

DOI 10.17590/20200914-123651

Sehr niedrig mineralisiertes Mineralwasser¹ gesundheitlich bewertet

Stellungnahme Nr. 041/2020 des BfR vom 14. September 2020

Bei natürlichem Mineralwasser handelt es sich um Wasser, das u. a. seinen Ursprung in unterirdischen, vor Verunreinigungen geschützten Wasservorkommen hat, von ursprünglicher Reinheit ist und durch seinen Gehalt an Mineralien, Spurenelementen sowie sonstigen Bestandteilen und gegebenenfalls durch bestimmte, insbesondere ernährungsphysiologische Wirkungen, gekennzeichnet ist (siehe § 2 Mineral- und Tafelwasserverordnung). Welche und wie viele Mineralien darin enthalten sind, hängt von der geologischen Beschaffenheit des Ortes ab, an dem es entnommen wird. Die Zusammensetzung variiert entsprechend sehr. Erhältlich ist Mineralwasser mit hohen Gehalten einzelner oder mehrerer Mineralstoffe bis hin zu Mineralwasser mit besonders niedrigen Mineralstoffgehalten. Mineralwasser, das nicht mehr als 50 Milligramm Mineralstoffe pro Liter aufweist (berechnet als fester Rückstand), kann gemäß der Mineral- und Tafelwasserverordnung die Angabe „Mit sehr geringem Gehalt an Mineralien“ tragen.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat mögliche gesundheitliche Risiken von sehr niedrig-mineralisierten Mineralwässern bewertet. Anlass ist die Anfrage eines Landesuntersuchungsamts mit Verweis auf einen wissenschaftlichen Beitrag in einer Publikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aus dem Jahr 2005. Es bittet um eine Bewertung, ob durch den Verzehr von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser gesundheitliche Risiken insbesondere für bestimmte Verbrauchergruppen bestehen könnten.

Sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser wird von der Bevölkerung schon seit langem als Getränk verwendet. Bei der Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisierten Mineralwässern bestehen Wissenslücken, da hierzu derzeit nur wenige wissenschaftliche Studien vorliegen. Jedoch ist nach gegenwärtigem wissenschaftlichen Kenntnisstand davon auszugehen, dass sehr niedrig-mineralisiertes Mineral-, Quell- und Tafelwasser langfristig keine unerwünschten gesundheitlichen Folgen hat – eine ausgewogene Ernährung und übliche Trinkmengen vorausgesetzt. Schließlich nimmt der Mensch Mineralstoffe über die gesamte täglich verzehrte Nahrung auf, wobei Wasser bzw. Mineralwasser eine von mehreren täglichen Mineralstoffzufuhrquellen darstellt.

Einzelne Verbrauchergruppen – etwa Personen, die sich sehr unausgewogen ernähren, Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. Veganer, Personen mit Laktoseintoleranz) oder Personen, die über einen längeren Zeitraum fasten, ebenso wie schwangere und stillende Frauen – sollten auf ihre tägliche Gesamtaufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen achten, wenn sie sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle längerdauernd verwenden. Bei längeren, sportlichen oder körperlich anstrengenden Aktivitäten (länger als 1,5 Stunden) ist die Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als alleiniges oder hauptsächliches Getränk zum Flüssigkeitsersatz und zur Aufrechterhaltung der sportlichen bzw. körperlichen Leistungsfähigkeit nicht zu empfehlen.

¹ Mineralwasser, dessen Mineralstoffgehalt, berechnet als fester Rückstand, nicht mehr als 50 mg/L beträgt.

		BfR-Risikoprofil: Langfristiger Verzehr von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser (Stellungnahme Nr. 041/2020)			
A Betroffen sind [1]	Allgemeinbevölkerung 				
B Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung bei Verzehr von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser	Praktisch ausgeschlossen	Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich	Gesichert
C Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung bei Verzehr von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser	Keine Beeinträchtigung	Leichte Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	Mittelschwere Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	Schwere Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	
D Aussagekraft der vorliegenden Daten	Hoch: Die wichtigsten Daten liegen vor und sind widerspruchsfrei	Mittel: Einige wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich		Gering: Zahlreiche wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	
E Kontrollierbarkeit durch Verbraucher	Kontrolle nicht notwendig	Kontrollierbar durch Vorsichtsmaßnahmen	Kontrollierbar durch Verzicht	Nicht kontrollierbar	

Dunkelblau hinterlegte Felder kennzeichnen die Eigenschaften des in dieser Stellungnahme bewerteten Risikos (nähere Angaben dazu im Text der Stellungnahme Nr. 041/2020 des BfR vom 14. September 2020).

Erläuterungen

Das Risikoprofil soll das in der BfR-Stellungnahme beschriebene Risiko visualisieren. Es ist nicht dazu gedacht, Risikovergleiche anzustellen. Das Risikoprofil sollte nur im Zusammenhang mit der Stellungnahme gelesen werden.

[1] Zeile A – Betroffen sind:

Dieses Risikoprofil gilt nicht für schwangere oder stillende Frauen sowie Menschen, die sich nicht ausgewogen ernähren, die bewusst auf Lebensmittel verzichten oder bei längerer sportlicher, körperlich anstrengender Aktivität (länger als 1,5 Stunden).

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) erarbeitete im Jahr 2006 eine Stellungnahme zu Gesundheitsrisiken des Verzehrs von sehr niedrig-mineralisierten Mineral-, Quell- und Tafelwässern. Aufgrund einer Anfrage eines Landesuntersuchungsamts bzw. des entsprechenden Landesministeriums hat das BfR erneut die aktuelle Erkenntnislage geprüft.

Nach Angaben eines Landesuntersuchungsamts erfreut sich Mineralwasser *mit sehr geringem Gehalt an Mineralien* aufgrund des „neutralen“ Geschmacks zunehmender Beliebtheit bzw. wird der Verzehr sehr leicht mineralisierter Mineralwässer in der Öffentlichkeit seit Jahren stark beworben. Das Landesuntersuchungsamt weist in seinem Schreiben auf einen in einer Publikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aus dem Jahre 2005 („Nutrients in drinking water“, *Nährstoffe im Trinkwasser*) veröffentlichten wissenschaftlichen Beitrag von Kozisek hin („Health Risks from drinking demineralized water“, *Gesundheitsrisiken durch Trinken von entmineralisiertem Wasser*; 2005), der sich mit dem damaligen Kenntnisstand zu gesundheitlichen Risiken des dauerhaften Verzehrs von sehr schwach mineralisierten Wässern befasste, wonach schwach mineralisiertes Wasser die Ausscheidung bestimmter Mineralstoffe fördern soll und dies bzw. das Fehlen der Mineralstoffe im verzehrten Wasser mit einer Reihe von Erkrankungen in Verbindung gebracht wird. Weiter werden in dieser Publikation für den dauerhaften Verzehr des Wassers Mindestgehalte hinsichtlich der gelösten festen Bestandteile sowie für Magnesium und Calcium genannt. Seitens des Untersuchungs-

amts bestehen Bedenken, dass ein Ausgleich eines durch den dauerhaften Verzehr von mineralienarmen Wasser hervorgerufenen Mineralstoffverlusts durch die sonstige Ernährung nicht immer erreicht werden kann, insbesondere, wenn nach sportlicher Betätigung in den heißen Sommermonaten oder im Fall von Durchfallerkrankungen größere Mengen des Wassers in kurzer Zeit getrunken werden.

Hintergrund: Für Mineral-, Quell- und Tafelwasser bestehen gemäß Mineral- und Tafelwasserverordnung (MinTafWV) keine Mindestanforderungen hinsichtlich des Gehalts an einzelnen Mineralstoffen oder des Gesamtmineralstoffgehalts. Mineralwasser, dessen Mineralstoffgehalt, berechnet als fester Rückstand, nicht mehr als 50 mg/L beträgt, kann mit der Angabe „Mit sehr geringem Gehalt an Mineralien“ in Verkehr gebracht werden (Anlage 6, MinTafWV).

2 Ergebnis

Sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser¹ ist seit langem als Lebensmittel in Verkehr. Im Rahmen der üblichen täglichen Ernährung wird Mineralwasser zusammen mit einer Anzahl verschiedener Lebensmittel verzehrt, die in unterschiedlichen Maßen zur täglichen Nährstoffaufnahme beitragen.

Gegenwärtig liegen nur wenige Studien für eine Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser vor und es bestehen Wissenslücken bei der Risikobewertung solchen Mineralwassers. Jedoch sind nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand bei ausgewogener Ernährung und üblichen Trinkmengen keine unerwünschten Wirkungen erkennbar, die der Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineral-, Quell- und Tafelwasser als Lebensmittel entgegenstehen.

Personen mit sehr unausgewogener Ernährung² sowie Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. auf Milch und Milchprodukte aufgrund von Laktoseintoleranz oder veganer Ernährung), ebenso wie schwangere und stillende Frauen sollten bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Magnesium³, achten. Während längerer sportlicher, körperlich anstrengender Aktivitäten (> 1,5 Stunden) ist sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als Getränk⁴ zum Flüssigkeitsersatz und Aufrechterhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit nicht zu empfehlen.

3 Begründung

3.1 Agens

Der Begriff „sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser/Wasser“ ist nicht eindeutig definiert. Im Folgenden wird diese Bezeichnung für Mineralwasser bzw. Wasser mit einem Mineralstoffgehalt von ≤ 50 mg/L (berechnet als fester Rückstand) verwendet, da gemäß Anlage 6, MinTafWV Mineralwasser mit einem solchen Mineralstoffgehalt als Mineralwasser „mit sehr geringem Gehalt an Mineralien“ ausgelobt werden kann. Diese Grenzziehung beruht jedoch nicht auf ernährungsphysiologischen oder toxikologischen Gesichtspunkten, da davon aus-

² Dies kann Erwachsene, Jugendliche, Kinder und Kleinkinder betreffen.

³ Bei Personen, die sich vegan ernähren, dürfte dies in Hinblick auf die Magnesiumzufuhr weniger von Bedeutung sein.

⁴ Gemeint ist die alleinige oder überwiegende Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als Getränk zum Flüssigkeitsersatz und Aufrechterhaltung der sportlichen/körperlichen Leistungsfähigkeit.

zugehen ist, dass in einem mehr oder weniger breiten Bereich keine bedeutenden ernährungsphysiologischen Unterschiede bezüglich der Höhe des Gesamtmineralstoffgehalts von Wasser bestehen.

3.2 Risikobewertung

Insgesamt liegen nur wenige wissenschaftliche Studien für eine Risikobewertung von *Mineralwasser mit sehr geringem Gehalt an Mineralien* vor. Bei der Risikobewertung muss in größerem Umfang auf Studien zurückgegriffen werden, die sich mit Auswirkungen der Härte des Trinkwassers (Wasserhärte) auf die menschliche Gesundheit befassen. Die Härte des Trinkwassers wird im Wesentlichen durch den Calcium- und Magnesiumgehalt des Trinkwassers bestimmt, d. h. den beiden Mineralstoffen, die bei der wissenschaftlichen Diskussion über potentielle positive gesundheitliche Wirkungen des Gesamtmineralstoffgehalts von Wasser bzw. Mineralwasser im Fokus stehen. Für die Risikobewertung mussten hierbei vielfach auch Untersuchungen einbezogen werden, die auch Wasser mit höheren Mineralstoffgehalten als 50 mg/L einschlossen.

In der Publikation von Kozisek (2005) werden verschiedene, zumeist ältere, in russischer Sprache abgefasste Tier- und Humanstudien sowie Befunde aus einem, lediglich als internes Arbeitsdokument bezeichneten Bericht der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 1980), zitiert, aus denen nach Ansicht des Autors negative Wirkungen von (sehr) niedrig-mineralisiertem Wasser hervorgehen. In neueren WHO-Stellungnahmen (WHO, 2009; 2011; 2017) zu gesundheitlichen Aspekten der Wasserhärte bzw. des Magnesium- und/oder Calciumgehalts von Trinkwasser werden Ergebnisse dieser Studien oder des WHO-Berichts von 1980 nicht mehr erwähnt. Daher und weiterhin aufgrund von sprachlichen Barrieren sowie z. T. Fragen zur genauen Durchführung der zitierten Studien, die für die Interpretation der Studienergebnisse von Bedeutung sind, und auch bestehenden wissenschaftlichen Limitierungen der zitierten Studien, wird im Rahmen dieser Stellungnahme auf diese Studien nicht weiter eingegangen.

3.2.1 Vorliegende Bewertungen durch wissenschaftliche Gremien

Die WHO hat sich seit der Publikation des WHO-Berichts „*Nutrients in drinking water*“ (*Nährstoffe im Trinkwasser*; WHO, 2005) mehrfach mit gesundheitlichen Aspekten des Magnesium- und Calciumgehalts bzw. der Härte von Trinkwasser befasst. Insofern sind die Ausführungen der Publikation von Kozisek (2005) überholt. Im Jahr 2006 wurde von der WHO ein Expertentreffen zur Rolle von Calcium und Magnesium im Trinkwasser durchgeführt⁵ (WHO, 2009). Hierauf aufbauend erfolgte die Erarbeitung des WHO-Hintergrundpapiers „*Hardness in Drinking-water*“ (*Härte des Trinkwassers*; WHO, 2011), das als Grundlage für das Kapitel „*Hardness*“ (*[Trinkwasser]Härte*) in den nunmehr gültigen „*WHO-Guidelines for Drinking-water Quality*“ (*WHO-Richtlinien für die Trinkwasserqualität*; WHO, 2017) diente. Die WHO gelangte in diesem Kapitel der *Guidelines* hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen der Wasserhärte bzw. des Calcium- und/oder Magnesiumgehalts zu folgender Schlussfolgerung:

„Natürliche und aufbereitete Wässer haben eine große Bandbreite an Mineralien, von sehr niedrigen Werten in Regenwasser sowie natürlich weichem und enthärtetem Wasser bis hin

⁵ Das Expertentreffen wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Rolle des Trinkwassers als Beitragsquelle für die tägliche Gesamtzufuhr an Calcium und Magnesium zu erhellen. Dies galt besonders der Frage, ob der geringe Beitrag, den die trinkwasserassoziierte Calcium- und Magnesiumzufuhr zur täglichen Gesamtaufnahme dieser beiden Nährstoffe leistet, einen gesundheitlichen Nutzen bietet, insbesondere im Hinblick auf die Sterblichkeitsrate infolge von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, zumindest bei Personen, deren Gesamttagesaufnahme bei einem der beiden Nährstoffe eine defiziente Zufuhr aufweist (WHO, 2009).

zu höheren Werten in natürlich hartem Wasser. Abgefüllte und verpackte Wässer können natürlich mineralisiert oder natürlich weich oder entmineralisiert sein. Daher variiert die Mineralstoffaufnahme über Trink- und Kochwasser abhängig von Standort, Behandlung und Wasserquelle stark. (...)

Trinkwasser kann einen Beitrag zur Calcium- und Magnesiumaufnahme leisten und könnte für diejenigen relevant sein, die einen Calcium- und Magnesium-Mangel aufweisen. (...)

Obwohl es aus epidemiologischen Studien Hinweise dafür gibt, dass Magnesium oder die Wasserhärte eine schützende Wirkung gegenüber der herzkreislaufbedingten Sterblichkeit haben, werden diese Hinweise gegenwärtig noch diskutiert und belegen einen ursächlichen Zusammenhang nicht. Weitere Studien werden zurzeit durchgeführt. Es liegen derzeit nicht genügend Daten vor, um eine minimale oder maximale Mineralstoffkonzentration für Trinkwasser zu empfehlen, weil eine angemessene, den täglichen menschlichen Bedarf deckende Mineralstoffaufnahme von einer Reihe weiterer Faktoren abhängt. Aus diesem Grund werden keine Richtwerte vorgeschlagen" (WHO, 2017; sinngemäße Übersetzung: BfR)

Zu weiteren Einzelheiten und den diesen Schlussfolgerungen zugrundeliegenden, vorangehenden WHO-Bewertungen (WHO, 2009, 2011) und deren Datengrundlagen wird auf Kapitel 3.2.3.1 verwiesen.

3.2.2 Vorliegende Tierstudien

In einer Untersuchung zur akuten Toxizität von stark demineralisiertem Wasser (Leitfähigkeit $< 0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$) wurde bei Ratten, die nach vorangegangenem Wasserentzug hohe Mengen an Wasser tranken (ca. 40 mL/12 h bzw. ca. 4 % des Körpergewichts innerhalb der ersten 90 Minuten, entsprechend ca. 2,8 L beim Menschen) keine makroskopischen oder mikroskopischen Veränderungen der untersuchten Organe (Ösophagus, Magen, Duodenum, Colon, Pankreas, Herz, Lunge, Milz, Gehirn) einschließlich Entzündungen oder Erosionen im Ösophagusepithel oder der Mucosa des Magens und des Darms beobachtet. Die Aktivität der alkalischen Phosphatase des Dünndarms als biochemischer Zellschädigungsindikator war im Vergleich zur Kontrollgruppe, die normales Leitungswasser erhielt, nicht signifikant verändert (Schumann et al., 1993). Aus den Studienangaben wird jedoch nicht ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt die Tiere getötet wurden (d. h. unmittelbar 12 Stunden nach dem vorangegangenen Wasserentzug oder später).

Bei Gabe des gleichen Wassers über 14 Tage an Ratten wurden von Schuman et al. (1993) keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Körpergewicht, Futter- und Wasseraufnahme oder Urin- und Fäzes-Ausscheidung registriert, wobei allerdings hierzu keine statistischen Auswertungen vorliegen. Es wurden ebenfalls keine makroskopischen oder mikroskopischen Veränderungen der untersuchten Organe, der Aktivität der alkalischen Phosphatase oder der Aufnahme eines Glucosederivats im Dünndarm, als Parameter zur funktionellen Prüfung der Dünndarmaktivität, beobachtet.

In einer anderen Untersuchung an Ratten mit einer Dauer von 21 Tagen wurde bei Gabe von destilliertem Wasser eine etwas höhere Trinkmenge (26,2 mL/Tag) und Futteraufnahme (36,1 g/Tag) als bei den Kontrolltieren registriert, die normales Trinkwasser erhielten (24,8 mL/Tag bzw. 28,3 g/Tag), jedoch waren diese erhöhten Aufnahmen mit einer höheren Gewichtszunahme im Untersuchungszeitraum verbunden (108,4 g versus 103,3 g). Insofern sind die erhöhten Aufnahmemengen nicht eindeutig interpretierbar. Diese Studie wurde allerdings in erster Linie zur Untersuchung von Geschmackspräferenzen der Versuchstiere durchgeführt (Eberova et al., 2005).

Bei Schweinen zweier Rassen, die in Großbritannien bei gleichem Futter und weitgehend identischen sonstigen Haltungsbedingungen in zwei Versuchsstationen mit „weichem“ (42 mg/L Carbonat) oder „hartem“ Trinkwasser“ (275 mg/L Carbonat) bis zu einem Schlachtgewicht von 90,9 kg, entsprechend einem Alter von etwa 6 Monaten, gemästet wurden, wurden keine markanten Unterschiede hinsichtlich der Inzidenz und des Ausmaßes arteriosklerotischer Veränderungen der Aorta zwischen den Tieren, die weiches oder hartes Trinkwasser erhielten, beobachtet. Es wurden jedoch Rasseunterschiede registriert. Die Autoren schlussfolgerten, dass Schweine keine geeigneten Studienobjekte für die Untersuchung des Einflusses der Wasserhärte auf arteriosklerotische Gefäßveränderungen bei Menschen darstellen, da normales Schweinefutter erhebliche Calcium- und Mineralstoffzusätze enthält, die mögliche Einflüsse unterschiedlicher Mineralstoffgehalte von Trinkwasser überdecken könnten. Weiter weisen sie auf mögliche genetische Unterschiede bezüglich des Auftretens arteriosklerotischer Veränderungen hin (Howard et al., 1969). Diese Studie kann im weitesten Sinne als Interventionsstudie aufgefasst werden und verdeutlicht die Bedeutung des Futters bei der Untersuchung der hier in Rede stehenden Fragestellung.

In einer Langzeitstudie mit einer Dauer von 12 Monaten an Kaninchen wurde bei Gabe von entweder Trinkwasser (Trockensubstanzgehalt (TSG): 229 mg/L), abgepacktem natürlichem Wasser (TSG: 87,2 mg/L), abgepacktem mineralisiertem Wasser (TSG 10,9 mg/L) oder abgepacktem gereinigtem Wasser (TSG: 1,2 mg/L) keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Wasser- und Futteraufnahme, des Körpergewichts oder der Lipidspiegel beobachtet (hier und im Folgenden wurden die von den jeweiligen Studienautoren gewählten Bezeichnungen der untersuchten Wassertypen übernommen). Nach Angaben der Autoren wurden unter Gabe des abgepackten mineralisierten Wassers (TSG 10,9 mg/L) und des abgepackten gereinigten Wassers (TSG: 1,2 mg/L) mehr schwere Veränderungen im Herz (interstitielle Ödeme mit fokaler Faserauflösung und -bruch) und der Intima des Aortenbogens (mukoide Degeneration, lokalisierte Exfoliation von Endothelzellen, vereinzelte Schaumzellen) beobachtet als bei Gabe der anderen beiden Wassertypen mit höheren Mineralstoffgehalten. Auch bei Gabe des abgepackten natürlichen Wassers (TSG: 87,2 mg/L) wurden fokale mukoide Degenerationen der Aortenintima beobachtet. Hierzu ist festzustellen, dass diese Studie durchgeführt wurde, um kardiovaskuläre Effekte von niedrig mineralisiertem Wasser zu untersuchen, jedoch liefern die Autoren keinerlei Angaben zur Ernährung der Tiere, obwohl der Ernährung bei der Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen große Bedeutung zukommt. Darüber hinaus sind keine Angaben verfügbar, bei wie vielen Tieren jeder Untersuchungsgruppe derartige Befunde auftraten, ebenso zur Verteilung der Schweregrade der Befunde oder zur jeweiligen Inzidenz der einzelnen, oben aufgeführten pathologischen Veränderungen. Zudem fehlt eine diesbezügliche statistische Auswertung. Weiterhin liegen keine Angaben zum Gesundheitszustand der Tiere vor, z. B., ob während der Studie Tiere erkrankten oder verstarben. Die wissenschaftliche Relevanz dieser Studie ist daher als gering einzustufen. Zudem werden in dieser Publikation auch Ergebnisse einer von den Autoren durchgeführten Humanstudie berichtet (siehe unten), die Anlass zur Kritik geben und überinterpretiert erscheinen (Luo et al., 2013).

In einer Multigenerationsstudie der gleichen Arbeitsgruppe wurde Ratten Trinkwasser (Ca: 52,9 mg/L, Mg: 12,7 mg/L), abgepacktes natürliches Wasser (Ca: 10,6 mg/L, Mg: 9,4 mg/L), abgepacktes mineralisiertes Wasser (Ca: 0,02 mg/L, Mg: 0,4 mg/L) und abgepacktes gereinigtes Wasser (Ca: 0,04 mg/L, Mg: 0,02 mg/L) verabreicht, wobei es sich wahrscheinlich um die gleichen Wassertypen wie in der Tierstudie von Luo et al. (2013) handelt. In der F0- und F1-Generation erhielten die Tiere den jeweiligen Wassertyp in der Zeit vor der Verpaarung (17. Lebenswoche) und während der Trächtigkeit und in der F2-Generation, die nur weibliche Tiere umfasste, bis zum Alter von 10 Monaten. In der F2-Generation (nur weibliche Tiere)

wurde im Vergleich zu Trinkwasser unter der Gabe der drei anderen Wassertypen eine verminderte Biegefestigkeit und Bruchdehnung der Femurdiaphyse beobachtet. Der Calciumgehalt der Tibia war nur bei Gabe des abgepackten gereinigten Wassers statistisch signifikant vermindert, nicht aber bei Gabe des abgepackten mineralisierten Wassers, das einen ähnlich niedrigen Calciumgehalt aufwies wie das erstgenannte Wasser. Der Magnesiumgehalt der Tibia war bei allen drei Wassertypen im Vergleich zum Trinkwasser vermindert, wobei dies nur bei abgepacktem natürlichem Wasser und bei abgepacktem gereinigtem Wasser statistisch signifikant war. Jedoch ist festzustellen, dass sich der Magnesiumgehalt des Trinkwassers und des abgepackten natürlichen Wassers nur geringgradig voneinander unterscheiden (12,7 mg/l versus 9,4 mg/L) und daher die unterschiedlichen Magnesiumgehalte der Tibia (siehe oben) nur schwer nachvollziehbar sind. Bei allen drei Wassertypen wurden im Vergleich zu Trinkwasser verminderte Vitamin-D-Serumspiegel beobachtet. Aufgrund fehlender Angaben zum Mineralstoffgehalt des verabreichten Futters und dessen sonstiger Zusammensetzung, der Futterraufnahme der Tiere, des Gesundheitszustands der Tiere während der Studie und fehlender Informationen zu Normbereichen der gemessenen Parameter sind die Ergebnisse dieser Studie nur schwer interpretierbar (Qiu et al., 2015).

In einer Studie älteren Datums beobachteten Robbins und Sly (1981) bei 13-wöchiger Gabe einer semisynthetischen Diät, die zusammen mit Trinkwasser an Ratten verabreicht wurde, höhere Serumzinkspiegel als in den Rattengruppen, die diese semisynthetische Diät zusammen mit entionisiertem Wasser und zusätzlichen steigenden Zinkmengen erhielten, die je nach Rattengruppe bis zum Doppelten der in der semisynthetischen Diät enthaltenen Zinkmenge reichten. Allerdings wird in der Publikation angegeben, dass die Zinkspiegel während des Studienverlaufs sanken, jedoch werden für die einzelnen Gruppen nur die aus fünf Messungen während der 13-wöchigen Studie ermittelten Mittelwerte der Zink-Serumspiegel aufgeführt, nicht jedoch die Anfangsspiegel. Daher bleibt die Höhe der jeweiligen Spiegelsenkungen unklar. Insofern ist die wissenschaftliche Aussagekraft dieser Studie erheblich eingeschränkt. Die Autoren geben an, dass bei gleichem Versuchsaufbau ähnliche Ergebnisse mit Magnesium erzielt wurden, ohne dass weitere Einzelheiten dazu genannt werden. Daher und aufgrund der o. g. Limitierungen sind diese Ergebnisse für die hier anstehende Risikobewertung nicht weiter verwertbar. Die Ergebnisse dieser Studie wurden auch in der Publikation Kozisek (2005) referiert, ohne dass der Autor auf die o. g. gravierenden Limitierungen einging.

In einer Tierstudie wurden bei Gabe von destilliertem Wasser an Ratten über 12 Monate im Vergleich zu Trinkwasser eine um 20 % erhöhte Flüssigkeitsaufnahme, erhöhte Blutelektrolytspiegel (Chlorid, Kalium, Natrium), erhöhte renale Elektrolytausscheidungen, verminderte Aldosteron- und Trijodthyroninblutspiegel sowie erhöhte Cortisolspiegel und histomorphologische Veränderungen im Nierengewebe beobachtet. In einer reproduktionstoxikologischen Tierstudie wurde nach Angaben der Autoren eine verlangsamte Ossifikation embryonaler Skelette registriert. Der Publikation sind keinerlei detaillierte Angaben zur Höhe der Veränderungen der o. g. Blutspiegel oder renalen Ausscheidungen zu entnehmen oder Angaben zur Inzidenz und Schwere der angegebenen histopathologischen Veränderungen. Ebenso fehlen grundlegende Angaben zur Tierzahl, zu deren Geschlecht (cave: altersbedingte Nierenschädigungen männlicher Ratten), zur Ernährung der Tiere (z. B. Mineralstoffgehalte des Futters), zur Höhe der Futterraufnahme, zum Gesundheitszustand während der Studie oder grundlegende Angaben zu den durchgeführten reproduktionstoxikologischen Untersuchungen (Rachmanin et al., 1989). Diese Studie wurde in der Publikation von Kozisek (2005) aufgeführt und verdeutlicht Limitierungen verschiedener derartiger älterer Studien zu diesem Themenbereich.

Den Befunden von Luo et al. (2013), Qiu et al. (2015), Robbins und Sly (1981) oder den Aussagen von Kozisek (2005) steht die Feststellung des Ausschusses für Ernährung der Versuchstiere der Gesellschaft für Versuchstierkunde (GV-SOLAS) in der Fachinformation „*Trinkwasserversorgung von Versuchstieren*“ gegenüber: „*Auch bei lebenslanger Gabe von destilliertem Wasser wurden bei den Tieren, einschließlich deren Nachkommen, keine negativen Auswirkungen bzw. Mangelerscheinungen beobachtet. Der Mineralstoffbedarf wird hierbei offenbar ausreichend über das Futter abgedeckt, ebenso wie bei sehr mineralstoffarmem Leitungswasser.*“ (Hagelschuer et al., 2016). Es ist allerdings festzuhalten, dass zum Beleg dieser Angabe lediglich auf eine persönliche Mitteilung eines Wissenschaftlers verwiesen wird und hierfür keine weiteren wissenschaftlichen Belege angeführt werden.

Zusammenfassend wurden in einer Tierstudie älteren Datums bei akuter und subakuter Gabe von destilliertem Wasser keine adversen Wirkungen bei der Untersuchung einer beschränkten Anzahl untersuchter Parameter beobachtet. In zwei länger dauernden Tierstudien neueren Datums einer wissenschaftlichen Arbeitsgruppe (Luo et al., 2013, Qiu et al., 2015) wurden negative gesundheitliche Auswirkungen des Verzehrs von Wasser mit niedrigen Gesamtmineralstoff- bzw. Calcium- und Magnesiumgehalten registriert (erste adverse Effekte am Herzmuskel und Aortenintima, verminderte Knochenbiegefestigkeit). Jedoch sind beide Studien mit erheblichen Limitierungen behaftet, die ihre wissenschaftliche Aussagekraft stark einschränken und eine abschließende gesundheitliche Beurteilung dieser Studienergebnisse nicht erlauben. Neben den aufgezeigten Limitierungen sind die Studienergebnisse auch schwer erklärbar. Die Zufuhr von Mineralstoffen erfolgt durch den Verzehr von fester Nahrung und von Getränken. Der Nährstoffzufuhr über Wasser bzw. Getränke wird, abgesehen von einer möglicherweise besseren Bioverfügbarkeit, im Vergleich zur Nährstoffzufuhr über feste Nahrung keine besondere Qualität zugeschrieben. Für die Homöostase des Wasserhaushaltes und des Mineralstoffhaushaltes ist nach bisherigen Erkenntnissen unerheblich, aus welchen Quellen (Getränk oder feste Nahrung) die hierfür notwendigen Mineralstoffe stammen. Bei Verwendung von sehr gering mineralhaltigem Wasser fällt zwar Wasser als eine von mehreren Mineralstoffquellen der täglichen Mineralstoffzufuhr aus und die Zufuhr an Mineralstoffen kann reduziert sein. Dies kann jedoch durch die Mineralstoffzufuhr aus fester Nahrung ausgeglichen werden.

Den Befunden der beiden Studien steht auch die Feststellung des Ernährungsausschusses der Gesellschaft für Versuchstierkunde entgegen, wonach bei Gabe von destilliertem Wasser keine negativen Auswirkungen bzw. Mangelerscheinungen beobachtet wurden, da der Mineralstoffbedarf hierbei offenbar ausreichend über das Futter abgedeckt wird (Hagelschuer et al., 2016).

3.2.3 Vorliegende Humanstudien

3.2.3.1 Epidemiologische Studien

Die wissenschaftliche Grundlage für das Kapitel „*Hardness*“ in den nunmehr gültigen WHO „*Guidelines for Drinking-water Quality*“ (WHO, 2017) bildete das Hintergrunddokument „*Hardness in Drinking-water*“ (WHO, 2011), das sich im Wesentlichen auf die im Jahr 2009 publizierten Ergebnisse eines Symposiums zu gesundheitlichen Aspekten von Calcium und Magnesium in Trinkwasser stützte („*Calcium and Magnesium in Drinking-water*“, WHO, 2009).

In dem Hintergrundpapier (WHO, 2011) wurden die bis dahin vorliegenden epidemiologischen Studien bewertet. Es wurde auf die beschränkte Aussagekraft von ökologischen epidemiologischen Studien hingewiesen. In Bezug auf weitere epidemiologische Studien wurde festgestellt⁶:

„In der wissenschaftlichen Literatur wurden sieben Fall-Kontroll-Studien und zwei Kohortenstudien von akzeptabler Qualität ausgemacht, die den Zusammenhang zwischen Calcium bzw. Magnesium und kardiovaskulären Erkrankungen bzw. Mortalität untersucht haben. Eine der Fall-Kontroll-Studien befasste sich mit dem Zusammenhang von Calcium und akutem Myokardinfarkt und drei Abhandlungen mit dem Zusammenhang von Calcium und dem Tod infolge kardiovaskulärer Erkrankungen. Keine der Studien belegte eine positive oder inverse Korrelation zwischen Calcium und Krankheitshäufigkeit bzw. Sterblichkeit. Zwei Publikationen untersuchten die Beziehung zwischen Magnesium und akutem Myokardinfarkt. Dabei wurde kein Zusammenhang nachgewiesen. Fünf Studien beschäftigten sich mit dem Zusammenhang von Magnesium und herzkreislaufbedingter Sterblichkeit: Während einige dieser Publikationen keine statistisch eindeutigen Ergebnisse lieferten, zeigten sie zusammengenommen eine ähnliche Tendenz hin zu einer verringerten herzkreislaufbedingten Sterblichkeit, wenn die Magnesiumkonzentration im Wasser zunahm. Statistisch signifikante Vorteile (wenn sie beobachtet wurden) traten allgemein bei Magnesiumkonzentrationen von etwa 10 mg/L und mehr auf. Die Kohortenstudien untersuchten, ob ein Zusammenhang zwischen Wasserhärte (und nicht: Calcium- bzw. Magnesiumgehalt) und kardiovaskulären Erkrankungen bzw. Sterblichkeit besteht und fanden keinen Zusammenhang.“ (WHO, 2011; sinngemäße Übersetzung: BfR)

Insgesamt gelangte das Hintergrundpapier zu der nahezu gleichlautenden Schlussfolgerung wie im Kapitel „Hardness“ der WHO-Guideline: *„Obwohl es aus epidemiologischen Studien einige Hinweise dafür gibt, dass Magnesium oder die Wasserhärte eine schützende Wirkung gegenüber der herzkreislaufbedingten Sterblichkeit hat, so werden diese Hinweise gegenwärtig noch diskutiert und belegen einen ursächlichen Zusammenhang nicht. Weitere Studien werden zurzeit durchgeführt. Es liegen derzeit nicht genügend Daten vor, um eine minimale oder maximale Mineralstoffkonzentration für Trinkwasser zu empfehlen, weswegen keine Richtwerte vorgeschlagen werden.“ (WHO, 2011; sinngemäße Übersetzung: BfR)*

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden die Ergebnisse der im WHO-Hintergrundpapier zitierten Fall-Kontroll-Studien und Kohorten-Studien nochmals kurz dargelegt. Anschließend werden Ergebnisse epidemiologischer Studien, die zwischenzeitlich nach Erstellung des WHO-Hintergrundpapiers publiziert wurden, diskutiert.

3.2.3.1.1 Von der WHO berücksichtigte Studien

Im WHO-Hintergrundpapier wurden sieben Fall-Kontroll-Studien (Luoma et al., 1983; Rosenlund et al., 2005; Rubenowitz et al., 1996; 1999; Rubenowitz et al., 2000; Yang and Chiu, 1999; Yang and Hung, 1998) sowie zwei Kohortenstudien (Comstock et al., 1980; Punsar and Karvonen, 1979), die die Assoziation zwischen der Calcium- und Magnesium-Konzentration im Trinkwasser und dem Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen untersuchten, ausgewertet. Weiterhin wurde auf eine weitere Kohortenstudie von Leurs et al. (2010) Bezug genommen (WHO, 2011).

- Fall-Kontroll-Studien

⁶ Zusätzlich wurde im Hintergrundpapier auf eine weitere Kohortenstudie von Leurs et al. (2010) Bezug genommen (siehe unten).

Rubenowitz et al. analysierten in ihren drei Untersuchungen Bevölkerungsdaten aus den gleichen geographischen Gebieten im südlichen Teil Schwedens, die unterschiedliche Magnesiumwerte im Trinkwasser aufwiesen (je nach Studie 16–18 Gemeinden) zu verschiedenen Untersuchungszeiträumen (Rubenowitz, 1996; 1999; 2000). Insofern sind sie nicht als drei unabhängige Publikationen zu werten. In den Publikationen Rubenowitz et al. (1996; 1999) wurde der Einfluss der Magnesiumkonzentration im Trinkwasser auf das Risiko, an einem Myokardinfarkt (MI) zu versterben bei Männern (Rubenowitz et al., 1996) bzw. bei Frauen (Rubenowitz et al., 1999) im Vergleich zur Sterblichkeit an Tumorerkrankungen in o. g. Gebiet untersucht. Die Autoren beobachteten eine negative Assoziation (d. h. eine protektive Wirkung) zwischen der Magnesiumkonzentration im Trinkwasser und dem Risiko der Sterblichkeit durch einen akuten MI sowohl bei Männern als auch bei Frauen. In beiden Studien wurde nicht für eine Vielzahl von Parametern, die anerkanntermaßen die Häufigkeit von Herz-Kreislauf-Erkrankungen beeinflussen (z. B. Ernährung, körperliche Aktivität, Rauchverhalten, Alkoholkonsum), adjustiert. Zudem wurde der Trinkwasserkonsum nicht individuell erfasst. Eine Zuordnung der Personen hinsichtlich der Stratifizierung der Magnesiumgehalte im Trinkwasser erfolgte lediglich aufgrund von Angaben zum letzten Wohnort und der von Wasserwerken hierfür genannten Magnesiumgehalte im Trinkwasser (d. h. der dem Teilnehmer zugewiesene Trinkwassermagnesium-Expositionswert spiegelt nicht unbedingt die tatsächliche, individuelle Exposition wider). Die dargelegten Punkte stellten erhebliche Limitierungen der Studien dar. Die Ergebnisse der dritten Studie der Autoren (Rubenowitz et al., 2000) zeigten, dass der Magnesiumgehalt im Trinkwasser keinen Einfluss auf das Risiko, einen akuten MI zu erleiden, hatte. Jedoch war der Anteil der Überlebenden nach einem akuten MI größer in der Gruppe mit höherem Magnesiumgehalt verglichen mit der Gruppe mit niedrigerem Magnesiumgehalt im Trinkwasser⁷. Die Autoren adjustierten in ihrer Studie zwar für eine Vielzahl soziodemographischer und verhaltensbedingter Faktoren (Rauchen, Alkohol, Stress, körperliche Aktivität, Bildung, Ernährung) und erfassten auch den Trinkwasserkonsum, dies war jedoch für Fälle, die an einem Herzinfarkt verstorben waren bzw. für Kontrollen, die bereits verstorben waren, nicht möglich (d. h. bei der Subpopulation, bei der in der Analyse der Autoren ein Effekt der Magnesiumkonzentration beobachtet wurde), was die Aussagekraft der Studie entscheidend einschränkt.

Die zwei taiwanesischen Fall-Kontroll-Studien von Yang (1998) und Yang & Chiu (1999) untersuchten die Auswirkungen der Trinkwasser-Magnesiumgehalte auf die Sterblichkeit aufgrund eines Schlaganfalls (Yang, 1998) bzw. von Bluthochdruck (Yang & Chiu, 1999) im Vergleich zur Allgemeinsterblichkeit (ausgenommen Herz-Kreislauf-Erkrankungen) in der Bevölkerung im Alter von 50–69 Jahren in 252 Gemeinden. Zwar zeigten die Ergebnisse bei beiden Endpunkten einen protektiven Effekt höherer gegenüber geringeren Magnesiumkonzentrationen im Trinkwasser⁸, jedoch wurden auch in diesen beiden Studien die bereits o. g. Einflussfaktoren für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen nicht berücksichtigt. Zudem erfolgte die Stratifizierung hinsichtlich der Magnesiumgehalte im Trinkwasser nur aufgrund der Angabe zum Wohnort.

Auch Luoma et al. (1983) beobachteten, dass ein höherer Magnesiumgehalt im Vergleich zu einem geringerem Magnesiumgehalt im Trinkwasser einen protektiven Faktor für das Risiko, einen akuten MI zu erleiden, darstellte. Die Studie weist jedoch erhebliche Limitierungen auf, da nur eine geringe Teilnehmerzahl von Männern in die Studie eingeschlos-

⁷ Cut-off in dieser Studie waren Magnesiumzufuhren über das Trinkwasser, die 13 mg/Tag überstiegen (nicht die Magnesiumkonzentrationen des Trinkwassers); adjustiertes Odds Ratio (OR) von 1,39; 95%-CI: 1,07–1,80.

⁸ OR für Kategorie mit höchstem vs. niedrigsten Mg-Gehalt (16,4–41,3 vs. 1,5–3,8 mg/L): 0,63 (95%-CI: 0,47–0,84).

sen und nicht für eine Vielzahl von soziodemographischen und verhaltensbedingten Faktoren adjustiert wurde. Zudem erfolgte keine Erfassung der täglichen Trinkwassermenge und der damit verbundenen Magnesium- und Calciumzufuhr sowie der Magnesium- und Calcium-Zufuhr über die Nahrung.

In der Studie von Rosenlund et al. (2005) wurde kein protektiver Effekt der Magnesiumkonzentration im Trinkwasser auf die Inzidenz eines akuten MI beobachtet, wobei diese Studie in einem Gebiet mit insgesamt niedrigem Magnesiumgehalt im Trinkwasser (4–6 mg/L) und daraus resultierenden geringen Unterschieden der Magnesiumtrinkwasserhalte durchgeführt wurde, was möglicherweise die Aussagekraft der Ergebnisse limitiert.

– Kohortenstudien

Die methodisch gut konzipierte Kohortenstudie aus den Niederlanden von Leurs et al. (2010), in der 4114 Personen im Alter zwischen 55–69 Jahren über einen Zeitraum von 10 Jahren beobachtet wurden, ergab keine Assoziation zwischen der Calcium- bzw. Magnesium-Konzentration im Trinkwasser und der Sterblichkeit aufgrund einer ischämischen Herzerkrankung (IHD) oder eines Schlaganfalls. In dieser Studie wurde eine große Anzahl von Einflussfaktoren auf die Entstehung und den Verlauf von Herz-Kreislauf-Erkrankungen berücksichtigt (Leurs et al., 2010).

Comstock et al. (1980) werteten Daten von 30.534 Teilnehmern (> 25 Jahre) aus. Die Forscher wiesen keine konsistente Assoziation zwischen der Wasserhärte und der Mortalität durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen (CVD) nach: Bei männlichen Teilnehmern war eine geringe Wasserhärte (0 vs. 200 ppm CaCO₃) mit einem geringeren Risiko assoziiert an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung zu versterben; bei weiblichen Teilnehmern war eine geringe Wasserhärte mit einem etwas höherem Risiko assoziiert, das je nach Wohndauer in den Trinkwassergebieten unterschiedlich ausfiel. In dieser Studie wurden einige wesentliche Einflussfaktoren (Trinkwasserkonsum) bzw. Einflussfaktoren für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Ernährung, körperliche Aktivität, soziodemographische Kenngrößen) nicht berücksichtigt.

Auch in der Kohortenstudie von Punsar und Karvonen (1979), in der eine erhöhte Mortalität von Männern (14,7 % vs. 8,7 %) infolge einer koronaren Herzerkrankung in der Region mit niedrigen im Vergleich zur Region mit höheren Magnesium-Trinkwassergehalten beobachtet wurde, erfolgte keine Adjustierung für individuelle Risikofaktoren.

Die dargelegten Limitierungen der hier zitierten epidemiologischen Studien verdeutlichen, dass sich der in der Wissenschaft diskutierte Zusammenhang zwischen dem Magnesiumgehalt (und Calciumgehalt) von Trinkwasser bzw. der Wasserhärte und dem Risiko, an Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu sterben oder deren Auftreten möglicherweise zu fördern, nicht ausreichend mit epidemiologischen Daten belegen lässt, wie dies im WHO-Hintergrundpapier bzw. im Kapitel „Hardness“ der WHO-Guidelines (2017) zur Wasserqualität bereits geschlossen wurde.

3.2.3.1.2 Studien ab 2010

- Einfluss niedriger Calcium- und -Magnesiumgehalte im Trinkwasser auf das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Vom BfR wurden drei kleinere Prävalenzstudien (Knezovic et al., 2014; Rapant et al., 2019; Rasic-Milutinovic et al., 2012) sowie eine ökologische Studie aus Großbritannien (Lake et al., 2010), identifiziert, die zwischenzeitlich nach der Erarbeitung des WHO-Hintergrunddokuments (WHO, 2011), veröffentlicht wurden und einen Zusammenhang zwischen der Trinkwasserkonzentration von Magnesium und Calcium und dem Risiko für das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen untersuchten.

Rasic-Milutinovic et al. (2012) untersuchten bei gesunden Personen, die in drei verschiedenen Gemeinden wohnten und deren Trinkwasser unterschiedliche Calcium- und Magnesiumgehalte aufwies, den Blutdruck zu einem einmaligen Messzeitpunkt. Die Studie zeigt entgegen den Aussagen der Autoren keine konsistenten Ergebnisse in Bezug auf einen Zusammenhang zwischen dem (diastolischen) Blutdruck und dem Magnesiumgehalt im Trinkwasser.

Auch die Studie von Knezovic (2014) ergab inkonsistente Ergebnisse: Zwar beobachteten die Autoren im Untersuchungsgebiet mit niedrigerem im Vergleich zu einem höheren Magnesiumgehalt im Trinkwasser eine höhere CVD-Prävalenz (21,3 vs. 13,7%) in der Altersgruppe der 45- bis 60-Jährigen, in der Altersgruppe der 61- bis 75-Jährigen war jedoch die CVD-Prävalenz geringer (39,5 vs. 46,7 %); bei der Altersgruppe der 76–90-Jährigen bestand kein Unterschied.

Rapant et al. (2019) beobachteten eine höhere arterielle Gefäßsteifigkeit und ein „höheres arterielles Alter“ bei Bewohnern, die mit Trinkwasser versorgt wurden, das einen geringen Gehalt an Calcium und Magnesium (Calcium: 20–25 mg/L, Magnesium: 5–10 mg/L) aufwies, im Vergleich zu Bewohnern mit einer Trinkwasserversorgung mit höherem Mineralstoffgehalt (Ca: 80–90 mg/L, Mg: 25–30 mg/L).

In keiner dieser Studien wurden bekannte Einflussfaktoren (Ernährung, Alkoholkonsum, körperliche Aktivität) auf die Entstehung von kardiovaskulären Erkrankungen berücksichtigt oder eruiert, wieviel Trinkwasser täglich konsumiert wurde und in welchem Umfang es zur Magnesium- und/oder Calciumzufuhr beitrug. Daher ist die wissenschaftliche Aussagekraft dieser Studien stark limitiert.

Die wissenschaftliche Aussagekraft ökologischer Studien, wie von Lake et al. (2010), ist aufgrund der Limitationen des deskriptiven Studiendesigns stark eingeschränkt und daher für eine Risikoabschätzung ungeeignet, worauf auch die WHO in ihrem Hintergrunddokument von 2011 hinweist.

Aus den Ergebnissen dieser Studien ergeben sich keine neuen, über das WHO-Hintergrunddokument hinausgehenden Aspekte, die die empirische Evidenz für eine protektive Wirkung von höheren im Vergleich zu geringeren Magnesium- und Calciumtrinkwassergehalten gegenüber dem Risiko des Auftretens von Herz-Kreislauf-Erkrankungen stärken würden.

- Einfluss niedriger Calcium- und -Magnesiumgehalte im Trinkwasser auf die Knochengesundheit

Es wurden drei weitere epidemiologische Studien identifiziert, die nach Erarbeitung des WHO-Hintergrundpapiers publiziert wurden und den Zusammenhang zwischen niedrigen Calcium- und Magnesiumkonzentrationen im Trinkwasser und möglichen adversen gesundheitlichen Effekten auf Parameter der Knochengesundheit untersuchten.

Zwei retrospektive Kohortenstudien untersuchten den Einfluss von sehr niedrig mineralisiertem Mineralwasser auf das Größenwachstum bei Schulkindern sowie Biomarker der Knochenmodellierung in China (Huang et al., 2019; Huang et al., 2018). In der Untersuchung von Huang et al. (2019) wies die Gruppe der 229 Schulkinder, die Wasser mit „normalem“ Mineralienstoffgehalt (Ca: 53 mg/L, Mg: 10 mg/L) konsumierte, ein stärkeres Größenwachstum, einen höheren Knochenmineralgehalt, eine höhere Osteoblastenaktivität sowie eine geringere Knochenresorption auf als die Gruppe der 431 Schulkinder, die Trinkwasser mit sehr geringem Mineralienstoffgehalt (Ca: 2,3 mg/L, Mg: 0,7 mg/L) aufnahm. Jedoch wiesen die untersuchten Schulkindgruppen bei Betrachtung der täglichen Gesamtzufuhr ein deutliches Defizit der Calcium- und Magnesiumzufuhr auf (Ca bzw. Mg: etwa 36-41 % bzw. 82-86 % der empfohlenen täglichen Zufuhr). Daher ist die Generalisierbarkeit und wissenschaftliche Aussagekraft der Studie erheblich eingeschränkt. Der gleiche Sachverhalt (defizitäre Gesamttageszufuhr an Calcium und Magnesium) gilt ebenfalls für die zuvor durchgeführte Studie von Huang et al. (2018), in der ein größeres Kollektiv, das 29.844 Schulkinder umfasste, untersucht und eine verminderte Größenzunahme sowie eine höhere Kariesinzidenz und -prävalenz bei Kindern beobachtet wurde, die Trinkwasser mit niedrigen Calcium- und Magnesiumgehalten im Vergleich zu Kindern, die Trinkwasser mit einem etwa 12-fach höheren Magnesium- und Calciumgehalt konsumierten.

Eine prospektive Studie aus Norwegen untersuchte im Rahmen der *Norwegian Epidemiologic Osteoporosis Study* (NOREPOS), den Zusammenhang zwischen der Konzentration von Calcium und weiteren Mineralstoffen im Trinkwasser und dem Risiko von Hüftfrakturen in der Bevölkerung im Alter zwischen 50–85 Jahren (Dahl et al., 2015). Für hohe Calciumtrinkwassergehalte wurde im Vergleich zu niedrigen Gehalten eine 15 prozentige Abnahme des *Incidence Rate Ratios* (IRR) für Hüftfrakturen bei Männern beobachtet. Bei Frauen war keine Abnahme zu verzeichnen. Für hohe Magnesiumzufuhren wurde bei beiden Geschlechtern eine IRR-Reduktion um 10 % registriert. In dieser Studie wurde jedoch der tägliche Trinkwasserkonsum oder die tägliche Gesamtzufuhr an Calcium oder Vitamin D wie auch an Magnesium und anderen Mineralstoffen nicht erfasst. Die Aussagekraft dieser Studie ist daher beschränkt.

Insgesamt ergeben sich auch aus diesen Studien keine belastbaren Belege dafür, dass der Calcium- und Magnesiumzufuhr über Trinkwasser eine andere ernährungsphysiologische Bedeutung zukommt als der über die sonstige alimentäre Zufuhr.

3.2.3.2 Interventionsstudien

Bei intragastraler Gabe von 22 mL/min entmineralisiertem Wasser⁹ an gesunde Personen war die Wasserabsorption im gastroduodenalen Segment (50 cm) mit einer Nettonatrium- und -chloridsekretion ins Darmlumen verbunden, im weiteren jejunalen Segment erfolgte die höchste Wasserabsorption, wobei die Elektrolytverschiebungen nahe bei null lagen und im Ileum, bei nahezu isotonischer Lösung im Darmlumen, war die Wasserresorption von einer Nettonatrium- und -kaliumabsorption begleitet. Mit dem entmineralisierten Wasser wurde in diesen Darmsegmenten eine höhere Wasserabsorptionsrate als mit einer plasmaähnlichen Lösung beobachtet. Nach Ablauf der siebenstündigen Studie, in der 9,2 L entmineralisiertes Wasser pro Person verabreicht wurden, jedoch sehr wahrscheinlich keine weiteren Lebensmittel verzehrt wurden, wiesen alle Probanden eine Hyponatriämie auf. Bei der Gabe von 15 L entmineralisiertem Wasser/Tag über die Dauer von drei Tagen in Kombination mit einer

⁹ In dieser Publikation wird das verwendete Wasser als „pure water“ bezeichnet, womit sehr wahrscheinlich entmineralisiertes oder destilliertes Wasser gemeint ist.

normalen Ernährung wurde ebenso das Auftreten von Hyponatriämie beobachtet (Santangelo & Krejs, 1986). Aufgrund der hohen Zufuhrmengen an entmineralisiertem Wasser ist die Aussagekraft dieser Studie für die hier vorliegende Fragestellung beschränkt.

Bei Gabe von Trinkwasser (TSG: 59,0 mg/L, CaCO₃: 30,0 mg/L), abgepacktem natürlichem Wasser (TSG: 87,2 mg/L; CaCO₃: 69,6 mg/L), abgepacktem mineralisiertem Wasser (TSG 10,9 mg/L, CaCO₃: 2,3 mg/L) und abgepacktem gereinigtem Wasser (TSG: 1,2 mg/L, CaCO₃: 0,8 mg/L) über 30 Tage an junge Männer, beobachteten Luo et al., (2013) in den Gruppen, die Trinkwasser und abgepacktes natürliches Wasser erhielten, eine Abnahme des Gesamtcholesterin- und LDL-Lipoproteinserumspiegels. In den beiden Gruppen, die niedrig mineralisiertes Wasser erhielten (d. h. abgepacktes mineralisiertes Wasser bzw. abgepacktes gereinigtes Wasser) fiel diese geringer aus bzw. bei abgepacktem mineralisiertem Wasser war bei beiden Parametern eine Zunahme zu verzeichnen. In der Trinkwassergruppe nahm der Homocysteinserumspiegel ab, während er in den drei anderen Gruppen zunahm. Die Autoren schlussfolgerten, dass der Konsum von niedrig mineralisiertem, abgepacktem Wasser zu einer Verschlechterung des Serum-Lipidprofils und einer Erhöhung des Homocysteinserumspiegels führt und in Verbindung mit den oben referierten Befunden einer Tierstudie (Luo et al., 2013) somit Hinweise vorlägen, wonach niedrig mineralisiertes Wasser das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöhen soll. Die Autoren machen jedoch keinerlei Angaben zur Ernährung der Probanden während der Studie, die einen erheblichen Einfluss auf das Serum-Lipidprofil hat. Zudem wurden nur die Konzentrationsänderungen der berichteten Lipidparameter berichtet, nicht jedoch die Konzentrationen zu Studienbeginn, weiterhin ist die klinische Relevanz der beobachteten Parameterunterschiede fraglich, wie auch die Relevanz des Homocysteinspiegels als Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen fraglich ist. Daher steht die wissenschaftliche Validität dieser Humaninterventionsstudie wie auch die bereits oben referierten Ergebnisse der in dieser Publikation mitveröffentlichten Tierstudie sehr in Frage.

Bei Gabe von Wasser mit niedrigem Magnesium- und hohem Calciumgehalt (Mg: 2 mg/L, Ca: 67,6 mg/L) (Wasser a), Wasser mit hohem Magnesium und niedrigem Calciumgehalt (Mg: 82,3 mg/L, Ca: 4 mg/L) (Wasser b) oder Wasser mit hohem Magnesium- und hohem Calciumgehalt (Mg: 84 mg/L, Ca: 486 mg/L) (Wasser c) über 4 Wochen an Personen mit erhöhtem Blutdruck, die eine niedrige renale Magnesiumausscheidung (und auch Calciumausscheidung) aufwiesen, wurde bei Gabe des calcium- und magnesiumreichen Wassers (Wasser c) eine signifikante Reduktion des Blutdrucks beobachtet, während bei den beiden anderen Wassertypen keine signifikanten Blutdruckänderungen auftraten. Bei den untersuchten Personengruppen führten die Gabe des magnesium- bzw. des calciumreichen Wassers zu einer Erhöhung der renalen Ausscheidung des betreffenden Mineralstoffs (erhöhtes Magnesium/Kreatinin- bzw. Calcium/Kreatinin-Verhältnis) (Rylander und Arnaud, 2004).

Aus einer Studie mit Sportlern, die über 7 Tage täglich 4–4,5 L Wasser mit hohem Calcium- und Magnesiumgehalt (Ca: 177 mg/L, Mg: 151 mg/L), mit mittlerem Gehalt (Ca: 89,6 mg/L; Mg: 11,4 mg/L) oder in der Kontrollgruppe Wasser mit sehr niedrigen Gehalten an Calcium (1,2 mg/L), Magnesium (0,4 mg/L) und weiteren Mineralstoffen konsumierten, liegt die Angabe vor, dass keine signifikanten Unterschiede des Gesamtkörperwassers sowie des intrazellulären oder extrazellulären Wassers vor oder nach einer kurzzeitigen körperlichen Anstrengung beobachtet wurden. Detaillierte Angaben zu dieser Aussage liegen allerdings nicht vor (Chycki et al., 2017).

Insgesamt bieten die gegenwärtig verfügbaren humanen Interventionsstudien keine adäquate Basis für die Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineral- oder Trinkwasser. Andererseits sind Mineralwässer mit sehr niedrigen Mineralstoffgehalten schon seit

langem im Verkehr, ohne dass Störungen des Wasser- und Mineralstoffhaushalts oder anderweitige negative gesundheitliche Auswirkungen bei sonst ausgewogener Ernährung bekannt wurden (wobei allerdings auch keine gezielten derartigen Untersuchungen vorliegen).

3.2.4 Personen mit intensiver Muskelanstrengung und/oder Arbeit in großer Hitze

Bei intensiver und langanhaltender sportlicher Betätigung, ebenso wie bei intensiver körperlicher Betätigung und/oder bei Arbeiten in großer Hitze können Flüssigkeitsverluste (je nach individueller Veranlagung und sportlicher Anstrengung 0,3–2,4 L Schweiß/Stunde) und damit verbundene Mineralstoffverluste über den Schweiß auftreten. An vorderster Stelle bei den Mineralstoffverlusten ist Natrium zu nennen, für das mittlere Schweißgehalte von ca. 900–1150 mg/L angegeben werden, mit Bereichen bis zu 1840 mg/L, weiterhin Chlorid (ca. 1065–2470 mg/L), Kalium (ca. 156–312 mg/L) und Magnesium (ca. 24–98 mg/L). Ab einem Flüssigkeitsverlust des Körpers, der 2–4 % des Körpergewichts entspricht, sind Einschränkungen in der Kraft- und Ausdauerleistungsfähigkeit zu erwarten (Mosler et al., 2019; Jeukendrup et al., 2015, Thomas et al., 2016).

Nach den Empfehlungen der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) ist während der sportlichen Betätigung eine Flüssigkeitszufuhr allgemein bei Belastungen von unter 30–40 min nicht notwendig. Bei längeren sportlichen (körperlich anstrengenden) Aktivitäten (>1,5 h) ist die gleichzeitige Zufuhr kohlenhydrat- (4–8 %) und natriumhaltiger (400–1100 mg) Getränke zur Erhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit empfehlenswert (Mosler et al., 2019).

Bei sportlichen Betätigungen, die mit erheblichen Schweißverlusten einhergehen (z. B. langen Ausdauerbelastungen), wird auch auf die Gefahr einer Hyponatriämie¹⁰ infolge überhöhter Flüssigkeitszufuhren hingewiesen (Mosler et al., 2019).

Nach der sportlichen Belastung müssen Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt wieder ausgeglichen werden. Sofern das Körpergewicht um weniger als 5 % reduziert ist und in den nächsten 24 Stunden keine erneute Belastung ansteht, können Sportler nach Belieben Flüssigkeit und Elektrolyte (insbesondere Natrium) ersetzen, wobei der Verzehr von normalen Mahlzeiten und Snacks in Kombination mit einer ausreichenden Zufuhr an Wasser als ausreichend zur Regeneration des Flüssigkeits- und Mineralstoffhaushalts angesehen wird (Mosler et al., 2019). Bei stärkeren Flüssigkeitsverlusten oder kürzerer Regenerationszeit wird ein stringenteres Vorgehen empfohlen (Mosler et al., 2019).

Die darlegten Fakten verdeutlichen, welche Rolle Getränke in Bezug auf den Flüssigkeits- und Kohlenhydratersatz und als Mineralstoffquellen im Rahmen sportlicher Betätigung einnehmen. Beim Ersatz sportbedingter Mineralstoffverluste in der Zeit nach der sportlichen Betätigung kann Mineralwasser im Rahmen der verzehrten Lebensmittel eine von mehreren Mineralstoffquellen darstellen. Der geringe Mineralstoffgehalt von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser müsste dann jedoch durch andere Lebensmittel kompensiert werden, was jedoch nicht besonders zielführend erscheint. Während längeren (körperlich anstrengenden) sportlichen Betätigungen (> 1,5 Stunden) ist sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als Flüssigkeitsersatz¹¹ zur Aufrechterhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit wegen des geringen Natrium- und des fehlenden Kohlenhydratgehalts nicht zu empfehlen (wobei die empfohlenen Kohlenhydrat- und Natriumgehalte unter dem Aspekt der Erhaltung der sportlichen

¹⁰ Eine Hyponatriämie kann mit schweren gesundheitlichen Störungen verbunden sein.

¹¹ Gemeint ist die alleinige oder überwiegende Verwendung von sehr niedrig mineralisiertem Mineralwasser als Getränk zum Flüssigkeitsersatz und Aufrechterhaltung der sportlichen/körperlichen Leistungsfähigkeit.

Leistungsfähigkeit abgeleitet wurden). Im Hinblick auf den Natriumgehalt würde dies allerdings auch für eine Anzahl von Mineralwässern zutreffen, die nicht als sehr niedrig-mineralisierte Mineralwässer einzuordnen sind.

- 3.2.5 Personen mit ernährungsbedingten marginalen Mineralstoffzufuhren oder Mineralstoffdefiziten (sehr einseitige/unausgewogene Ernährung) sowie Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. auf Milch und Milchprodukte aufgrund von Laktoseintoleranz oder veganer Ernährung)¹²

Bei Personen mit sehr unausgewogener oder sehr einseitiger Ernährung oder bei längerdauernden Fastenkuren sowie Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. auf Milch und Milchprodukte aufgrund von Laktoseintoleranz oder veganer Ernährung)¹² kann die tägliche Mineralstoffzufuhr niedrig oder auch unzureichend sein. Wasser bzw. Mineralwasser kann bei entsprechenden Mineralstoffgehalten eine signifikante Mineralstoffquelle darstellen. Bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineral-, Quell- oder Tafelwasser als Flüssigkeitsersatz steht Wasser bzw. Mineralwasser nicht mehr als eine nennenswerte Mineralstoffquelle zur Verfügung. Dies kann bei diesen Personengruppen¹² zu einer Minder- oder Unterversorgung, insbesondere von Calcium und Magnesium¹³ mit beitragen. Im Falle eines Wechsels des sonst gebräuchlichen Mineralwassertyps¹⁴ zu sehr niedrig-mineralisiertem Wasser können bei diesen Personengruppen bestehende Mängel in der täglichen Zufuhr dieser Mineralstoffe, insbesondere von Calcium und Magnesium, dann, je nach dem Mineralstoffgehalt des zuvor verwendeten Wassers, mehr oder weniger deutlich verstärkt sein. Jedoch ist hierbei die tägliche Gesamtaufnahme eines individuellen Mineralstoffs aus der täglichen Ernährung von Bedeutung, wobei Wasser/Mineralwasser lediglich eine von mehreren täglichen Mineralstoffquellen darstellt.

Diese Personengruppen¹² sollten bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere von Calcium und Magnesium, achten. Insofern scheint dieser Punkt in erster Linie eine Frage der Kommunikation zu sein.

3.2.6 Schwangere und stillende Frauen

Schwangere und Stillende weisen einen höheren Mineralstoffbedarf als nicht stillende und nicht schwangere Frauen auf, der üblicherweise durch eine erhöhte Nahrungszufuhr gedeckt wird.

In Bezug auf die tägliche Flüssigkeitszufuhr empfiehlt die deutsche Gesellschaft für Ernährung Erwachsenen eine Zufuhr von etwa 1,5 Liter in Form von Getränken (DGE, 2019). Schwangere haben im Vergleich zu gleichaltrigen nicht schwangeren Frauen keinen erhöhten Flüssigkeitsbedarf. Dagegen wird stillenden Frauen eine um etwa 250 mL/Tag erhöhte Flüssigkeitsaufnahme empfohlen (DGE, 2019). Die Zufuhrrichtwerte der DGE berücksichtigen die Menge an Wasser, die für eine ausgeglichene Wasserbilanz des Menschen notwendig ist; die stoffliche Zusammensetzung des Wassers ist dabei weitgehend unerheblich.

Bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineral-, Quell- oder Tafelwasser als Flüssigkeitsersatz steht Wasser bzw. Mineralwasser nicht mehr als relevante Mineralstoffquelle

¹² Dies kann Erwachsene, Jugendliche, Kinder und Kleinkinder betreffen.

¹³ Bei Personen, die sich vegan ernähren, dürfte dies in Hinblick auf die Magnesiumzufuhr weniger von Bedeutung sein.

¹⁴ Als Mineralwassertypen werden hier Mineralwässer mit deutlich unterschiedlich hohen Mineralstoffgehalten bezeichnet.

zur Verfügung. Dies kann, wie bereits in Kapitel 3.2.5 dargelegt, bei Kombination mit weiteren bestehenden, ernährungsbedingten Faktoren, zu einer Unterversorgung mit bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Magnesium, mit beitragen. Im Falle eines Wechsels des sonst gebräuchlichen Mineralwassertyps zu sehr niedrig-mineralisiertem Wasser können hierdurch je nach Höhe der sonstigen Mineralstoffzufuhr und je nach dem Mineralstoffgehalt des zuvor verwendeten Wassers, u. U. Mineralstoffunterversorgungen (Magnesium/Calcium) auftreten. Jedoch ist auch hier die tägliche Gesamtaufnahme eines individuellen Mineralstoffs aus der täglichen Ernährung von Bedeutung, wobei Wasser/Mineralwasser lediglich eine von mehreren täglichen Mineralstoffquellen darstellt.

Schwangere und Stillende sollten bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere von Calcium und Magnesium, achten. Bei diesen beiden Personengruppen ist eine bedarfsgerechte Zufuhr aller essentiellen Nährstoffe besonders von Bedeutung.

3.2.7 Säuglinge

Säuglinge werden im ersten Lebenshalbjahr entweder gestillt oder mit einer industriell hergestellten Säuglingsanfangsnahrung ernährt. Ausschließlich gestillte Säuglinge bedürfen keiner weiteren Flüssigkeitszufuhr. Nicht gestillte Säuglinge erhalten alle lebensnotwendigen Nährstoffe aus handelsüblichen Säuglingsanfangsnahrungen. Die Zusammensetzung dieser Nahrungen ist in der EU gesetzlich geregelt. Bei Zubereitung entsprechend den Herstellerangaben wird eine ausreichende Zufuhr von Mineralstoffen (und sonstigen Nährstoffen) sichergestellt. Selbst die Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Wasser zur Zubereitung von Säuglingsnahrung würde nicht zu unphysiologischen Aufnahmen von Calcium oder Magnesium aus der verzehrfertigen Säuglingsmilchnahrung führen (siehe dazu auch: WHO, 2009).

Sofern – entgegen offizieller Empfehlungen – andere Nahrungsmittel zur Ernährung von Säuglingen verwendet werden, wie z. B. rein pflanzliche Produkte wie Mandelmilch, Reismilch oder einfache Sojadrinks, die nicht die in Säuglingsanfangs- oder Folgenahrung enthaltenen Mineralstoffgehalte aufweisen, erhöht die Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Wasser das Risiko für unzureichende Mineralstoffzufuhren zusätzlich.

Für Mineralwässer, die als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ beworben werden, sind nach der MinTaf WV, Anlage 6, Obergrenzen für bestimmte Mineralstoffe¹⁵ und Aktivitätskonzentration für zwei Radionuklide festgelegt. Es ist nicht auszuschließen, dass sehr niedrig-mineralisierte Mineralwässer diese Obergrenzen einhalten – und somit entsprechend ausgelobt werden dürften. Wie dargelegt, stellt die Verwendung von derart niedrig-mineralisiertem Wasser zur Zubereitung von industriell hergestellter Säuglingsnahrung kein gesundheitliches Risiko dar. Die Möglichkeit, Mineralwasser bei entsprechender Zusammensetzung als „geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ auszuloben, sollte daher weiterhin gegeben sein.

Auch bei Säuglingen im Beikost-Alter sind bei ausgewogener Ernährung keine unerwünschten Wirkungen durch die Verwendung von sehr niedrig-mineralisierten Mineral-, Quell- oder Tafelwässern als Getränk oder zur Zubereitung von Beikost zu erwarten. Die Zufuhrempfehlungen für Calcium und Magnesium werden durch den (weiteren) Verzehr von Muttermilch

¹⁵ Natrium (20 mg/L), Nitrat (10 mg/L), Nitrit (0,02 mg/L), Sulfat (240 mg/L), Fluorid (0,7 mg/L), Mangan (0,05 mg/L), Arsen (5 µg/L), Uran (0,005 mg/L).

oder industrieller Säuglingsnahrung (Säuglingsanfangs- oder Folgenahrung) in Kombination mit festerer Nahrung normalerweise erreicht.

3.2.8 Personen, die an Durchfall leiden

Lebensmittel sind im Unterschied zu Arzneimitteln nicht dazu bestimmt, Krankheiten zu heilen oder zu lindern. Insofern erübrigt sich im Rahmen der Risikobewertung eines Lebensmittels die von einem Landesuntersuchungsamt aufgeworfene medizinische Frage, inwieweit sich sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als Flüssigkeitsersatz bei Durchfällen eignet.

3.3 Exposition

3.3.1 Expositionsschätzung

Die Auswertungen des BfR zum Verzehr von abgepacktem Mineralwasser, Tafelwasser und Quellwasser (im Folgenden als „abgepacktes Mineralwasser“ bezeichnet) beruhen auf den Daten der „Dietary History“-Interviews der Nationalen Verzehrstudie II (NVS II) des Max Rubner-Institutes (MRI) für Jugendliche und Erwachsene im Alter von 14 bis 80 Jahren. Mit der „Dietary History“-Methode wurden 15.371 Personen zwischen 2005 und 2006 befragt und retrospektiv ihr üblicher Verzehr der letzten vier Wochen erfasst (Krems et al. 2006; MRI 2008).

Nach der Expositionsschätzung des BfR des Verzehrs von abgepacktem Mineralwasser beträgt der mediane tägliche Verzehr (P50) von abgepacktem Mineralwasser in der erwachsenen deutschen Gesamtbevölkerung 1 Liter (Frauen: 1,0 L/Tag, Männer 1,06 L/Tag). In der 95. Perzentile liegt die Zufuhr in der Gesamtbevölkerung bei 2,6 L/Tag und bei 19–24-jährigen Personen, die altersstratifiziert den höchsten Verzehr in der 95. Perzentile aufweisen, bei 3,04 L/Tag.

Basierend auf einen angenommenen Magnesiumgehalt von 30 mg/L¹⁶ ergibt sich für die Gesamtbevölkerung über den Konsum von Mineralwasser alleine eine mediane Magnesiumaufnahme (P50) von 30 mg bzw. für Vielverzehrer (P95) von 78 mg/Tag.

Die mediane Gesamtaufnahme von Magnesium (P50) beträgt nach den Auswertungen des Max Rubner-Institutes aus der NVS II 361 mg pro Tag für Frauen bzw. 432 mg pro Tag für Männer. Dabei stellen alkoholfreie Getränke mit etwa 25–28 % die Hauptaufnahmequelle für Magnesium dar (MRI, 2008). Die vorliegende Auswertung zeigt eine mediane Magnesiumaufnahme über abgepacktes Mineralwasser von 30,0 mg/Tag für Frauen und 31,5 mg/Tag für Männer, bezogen auf die mediane Aufnahme des MRI-Berichtes entspricht dies einem Anteil von 8,3 % bei Frauen und 7,3 % bei Männern.

3.3.2 Bioverfügbarkeit von Magnesium und Calcium aus Mineralwasser

Die Bioverfügbarkeit von Magnesium aus Mineralwasser (Mg-Gehalt: 110 mg/L) bei gesunden weiblichen Probanden betrug im Mittel etwa 46 % (Spanne: 40–56 %), wenn es alleine verzehrt wurde, beim gleichzeitigen Verzehr zu einer Mahlzeit erhöhte sich die Absorption

¹⁶ Im Bundeslebensmittelschlüssel (BLS) Version 3.02 wird der Magnesiumgehalt von Mineralwasser mit und ohne Kohlensäure mit 30 mg/L angegeben. Für alle anderen dort aufgeführten Wasser/Mineralwässer werden Gehalte von 10 mg/L genannt. In der BfR-MEAL-Studie wurde Mineralwasser ebenfalls als Poolprobe auf Magnesium untersucht. Erste Auswertungen von für den deutschen Markt relevanten Mineralwässern weisen darauf hin, dass der mittlere Gehalt zwischen den im BLS angegebenen Werten für natürliche Mineralwässer und allen anderen abgepackten Mineral-, Tafel- und Quellwässern liegt.

auf 52 % (Spanne: 46–60 %) (Sabatier et al., 2002). Eine weitere Studie an 10 männlichen Teilnehmern (25–42 Jahre) zeigte, dass die mittlere Bioverfügbarkeit von Magnesium aus Mineralwasser etwa 59 % betrug (Spanne: 36–85 %); wobei das Alter der Probanden invers mit der Bioverfügbarkeit von Magnesium korrelierte (Verhas et al., 2002).

Im Vergleich dazu gibt die *European Food Safety Authority* (EFSA) allgemein für orale Magnesiumzufuhr eine Absorptionsrate von 40–50 % an, wobei angeführt wird, dass auch Werte von 10–70 % beschrieben wurden. Hierbei nimmt die Höhe des prozentual resorbierten Magnesiums mit der Höhe der Magnesiumzufuhr ab (EFSA, 2015b).

Zur Absorption von Calcium aus dem Mineralwasser liegen zwei umfassende Reviews vor (Bohmer et al., 2000; Heaney, 2006). Die Bioverfügbarkeit von Calcium aus Mineralwasser ist vergleichbar mit der aus Milch und umfasste eine Spanne von etwa 24 % (bei einer Aufnahme von 248 mg Calcium) bis 48 % (bei einer Aufnahme von 100 mg Calcium) – in Abhängigkeit von der Menge des Calciums und davon, ob das Mineralwasser zu einer Mahlzeit aufgenommen wurde oder ohne zusätzliche feste Nahrungsaufnahme.

Im Vergleich dazu wird von der EFSA für orale Zufuhren von Calcium bei Erwachsenen allgemein eine intestinale Absorptionsrate von etwa 25 % angegeben (EFSA, 2015a).

3.4 Risikocharakterisierung

Mineralwasser kann einen weiten Bereich an Gesamtmineralstoffgehalten aufweisen, der von geringen Gesamtmineralstoffgehalten bei sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser bis hin zu Mineralwasser mit sehr hohen Gehalten reicht. Mineralwasser mit einem Mineralstoffgehalt von ≤ 50 mg/L, das gemäß Anlage 6, MinTafVV mit der Angabe „mit sehr geringem Gehalt an Mineralien“ ausgelobt werden kann, ist seit langem als Lebensmittel in Verkehr. Aufgrund der vorgeschriebenen Angabe der analytischen Zusammensetzung oder der o. g. Auslobung ist sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser für den Verbraucher als solches erkennbar.

Sehr niedrig-mineralisiertes Wasser wird auch als Trinkwasser genutzt. Bei der Risikobewertung der Verwendung von solchem Trinkwasser steht die Frage eines Zusammenhangs zwischen niedrigen Magnesium- und Calciumtrinkwassergehalten bzw. geringer Wasserhärte und einem erhöhten Risiko für das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die sich im Wesentlichen auf Ergebnisse epidemiologischer Humanstudien stützt, im Vordergrund der Diskussion.

Insgesamt liegen gegenwärtig, auch unter Berücksichtigung der aus dem Trinkwasserbereich vorliegenden Untersuchungen, nur wenige Studien für eine Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser bzw. Wasser vor und es bestehen Kenntnislücken bei deren gesundheitlicher Bewertung. Die identifizierten Tier- und Human-Interventionsstudien, mit Gaben von destilliertem Wasser oder Wasser/Mineralwasser mit sehr niedrigen bzw. niedrigen Mineralstoffgehalten bieten wegen verschiedener Limitierungen keine adäquate Basis für die Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser/Wasser.

Jedoch sind bei der Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Wasser zusätzlich folgende Punkte von Bedeutung:

- Die wissenschaftliche Validität einzelner neuerer Tier- und Human-Interventionsstudien, in denen negative gesundheitliche Effekte von sehr niedrig-mineralisiertem Wasser beschrieben wurden (Luo et al., 2013; Qiu et al., 2015), ist fraglich.

- Im Hinblick auf vorliegende epidemiologische Studien aus dem Trinkwasserbereich wurde von der WHO festgestellt, dass die Ergebnisse dieser Studien nicht ausreichend sind, um einen kausalen Zusammenhang zwischen niedrigen Magnesium- und Calciumgehalten von Trinkwasser bzw. geringer Wasserhärte und einem erhöhten Risiko für das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu belegen (WHO, 2011; 2017). Auch unter Berücksichtigung der nach der Erarbeitung der WHO-Bewertungen publizierten epidemiologischen Studien ergibt sich diesbezüglich kein anderes Bild.

Im Hinblick auf Grenzwertempfehlungen für die Wasserhärte wurde von der WHO aufgrund ihrer o. g. Bewertung festgestellt, dass gegenwärtig keine ausreichenden Daten vorliegen, um Mindest- oder Höchstgehalte für den Mineralstoffgehalt von Wasser (wobei Magnesium und Calcium im Vordergrund stehen) vorzuschlagen, da eine adäquate, den täglichen menschlichen Bedarf deckende Mineralstoffzufuhr von einer Reihe anderer Faktoren abhängt. Deshalb wurden keine Mindest- oder Höchstwerte für die Wasserhärte von Trinkwasser vorgeschlagen, zumal nach Angaben der WHO keine gesundheitlichen Bedenken bei den in Trinkwasser vorgefundenen Werten der Wasserhärte bestehen (WHO, 2017). Diese Bewertung ist aus Sicht des BfR auch auf Mineralwasser übertragbar. Insofern ist aus den o. g. epidemiologischen Studien keine wissenschaftliche Begründung abzuleiten, wonach aus gesundheitlichen Gründen ein Mindestmineralstoffgehalt von Mineralwasser geboten erscheint.

- Mineralwasser kann bei entsprechenden Mineralstoffgehalten einen signifikanten Beitrag zur täglichen Zufuhr an essentiellen Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Magnesium liefern. Dies gilt besonders bei Personen mit niedrigen Calcium- und Magnesiumzufuhren. Jedoch stellt Mineralwasser in der menschlichen Ernährung nur eine von mehreren Mineralstoffquellen dar, und der Nährstoffzufuhr über Wasser bzw. Getränke wird, abgesehen von einer möglicherweise etwas besseren Bioverfügbarkeit, im Vergleich zur Nährstoffzufuhr über feste Nahrung keine besondere Qualität zugeschrieben. Für die Homöostase des Wasserhaushaltes und des Mineralstoffhaushaltes ist nach bisherigen Erkenntnissen unerheblich, aus welchen Quellen (Getränk oder feste Nahrung) die hierfür notwendigen Mineralstoffe stammen. Eine geringere Mineralstoffzufuhr durch den Verzehr von sehr niedrig-mineralisiertem Wasser kann durch eine Mineralstoffzufuhr aus anderen Lebensmitteln ausgeglichen werden. Insofern ist auch aus Überlegungen zur Relevanz von Mineralwasser als Mineralstoffquelle für die menschliche Ernährung keine adäquate wissenschaftliche Begründung abzuleiten, die für die gesundheitliche Notwendigkeit von Mindestgesamtmineralstoffgehalten bzw. Mindestmagnesium- oder Mindestcalciumgehalten von Mineralwasser spricht.
- Die Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser kann jedoch bei Personen, die nur geringe alimentäre Mineralstoffzufuhren aus ihrer üblichen Ernährung erzielen, zu einer marginalen oder defizitären Mineralstoffzufuhr mit beitragen (wie dies auch bei anderen Lebensmitteln mit geringen Mineralstoffgehalten, die signifikant zur Flüssigkeits- oder Gesamtnahrungsaufnahme beitragen, möglich ist). Dies gilt insbesondere für Personen mit sehr unausgewogener oder sehr einseitiger Ernährung, bei längerdauernden Fastenkuren oder für Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. auf Milch und Milchprodukte aufgrund von Laktoseintoleranz oder veganer Ernährung). Diese Personen sollten bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Magnesium¹⁷, achten. Ebenso

¹⁷ Bei Personen, die sich vegan ernähren, dürfte dies in Hinblick auf die Magnesiumzufuhr weniger von Bedeutung sein.

sollten schwangere und stillende Frauen bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere von Calcium und Magnesium achten. Bei Ihnen ist eine bedarfsdeckende Zufuhr aller essentiellen Nährstoffe besonders von Bedeutung.

Während längerer sportlicher, körperlich anstrengender Betätigungen (> 1,5 Stunden) ist sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als Getränk¹⁸ zum Flüssigkeitsersatz und zur Aufrechterhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit nicht zu empfehlen.

Zusammenfassend liegen gegenwärtig nur wenige Studien für eine Risikobewertung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser vor und es bestehen Wissenslücken bei dessen Risikobewertung. Jedoch sind nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand bei ausgewogener Ernährung und üblichen Trinkmengen keine unerwünschten Wirkungen erkennbar, die der Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineral-, Quell- und Tafelwasser als Lebensmittel entgegenstehen.

Personen mit sehr einseitiger/unausgewogener Ernährung sowie Personen, die bewusst auf bestimmte Lebensmittel verzichten (z. B. auf Milch und Milchprodukte aufgrund von Laktoseintoleranz oder veganer Ernährung)¹⁹ ebenso wie schwangere und stillende Frauen, sollten bei Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als wesentliche Flüssigkeitsquelle auf ihre tägliche Gesamtzufuhr an bestimmten essentiellen Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Magnesium²⁰, achten. Während längerer sportlicher, körperlich anstrengender Aktivitäten (> 1,5 Stunden) ist sehr niedrig-mineralisiertes Mineralwasser als Flüssigkeitsersatz²¹ zur Aufrechterhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit nicht zu empfehlen.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zum Thema Mineralwasser:

Verzeichnis aller Publikationen des BfR zu Mineralwasser:

https://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/mineralwasser-4990.html

Fragen und Antworten zu Uran in Mineralwasser (28. Januar 2009):

https://www.bfr.bund.de/cm/343/ausgewaehlte_fragen_und_antworten_zu_uran_in_mineralwasser.pdf



„Stellungnahmen-App“ des BfR

¹⁸ Gemeint ist die alleinige oder überwiegende Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als Getränk zum Flüssigkeitsersatz und zur Aufrechterhaltung der sportlichen/körperlichen Leistungsfähigkeit.

¹⁹ Dies kann Erwachsene, Jugendliche, Kinder und Kleinkinder betreffen.

²⁰ Bei Personen, die sich vegan ernähren, dürfte dies in Hinblick auf die Magnesiumzufuhr weniger von Bedeutung sein.

²¹ Gemeint ist die alleinige oder überwiegende Verwendung von sehr niedrig-mineralisiertem Mineralwasser als Getränk zum Flüssigkeitsersatz und zur Aufrechterhaltung der sportlichen/körperlichen Leistungsfähigkeit.

4 Referenzen

Bohmer H, Muller H, Resch KL (2000). Calcium supplementation with calcium-rich mineral waters: a systematic review and meta-analysis of its bioavailability. *Osteoporos Int.* 11: 938-943.

Chycki J, Zajac T, Maszczyk A, Kurylas A (2017). The effect of mineral-based alkaline water on hydration status and the metabolic response to short-term anaerobic exercise. *Biol Sport.* 34: 255-261.

Comstock GW, Cauthen GM, Helsing KJ (1980). Water hardness at home and deaths from arteriosclerotic heart disease in Washington County, Maryland. *Am J Epidemiol.* 112: 209-216.

Dahl C, Sogaard AJ, Tell GS, Forsen L, Flaten TP, Hongve D, Omsland TK, Holvik K, Meyer HE, Aamodt G (2015). Population data on calcium in drinking water and hip fracture: An association may depend on other minerals in water. A NOREPOS study. *Bone.* 81: 292-299.

DGE (2019). Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Bonn, 2. Auflage, 5. aktualisierte Ausgabe (2019).

Eberová J, Hučko B, Hořejšová V (2005). Investigation of some water used in laboratory rodents husbandry. *Scientia Agriculturae Bohemica.* 36 (1): 30-33.

EFSA (2015a). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. *EFSA Journal.* 13: 4101.

EFSA (2015b). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for magnesium. *EFSA Journal.* 13: 4186.

Hagelschuer I, Wagner H, Warncke GR (2016). Trinkwasserversorgung von Versuchstieren. *Gesellschaft für Versuchstierkunde. Fachinformation aus dem Ausschuss für Ernährung der Versuchstiere.*

Heaney RP (2006). Absorbability and utility of calcium in mineral waters. *Am J Clin Nutr.* 84: 371-374.

Howard AN, Jennings IW, Gresham GA (1967). Atherosclerosis in pigs obtained from two centres differing in hardness of water supply. *Pathol Microbiol (Basel).* 30: 676-680.

Huang Y, Ma X, Tan Y, Wang L, Wang J, Lan L, Qiu Z, Luo J, Zeng H, Shu W (2019). Consumption of Very Low Mineral Water Is Associated with Lower Bone Mineral Content in Children. *J Nutr.*

Huang Y, Wang J, Tan Y, Wang L, Lin H, Lan L, Xiong Y, Huang W, Shu W (2018). Low-mineral direct drinking water in school may retard height growth and increase dental caries in schoolchildren in China. *Environ Int.* 115: 104-109.

Jeukendrup A, Carter J, Maughan R (2015). Competition fluid and fuel. In *Clinical Sports Nutrition*, Burke L, Deakin V, eds. North Ryde, Australia: McGraw-Hill Education.

Knezovic NJ, Memic M, Mabic M, Huremovic J, Mikulic I (2014). Correlation between water hardness and cardiovascular diseases in Mostar city, Bosnia and Herzegovina. *J Water Health*. 12: 817-823.

Krems C, Bauch A, Götz A, Heuer T, Hild A, Möseneder J, Brombach C (2006) Methoden der Nationalen Verzehrsstudie II. *Ernährungs-Umschau*, 53, Heft 2.

Lake IR, Swift L, Catling LA, Abubakar I, Sabel CE, Hunter PR (2010). Effect of water hardness on cardiovascular mortality: an ecological time series approach. *J Public Health (Oxf)*. 32: 479-487.

Leurs LJ, Schouten LJ, Mons MN, Goldbohm RA, van den Brandt PA (2010). Relationship between tap water hardness, magnesium, and calcium concentration and mortality due to ischemic heart disease or stroke in The Netherlands. *Environ Health Perspect*. 118: 414-420.

Luo J, Zhao Q, Zhang L, Qiu Z, Liu L, Chen J, Zeng H, Huang Y, Tan Y, Yang L, Zhang Y, Yang X, Liu W, Wang L, Shu W (2013). The consumption of low-mineral bottled water increases the risk of cardiovascular disease: an experimental study of rabbits and young men. *Int J Cardiol*. 168: 4454-4456.

Luoma H, Aromaa A, Helminen S, Murtomaa H, Kiviluoto L, Punsar S, Knekt P (1983). Risk of myocardial infarction in Finnish men in relation to fluoride, magnesium and calcium concentration in drinking water. *Acta Med Scand*. 213: 171-176.

Max Rubner-Institut (MRI) (2008) Nationale Verzehrsstudie II (NVS II), Ergebnisbericht 1, 2 <https://www.mri.bund.de/de/institute/ernaehrungsverhalten/forschungsprojekte/nvsii/>; abgerufen am 15.10.2019.

Mosler S, Braun H, Carlsohn A, Großhauser M, König D, Lampen A, Nieß A, Oberritter H, Schäbenthal K, Schek A, Stehle P, Virmani K, Ziegenhagen R, Hesecker H (2019). Flüssigkeitsmanagement im Sport. Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE). *Ernährungs Umschau*. 66 (3): 52-59.

Punsar S, Karvonen MJ (1979). Drinking water quality and sudden death: observations from West and East Finland. *Cardiology*. 64: 24-34.

Qiu Z, Tan Y, Zeng H, Wang L, Wang D, Luo J, Zhang L, Huang Y, Chen JA, Shu W (2015). Multi-generational drinking of bottled low mineral water impairs bone quality in female rats. *PLoS One*. 10: e0121995.

Rachmanin HA, Muchaulowa PI, Fulpinnowa AB, Felwot EG, Beljaewa NN, Lamentowa TG, Kumpan NB (1989). On some aspects of biological effects of distilled water. (In Russian). *Gigiena i sanitarija*. 3: 92-93.

Rapant S, Cveckova V, Fajcikova K, Hajduk I, Hiller E, Stehlikova B (2019). Hard Water, More Elastic Arteries: A Case Study from Krupina District, Slovakia. *Int J Environ Res Public Health*. 16.

Rasic-Milutinovic Z, Perunicic-Pekovic G, Jovanovic D, Gluvic Z, Cankovic-Kadijevic M (2012). Association of blood pressure and metabolic syndrome components with magnesium levels in drinking water in some Serbian municipalities. *J Water Health*. 10: 161-169.

Robbins DJ, Sly MR, du Bruyn DB (1981). Serum zinc and demineralized water. *Am J Clin Nutr.* 34: 962-963.

Rosenlund M, Berglind N, Hallqvist J, Bellander T, Bluhm G (2005). Daily intake of magnesium and calcium from drinking water in relation to myocardial infarction. *Epidemiology.* 16: 570-576.

Rubenowitz E, Axelsson G, Rylander R (1996). Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. *Am J Epidemiol.* 143: 456-462.

Rubenowitz E, Axelsson G, Rylander R (1999). Magnesium and calcium in drinking water and death from acute myocardial infarction in women. *Epidemiology.* 10: 31-36.

Rubenowitz E, Molin I, Axelsson G, Rylander R (2000). Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology.* 11: 416-421.

Rylander R, Arnaud MJ (2004). Mineral water intake reduces blood pressure among subjects with low urinary magnesium and calcium levels. *BMC Public Health.* 4: 56.

Sabatier M, Arnaud MJ, Kastenmayer P, Rytz A, Barclay DV (2002). Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women. *Am J Clin Nutr.* 75: 65-71.

Santangelo WC, Krejs GJ (1986). Adsorption of pure water in the human gastrointestinal tract. *Zeitschrift fuer Gastroenterologie.* 25: 396.

Schumann K, Elsenhans B, Reichl FX, Pfoh H, Wurster KH (1993). Does intake of highly demineralized water damage the rat gastrointestinal tract? *Vet Hum Toxicol.* 35: 28-31.

Thomas DT, Erdman KA, Burke LM (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet.* 116: 501-528.

Verhas M, de la Gueronniere V, Grognet JM, Paternot J, Hermanne A, Van den Winkel P, Gheldof R, Martin P, Fantino M, Rayssiguier Y (2002). Magnesium bioavailability from mineral water. A study in adult men. *Eur J Clin Nutr.* 56: 442-447.

Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) vom 01.08.1984 (BGBl. I S. 1036), zuletzt geändert durch Artikel 25 der Verordnung vom 5.7.2017 (BGBl. I S. 2271).

WHO (1980). Guidelines on health aspects of water desalination. ETS/80.4. Geneva: World Health Organization.

WHO (2005). Sustainable Development and Healthy Environments Cluster. Nutrients in drinking water. World Health Organization.

WHO (2009). Cotruvo J, Bartram J, eds. Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public health significance, Geneva, World Health Organization, 2009.

WHO (2011). Hardness in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/70168>.

WHO (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum, 4th ed + 1st add. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/254637>.

Yang CY, Chiu HF (1999). Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from hypertension. *Am J Hypertens.* 12: 894-899.

Yang CY, Hung CF (1998). Colon cancer mortality and total hardness levels in Taiwan's drinking water. *Arch Environ Contam Toxicol.* 35: 148-151.

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine wissenschaftlich unabhängige Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Es berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebensmittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.