, in: Acta Stomatol Croat., 30(1): 37-48.

- Bánóczy, J.; Kiss, J.; Fehervary, E.; Gintner, Z.; Albrecht, M. (1990)
Chemical crystal aspects of remineralization of dental enamel, in: *Stomatol DDR*, 40(5): 200-202.
- Baran, D.; Sorensen, A.; Grimes, J.; Lew, R.; Karellas, A.; Johnson, B.; Roche, J. (1990)
Dietary modification with dairy products for preventing vertebral bone loss in premenopausal women: a three-year prospective study, in: *J Clin Endocr Metab.*, 70(1): 264-270.
- Barry, M.-J.; Meehan, B.-J. (2000)
The acute and chronic toxicity of lanthanum to *Daphnia carinata*, in: *Chemosphere*, 41(10): 1669-1674.
- Beazley, V.-C.; Thrane, P.; Rolla, G. (1980)
Effect of mouthrinses with SnF₂, LaCl₃, NaF and chlorhexidine on the amount of lipoteichoic acid formed in plaque, in: *Scand J of Dent Res.*, 88(3): 193-200.
- Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2008)
Lehrbuch der Lebensmittelchemie 6. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg 2008.
- Bergmann, K.-E.; Bergmann, R.-L. (1995)
Salt Fluorination and General Health, in: *Adv. Dent Res.*, 9(1995): 138-143.
- Bertau, M.; Müller, A.; Fröhlich, P.; Katzberg, M.; Büchel, K.-H.; Moretto, H.-H.; Werner, D. (2013)
Industrielle Anorganische Chemie, 4. Auflage, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Berlin 2013.
- Besch, M. (1975)
Vorlesung Agrarpolitik und Marktlehre im Studiengang Agrarwissenschaften an der Christian Albrechts Universität zu Kiel. (Schnug, E., 2013, persönliche Mitteilung).
- BfR: Bundesinstitut für Risikobewertung (2003)
Richtlinie 2003/40/EG der Kommission vom 16. Mai 2003 zur Festlegung des Verzeichnisses, der Grenzwerte und der Kennzeichnung der Bestandteile natürlicher Mineralwässer und der Behandlung natürlicher Mineralwässer und Quellwässer mit ozonangereicherter Luft
[http://www.bfr.bund.de/cm/343/hoechstmenge_fuer_bor_und_Fluor_in_natuerlichen_mineralwaessern_sollten_sich_an_trinkwasserregelungen_orientieren.pdf]
(Einsichtnahme: 09.08.2013).
- Bhussy, B.-R. (1970)
Toxic effects of larger doses of Fluore, in: WHO-Moniograph Series 59 WHO, Genf 1970.
- Biesalski, H.-K.; Köhrle, J.; Schümann, K. (2002)
Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe. Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 2002.

- Blume, R. (2001)
 Das Vorkommen der Lanthanoide.
 [<http://www.chemieunterricht.de/dc2/lanthan/vorkomm.htm>]
 (Einsichtnahme: 31.08.2013).
- Bohmer, H.; Müller, H.; Resch, K.-L. (2000)
 Calcium supplementation with calcium-rich mineral waters: a systematic review and meta-analysis of its bioavailability, in: *Osteoporosis Int.*, 11(11): 938-943.
- Bolland, M.-J.; Avenell, A.; Baron, J.-A.; Grey, A.; MacLennan, G.-S.; Gamble, G.-D.; Reid, I.-R. (2010)
 Effect of calcium supplements on risk of myocardial infarction and cardiovascular events: meta-analysis, in: *BMJ* 2010, 341: c3691.
- Bozic, M.; Panizo, S.; Sevilla, M.-A.; Riera, M.; Soler, M.-J.; Lopez, J.-P.-I.; Freixenet, M.; Fernandez, E.; Valdivielso, J.-M. (2014)
 High phosphate diet increases arterial blood pressure via a parathyroid hormone mediated increase of renin, in: *Journal of Hypertension*, 32(9): 1822-1832.
- Brown, C.-J.; Chenery, S.-R.-N.; Smith, B.; Mason, C.; Tomkins, A.; Roberts, G.-J.; Sserunjogi, L.; Tiberindwa, J.-V. (2004)
 Environmental influences on the trace element content of teeth – Implications for disease and nutritional status, in: *Archives of Oral Biology*, 49: 705 - 717.
- Brunelli, S.-M.; Goldfarb, S. (2007)
 Hypophosphatemia: clinical consequences and management, in: *J Am Nephrol.*, 18(7): 1999-2003.
- Buddecke, E. (1981)
 Biochemische Grundlagen der Zahnmedizin, 3.Auflage, De Gruyter Verlag, Berlin 1981.
- Burckhardt, P. (2008)
 Kalzium in der Nahrung – Wirkung auf den Knochen, in: *Osteologie*, 17(2): 46-50.
- Cadogan, J.; Eastell, R.; Jones, N.; Barker, M.-E. (1997)
 Milk intake and bone mineral acquisition in adolescent girls: randomised, controlled intervention trial, in: *BMJ*, 315(7118): 1255-1260.
- Chabanski, M.-B.; Gillam, D.-G.; Bulman, J.-S.; Newmann, H.-N. (1996)
 Prevalence of cervical dentine sensitivity in a population of patients referred to a specialist Periodontology Department, in: *J Clin Periodontol.*, 23(11): 989-992.
- Cheng, K.-K.; Chalmers, I.; Sheldon, T.-A. (2007)
 Adding fluoride to water supplies, in: *BMJ* 2007, 335: 699-702.
- Christensen, G.-J.; Kraus, B.-S. (1965)
 Initial Calcification of the Human Permanent First Molar, in: *J dent Res.*, 44: 1338-1342.

- Collys, K.; Slop, D.; de Langhe, L.; Coomans, D. (1990)
A comparison of the influence of lanthanum and fluoride on de- and remineralization of bovine enamel in vitro, in: *J Dent Res.*, 69(2): 458-462.
- Crenshaw, M.-A.; Takano, Y. (1982)
Mechanismus by which the enamel organ controls calcium entry into developing enamel, in: *J Dent Res.*, 61:1574-1579.
- Dababneh, R.-H.; Khouri, A.-T.; Addy, M. (1999)
Dentine hypersensitivity- an enigma? A review of terminology, mechanisms, aetiology in management, in: *Br Dent J.*, 187(11): 606-611.
- Dai, Y.; Li, J.; Li, J.; Yu, L.; Dai, G.; Hu, A.; Yuan, L.; Wen, Z. (2002)
Effects of rare earth compounds on growth and apoptosis of leukemic cell lines, in: *In vitro Cell Dev Biol Anim.*, 38(7): 373 - 375.
- Damment, S.-J.; Beevers, C.; Gatehouse, D.-G. (2004)
The new non-aluminium, non-calcium Phosphate binder, lanthanum carbonate, does not demonstrate genotoxicity, in: *In the 19th Congress of the European Renal Association an European Dialysis and Transplant Association 15-18 May 2004, Lisbon, Portugal 2004.*
- De Broe, M.-E.; D'Haese, P.-C.; Lanthanum Study Group (2004)
Improving outcomes in hyperphosphataemia, in: *Nephrol Dial Transplantat.*, 19(1): 14-18.
- DeNiro, M.-J.; Epstein, S. (1978)
Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, in: *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 42(5): 495-506.
- DGE: Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2013)
Referenwerte für die Nährstoffzufuhr.
[<http://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/>] (Einsichtnahme: 08.03.2013).
- van Dijk, D.; Houba, V.-J.-G. (1998)
Wageningen evaluating programmes for analytical laboratories (WEPAL), in: *Arh hig rada toksikol.*, 50: 31-36.
[<http://hrcak.srce.hr/file/5154>] (Einsichtnahme: 08.08.2013).
- DIN 2000 (2013)
Deutsches Institut für Normung e. V. Leitsätze für die zentrale Trinkwasser-
verordnung. [<http://wasserlexikon.de/din-2000/>] (Einsichtnahme: 10.08.2013).
- Duller, C (2006)
Einführung in die Statistik mit EXEL und SPSS, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg 2006.

- Dumartheray, W.-E.; Krieg, M.; Burckhardt, P. (2006)
Bicarbonate from mineral water lowers bone resorption even in calcium sufficiency, in: Burckhardt, P.; Heaney, R.P.; Dawson-Hughe, B., eds. Nutritional Aspects of Osteoporosis 200. Proceedings of the 6th International Symposium on Nutritional Aspects of Osteoporosis, 4-6 May 2006, Lausanne, Switzerland: 303-309.
- Donhauser, R.-M.; Riese, J.-M. (2009)
Die Welt des Wassers, 1. Auflage, Neuer Umschau Buchverlag, Neustadt an der Weinstraße 2009.
- Dusso, A.-S.; Brown, A.-J.; Slatopolsky, E. (2005)
Vitamin D, in: Am J Physiol Renal Physiol., 289(1): 8-28.
- Earl, J.-S.; Ward, M.-B.; Langford, R.-M. (2010)
Investigation of dentinal tubule occlusion using FIB-SEM milling and EDX, in: J Clin Dent., 21(2): 37-41.
- Eastwood, M. (2003)
Principles of human nutrition, 2nd Edition. Wiley-Blackwell, Weinheim 2003.
- EFSA: European Food Safety Authority (2005)
Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Phosphorus, in: The EFSA J. (2005), 233: 1-19.
- EFSA: European Food Safety Authority (2009)
Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a Request from German Federal Institute for Risk Assessment (BfR) on uranium in food stuff, in particular mineral water, in: The EFSA J. (2009), 1018: 1-59.
- EFSA: European Food Safety Authority (2011)
EFSA Comprehensive European Food Consumption Database, in: The EFSA J. (2011), 9(3): 2097-2130.
- EFSA: European Food Safety Authority (2012a)
Nährstoffaufnahme-Referenzwerte und Ernährungsleitlinien.
[<http://www.efsa.europa.eu/de/topic/drv.htm>] (Einsichtnahme: 09.02.2012).
- EFSA: European Food Safety Authority (2012b)
Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of calcium, in: The EFSA J., 10(7): 2814-2858.
- Eisenbrand, G.; Schreier, P. (2006)
RÖMPP Lexikon der Lebensmittelchemie, 2. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart-New York 2006.
- Ekstrand, J.; Whitford, G.-M. (1988)
Fluore metabolism, in: Ekstrand, J.; Fejerskov, O.; Silverstone, L.-M.; Fluore in dentistry, 1st Edition, Munksgaard, Copenhagen 1988.

- Emsley, J. (2011)
 Completely Revised and updated Nature's Building Blocks-An A-Z Guide to the elements, Published in the United States by Oxford University Press Inc., New York 2011.
- Erbacher, O.; Wannemacher, E. (1941)
 Zur Frage von Stoffwechselfvorgängen in den Zahnhartgeweben, in: Dt. Zahn- Mund- Kieferhkl., 8: 201-221.
- Ernährungspyramide (2013)
 [<http://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/ernaehrungspyramide/2675>]
 (Einsichtnahme: 20.08.2013).
- Evans, C.-H. (1990)
 Biochemistry of the Lanthanides, Springer-Verlag, New York, London, 1990.
- Evans, R.-W. (1993)
 An epidemiological assessment of the chronological distribution of dental fluorosis in human maxillary central incisors, in: J Dent Res., 72: 883-890.
- Extaler (2012)
 Der Stoff den unsere Helden trinken.
 [http://www.riha.de/site/extaler/site/pdf/Top_Magazin_Hannover.pdf]
 (Einsichtnahme: 19.07.15).
- Featherstone, J.-D. (1999)
 Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride, in: Community Dent Oral Epidemiol., Feb. 27(1): 31-40.
- Fejerskov, O.; Stephen, K.-W.; Richards, A.; Speirs, A. (1987)
 Combined Effect of Systemic and Topical Fluore Treatments on Human Deciduous Teeth-Case Studies, in: Caries Res., 1987, 21: 452-459.
- Fernandez-Gavarron, F.; Huque, T.; Rabinowitz, J.-L.; Brand, J.-G. (1988)
 Incorporation of 140-lanthanum into bones, teeth and hydroxyapatite, in: Bone and Miner., 3(4): 283-291.
- Freund, U.; Thumeyer, A. (2005)
 Fluore im natürlichen Mineralwasser, in: Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde, 27(1): 24-32.
- Gaengler, P.; Hoffmann, T.; Willershausen, B.; Schwenzer, N.; Ehrenfeld, M. (2005)
 Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie, 2. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 2005.
- Gernhardt, C.-R.; Berthold, C.; Schaller, H.-G. (2001)
 Hypersensible Zahnhäse- Ätiologie, Pathologie, Epidemiologie und Therapiemöglichkeiten, in: Deutscher Zahnärzte Kalender D. Heidemann, Editor. 2001, Deutscher Zahnärzte Verlag Hanser, München, 60: 1-19.

- Geurtsen, W.; Buchalla, W.; Michel, H.; Laurisch, L. (2012)
Multitalent Speichel, in: Dental Magazin 2012, 0(3): 220-226.
- Gintner, Z.; Bánóczy, J. (1993)
The effect of rare earth meta-containing toothpastes on dental enamel solubility in vitro, in: Fogorv Sz., 86(1): 3-6.
- Graca, J.-G.; Davison, F.-C.; Feavel, J.-B. (1964)
Comparative toxicity of stable rare earth compounds. III. Acute toxicity of intravenous injections of chlorides and chelates in dogs, in: Arch Environ Health, 8: 555-564.
- Gronwald, S. (2012)
Behandlungsmöglichkeiten bei "Molar-Incisor-Hypomineralisation" Ausgabe 2012-10, Zahnmedizinisches Fortbildungszentrum Stuttgart aus dem Zahnärzteblatt, Baden-Württemberg 2012: 14-17.
- Großklaus, R. (2013)
Nutzen-Risiko-Abschätzung von Mineralstoffen – ein Problem bei der Festlegung von Grenzwerten zwischen Essentialität und Toxizität, in: Hartwig, A.; Köberle, B.; Michalke, B. (2013): Nutzen-Risiko-Bewertung von Mineralstoffen und Spurenelementen-Biochemische, physiologische und toxikologische Aspekte: KIT Scientific Publishing 2013: 7-42.
- Grupe, G.; Price, T.-D.; Schröter, P.; Söllner, F.; Johnson, C.; Beard, B.-L. (1997)
Mobility of Bell Beaker people revealed by Strontium isotope ratios of tooth and bone: A study of southern Bavarian skeletal remains, in: Applied Geochemistry, 12: 517-525.
- Habib, S. (2007)
Die Durchbruchswahrscheinlichkeiten bleibender Zähne während der zweiten Dentition – eine Querschnittsstudie bei Kindern und Jugendlichen öffentlicher Schulen in Latakia (Syrien), Diss., Hamburg-Eppendorf 2007.
- Hafer, H. (1998)
The Hidden Drug-Dietary Phosphate, (Cause of Behaviour Problems, Learning Difficulties and Juvenile Delinquency).
[<http://www.phosadd.com/book/book.htm>] (Einsichtnahme: 10.08.2014).
- Hagen, T. (2014)
Evidenzbasierte Wirtschaftspolitik.
[http://evidenzbasierte-wirtschaftspolitik.blogspot.de/2014_03_01_archive.html]
(Einsichtnahme: 07.06.2015).
- Hahn, A. (2011)
Nahrungsergänzungsmittel, 2. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 2011.
- Haley, T.-J. (1965)
Pharmacology and toxicology of the rare earth elements, in: J Pharm Sci., 54(5): 663-670.

- Hansen, B.-T. (2005)
 Isotope, die Gene der Gesteine, in: Das System Erde-was bewegt die Welt? Lebensraum und Zukunftsperspektiven, Universitätsverlag Göttingen
 [http://www.oollife.adw-goe.de/literature_files/17] (Einsichtnahme: 24.09.2013).
- Harrison, T.-S.; Scott, L.-J. (2004)
 Lanthanum carbonate, in: *Drugs*, 64(9): 985-996.
- Hartwig, A.; Köberle, B.; Michalke, B. (2013)
 Nutzen-Risiko-Bewertung von Mineralstoffen und Spurenelementen – Biochemische, physiologische und toxikologische Aspekte. KIT Scientific Publishing 2013.
- Hassoun, R. (2011)
 Eine statistische Auswertung des Beitrages von Mineral - und Leitungswasser zur Aufnahme von As, B, Cu, Li, Mo, U und Zink in der menschlichen Ernährung, Diss., Braunschweig 2011.
- Heinrich, D. (2006)
 Was ist was? Heilwasser, Mineralwasser, Quellwasser, Tafelwasser, Trinkwasser, TU Bergakademie Freiberg.
 [http://www.goek.tu-freiberg.de/oberseminar/OS_05_06/daniela_heinrich.pdf] (Einsichtnahme: 30.11.2012).
- Heintz, W. (1997)
 Über die chemische Zusammensetzung der Knochen, in: *Analen der Physik*. Wiley-VCH Verlag, München, 153(6): 267-287.
- Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T. (1995)
 Einführung in die Zahnerhaltung, 2. Auflage, Urban & Schwarzenberg, München 1995: 89-105.
- Hendel, B.; Ferreira, P. (2001)
 Wasser & Salz Urquell des Lebens- "Über die heilenden Kräfte der Natur", 4. Auflage, INA Verlag, Herrsching 2001.
- Hochheimer, N. (2011)
 Das kleine QM-Lexikon: Begriffe des Qualitätsmanagements aus GLP, GCP, GMP und EN ISO 9000, 2. Auflage, John Wileys & Sons, Berlin 2011.
- Holleman, A.-F.; Wiberg, N. (2007)
 Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 101. Auflage, De Gruyter Verlag, Berlin, New York 2007.
- Hu, Z.; Sparovek, G.; Haneklaus, S.; Schnug, E. (2006)
 Rare Earth Elements in soils, in: *Communications in soil science and plant analysis*, 37(9-10): 1381-1420.
- Hundhausen, U. (2016)
 Multivariate statistische Analyse der Spurenelementgehalte von Mineralwässern in Abhängigkeit von hydrogeologischer Zuordnung und hydrochemischer Typisierung nach Piper, Diss., Braunschweig (2016).

- Hurme, V.-O. (1957)
Time and Sequence of tooth eruption. The human dentition in forensic medicine, in: J Forens. Sc., 2: 442-447.
- Jahnen-Dechent, W. (2004)
"Lots wife's problem" gelöst? Regulation der Calcifizierung, in: Biospektrum 2004, 3: 254-257.
- Jung, A. (2007)
"Radioaktivität und Umwelt"-Strontium-90 in Umwelt-Proben: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Jahresberichte.
- Kakei, M.; Sakae, T.; Yoshikawa, M.; Tamura, N. (2007)
Effect of fluoride ions on apatite crystal formation in rat hard tissues, in: Ann Anat. 2007, 189(2): 175-181.
- Kalkwarf, H.-J.; Khoury, J.-C.; Lanphear, B.P. (2003)
Milk intake during childhood and adolescence, adult bone density and osteoporotic fractures in US women, in: Am J Clin Nutr., 77(1): 257-265.
- Karp, H.-J.; Vaihia, K.-P.; Kärkkäinen, M.-U.-M.; Niemistö, M.-J.; Lamberg-Allardt, C.-J.-E. (2007)
Acute effects of different phosphorus sources on calcium and bone metabolism in young women: a whole foods approach, in: Calcif Tissue Intl. 2007, 80: 251-258.
- Kemi, V.-E.; Karkkainen, M.-U.-M.; Lamberg-Allard, C.-J.-E. (2006)
High phosphorus intakes acutely and negatively affect calcium and bone metabolism in a dose-dependent manner in healthy young females, in: Br J Nutr., 96: 545-552.
- Kersting, M.; Sichert-Hellert, W.; Lausen, B.; Alexy, U.; Manz, F.; Schöch, G. (1998)
Energy intake of 1 to 18 year old German children and adolescents, in: Ernährungswiss., 37(1): 47-55.
- Kliegel, W. (1980)
Bor in Biologie, Medizin und Pharmazie, Physiologische Wirkung und Anwendung von Borverbindungen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1980.
- Klinikgruppe Enzenberg (2011)
Forschungsbericht 2011 Berichtszeitraum 2008-2011, m&i- Klinikgruppe Enzenberg, Hopfen am See, April 2011.
- Knappwost, A. (1979)
"Spekulationen und gesicherte Tatsachen über die physiologische Fluor-Wirkung", in Naujoks, R. et al., Kariesprophylaxe mit Fluor, 2. Auflage, IME, Frankfurt 1979.
- Knolle, F. (2008)
Ein Beitrag zum Vorkommen und Herkunft von Uran in deutschen Mineral- und Leitungswässern, Diss., Braunschweig 2008.

- Kobayashi, Y.; Ozeki, M.; Yagi, T.; Hosoi, T.; Takei, M. (1980)
Aciduric resistance of lanthanum- treated teeth, in: J Dent Health (Tokyo), 30(4): 82-96.
- Koch, W.-E. (1972)
Tissue interaction during in-vitro odontogenesis, in: Slavkin, H.-C.; Baretta, L.-A.: Developmental Aspects of Oral Biology, Academic Press, New York: 151-164.
- Koppe, P; Stozek, A. (1999)
Kommunales Abwasser: Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme, 4. Auflage, Vulkan-Verlag GmbH, Essen 1999.
- LAGH: Landesarbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege Hessen (2004)
Fluorgehalt in Mineralwasser. Prophylaxe Impuls, 8. Jahrgang 2004 (Einsichtnahme: 17.03.2013).
- Lautenschläger, K.-H.; Schröter, W.; Wanninger, A. (2007)
Taschenbuch der Chemie, 20. Auflage, Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH, Frankfurt am Main 2007.
- Leahy, E.; Lyons, S.; Tol, R.-S.-J. (2010)
An estimate of the number of vegetarians in the world, in: ESR, working paper, No.340.
- Lehmann, K.-M.; Hellwig, E. (1993)
Einführung in die restaurative Zahnheilkunde: Ein Lehrbuch für den propädeutischen Studienabschnitt, 7. Auflage, Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore 1993.
- Lehmann, K.-M.; Hellwig, E. (2005)
Zahnärztliche Propädeutik, 10. Auflage, Urban & Fischer Verlag, Elsevier 2005: 44-46.
- Lehmann, R. (1984)
Fluor-Bedeutung, Wirkung, Grenzen, in: Zahnärzteblatt Westf.-Lippe. Sonderheft Januar 1984.
- Leitzmann, C. (2003)
Ernährung in Prävention und Therapie ein Lehrbuch, 2. Auflage, Hippokrates Verlag, Stuttgart 2003.
- Leitzmann, C.; Keller, M.; Hahn, A. (2005)
Alternative Ernährungsformen, 2. Auflage, Hippokrates Verlag, Stuttgart 2005.
- Lewin, R.; Stern, K.-G.; Ekstein, D.-M.; Woidowsky, L.; Laszlo, D. (1953)
Biological studies on stable and radioactive rare earth compounds. II. The effect of lanthanum on mice bearing Ehrlich ascites tumor, in: J Nat Cancer Inst., 14(1): 45-56.

- Liu, J.; Wang, E.; Zhou, Y.; Hu, C. (1998)
Synthesis and anti-influenza virus activities of heteropoly compounds containing rare earth elements, in: Yao Xue Xue Bao, 33(7): 544-547.
- Losee, F.-L.; Cutress, T.-W.; Brown, R. (1974)
Natural elements of the periodic table in human dental enamel, in: Caries Res., 8: 123-134.
- Maciejewska, I.; Spodnik, J.-H.; Domaradzka- Pytel, B.; Sidor-Kaczmarek, J.; Bereznowski, Z. (2006)
Fluore alters type I collagen expression in early stages of odontogenesis, in: Folia Morphol. (Warsz.), 65(4): 359-366.
- Martin, C.; Eiblmaier, M (2005)
Lexikon der Geowissenschaften, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2005.
- Mason, P. (2007)
One is okay, more is better? Pharmacological aspects and safe limits of nutritional supplements, in: Proc. Nutr. Soc., 66(4): 493-507.
- Mason, S.; Hughes, N.; Sufi, F.; Bannon, L.; Maggio, B.; North, M.; Holt, J. (2010)
A comparative clinical study investigating the efficacy of a dentifrice containing 8% strontium acetate and 1040 ppm fluoride in a silica base and a control dentifrice containing 1450 ppm fluoride in a silica base to provide immediate relief of dentin hypersensitivity, in: J Clin Dent., 21(2): 42-48.
- Mayo Clinic (2015)
[<http://www.mayoclinic.org/drugs-supplements/phosphate-supplement-oral-route-parental-route/description/drg-20070193>] (Einsichtnahme 28.05.2015).
- Meiers, P. (2011)
Fluore and dental caries: second thoughts in view of recent evidence from Germany, in: Fluore, 44(1):1-6.
- Merrilees, M.-J.; Smart, E.-J.; Gilchrist, N.-L.; Frampton, C.; Turner, J.-G.; Hooke, E.; March, R.-L.; Maguire, P. (2000)
Effects of dairy food supplements on bone mineral density in teenage girls, in: Eur J Nutr., 39(6): 256-262.
- Mittelsdorf, A. (2010)
Kariesprävention mit Fluoren, eine Fragebogenaktion zur Fluorverordnung in Berliner Kinderpraxen unter besonderer Berücksichtigung der Empfehlungen der DGZMK, Diss., Berlin 2010.
- Molleson, T. (1988)
Trace elements in human teeth, in: Grupe, G. und Herrmann, B.: Proceeding in life sciences: Trace Elements in environmental History; Symposium Göttingen, West Germany, June 24-26 (1987) , Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1988: 67-82.

- Moore, K.; Lütjen-Drecoll, E. (1990)
Embryologie, 3.Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart 1990.
- Mörike, K.-D.; Kiss, F.; Mörike, K.-D.; Szentágothai, J. (1969)
Lehrbuch und Atlas der makroskopischen Anatomie für Zahnärzte: Lehrbuch der makroskopischen Anatomie für Zahnärzte, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart 1996.
- MTVO: Mineral- und Tafelwasser-Verordnung (2006)
Mineral- und Tafelwasser- Verordnung vom 1. August 1984, BGB1. I S. 1036, zuletzt geändert durch die Vierte Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung v. 1. Dezember 2006, BGB1. 2006, Teil 1 Nr. 56, 2762 - 2763, ausgegeb. Bonn 11. Dezember 2006;
[http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/min_tafelwv/gesamt.pdf] (Einsichtnahme: 09.02.2012).
- Muroma, A. (1958)
Studies on the bactericidal action of salts of certain rare earth metals, in: Ann Med Exp Biol Fenn., 36(6): 1-54.
- Murphy, D. (2008)
The devil's poison. How Fluore is killing you, Trafford Publishing, Bloomington, USA 2008.
- Nakamura, Y.; Tsumara, Y.; Tonogai, Y.; Kanamoto, M.; Tsuboi, N.; Murakami, K.; Ikebe K.; Ito, Y. (1991a)
Studies on the biological effects of rare earth elements. III. Fate of chlorides of Dysprosium, Europium, Ytterbium and Yttrium in the rat after intravenous administration, in: Eisei Kagaku, 37: 497-506.
- Nakamura, Y.; Tsumara, Y.; Tonogai, Y.; Kanamoto, M.; Tsuboi, N.; Murakami, K.; Ikebe K.; Ito, Y. (1991b)
Studies on the biological effects of rare earth elements. II. Distribution and the histological effects of Dysprosium, Europium, Ytterbium and Yttrium in the rat after intravenous administration, in: Eisei Kagaku, 37: 489-496.
- NVS: Nationale Verzehrsstudie II (2008)
Ergebnisbericht: Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen; Max-Rubner-Institut; Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe.
- NemV: Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel (2004)
Nahrungsergänzungsmittelverordnung vom 24. Mai 2004 (BGB1. I S. 1011), die zuletzt durch den Artikel 8 der Verordnung vom 13. Dezember 2011 (BGB1. I S. 2720) geändert worden ist.
[<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/nemv/gesamt.pdf>]
(Einsichtnahme: 10.08.2013).
- Ooe, T. (1981)
Human tooth and dental arch Development, Tokyo: Ishiyaku Publishers: 86-94.

- Osborn, M.-O.; Hornbuckle, C.; Stumbo, P. (1977)
Nutritional evaluation of food intake records of periodontal patients, in: *J Periodont.*, 48: 659-662.
- O.V. (2011a)
[http://www.ciao.de/Mitglied_Tamiflu79_1884890] (Einsichtnahme: 27.03.2011).
- O.V. (2014a)
[http://wikipedia.org/wiki/Recht_auf_Zugang_zu_sauberen_Wasser]
(Einsichtnahme: 19.07.2015).
- O.V. (2014b)
[<http://www.info-wasserfilter.de/mineralwasser.html>] (Einsichtnahme: 10.07.2014).
- Pauling, L. (1960)
The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals:
An Introduction to Modern Structural Chemistry, Cornell University Press,
New York, USA 1960.
- Paracelsus, P.-T. (1538)
Septem Defensiones 1538, Werke Bd. 2. Darmstadt 1965: 510.
- Pendrys, D.-G.; Katz, R.-V. (1989)
Risk of enamel fluorosis associated with fluoride supplementation, infant formula and fluoride dentifrices, in: *Am J Epidemiol.*, 140(6): 1199-1208.
- Peng, L.; Yi, L.; Zhexue, L.; Juncheng, Z.; Jiaxin, D.; Daiwen, P.; Ping, S.; Songsheng, W. (2004)
"Study on biological effect of La 3+ on Escherichia coli by atomic force microscopy",
in: *Journal of Inorganic Biochemistry*, 98(1): 68-72.
- Peters, M.-L.; Leonard, M.; Licata, A.-A. (2001)
Role of alendronate and risedronate in preventing and treating osteoporosis, in:
Cleve Clin J Med. 2001, 68(11): 945-951.
- Pils, I. (2010)
Flüssiges Gold.
[<http://www.sueddeutsche.de/leben/wasser-fluessiges-gold-1.184105>]
(Einsichtnahme: 24.03.2012).
- Ravn, J.-J.; Nielsen, H.-G. (1977)
A longitudinal radiographic study of the mineralization of 2nd premolars, in: *Europ J Oral Sci.*, 85(4): 232-236.
- Regulati, B.; Schait, A.; Schmid, R.; Mühlemann, H.-R.; Regulati, B.; Schait, A.; Schmid, R., Mühlemann, H.-R. (1975)
Effects of enamel solubility reducing agents on erosion in the rat, in: *Helv Odontol Acta*, 19(1): 31-36.

- Richter, H. (2003)
Hinweise zur Toxikologie von Seltenen Erden, in: XVI. Tage der Seltenen Erden , 4.-6. Dezember 2003: 18, Berlin 2003.
- Rieben, A.; Kielbassa, A.-M. (2006)
Megatrend: Prophylaxe- Auf Du und Du mit den Fluoren, in: Dentalhygiene-Journal, 2006, 1.
- Rindlisbacher, S. (2012)
Phosphatezusätze in Lebensmitteln: Risiko für die Gesundheit, in: Redaktion Saldo, 9/2012: 12-13.
- Scherberich, J.-E. (2008)
Calcium-Phosphor und Knochenstoffwechsel, in: Nephrologe, 3(6): 507-517.
- Schnug, E.; Beringer, H. (1998)
Sulphur in Agroecosystems, Vol. 2 of the series "Nutrients in Ecosystems". Kluwer Academic Publ., Dordrecht, Niederlande 1998.
- Scholz-Ahrens, K.-E. (2003)
Die Inhaltsstoffe der Milch und ihre Bedeutung für die Gesundheit, in: Die Medizinische Welt- aus der Wissenschaft in die Praxis, 54(9): 222-228.
- Schöne, I. (2009)
Untersuchungen zur Wirksamkeit von Seltenen Erden beim Ferkel und Darstellung der gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich der Zulassung von Futtermittelzusatzstoffen, Diss., München 2009.
- Schramm, M. (2002)
Die Fluorbestimmung im Dentin zur Altersschätzung an Zähnen, Diss., Jena 2002.
- Schroeder, H.; Tipton, I.; Nason, I. (1972)
Trace metals in man: Strontium and barium, in: J Chronic Diseases, 25: 491-517.
- Schroeder, H.-E. (1992)
Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks, 4. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart, New York 1992.
- Schuhmacher, G.-H.; Schmidt, H.; Börnig, H., Richter, W. (1990)
Anatomie und Biochemie der Zähne, 4. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York 1990.
- Schule, R. (2006)
Von der Zahnentwicklung bis zum Erwachsenenengebiss, in: Ärztezeitschrift für Naturheilverfahren, 47(12):734-736.
- Schulte, A.; Rossbach, R.; Tramini, P. (2003)
Association of caries experience in 12-year-old children in Heidelberg, Germany and Montpellier, France with different caries preventive measures, in: Community Dent Oral Epidemiol., 29: 354-361.

- Schütte, T. (2003)
 Untersuchungen über den Fluorgehalt des Trinkwassers aus privaten Wasserversorgungsanlagen der Region östliches Münsterland, Diss., Münster 2003.
- Sealy, J.-C.; van der Merwe, N.-J.; Sillen, A.; Kruger, F.-J., Krueger, H.-W. (1991)
 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a dietary indicator in modern and archaeological bone, in: *J Archaeol Sci.*, 18: 399-416.
- Selent, B. (2010)
 Problemfeld Dentinhypersensibilität, in: *Dent Implantol.*, 14(8): 538-540.
- Shimano, R. (1980)
 A fundamental study on lanthanum as a preventive of dental caries, in: *Koku Eisei Gakkei Zasshi*, 29(4): 17-33.
- Smidt, G.-A. (2012)
 Mobility of fertiliser- derived uranium in arable soils and its contribution to uranium concentrations in groundwater and tap water, Diss., Bremen 2012.
- Smidt, G.-A.; Hassoun, R.; Erdinger, L.; Schäf, M.; Knolle, F.; Utermann, J.; Duijnsveld, W.-H.-M.; Birke, M.; Schnug, E. (2011)
 Uranium in German tap and groundwater- occurrence and origins, in: Merkel, B., Schipek, M. (eds.) *The New Uranium Mining Boom. Challenge and lessons learned*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2011: 807-820.
- Stegemann, C.-A.; Davis, J.-R. (2007)
 Zahnmedizin und Ernährung, 1. Auflage, Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München 2007.
- Strubelt, O. (1991a)
 Fluorprophylaxe ohne Risiken, in: *Forum*, Heft, 34: 220-225.
- Strubelt, O. (1991b)
 Toxizität der Fluore, in: *Dtsch med Wochenschr.*, 110(18): 730-736.
- Strubelt, O.; Bargfeld, .D (1973)
 Toxikologie der Trinkwasserfluoridierung, in: *Dtsch med Wochenschr.*, 98: 778-783.
- Suga, S. (1982)
 Progressive mineralization pattern of developing enamel during the maturation stage, in: *J dent Res.*, 61: 1532-1542.
- Tanimoto, K.; Le, T.; Zhu, L.; Chen, J.; Featherstone, J.-D.-B.; Li, W.; DenBesten, P. (2008)
 Effects of Fluore on the interactions between amelogenin and apatite crystals, in: *J Dent Res.*, 87(1): 39-44.
- TDS: Total Diet Study (1991)
 FD 94/8 Multi-Element Analysis of the 1991 Total diet samples Proj. No.49, FLN No.1760 Maff UK-Total diet study-No.34, July 1994.

- The eatwell plate (2013)
 [<http://www.nhs.uk/livewell/Goodfood/Pages/eatwell-plate.aspx>]
 (Einsichtnahme: 13.08.2013).
- Tonge, C.-H. (1969)
 The Time Structure Relationship of Tooth Development in Human Embryogenesis,
 in: J dent Res., 48(5): 745-752.
- Törne, L. v. (2002)
 Wirte verkaufen Wasser teurer als Bier.
 [<http://www.tagesspiegel.de/berlin/wirte-verkaufen-wasser-teurer-als-bier-drogenbeauftragte-verstoss-gegen-gaststaetengesetz-kneipen-sollen-schaerfer-kontrolliert-werden/336736.html>] (Einsichtnahme: 24.04.2012).
- Tressaud, A. (2006)
 Henri Moissan: Winner of the Nobel Prize for Chemistry 1906, in. Angew Chem.,
 45(41): 6792-6796.
- TrinkWV: Trinkwasserverordnung (2006)
 Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001. BGBl. i S 959, geänd. durch Artikel 363
 d. Verordnung v. 31.Oktober 2006, BGBl. I S.2407.
- Trube, J.-D. (2004)
 Fluor-Supplementation bei Kleinkindern, Diss., Düsseldorf 2004.
- UBA: Umweltbundesamt (2012)
 Deutsche verbrauchen zu viele Hi Tech-Metalle.
 [<http://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/deutsche-verbrauchen-zu-viele-hi-tech-metalle>] (Einsichtnahme: 28.06.2015).
- USDA: U. S. Department of Agriculture (1998)
 Agricultural Research Service 1994-1996 Continuing Survey of Food intakes by Individuals. [<http://www.barc.usda.gov/bhnrc/foodsurvey/Csfii94.html>]
 (Einsichtnahme: 08.08.2013).
- VDM: Verband deutscher Mineralbrunnen (2005)
 [<http://www.vdm-bonn.de>] (Einsichtnahme: 02.09.2012).
- Wada, E.; Yoshida, M.; Kojima, Y.; Nonaka, I.; Ohashi, K.; Nagata, Y.; Shiozuka, M.; Date, M.; Higashi, T.; Nishino, I., Matsuda, R. (2015)
 Dietary phosphorus overload aggravates the phenotype of the dystrophin-deficient mdx mouse, in: Am J Pathol., 184(11): 3094-3104.
- Waes van, H.-J.-M.; Stöckli, P.-W. (2001)
 Kinderzahnmedizin, Farbatlanten der Zahnmedizin, Band 1, Georg-Thieme-Verlag,
 Stuttgart, New York 2001.
- Waldvogel, S.; Burckhardt, P.; Aeschlimann, J.-M.; Arnaud, M.-J. (2002)
 Bicarbonate in mineral water inhibits bone resorption, in: J Bone and Miner Res.,
 17(1): S476-M360.

- Walsh, T.; Worthington, H.-V.; Glenny, A.-M.; Appelbe, P.; Marinho, V.-C.; Shi, X. (2010)
Fluore toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents, in: *Cochrane Database Syst Rev.*, 2010 Jan 20; (1).
- Wehner, R.; Gehring, W. (1995)
Zoologie, 23. Auflage, Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1995.
- Weiss, H.; Amberger, A.; Widschwendter, M.; Margreiter, R.; Öfner, D.; Dietl, P. (2001)
Inhibition of store-operated calcium entry contributes to the anti-proliferative effect of non-steroidal anti-inflammatory drugs in human colon cancer cells, in: *Int J Cancer*, 92(6): 877-882.
- Wenhua, L.; Ruming, Z.; Zhixiong, X.; Xiangdong, C.; Ping, S. (2003)
Effect of La³⁺ on growth Transformation and Gene Expression of *Escherichia coli*, in: *Biological Trace Element Research*, 94(2): 167-177.
- Wiese, U. (2000)
Chemisch-physikalische Untersuchungen zur Deposition von Schwefeldioxid auf Gesteinsproben und anderen Absorberoberflächen, Diss., Hamburg 2000.
- Wöhrl, P. (2008)
Einfluss der Ernährung auf orale Strukturen und Erkrankungen, Spitta Verlag GmbH, München 2008.
- Wurtz, T.; Houari, S.; Mauro, N.; MacDougall, M.; Peters, H.; Berdal, A. (2008)
Fluore at non-toxic dose affects odontoblast gene expression in vitro, in: *Toxicology*, 249(1): 26-34.
- Xiao, B.; Ji, Y.; Cui, M. (1997)
Effects of lanthanum and cerium on malignant proliferation and expression of tumor-related gene, in: *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi.*, 31(4): 228-230.
- Yagi, T. (1983)
Inhibitory effect of lanthanum EDTA on caries, in: *Aichi-Gakuin Journal of Dental Science*, 21(3): 563-586.
- Yamamoto, K.; Robinson-Cohen, C.; de Oliveira, M.; Kostina, A.; Nettleton, J.-A.; Ix, J.-A.; Nguyen, H.; Eng, J.; Lima, J.-A.-C.; Siscovick, D.; Weiss, N.-S.; Kestenbaum, B. (2013)
Dietary phosphorus is associated with a significant increase in left ventricular mass, in: *Kidney Int.*, 83(4): 707-714.
- Yan, Q.; Zhang, Y.; Li, W.; DenBesten, P.-K. (2007)
Micromolar fluorides alters ameloblast lineage cells in vitro, in: *J Dent Res.*, 86(4): 336-340.
- Zhang, H.; Feng, J.; Zhu, W.-F.; Liu, C.; Gu, J. (2000)
Bakteriostatic effect of cerium-humic acid complex: An experimental study, in: *Biol Trace Elem Res.*, 73(1): 29-36.

Zhang, W.; Jin, H.; Liu, A. (1999d)

A comparison of the preventive effects of lanthanides and fluorides on human experimental root surface carious-like lesions, in: *The Chinese Journal of Dental Research*, 2(1): 38-44.

Zhang, Y.; Liu, Z.; Zhang, J. (1988)

The effect and technique of rare earth application in agriculture, in: *Proceedings of the First International Conference on the Metallurgy and Material Science of Tungsten, Titanium, Rare Earths and Antimony*, Vol 1: 1275-1280.

13 Abkürzungsverzeichnis

µg	Mikrogramm
AMG	Arzneimittelgesetz
As	Elementsymbol für Arsen
B	Elementsymbol für Bor
BDI	Berufsverband deutscher Internisten
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
Ca	Elementsymbol für Calcium
Ce	Elementsymbol für Cer
CLD	Certainly Letal Dose
Cu	Elementsymbol für Kupfer
d	Tag
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DIN 2000	Leitsätze für die zentrale Trinkwasserverordnung
DMW	Deutsche Mineralwässer
DNA	Desoxyribonukleinsäure
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
EU	Europäische Union
Eu	Elementsymbol für Europium
F	Elementsymbol für Fluor
g	Gramm
GLP	Gute Laborpraxis
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
HTDS	Hoher Lösungsinhalt (TDS-Wert)
i. p.	intraperitoneale Applikation
ICP-MS	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie
ICP-OES	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma
ICP-QMS	Quadrupol-Massenspektrometrie mit induktiv gekoppelten Plasma
IOM	Institute of Medicine

JKI-PB	Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
K	Kelvin
k.A.	keine Angaben
kg	Kilogramm
L	Liter
La	Elementsymbol für Lanthan
LAGH	Landesarbeitsgemeinschaft Jugendzahnpflege in Hessen
LD ₅₀	mittlere letale Dosis
Li	Elementsymbol für Lithium
LW	Leitungswasser
M	Molar
MAFF	Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
mg	Milligramm
ml	Milliliter
Mo	Molybdän
MRI	Max Rubner-Institut
MTVO	Mineral- und Tafelwasserverordnung
NAS	Institute of Medicine der National Academy of Science
Nd	Elementsymbol für Neodym
NemV	Nahrungsergänzungsmittelverordnung
ng	Nanogramm
Ni	Elementsymbol für Nickel
NTDS	Geringer Lösungsinhalt (TDS-Wert)
NVS II	Nationale Verzehrsstudie II
ÖGE	Österreichische Gesellschaft für Ernährung
OK	Oberkiefer
O.V.	Ohne Verfasser
P	Elementsymbol für Phosphor
P ₉₅	Perzentil 95
Pb	Elementsymbol für Blei
PLZ	Postleitzahl
ppb	Parts per billion

ppm	Parts per million
Pr	Elementsymbol für Praseodym
PSE	Periodensystem der Elemente
®	engl. registered trade mark
REE	Rare Earth Elements
Sa	Elementsymbol für Samarium
s _B	Standardabweichung des Blindwertes
SGE	Schweizerische Gesellschaft für Ernährung
Sr	Elementsymbol für Strontium
SVE	Schulvorbereitende Einrichtung
TDS	Total Diet Study
TDS-Wert	Summe der gelösten Salze/Feststoffe im Wasser
TG	Trockengewicht
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
u	Unit
U	Elementsymbol für Uran
UBA	Umweltbundesamt
UK	Unterkiefer
UL	tolerable upper intake level
USDA	United States Department of Agriculture
VDM	Verein Deutscher Mineralbrunnen e. V.
WEPAL	Wageningen Evaluation Programme for analytical Laboratories
WMW	Weltweite Mineralwässer
Yb	Elementsymbol für Ytterbium
y _B	Mittelwert des Blindwertes,
Zn	Elementsymbol für Zink

14 Anhang

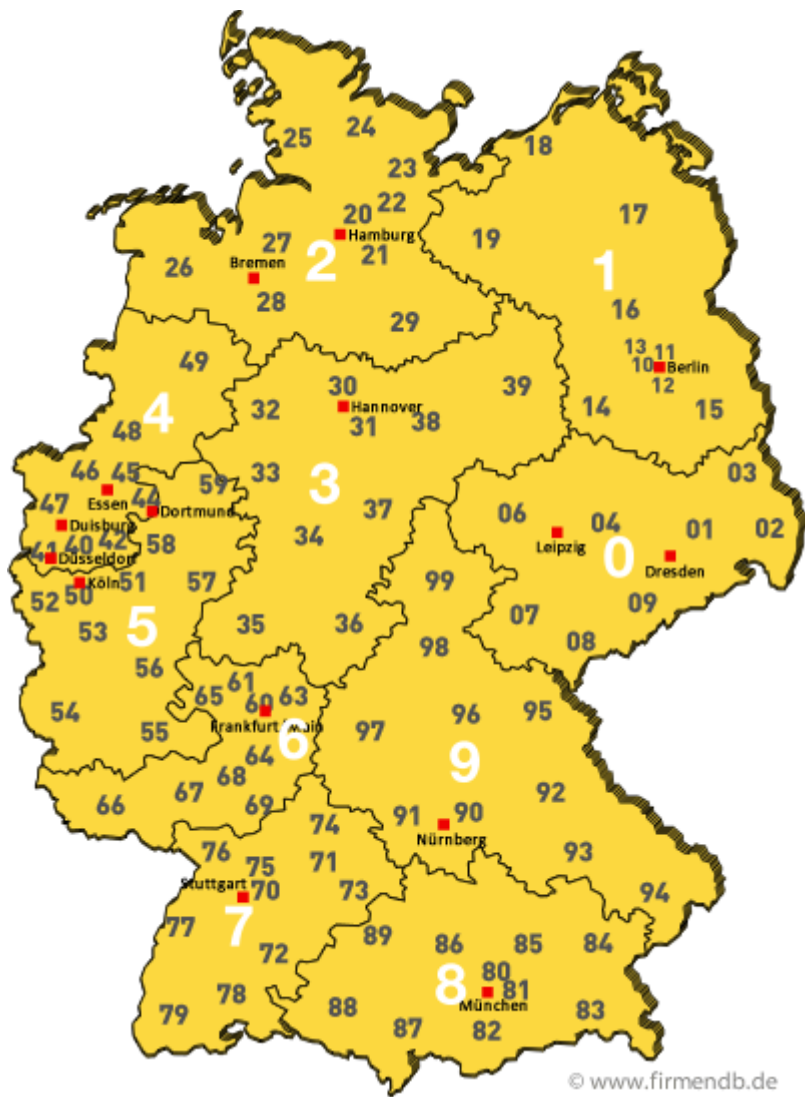
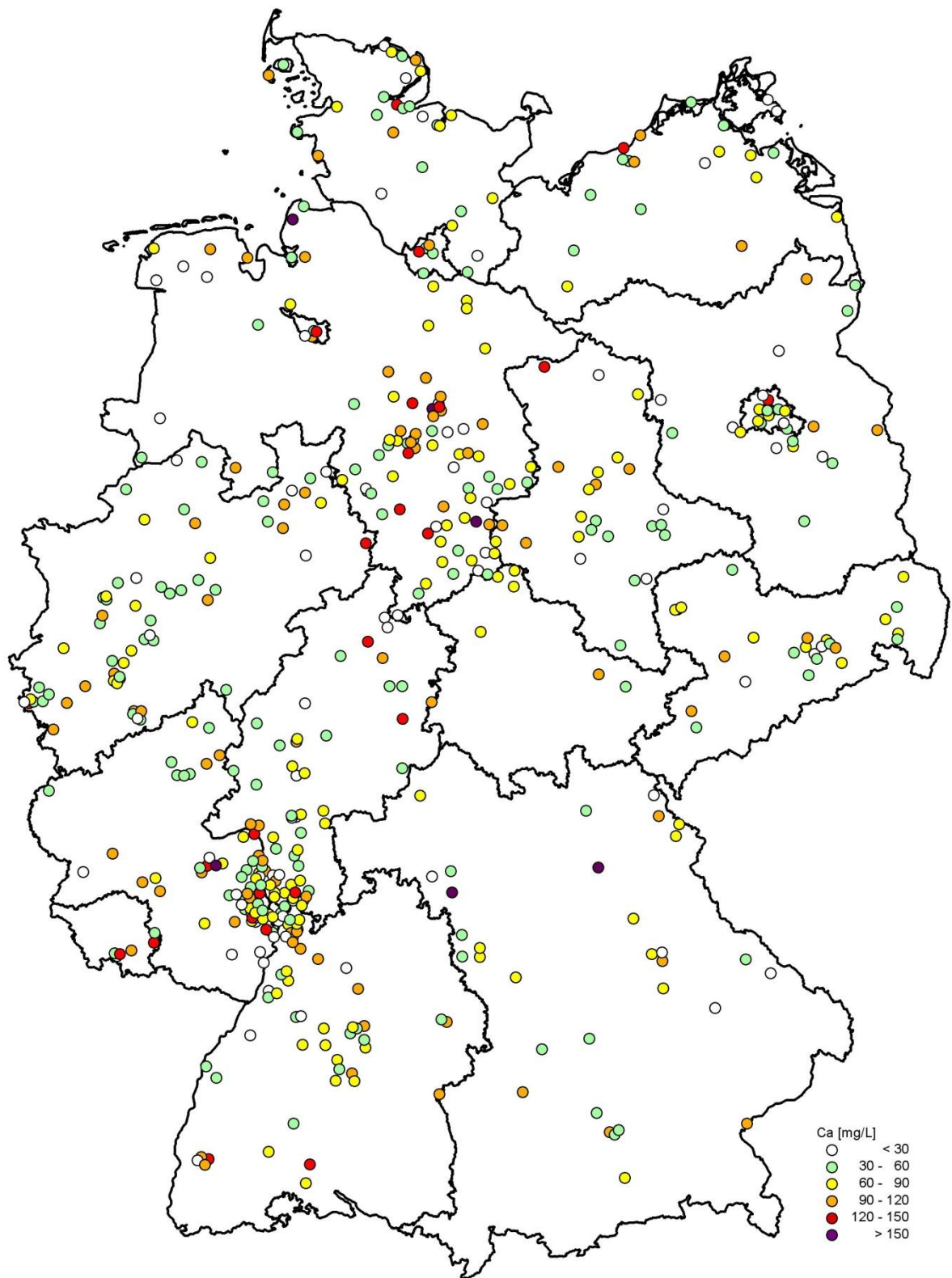
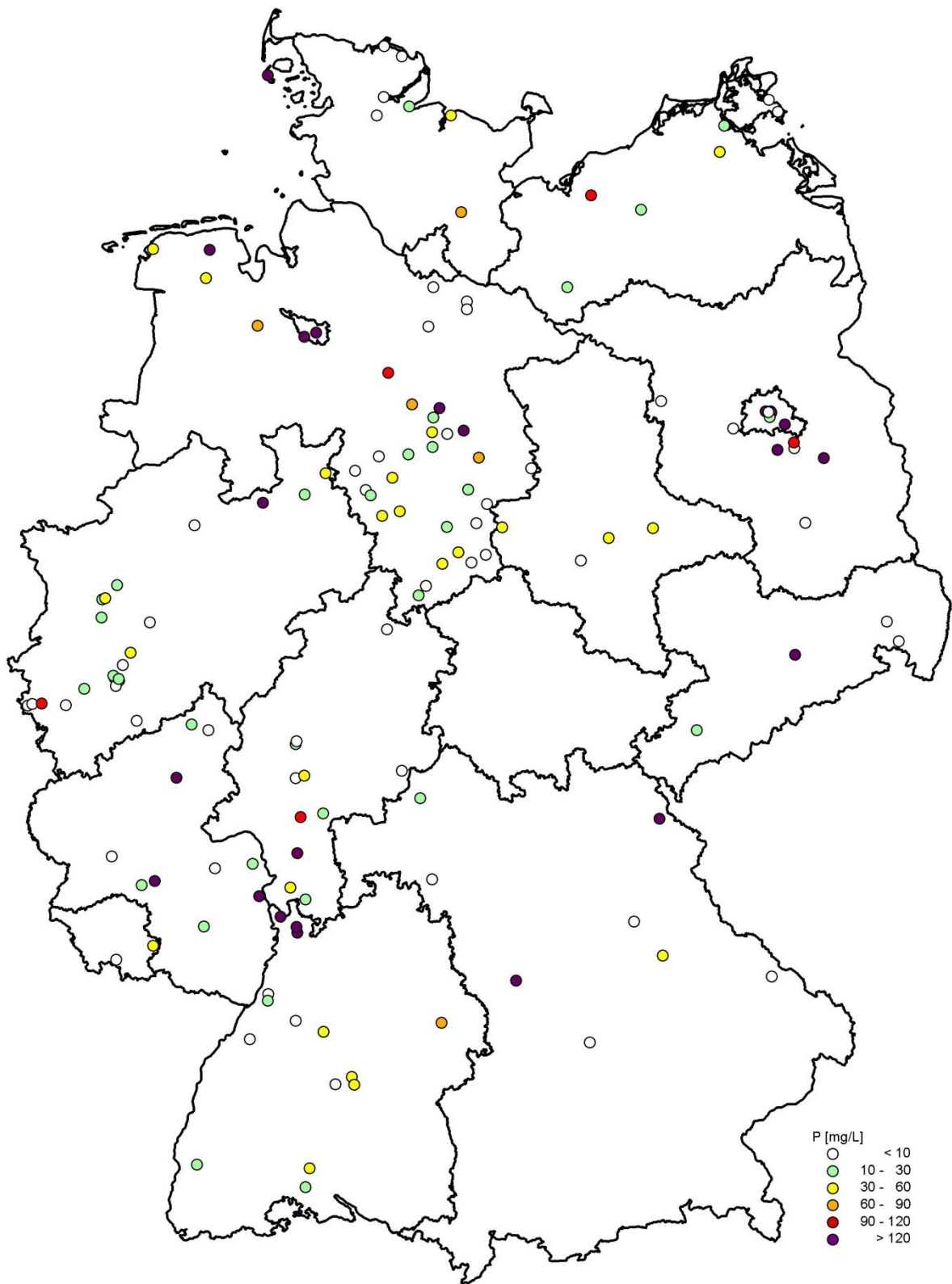


Abbildung 17 Anhang: Postleitzahlgebiete in Deutschland
(<http://www.firmendb.de/download/postleitzahlen-karte.php>).



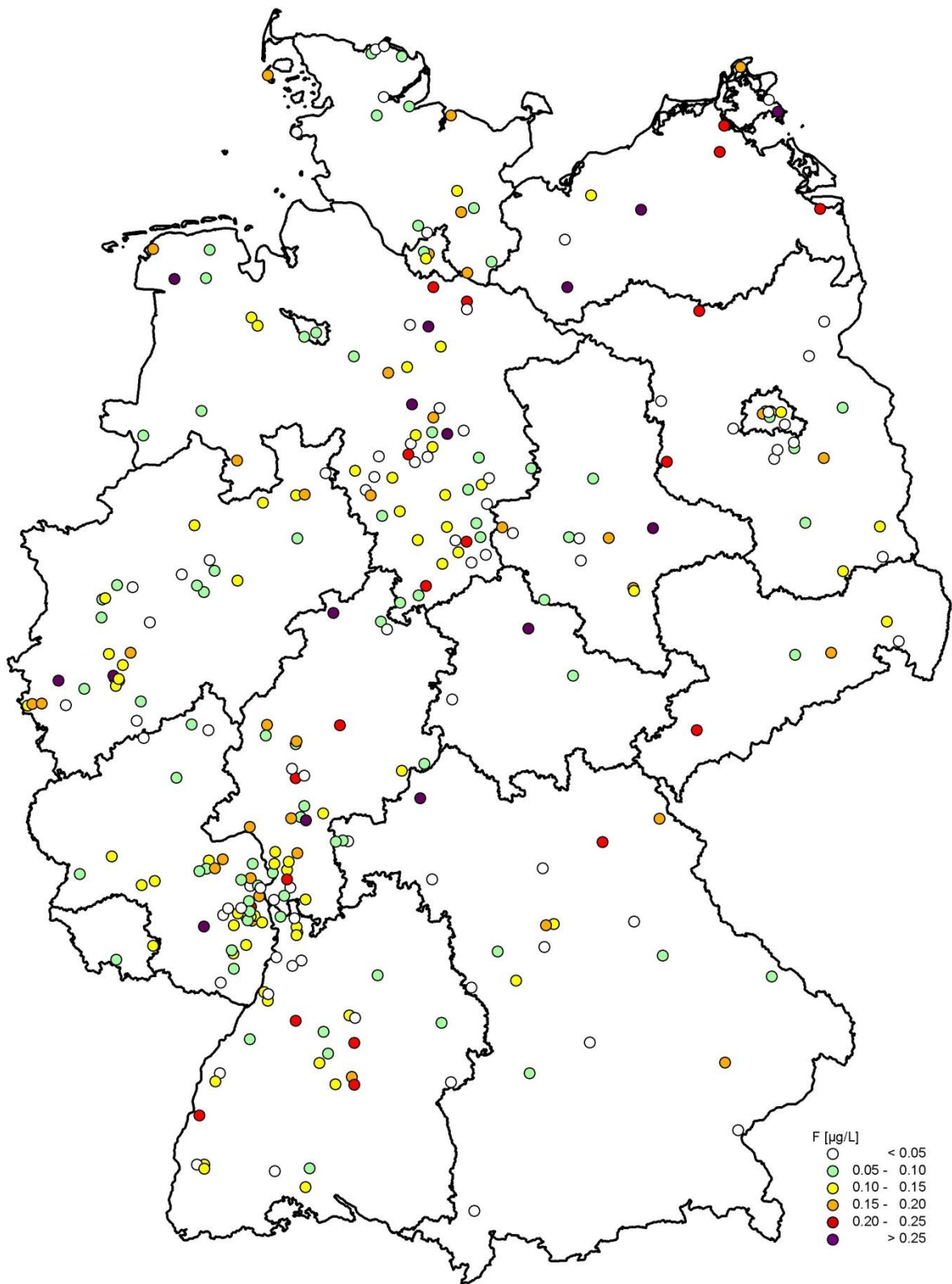
(n = 617)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 18 Anhang: Ca-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.



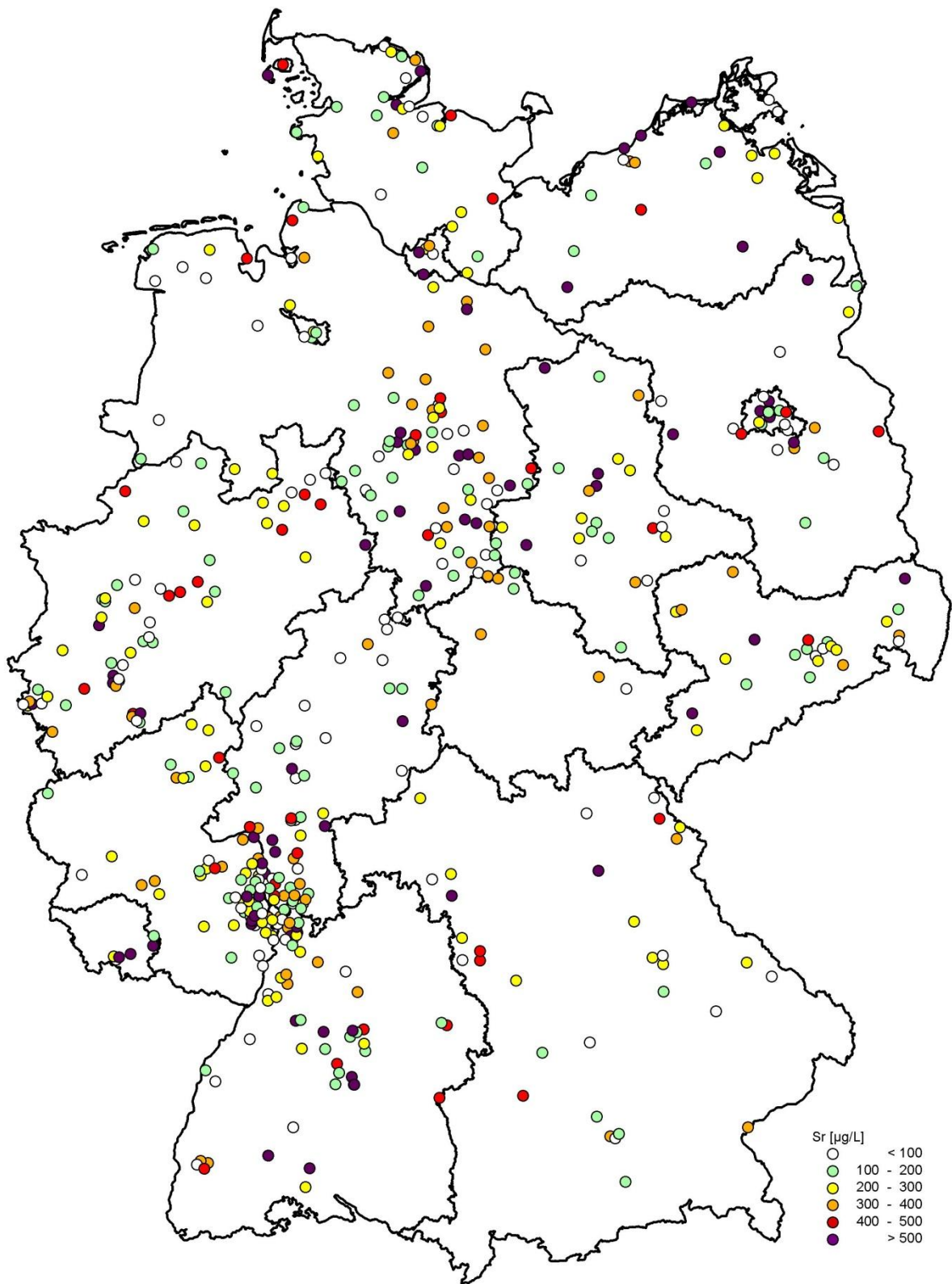
(n = 149)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 19 Anhang: P-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.



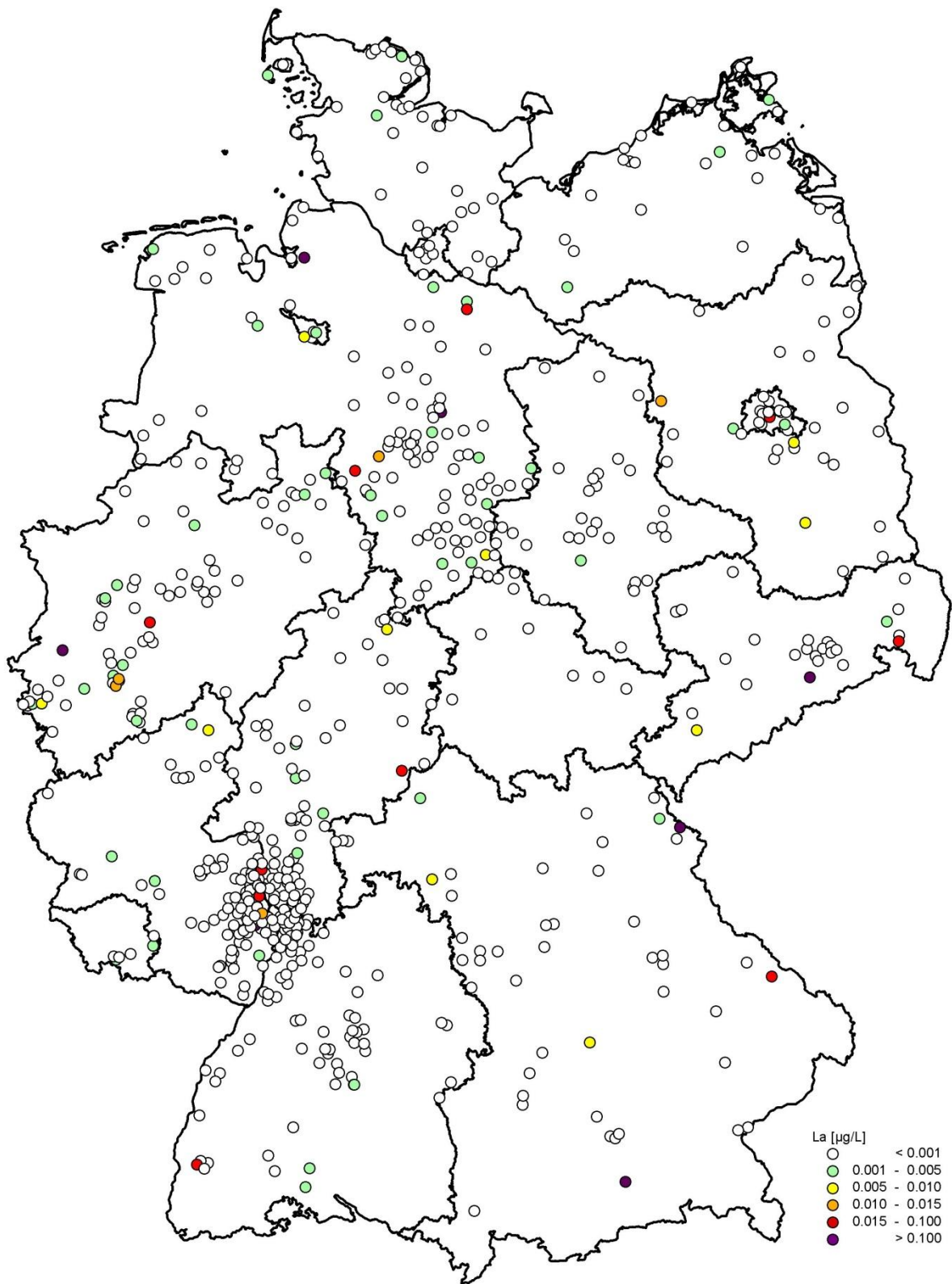
(n = 345)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 20 Anhang: F-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern



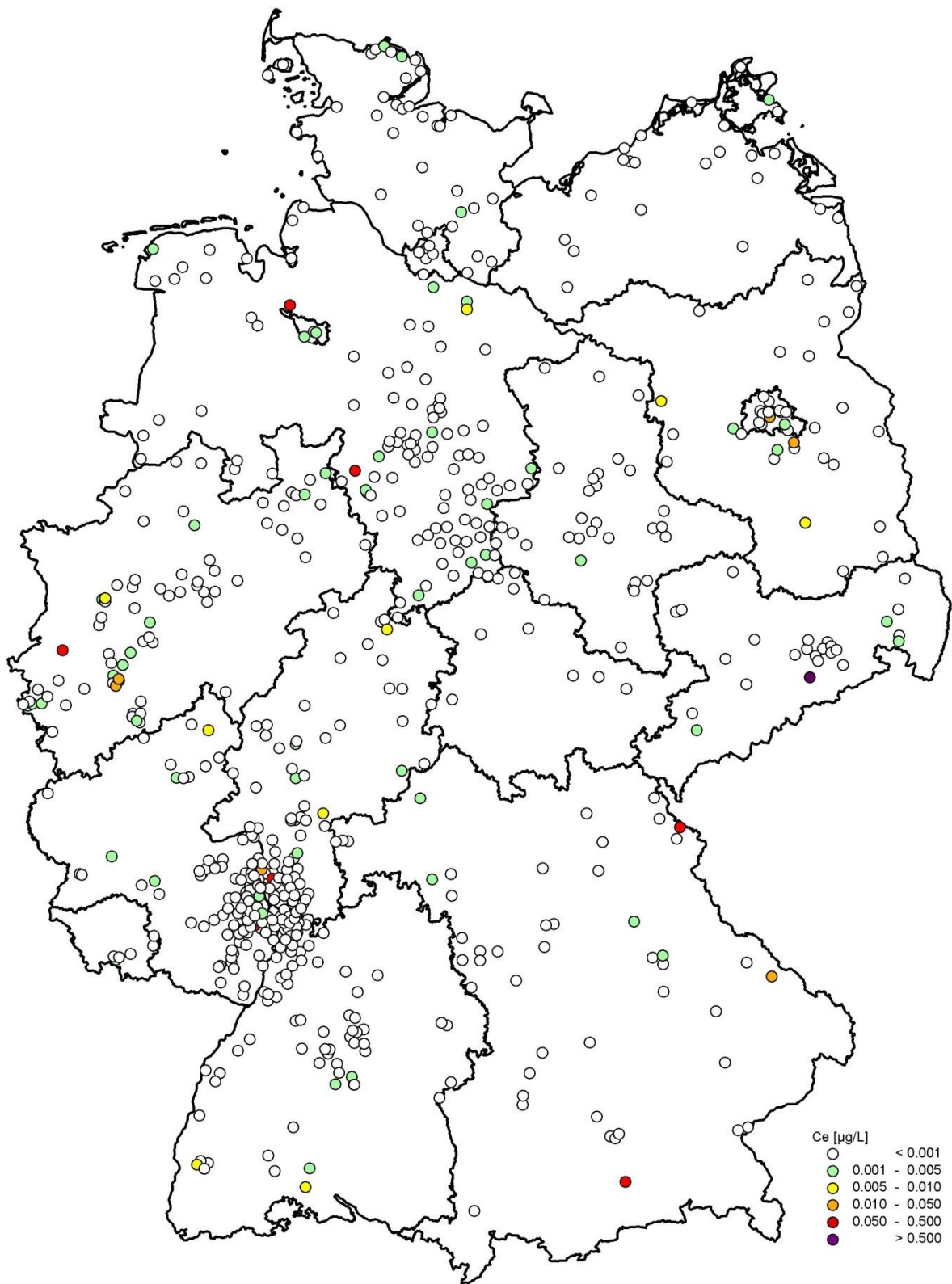
(n = 617)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 21 Anhang: Sr-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.



(n = 621)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 22 Anhang: La-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.



(n = 621)
Stand: 30.05.2013

Abbildung 23 Anhang: Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern.

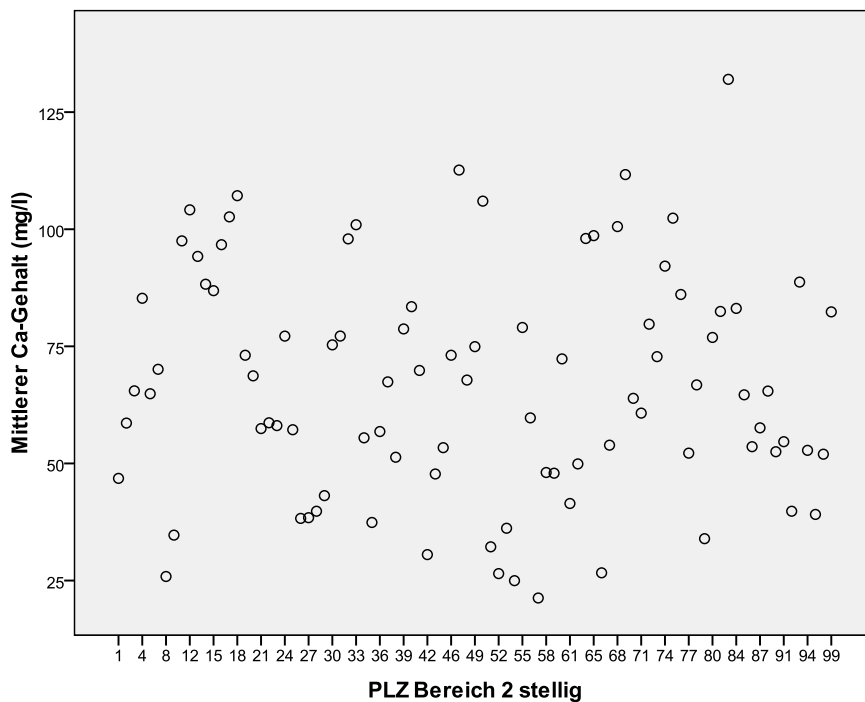


Abbildung 24 Anhang: Ca-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

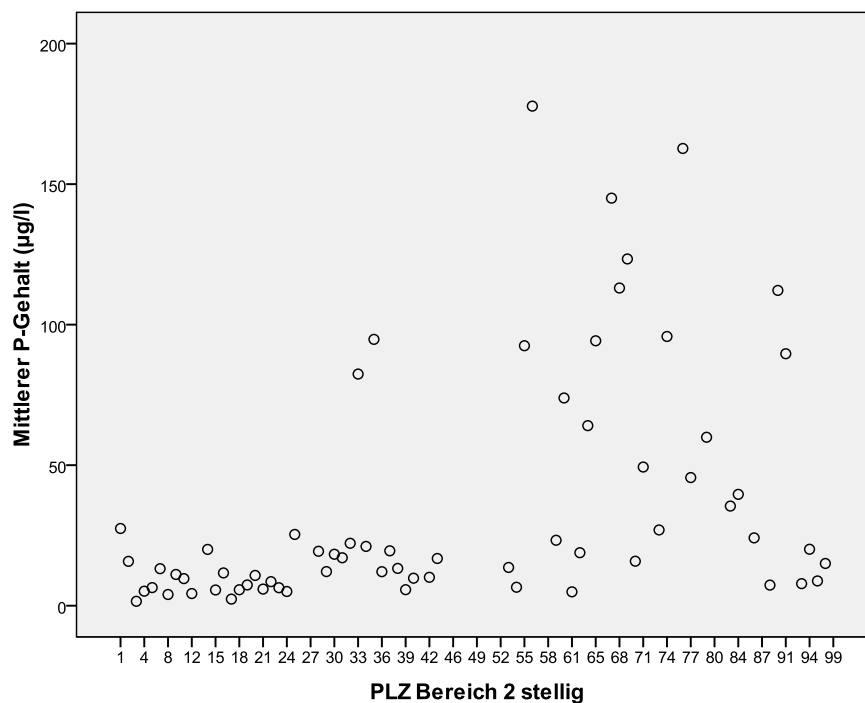


Abbildung 25 Anhang: P-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

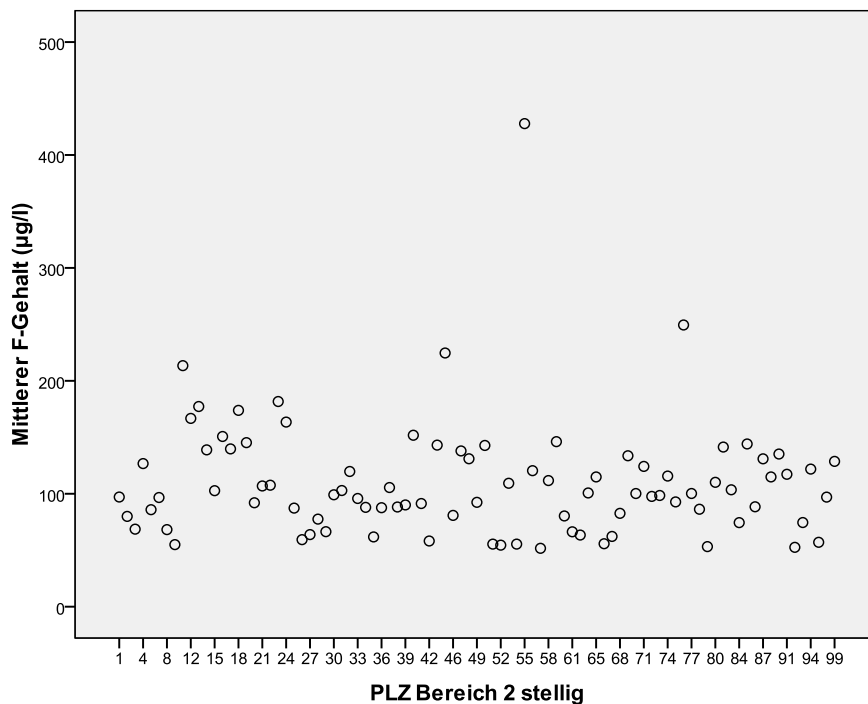


Abbildung 26 Anhang: F-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

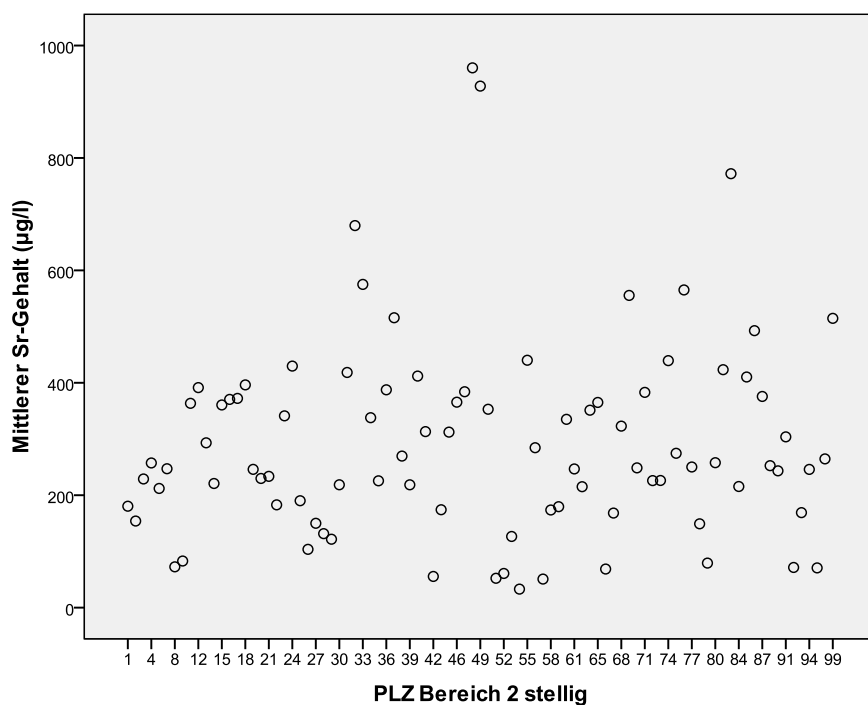


Abbildung 27 Anhang: Sr-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

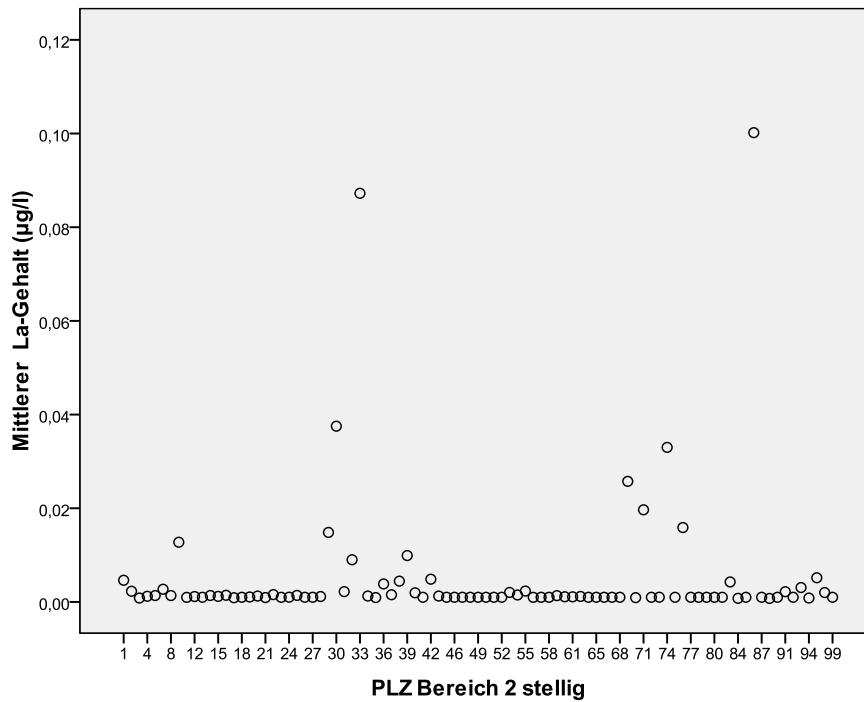


Abbildung 28 Anhang: La-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

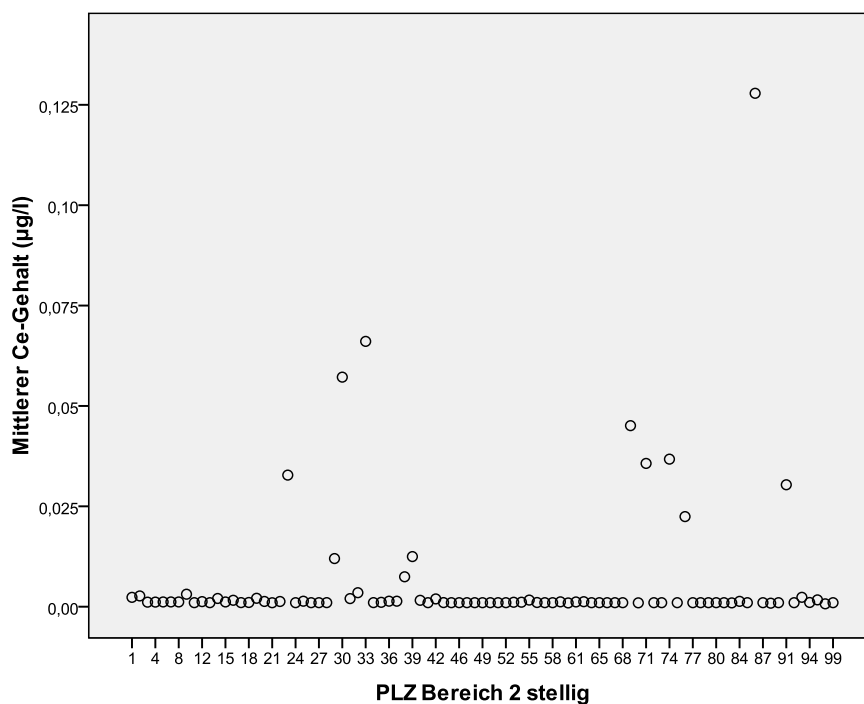


Abbildung 29 Anhang: Ce-Konzentrationen in deutschen Leitungswässern (Mittelwerte zweistelliger Postleitzahlgebiete, Signifikanzen im "F-Test": Ca, F, Sr: $p < 0,050$; P, La, C: $p > 0,050$).

Tabelle 46 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	141	117	299
- gewichtete tierische Produkte*	68	54	180
Milch, Eier und Produkte daraus	1.115	1.172	201
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1.208	704	1.587
Summe	2.532	2.047	2.267

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 47 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	990	904	1.705
- gewichtete tierische Produkte*	697	667	1.091
Milch, Eier und Produkte daraus	953	93	1.575
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1.183	1.032	2.996
Summe	3.823	2.696	7.367

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 48 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,333	0,295	0,619
- gewichtete tierische Produkte*	0,278	0,244	0,740
Milch, Eier und Produkte daraus	0,204	0,166	0,509
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1,42	0,394	2,82
Summe	2,24	1,09	4,69

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 49 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei Standardernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	4,58	0,740	23,1
- gewichtete tierische Produkte*	2,12	0,278	5,69
Milch, Eier und Produkte daraus	4,08	0,248	15,6
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	26,8	14,4	97,9
Summe	37,6	15,7	142

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 50 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei Standardernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,187	0,136	0,958
- gewichtete tierische Produkte*	0,368	0,156	1,04
Milch, Eier und Produkte daraus	0,521	0,150	2,34
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	0,589	0,114	2,72
Summe	1,67	0,556	7,06

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 51 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei Standardernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,137	0,022	1,43
- gewichtete tierische Produkte*	0,434	0,410	0,978
Milch, Eier und Produkte daraus	0,071	0,025	0,299
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	0,956	0,150	1,45
Summe	1,60	0,607	4,16

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 52 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	89,8	74,6	190
Milch, Eier und Produkte daraus	1.858	1.953	3.352
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	3.144	1.833	4.130
Summe	5.091	3.860	7.672

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 53 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	631	576	1.086
Milch, Eier und Produkte daraus	1.589	1.556	2.625
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	3.080	2.686	6.757
Summe	5.299	4.818	10.468

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 54 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,210	0,190	0,300
Milch, Eier und Produkte daraus	0,340	0,280	0,850
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	3,70	1,08	7,35
Summe	4,25	1,55	8,50

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 55 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	2,92	0,500	14,7
Milch, Eier und Produkte daraus	6,80	0,410	26,0
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	69,6	37,5	255
Summe	79,4	38,4	296

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 56 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,120	0,010	0,700
Milch, Eier und Produkte daraus	0,870	2,50	3,90
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1,53	0,300	7,07
Summe	2,52	2,81	11,7

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 57 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei (ovo-lacto) vegetarischer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,090	0,010	0,910
Milch, Eier und Produkte daraus	0,120	0,040	0,500
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	2,57	0,390	3,77
Summe	2,78	0,440	5,18

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 58 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	154	128	326
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	5.031	2.933	6.609
Summe	5.185	3.061	6.935

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 59 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	1.082	988	1.863
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	4.928	4.299	10.812
Summe	6.010	5.286	12.675

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 60 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,360	0,320	0,680
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	5,92	1,64	11,8
Summe	6,28	1,96	12,4

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 61 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei veganer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	5,01	0,860	25,1
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	111	60,0	408
Summe	116	61,0	433

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 62 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei veganer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,200	0,010	1,05
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	2,45	0,470	11,3
Summe	2,65	0,480	12,4

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 63 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei veganer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,160	0,020	1,56
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	4,10	0,620	6,03
Summe	4,26	0,640	7,59

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 64 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ca-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	67,8	63,8	163
- gewichtete tierische Produkte*	244	192	641
Milch, Eier und Produkte daraus	743	781	1.341
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1.257	733	1.651
Summe	2.312	1.769	3.796

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 65 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen P-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	539	492	929
- gewichtete tierische Produkte*	2.486	2.382	3.992
Milch, Eier und Produkte daraus	636	622	1.050
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1.231	1.074	2.701
Summe	4.892	4.570	8.672

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 66 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen F-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,180	0,160	0,340
- gewichtete tierische Produkte*	0,990	0,800	2,64
Milch, Eier und Produkte daraus	0,140	0,110	0,340
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1,48	0,410	2,94
Summe	2,79	1,48	6,26

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 67 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Sr-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in mg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	2,50	0,430	12,6
- gewichtete tierische Produkte*	7,55	0,990	20,3
Milch, Eier und Produkte daraus	2,72	0,170	10,4
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	27,8	14,9	102
Summe	40,6	16,6	145

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 68 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen La-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,100	0,010	0,520
- gewichtete tierische Produkte*	1,31	0,560	3,70
Milch, Eier und Produkte daraus	0,350	0,100	1,56
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	0,610	0,120	2,83
Summe	2,37	0,790	8,61

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Tabelle 69 Anhang: Deskriptive Statistik der täglichen Ce-Aufnahme bei karnivorer Ernährung in µg/d.

Lebensmittelgruppe	Mittelwert	Median	P₉₅
Getreide und Getreideprodukte	0,080	0,010	0,780
- gewichtete tierische Produkte*	1,57	1,46	3,49
Milch, Eier und Produkte daraus	0,040	0,020	0,200
Früchte, Gemüse und Produkte daraus	1,03	0,160	1,51
Summe	2,72	1,65	5,98

*ohne Milch, Eier und Produkte daraus

Literaturverzeichnis Anhang: Metadatenbank

- Cremer, H.-D.; Aign, W.; Elmadfa, I.; Muskat, E.; Westhoff, M. (1977)
Die große Nährwerttabelle: die Kalorien/Joule- und Nährstoffgehalte unserer Lebensmittel Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Gießen, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München 1977.
- Elmadfa, I.; Aign, W.; Fritsche, D. (2010)
Nährwerte, 3. Auflage, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München 2010.
- Elmadfa, I.; Aign, W.; Mukat, E.; Fritsche, D. (2010)
Die große GU Nährwert Kalorien Tabelle, 2. Auflage, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München 2010.
- Elmadfa, I.; Fritsche, D. (2005)
Unsere Lebensmittel, Westermann Druck, Zwickau 2005.
- Fachmann, W.; Kraut, H.; Souci, S.-W. (2000)
Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwerttabellen, 6. Auflage, Medpharm Scientific Publishes, Stuttgart 2000.
- Fachmann, W.; Kraut, H.; Souci, S.-W. (2009)
Der kleine Souci, Lebensmitteltabelle für die Praxis, 4. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 2009.
- Heseker, H.; Heseker, B. (2012)
Die Nährwerttabelle, 2. Auflage, Neuer Umschau Buchverlag, Neustadt an der Weinstraße 2012.
- Jiang, D.-G.; Yang, J.; Zhang, S.; Yang, da J. (2012)
A survey of 16 rare Earth elements in the major foods in China, in: Biomed Environ Sci. 2012 Jun, 25(3): 267-271.
- Measurement of the concentrations of metals and other elements from the 2006 UK total diet study (2013)
[<http://food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis0109metals.pdf>]
(Einsichtnahme: 08.03.2013).
- MedSurfer (2011)
[<http://www.medsurfer.de/naehrwerttabelle/kalorientabelle>] (Einsichtnahme: 26.03.2011).
- Montford, M.-A.; Shank, K.-E.; Hendricks, C.; Oakes, T.-W. (1980)
Concentration of stable elements in food products, 14th annual conference on trace substances in environmental health, Columbia, MO, USA, 2nd Jun 1980.
- Oberitter, T.-H.; Zeltner, R. (2001)
Nährwerte auf einen Blick, Neuer Honos Verlag, Köln 2001.
- O.V. (2011b)
[<http://www.die-backstube.de>] (Einsichtnahme: 25.03.2011).

- O.V. (2011c)
[<http://www.lexolino.de>] (Einsichtnahme: 18.03.2011).
- O.V. (2011d)
[<http://www.animalparadies.de>] (Einsichtnahme: 27.03.2011).
- O.V. (2013)
[<http://www.ars.usda.gov/ba/bhnvc/udl>] (Einsichtnahme: 01.03.2013).
- Petter, K.; Pohlmann, T. (2007)
Die große vegane Nährwerttabelle.
[http://www.vebu.de/attachments/Vegane_Naehrwerttabelle.pdf] (Einsichtnahme: 11.09.2013).
- Roßmeier, A. (1997)
Nährwerttabellen, 2. Auflage, Südwest kompakt, München 1997.
- Schade, J.-P. (2009)
Nährwerte, Gemüse, Obst & Nüsse. Ratgeber Gesundheit, Karl Müller Verlag, Köln 2009.
- Schweig, T. (2002)
Nährwerte einfach und übersichtlich, 2. Auflage, Gori Verlag, Eschborn 2002.
- Sommers, T. (1999)
Die kleine Küchen Bibliothek: Vitamine und Co, genehmigte Sonderausgabe, Compact Verlag, München 1999.
- Stolley, H.; Kersting, M.; Droese, W. (1980)
Nährwerttabelle des Forschungsinstitutes für Kinderernährung, 1.Auflage, Haus Marseille Verlag GmbH, München 1980.
- TDS: Total Diet Study (1991)
FD 94/8 Multi-Element Analysis of the 1991 Total diet samples Proj. No.49, FLN No.1760 Maff UK-Total diet study-No.34, July 1994.
- Winnewisser, S. (2007)
Kalorien & Nährwerte, AREA Verlag GmbH, Erfstadt 2007.
- Wirths, W. (1974)
Kleine Nährwerttabelle der DGE e. V. Umschau Verlag, 25. Auflage, Frankfurt am Main 1974.
- Zeltner, R.; Oberritter, T.-H. (1995)
Nährwerttabellen, Isis Verlagsgesellschaft AG, Chur, Schweiz 1995.
- Zhengy, H.; Haneklaus, S.; Sparovek, G.; Schnug, E. (2006)
Rare Earth Elements in Soils, in: Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 1381-1420.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Kristin Elisabeth Holzhausen
Geburtsdatum	25.11.1973
Geburtsort	Braunschweig
Eltern	Rolf Benno Ernst Holzhausen und Elke Holzhausen, geb. Sack

Schulbildung

1980-1983	Grundschule Nauborn, Wetzlar
1983-1984	Grundschule Ilmenau, Braunschweig
1984-1993	Wilhelm-Bracke-Gesamtschule, Braunschweig

Ausbildung

1993-1994	Ausbildung zur Medizinisch-technischen Radiologieassistentin an der Philipp-Heinemann-Schule, Braunschweig
-----------	--

Studium

1994-1999	Studium der Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität Göttingen
1995	Abschluss der naturwissenschaftlichen Vorprüfung an der Georg-August-Universität Göttingen
1996	Abschluss der zahnärztlichen Vorprüfung an der Georg-August-Universität Göttingen
1999	Abschluss des Studiengangs Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität Göttingen mit Staatsexamen

Berufstätigkeit

1999-2001	Vorbereitungsassistentin der zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis Borsigstraße, Braunschweig
2001-2002	Niedergelassene Zahnärztin in der zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis Borsigstraße, Braunschweig
Seit 2003	Niedergelassene Zahnärztin in der zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis Elbestraße, Braunschweig

Promotionsstudium

2010	Beginn der praktischen Arbeiten zur Dissertation am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts (JKI)
2011	Betreuung von Professor Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Ewald Schnug Erfolgreiche Kenntnisstandprüfungen in Lebensmittelchemie und ökologischer Chemie an der TU Braunschweig

Zusatzqualifikationen

2007:	Zertifikat der Strukturierten Fortbildung in Implantologie
2007-2008:	Zertifikat der Strukturierten Fortbildung in Parodontologie
2009-2010:	Zertifikat der Strukturierten Fortbildung in Endodontie
2009-2011:	Curriculum der Kinder- und Jugendzahnheilkunde
2011-2012:	Curriculum der zahnärztlichen Prothetik
Seit 2015	Curriculum der ästhetischen Zahnheilkunde

Mitgliedschaften in Berufsverbänden

- Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK)
- Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde (DGK)
- Deutsche Gesellschaft für Parodontologie (DGP)
- Deutsche Gesellschaft zahnärztliche Schlafmedizin e. V. (DGZS)
- ZAHN e. V.

