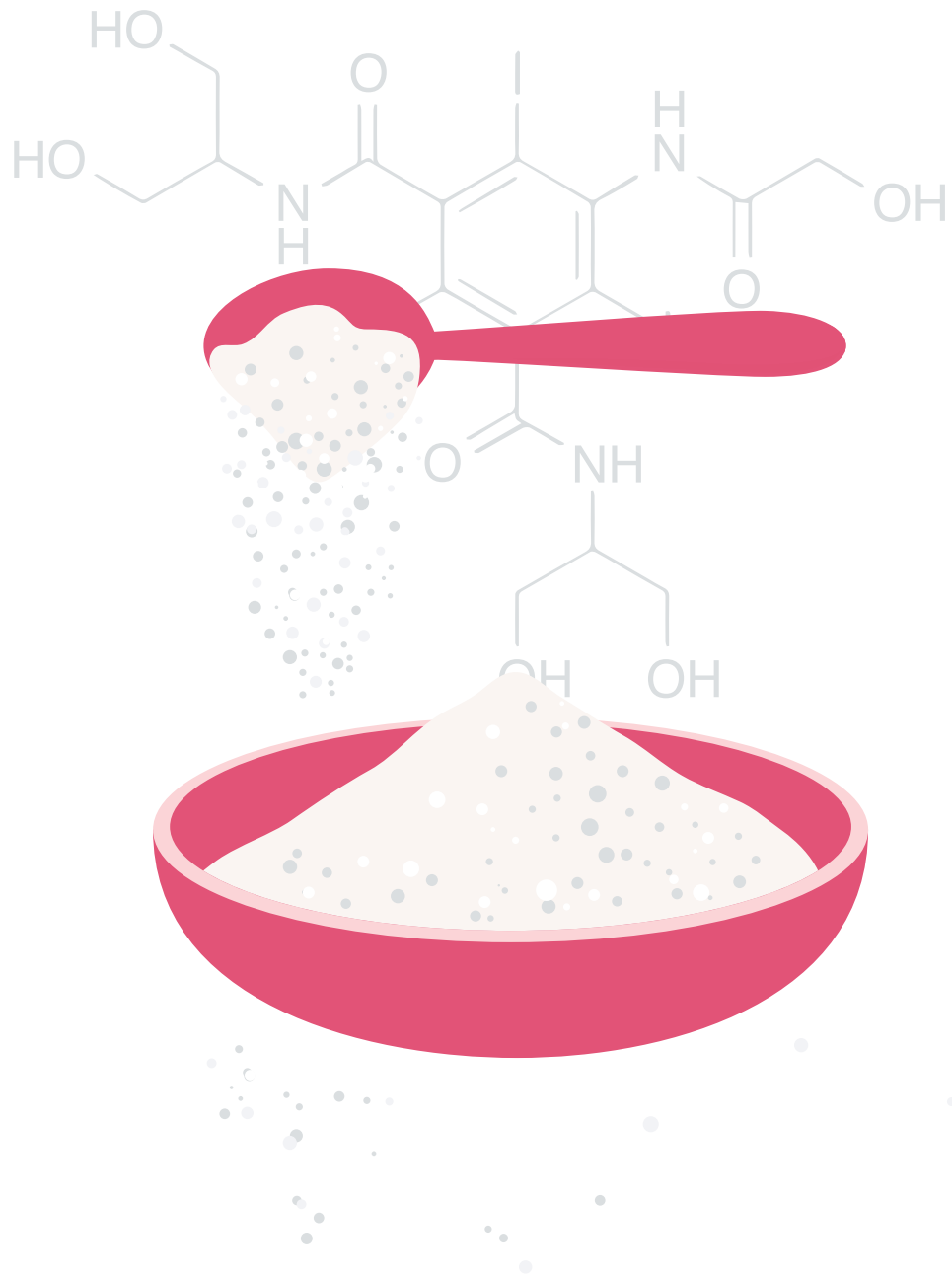


Jodstatus in der Schweizer Bevölkerung



Inhalt

Jodstatus in der Schweizer Bevölkerung

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung | 3 |
| Schlüsselwörter | 4 |
| Abkürzungen/Glossar | 4 |
| 1. Einleitung | 5 |
| 2. Folgen eines Jodmangels | 5 |
| 3. Universelle Salzjodierung zur Deckung des Bedarfs aller Bevölkerungsgruppen | 6 |
| 4. Biomarker für den Jodstatus | 6 |
| 4.1 Jodkonzentration im Urin | 6 |
| 4.2 Thyreoglobulin (Tg) | 7 |
| 4.3 Jodkonzentration in der Muttermilch | 7 |
| 4.4 Bestimmung der Jodaufnahme über die Ernährung | 8 |
| 5. Jodversorgung in der Schweiz | 8 |
| 5.1 Salzjodierung | 8 |
| 6. Trends beim Jodstatus in den vergangenen zwanzig Jahren | 9 |
| 6.1 Erwachsene | 11 |
| 6.2 Stillende Frauen und Kleinkinder | 11 |
| 7. Nationale Schweizer Jodstudie von 2015 | 11 |
| 7.1 Schulkinder | 12 |
| 7.2 Frauen im gebärfähigen Alter | 13 |
| 7.3 Schwangere Frauen | 14 |
| 8. Diskussion | 14 |
| Referenzen | 19 |

Jodstatus in der Schweizer Bevölkerung

—
Maria Andersson, Isabelle Herter-Aeberli

Zusammenfassung

Jod ist ein essenzieller Baustein für die Schilddrüsenhormone, die für das Wachstum und eine normale Entwicklung unentbehrlich sind. Ein Jodmangel kann zu einer Schilddrüsenunterfunktion (Hypothyreose) führen und das Risiko neurologischer Entwicklungsstörungen bei Nachkommen erhöhen. Der natürliche Jodgehalt in den meisten Lebensmitteln ist gering, und in der Vergangenheit war ein Kropf aufgrund von Jodmangel in der Schweiz häufig. Die Anreicherung von Speisesalz mit Jod ist aus Sicht der öffentlichen Gesundheit die wirksamste Strategie, um einem Jodmangel vorzubeugen und eine angemessene Jodversorgung der Bevölkerung sicherzustellen. In der Schweiz ist die Jodierung freiwillig (d. h. es gibt sowohl jodiertes als auch nicht jodiertes Salz), und jodiertes Salz wird derzeit mit 25 mg Jod pro kg Salz angereichert. Die Mehrheit (über 80 %) der Haushalte verwendet jodiertes Salz, die Lebensmittelindustrie hingegen stellt viele Produkte auch mit nicht jodiertem Salz her. Da ein Grossteil der täglichen Salzzufuhr aus verarbeiteten Lebensmitteln stammt, besteht die Gefahr, dass die Schweizer Bevölkerung künftig wieder von einem Jodmangel betroffen sein wird. Dieser Artikel befasst sich mit der Bedeutung einer adäquaten Jodversorgung und dem aktuellen Jodstatus der Schweizer Bevölkerung. Die dazu durchgeführten repräsentati-

ven landesweiten Querschnittstudien zeigen, dass die Jodzufuhr bei Schulkindern ausreichend ist, nicht aber bei Frauen im gebärfähigen Alter, bei schwangeren und stillenden Frauen sowie bei Kleinkindern. Deshalb braucht es neue Strategien, die sicherstellen, dass vermehrt jodiertes Salz verwendet wird. Dies soll insbesondere in der Lebensmittelproduktion geschehen, damit die Jodversorgung verbessert wird und gewährleistet ist, dass alle Bevölkerungsgruppe in der Schweiz über die Ernährung genügend Jod aufnehmen.

Schlüsselwörter

Jod, Jodmangel, Jodkonzentration im Urin, Thyreoglobulin, Salzjodierung

Abkürzungen/Glossar

| | |
|-----|--|
| DBS | dried blood spot, getrocknete Blutprobe |
| EAR | estimated average requirement, geschätzter durchschnittlicher Bedarf |
| TSH | thyroid stimulating hormone, Thyreoidea-stimulierendes Hormon |
| T3 | triiodothyronine, Trijodthyronin |
| T4 | thyroxine, Thyroxin |
| UIC | urinary iodine concentration, Jodkonzentration im Urin |

1. Einleitung

Jod ist ein wichtiger Baustein zur Herstellung der Schilddrüsenhormone Trijodthyronin (T3) und Thyroxin (T4). Adäquate Schilddrüsenhormonwerte sind Voraussetzung für ein normales Wachstum und eine normale Entwicklung sowohl für den Fötus im Mutterleib als auch für Klein- und Schulkinder. Ausserdem sind lebenswichtige Stoffwechselforgänge während des gesamten Lebens davon abhängig^{1, 2}.

Böden und Grundwasser haben typischerweise einen niedrigen Jodgehalt, weshalb auch der natürliche Jodgehalt in den meisten Lebensmitteln gering ist³. Die Massenanreicherung von Salz mit Jod ist im Bereich der öffentlichen Gesundheit die wichtigste globale Strategie, um einen Jodmangel zu verhindern⁴. Die Zahl der Länder, in denen Schulkinder an einem Jodmangel leiden, sank in den letzten fünfzehn Jahren dank der Salzjodierung weltweit von 54 auf 20⁵⁻⁷. Die Abdeckung mit jodiertem Salz ist jedoch in vielen Ländern insbesondere in Europa noch unvollständig, und bei Personen mit erhöhtem Bedarf wie schwangeren und stillenden Frauen sowie Kleinkindern besteht nach wie vor die Gefahr eines Jodmangels⁸. In diesem Artikel fassen wir die aktuelle Situation bezüglich der Jodversorgung der Schweizer Bevölkerung zusammen.

2. Folgen eines Jodmangels

Eine Vergrösserung der Schilddrüse, ein sogenannter Kropf, ist das klassische Symptom eines Jodmangels und eine physiologische Anpassungsreaktion auf einen chronischen Jodmangel⁹. Es ist unbestritten, dass ein schwerer Jodmangel und ein daraus folgendes Schilddrüsenhormondefizit schwere neurologische Schädigungen und Wachstumsverzögerungen zur Folge haben kann, insbesondere bei Neugeborenen von Frauen mit einem Jodmangel in der Schwangerschaft^{1, 10}. Auch ein leichter bis mittelschwerer Jodmangel kann das Risiko für neurologische Entwicklungsstörungen erhöhen. In Beobachtungsstudien wurde über einen niedrigen IQ und schlechte Schulleistungen bei Kindern von Müttern mit leichtem bis mittelschwerem Jodmangel berichtet^{11, 12}, allerdings sind die Daten nicht eindeutig¹³. Kontrollierte Versuche mit Jodsupplementierung bei schwangeren Frauen mit leichtem Jodmangel zeigten keinen klaren Nutzen für die Schilddrüsenhormonkonzentration der Mütter oder der Neugeborenen oder für die neurologische Entwicklung der Kinder¹⁴⁻¹⁶. Ein Jodmangel im Kleinkindalter kann ebenfalls die Produktion

der Schilddrüsenhormone und die neurologische Entwicklung beeinträchtigen^{1, 17, 18}. Allerdings liegen nur beschränkt Daten zu den Folgen eines Jodmangels in den ersten Lebensmonaten vor, und es fehlt an soliden Nachweisen aus kontrollierten Studien¹⁹.

3. Universelle Salzzodierung zur Deckung des Bedarfs aller Bevölkerungsgruppen

Die WHO empfiehlt eine universelle Salzzodierung^{4, 20} und definiert diese folgendermassen:

1. Jodierung (20–40 mg/kg) aller Speisesalze und Salze in der Nutztierfütterung, einschliesslich des in der Lebensmittelproduktion verwendeten Salzes.
2. Ausreichend jodiertes Salz (mindestens 15 mg/kg) wird von über 90 % der Haushalte konsumiert. Dieser Zielwert beruht auf der Annahme, dass Erwachsene mit einem typischen Salzkonsum von 10 g pro Tag bei einer Jodkonzentration von 15 mg pro kg im Salz über die Nahrung 150 µg Jod aufnehmen.

Aktuelle Daten bestätigen, dass eine universelle Salzzodierung eine wirksame Strategie ist, um eine ausreichende Jodaufnahme der Bevölkerung zu gewährleisten, auch für Gruppen mit erhöhtem Jodbedarf wie schwangere und stillende Frauen sowie gestillte Säuglinge^{21–24}.

4. Biomarker für den Jodstatus

4.1 Jodkonzentration im Urin

Der Jodstatus der Bevölkerung wird in erster Linie durch die Messung der Jodkonzentration in Einzelurinproben (urinary iodine concentration, UIC) erfasst⁴. Die UIC ist ein empfindlicher Biomarker für die Jodversorgung der Bevölkerung, da über 90 % des über die Ernährung aufgenommenen Jods nach 24 bis 48 Stunden mit dem Urin ausgeschieden werden^{4, 25}. Die UIC widerspiegelt die Jodaufnahme aus allen Nahrungsquellen und zeigt kurzfristige Veränderungen bei der Jodaufnahme. Allerdings sind die individuellen Schwankungen beim UIC ausgeprägt (typischerweise 35 bis 40 %), und der UIC ist ein Biomarker für die Gesamtbevölkerung, der sich zur Beurteilung des Jodstatus einzelner Personen nicht eignet^{26, 27}.

Die WHO definiert einen angemessenen Jodstatus in der Bevölkerung als UIC (Median) von mindestens 100 µg/l für Schulkinder, Erwachsene und Kleinkinder und als UIC (Median) von mindestens 150 µg/l für schwangere Frauen⁴. Aktuelle Daten weisen darauf hin, dass der geltende Schwellenwert von 100 µg/l zu niedrig sein könnte, um die optimale Jodaufnahme im Kleinkindalter zu definieren^{21, 28}.

4.2 Thyreoglobulin (Tg)

Thyreoglobulin (Tg) ist ein empfindlicher Biomarker für den Jodstatus verschiedener Bevölkerungsgruppen und wird als sekundärer Indikator neben dem UIC empfohlen⁴. Tg wird ausschliesslich durch die Schilddrüse produziert und spielt eine wichtige Rolle bei der Synthese der Schilddrüsenhormone T3 und T4²⁹. Da Thyreoglobulin durch Pinozytose in die Schilddrüsenzellen aufgenommen wird und eine Proteolyse durchläuft, um T3 und T4 in den Blutkreislauf freizusetzen, tritt ein Teil des Thyreoglobulins selbst in den Blutkreislauf über²⁹. Die Thyreoglobulinkonzentration im Blut steigt sowohl bei einem Jodmangel als auch bei einem Überschuss aufgrund einer verstärkten Aktivität der Schilddrüse und/oder ihrer Grösse^{30–34}. Aktuelle Studien weisen darauf hin, dass Thyreoglobulin ein empfindlicher Biomarker für die Jodversorgung bei Kindern^{32, 35}, Erwachsenen³¹, schwangeren Frauen^{33, 36} und Kleinkindern^{37, 38} ist. Studien zur Jodaufnahme zeigen, dass die Thyreoglobulinkonzentration bei Bevölkerungsgruppen mit einem Jodmangel rasch auf eine veränderte Jodzufuhr reagiert^{30, 34, 39, 40}. Messbar ist Thyreoglobulin im Serum⁴¹ oder im Vollblut, das als getrocknete Blutprobe (dried blood spot, DBS) untersucht wird⁴². Die Referenzbandbreite ist Assay-spezifisch, und es sind für DBS-Thyreoglobulin bei Kindern und schwangeren Frauen Schwellenwerte festgelegt, die auf einen Jodmangel oder -überschuss schliessen lassen^{33, 35}.

4.3 Jodkonzentration in der Muttermilch

Während der Stillzeit wird das im Blut zirkulierende Jod sowohl über den Urin als auch über die Muttermilch ausgeschieden und die UIC allein ist kein zuverlässiger Biomarker für die Jodversorgung^{43, 44}. Eine aktuelle Studie weist darauf hin, dass die Jodkonzentration in der Muttermilch aussagekräftiger für den Jodstatus dieser Gruppe ist⁴³. Für die Jodkonzentration in der Muttermilch ist jedoch kein international anerkannter Referenzwert verfügbar. Wir beobachteten jedoch vor Kurzem, dass eine Jodkonzentration in der Muttermilch (Median) von 171 µg/kg (95%-CI: 163, 181 µg/kg) bei voll stillenden

Frauen auf eine ausreichende Versorgung deutet, und schlugen eine Referenzbandbreite von 60 bis 465 µg/kg vor⁴³.

4.4 Bestimmung der Jodaufnahme über die Ernährung

Zur Schätzung der Energieaufnahme sowie der Versorgung mit Mikro- und Makronährstoffen über die Ernährung bei Einzelpersonen oder in der Gesamtbevölkerung existieren verschiedene Methoden⁴⁵. Die Bestimmung der Jodzufuhr über die Ernährung ist hingegen komplex⁴⁶. Sämtliche Methoden basieren auf den Angaben zum Jodgehalt verschiedener Lebensmittel oder Lebensmittelgruppen, die auf den Verpackungen angegeben sind. Der Jodgehalt in jodreichen Lebensmitteln (z. B. Milchprodukten) und in verarbeiteten Produkten schwankt jedoch stark, und die Angaben auf den Verpackungen sind häufig nicht aussagekräftig^{47–49}. Ausserdem ist es mit jeder Methode schwierig, in Erfahrung zu bringen, welche Mengen an jodiertem Salz bei der Essenszubereitung in den Haushalten eingesetzt werden. Bisher wurden für die Schätzung der Jodzufuhr Fragebögen zur Häufigkeit der Nahrungsmittelaufnahme verwendet, doch Validierungsstudien zeigen, dass die tatsächliche Jodaufnahme damit ungenau geschätzt wird und dass anhand solcher Fragebögen lediglich eine Grundkategorisierung der Teilnehmenden möglich ist (niedrige bzw. hohe Jodzufuhr)^{50–53}. Sämtliche Methoden zur Bestimmung der Jodaufnahme über die Ernährung weisen ähnliche Schwächen auf^{45, 54} und sind im Allgemeinen keine verlässlichen Instrumente.

5. Jodversorgung in der Schweiz

5.1 Salzzodierung

Die Schweizer Bevölkerung war früher von mässigem bis schwerem Jodmangel, einer erhöhten Prävalenz von Kropf und sogar Kretinismus betroffen^{55–57}. Im Jahre 1922 gehörte die Schweiz zu den ersten Ländern weltweit, die zur Beseitigung und Prävention eines Jodmangels jodiertes Salz einführten, und ab 1952 war im ganzen Land jodiertes Salz erhältlich^{55–57}. Der Jodgehalt im Salz (in Form von Kaliumiodid) wurde in kleinen Schritten angehoben: von 3,75 mg/kg im Jahr 1952 auf 7,5 mg/kg 1962, 15 mg/kg 1980, 20 mg/kg 1998 und 25 mg/kg im Jahr 2014^{56, 57}. Die Häufigkeit von Kröpfen ging kontinuierlich zurück, und ein durch Jodmangel verursachter Kropf kommt nun praktisch nicht mehr vor⁵⁸.

Die Schweiz verfolgt eine Politik der freiwilligen Salzzodierung, d. h. es gibt sowohl jodiertes als auch nicht jodiertes Salz. Das in der Schweiz aktuell verkaufte jodierte Salz enthält 25 mg Jod pro kg Salz, die Gesetzgebung sieht jedoch eine flexible Bandbreite von 20–40 mg Jod pro kg vor⁵⁹. Die Schweizer Salinen AG ist der landesweit führende Hersteller und Lieferant von Salz. Das Unternehmen liefert für den heimischen und den internationalen Markt sowohl jodiertes als auch nicht jodiertes Salz für den Privatkonsum und die Lebensmittelindustrie. Umsatzzahlen aus dem Jahr 2017 zeigen, dass 98 % des gesamten in Packungen und Dosen für die Haushalte verkauften Salzes jodiert sind: 89,2 % mit Fluor und Jod, 9,5 % lediglich mit Jod und nur 1,3 % ohne Jod (Persönliche Kommunikation, Stefan Trachsel, Schweizer Salinen AG, April 2018). Hingegen waren 39 % des gesamten Speisesalzes nicht jodiert (23 % mit Fluor und Jod, 38 % nur mit Jod und 39 % ohne Jod), gegenüber lediglich 8 % im Jahr 1986.

In den nationalen Studien von 1999, 2004, 2009 und 2015 wurden Stichproben von Haushaltsalz auf ihren Jodgehalt untersucht^{60–63}. Die Ergebnisse zeigten durchwegs, dass über 80 % der Haushalte jodiertes Tafelsalz verwenden. Die Schweizer Lebensmittelindustrie verwendet jodiertes Salz auf freiwilliger Basis. Zur Verwendung von jodiertem und nicht jodiertem Salz in der Schweizer Lebensmittelindustrie und in den Kantinen liegen jedoch nur beschränkt Daten vor. Die oben erwähnten Verkaufszahlen zeigen eine unvollständige Abdeckung mit jodiertem Salz, und die Lebensmittelindustrie stellt zahlreiche Produkte mit nicht jodiertem Salz her. Eine aktuelle Studie hat ergeben, dass 87 % aller Brothersteller jodiertes Salz verwenden⁶⁴.

6. Trends beim Jodstatus in den vergangenen zwanzig Jahren

Die Schweizer Strategie zur Salzzodierung und der nationale Jodstatus der Bevölkerung werden alle fünf Jahre mit finanzieller Unterstützung durch den Bund überprüft. Landesweite repräsentative UIC-Studien wurden 1999, 2004, 2009 und 2015 durchgeführt und zeigten eine ausreichende und stabile Jodversorgung bei Schulkindern und eine knapp ausreichende Zufuhr bei schwangeren Frauen [Tab. 1](#), [Abb. 1](#), ^{60–62}. Im Jahr 2004 war der Median der UIC bei schwangeren Frauen deutlich höher als in den übrigen Untersuchungs Jahren, wir fanden dafür aber keine Erklärung. Denkbar wäre, dass gewisse Urinproben durch Jod aus Teststreifen kontaminiert waren, die von den teilnehmenden Kliniken zur Glucose-Messung im Urin verwendet wurden^{61, 65}.

Tabelle 1: Jodkonzentration im Urin (UIC) in der Schweizer Bevölkerung, nach Bevölkerungsgruppe und Jahr.

| Bevölkerungsgruppe | Jahr | Verwaltungsebene | n | UIC-Median (95%-CI) ¹ (µg/l) | IQR (25.–75. Perz.) ² | Referenzen | |
|------------------------------|--------------|------------------|----------|---|----------------------------------|-----------------|--------|
| Schulkinder | 1999 | National | 600 | 115 (106, 120) ^{3, a} | 84, 157 | 60 | |
| | 2004 | National | 362 | 117 (109, 126) ^a | 81, 164 | 61 ⁴ | |
| | 2009 | National | 916 | 120 (116, 124) ^a | 82, 157 | 62 | |
| | 2015 | National | 727 | 137 (131, 143) ^b | 100, 188 | 63 | |
| Erwachsene | 2010–12 | National | 1420 | 76 (73, 79) | 51, 113 | 66 | |
| Frauen im gebärfähigen Alter | 2008 | Lokal, Zürich | 683 | 79 (73, 85) | 38, 131 | 46 | |
| | 2015 | National | 345 | 88 (72, 104) | 45, 171 | 63 | |
| schwängere Frauen | 1999 | National | 511 | 138 (129, 152) ^{3, a} | 76, 248 | 60 | |
| | 2004 | National | 252 | 249 (223, 280) ^b | 134, 453 | 61 | |
| | 2009 | National | 648 | 162 (144, 177) ^a | 81, 302 | 62 | |
| | 2015 | National | 359 | 140 (124, 159) ^a | 65, 314 | 63 | |
| Stillende Frauen/ Mütter | 2009 | National | 507 | 75 (69, 81) | 42, 123 | 62 | |
| Kleinkinder | | | | | | | |
| | 3–4 Tage alt | 2007 | National | 368 | 91 (82, 99) ^{3, a} | 54, 138 | 62, 68 |
| | 6 Monate | 2009 | National | 279 | 91 (79, 103) ^a | 53, 163 | 62 |
| 12 Monate | 2009 | National | 228 | 103 (92, 116) ^a | 61, 157 | 62 | |

1 Bei diesen Werten handelt es sich um Mediane und durch Bootstrapping errechnete 95%-Konfidenzintervalle.

2 Bei diesen Werten handelt es sich um Interquartilabstände (IQR).

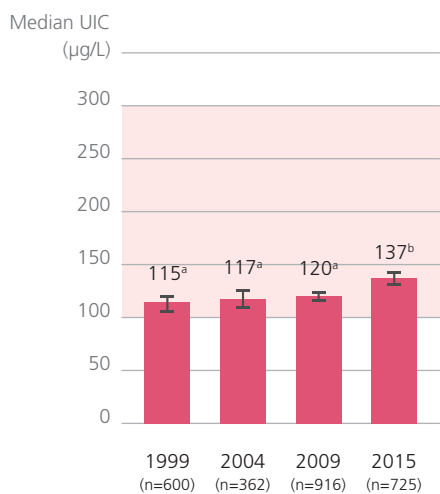
3 Die Unterschiede zwischen den

Studienorten wurden getestet mit dem Kruskal-Wallis-Test, gefolgt vom Mann-Whitney-Test (Post-hoc-Test) mit Bonfer-

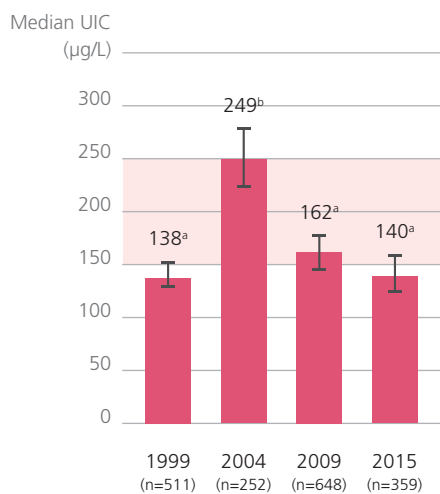
roni-Korrektur. Werte in einer Zelle, die mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben bezeichnet sind, unterscheiden

sich statistisch signifikant (P < 0.001).

4 Die Rohdaten sind neu analysierte Daten aus der ursprünglichen Studie.



Schulkinder



schwängere Frauen

Abbildung 1: Median der UIC (95%-Bootstrapping-Konfidenzintervall) bei Schweizer Schulkindern und schwängeren Frauen nach Jahr (60–63). UIC, Jodkonzentration im Urin. Der schattierte Bereich legt die optimale Jodaufnahme über die Ernährung gemäss WHO-Grenzwerten für den UIC fest (4, 32). Die Unterschiede des UIC-Medians zwischen den einzelnen Jahren wurden getestet mit dem Kruskal-Wallis-Test, gefolgt vom Mann-Whitney-Test (Post-hoc-Test) mit Bonferoni-Korrektur. Werte, die mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben bezeichnet sind, unterscheiden sich statistisch signifikant (P < 0.05).

6.1 Erwachsene

In zwei Studien an Erwachsenen lag der Median der UIC unter dem WHO-Schwellenwert von 100 µg/l, wobei insbesondere bei Frauen eine niedrige Jodaufnahme festgestellt wurde ^{Tab. 1, 46, 66}. Besonders gefährdet für einen Jodmangel sind Personen, die sich vegan ernähren ⁶⁷ (siehe Beitrag «Sind Milch und Milchprodukte gute Jodquellen?»).

6.2 Stillende Frauen und Kleinkinder

2007 und 2009 bis 2010 durchgeführte nationale Studien mit stillenden Frauen und Kleinkindern zeigten für 3 bis 4 Tage alte Säuglinge sowie 6 und 12 Monate alte Kleinkinder eine niedrige Jodzufuhr, womit das Risiko eines Jodmangels besteht ^{Tab. 1, 62, 68}. Aktuelle Daten zu 2- bis 5-monatigen Säuglingen ergaben einen geschätzten durchschnittlichen Bedarf (estimated average requirement, EAR) von 72 µg/d und eine empfohlene Tagesdosis (recommended daily allowance, RDA) von 80 µg/d für die ersten Lebensmonate ²⁸. Die Kleinkinder in der Schweizer Studie hatten einen UIC-Median von rund 100 µg/l. Bei einer Bioverfügbarkeit von 87 % für Jod ²⁸ und einem Urinvolumen von 500 ml entspricht dies einer geschätzten Jodaufnahme von 43 µg pro Tag, was weit unter dem Bedarf liegt ^{28, 69}. Der Median für die Jodkonzentration in der Muttermilch betrug bei stillenden Frauen 49 µg/kg (n = 179) ⁶², mehr als dreimal weniger als der empfohlene Median (breast milk iodine concentration, BMIC) von rund 170 µg/kg ⁴³. Nicht weniger als 65 % der Frauen hatten einen BMIC unterhalb der neu empfohlenen Bandbreite ⁴³. Diese Daten lassen vermuten, dass bei 90 % der ausschliesslich mit Muttermilch gestillten Säuglinge das Risiko eines Jodmangels besteht.

7. Nationale Schweizer Jodstudie von 2015

Im Bestreben, die Gesamtaufnahme von Jod in der Schweizer Bevölkerung zu verbessern, wurde die Jodkonzentration im Salz im Januar 2014 von 20 auf 25 mg/kg angehoben. Dieser Entscheid wurde durch eine Gruppe von Fachpersonen gestützt, die von der Eidgenössischen Ernährungscommission (EEK), vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) und von der Fluor- und Jodkommission (FJK) beauftragt worden war ⁷⁰, und durch die Schweizer Salinen AG umgesetzt.

Von April 2015 bis Januar 2016 wurde eine nationale Querschnittstudie durchgeführt, die darauf abzielte, die Wirkung der angehobenen Jodkon-

zentration im Salz auf den Gesamtjodstatus zu untersuchen ⁶³. Die Studie hatte dasselbe Design wie vorangehende nationale Studien und wurde bei 6- bis 12-jährigen Schulkindern (n = 732), Frauen im reproduktionsfähigen Alter zwischen 18 und 44 Jahren (n = 353) und schwangeren Frauen (n = 363) durchgeführt. Die UIC wurde in Urinproben aller drei Gruppen analysiert und die Schilddrüsenfunktion (Thyreoglobulin, TSH und Gesamt-T4) wurde mittels DBS-Proben der Frauen gemessen. Ausserdem wurden Haushaltssalzproben bei einer zufälligen Auswahl der teilnehmenden Kinder gesammelt und die Jodkonzentration des Haushaltssalzes gemessen.

In jüngerer Zeit wurde darüber berichtet, dass nicht jodiertes Salz aus Italien in der Region Tessin auf den Markt gekommen sein könnte. Um in Erfahrung zu bringen, ob der Jodstatus im Tessin tiefer ist als in der restlichen Schweiz, nahmen wir mehr Proben von Schulkindern in der italienischen Schweiz (Übervertretung um den Faktor 4.5).

7.1 Schul Kinder

An der Studie nahmen 29 Schulen aus allen fünf Regionen teil. Alle Regionen waren gut vertreten, mit Ausnahme der Region Nordost, wo lediglich 41 % der angestrebten Zahl von Kindern rekrutiert wurden. Gemeinden mit einer Bevölkerungszahl von über 99 999 waren untervertreten: Hier wurden fünfmal weniger Personen rekrutiert als geplant.

Die gemessene Jodkonzentration in den gesammelten Salzproben (n = 193) war in 82,9 % der Fälle adäquat (15–40 mg/kg) und in 4,7 % niedrig (5–15 mg/kg). Kein Jod (weniger als 5 mg/kg) war in 12,4 % der Salzproben vorhanden, hingegen enthielt keine der Proben eine Jodkonzentration von über 40 mg/kg. Der Median der Jodkonzentration in den jodierten Salzproben (≥ 5 mg/kg) betrug 23,9 mg/kg (IQR: 21,8 bis 25,4 mg/kg) (n = 169). Die Jodkonzentration in den Salzproben aus dem Tessin (n = 37) unterschied sich nicht von der Konzentration in den übrigen Regionen insgesamt (P = 0,670).

Der Median der UIC bei den Schulkindern insgesamt betrug 137 $\mu\text{g/l}$ (IQR: 100–187 $\mu\text{g/l}$, n = 725) und war damit höher als der Median der UIC von 120 $\mu\text{g/l}$ (IQR: 82–157 $\mu\text{g/l}$), der 2009 gemessen worden war (n = 916, P < 0,001 [Abb. 1](#)). Zwischen Mädchen und Jungen waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen (130 $\mu\text{g/l}$ vs. 143 $\mu\text{g/l}$, P = 0,055), und es gab keine Korrelation zwischen UIC und Alter.

Alle fünf geografischen Regionen der Schweiz wiesen einen Median der UIC von mindestens 100 $\mu\text{g/l}$ auf, wobei die Bandbreite von 128 bis 163 $\mu\text{g/l}$ reichte. Der höchste UIC-Median wurde mit 163 $\mu\text{g/l}$ (IQR: 109–228 $\mu\text{g/l}$)

überraschenderweise im Tessin beobachtet (n = 142), der damit deutlich über dem UIC-Median von 133 µg/l (IQR: 98–179 µg/l) der übrigen vier Regionen insgesamt lag (n = 589) (P < 0,0001).

7.2 Frauen im gebärfähigen Alter

Insgesamt nahm eine Stichprobe von 361 Frauen von 18 gynäkologischen Praxen oder Kliniken teil. Acht Versuchspersonen wurden ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien nicht erfüllten, womit die definitive Stichprobe 353 Frauen im gebärfähigen Alter umfasste. Aus der Region Nordostschweiz beteiligte sich lediglich eine Klinik, womit die Region in der Stichprobe untervertreten war.

93 % der Frauen gaben an, dass sie in ihrem Haushalt jodiertes Salz verwenden. Der UIC-Median bei den Frauen im gebärfähigen Alter insgesamt betrug 88 µg/l (IQR: 45–171 µg/l) (n = 345) und lag damit unter dem WHO-Schwellenwert von 100 µg/l für eine ausreichende Jodversorgung. Der Median der DBS-Tg-Konzentration betrug 23,1 µg/l (IQR: 15,7–35,4 µg) [Tab. 2](#). Die Prävalenz von subklinischen und klinisch sichtbaren Schilddrüsenstörungen war gering und vergleichbar mit einer typischen Bevölkerung mit normaler Schilddrüsenfunktion [Tab. 2](#).

Tabelle 2: DBS-TSH, DBS-Total-T4, DBS-Tg und Prävalenz von Schilddrüsenstörungen bei Frauen im gebärfähigen Alter und schwangeren Frauen.

| | Frauen im gebärfähigen Alter | | Schwangere Frauen | |
|---|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | n | Wert | n | Wert |
| TSH (mU/l) ¹ | 350 | 0,8 (0,6; 1,0) | 352 | 0,8 (0,6; 1,1) |
| Total T4 (nmol/L) ² | 350 | 113,4 (37,5) | 351 | 132,5 (33,7) |
| Tg (µg/L) ¹ | 349 | 23,1 (15,7; 35,4) | 347 | 23,8 (15,5; 35,3) |
| subklinische Hypothyreose (% [n]) ³ | 350 | 0,3 [1] | 351 | 0,9 [3] |
| Hypothyreose (% [n]) ⁴ | 350 | 0,3 [1] | 351 | 0,2 [1] |
| subklinische Hyperthyreose (% [n]) ⁵ | 350 | 0,0 [0] | 351 | 0,0 [0] |
| Hyperthyreose (% [n]) ⁶ | 350 | 0,0 [0] | 351 | 0,0 [0] |
| isolierte Hypothyroxinämie (% [n]) ⁷ | 350 | 3,4 [12] | 351 | 4,8 [17] |
| erhöhtes Tg (% [n]) ⁸ | – | – ⁹ | 347 | 12,7 [44] |
| TgAb-positives Tg (% [n]) ¹⁰ | – | – | 255 | 23,1 [59] |

1 Bei den Daten handelt es sich um den Median (bzw. Interquartilabstand); alle aufgeführten Werte

2 Bei den Daten handelt es sich um das geometrische Mittel (SD); alle aufgeführten Werte

3 Definiert als erhöhtes TSH und normales Total-T4

4 Definiert als erhöhtes TSH und niedriges Total-T4

5 Definiert als niedriges TSH und normales Total-T4

6 Definiert als niedriges TSH und erhöhtes Total-T4

7 Definiert als niedriges TSH und normales Total-T4

8 Definiert als Tg > 43,5 µg/l (33)

9 Kein Referenzbereich verfügbar

10 Definiert als TgAb ≥ 65 U/ml.

7.3 Schwangere Frauen

Die Stichprobe umfasste insgesamt 375 schwangere Frauen von 18 Praxen oder Kliniken. Zwölf Versuchspersonen wurden ausgeschlossen, weil sie die Einschlusskriterien nicht erfüllten, womit die endgültige Stichprobe 363 schwangere Frauen umfasste. Der UIC-Median ($n = 359$) betrug $140 \mu\text{g/l}$ (IQR: $65\text{--}313 \mu\text{g/l}$) und lag damit unter dem WHO-Schwellenwert von $150 \mu\text{g/l}$ für eine ausreichende Jodversorgung, wich aber nicht statistisch signifikant vom Wert von 2009 ab ($162 \mu\text{g/l}$, IQR: $81\text{--}302$, $n = 648$, $P = 0,071$). 85 % der Frauen gaben an, dass sie zuhause jodiertes Salz verwenden. 41 % nahmen in der Schwangerschaft jodhaltige Nahrungsergänzungen zu sich (mit $150\text{--}220 \mu\text{g}$ Jod pro Tag). Der UIC-Median war jedoch bei Frauen mit und Frauen ohne Nahrungsergänzungen gleich ($P = 0,589$).

Der Median der DBS-Tg-Konzentration betrug $23,8 \mu\text{g/l}$ (IQR: $15,5\text{--}35,3 \mu\text{g/l}$) und unterschied sich damit statistisch nicht vom Median der DBS-Tg-Konzentration der Frauen im gebärfähigen Alter ($P = 0,968$) Tab. 2. Die Prävalenz einer erhöhten DBS-Tg-Konzentration lag bei 12,7%. Die Prävalenz von subklinischer Hypothyreose, subklinischer Hyperthyreose und isolierter mütterlicher Hypothyroxinämie betrug 0,9 % bzw. 0 % bzw. 4,8 %.

8. Diskussion

Die Jodaufnahme ist in der Schweiz bei Schulkindern ausreichend, unterschreitet aber die empfohlenen Werte für Frauen im gebärfähigen Alter, schwangere und stillende Frauen sowie Kleinkinder. Die Anhebung des Jodgehalts im Salz von 20 mg/kg auf 25 mg/kg im Jahr 2014 könnte zur leichten Verbesserung des Jodstatus bei Schulkindern beigetragen haben, zeigte jedoch keine Auswirkungen auf Frauen im gebärfähigen Alter oder schwangere Frauen. Aktuelle Daten aus Ländern mit vergleichbarer Salzaufnahme und derselben Salzanreicherung (25 mg/kg)^{21,71} zeigen, dass diese Jodkonzentration im Salz in Kombination mit einer obligatorischen Salzjodierung und einer hohen Abdeckung ausreicht, um den Bedarf aller Bevölkerungsgruppen zu decken Abb. 2, 21. Die in der Schweiz beobachtete UIC ist in allen Bevölkerungsgruppen deutlich tiefer, was auf eine insgesamt niedrige Abdeckung mit jodiertem Salz hinweist.

Jodiertes Salz ist für die Schweizer Bevölkerung im Rahmen der Ernährung noch immer die Hauptquelle für Jod. Die Verwendung von jodiertem Salz in den Privathaushalten ist nach wie vor hoch ($> 80 \%$) und zufriedenstel-

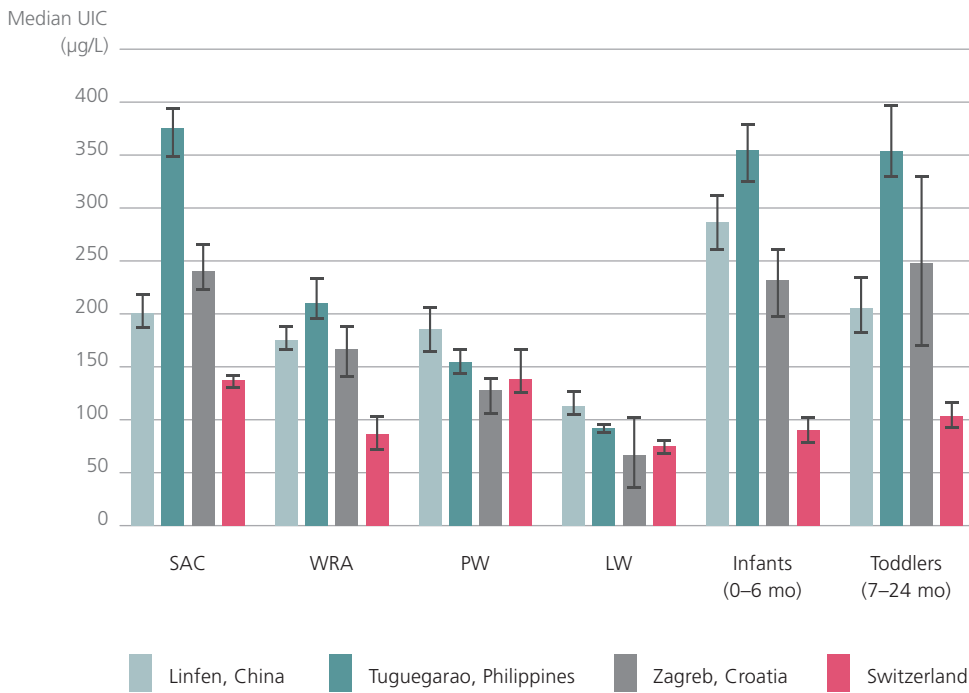


Abbildung 2: Median der UIC (95%-Bootstrap-Konfidenzintervall) bei den 6 Bevölkerungsgruppen nach Studienort (Studienorte mit ausreichender Jodversorgung sind blau/grau (21), die Daten der Schweiz rot (63) dargestellt). UIC: Jodkonzentration im Urin; SAC: Kinder im Schulalter; WRA: Frauen im gebärfähigen Alter; PW: schwangere Frauen; LW: stillende Frauen. Die Unterschiede des UIC-Medians zwischen den einzelnen Studienstandorten wurden getestet mit dem Kruskal-Wallis-Test gefolgt vom Mann-Whitney-Test (Post-hoc-Test) mit Bonferroni-Korrektur. Werte, die mit unterschiedlichen hochgestellten Buchstaben bezeichnet sind, unterscheiden sich statistisch signifikant ($P < 0.05$).

lend⁶². Daten zum Anteil der Lebensmittel, die in der Schweiz mit jodiertem Salz produziert werden, liegen nur beschränkt vor, die Abdeckung scheint aber unvollständig: Lediglich 61 % des verkauften Speisesalzes waren 2017 jodiert (Persönliche Kommunikation S. Trachsel, 2018). Lebensmittel, die ausserhalb des Privathaushalts hergestellt oder zubereitet werden, d. h. konsumfertige Gerichte aus einem Laden oder Restaurant, sind in der westlichen Ernährung die Hauptquelle für Salz (70–80 % des gesamten konsumierten Salzes)⁷². Daher ist die Verwendung von jodiertem Salz in solchen Produkten wichtig, um den Jodbedarf zu decken. Die nationale Politik und Gesetzgebung für die Verwendung von jodiertem Salz unterscheidet sich in Europa von Land zu Land. Eine einheitliche europäische Politik würde die Verwendung von jodiertem Salz in der Lebensmittelindustrie vereinfachen und könnte nicht nur in Europa, sondern auch in der Schweiz die wirkungsvollste Massnahme zur Verbesserung der Jodversorgung sein⁷³. Die nationale Strategie zur Verringerung der Salzzufuhr ergänzt das Jodierungsprogramm, die beiden Strategien müssen aber aufeinander abgestimmt werden^{74, 75}.

Kuhmilch und Milchprodukte sind in der Schweiz weitere wichtige Quellen für Jod, das über die Ernährung aufgenommen wird, insbesondere bei Kindern^{76, 77} (siehe Beitrag «Sind Milch und Milchprodukte gute Jodquellen?»). Es fehlen Daten zum Konsum von Milch und Milchprodukten bei Kindern in der Schweiz. Ein Glas (0,3 l) Schweizer Milch dürfte jedoch im Durchschnitt schätzungsweise 26 µg Jod⁷⁷ beitragen – das sind rund 22 bis 29 % der empfohlenen Tagesdosis an Jod für Kinder^{4, 69}.

Ist die beobachtete geringe Aufnahme über die Ernährung beunruhigend? Die Prävalenz einer subklinischen und klinischen Unter- oder Überfunktion der Schilddrüse bei Frauen im gebärfähigen Alter und bei schwangeren Frauen war in der nationalen Studie von 2015 tief. Eine normal funktionierende Schilddrüse ist im Allgemeinen in der Lage, sich an eine leicht zu tiefe Jodversorgung anzupassen und eine normale Schilddrüsenhormonproduktion aufrechtzuerhalten⁷⁸. Eine über längere Zeit niedrige Jodaufnahme führt jedoch zu einem niedrigen in der Schilddrüse gespeicherten Jodvorrat und birgt damit das Risiko einer zu geringen Jodversorgung in Zeiten eines erhöhten physiologischen Bedarfs, namentlich während Schwangerschaft und Stillzeit. Es ist erwiesen, dass die Versorgung mit Schilddrüsenhormonen (T3 und T4) durch die Mutter für die Entwicklung des Fötus wichtig ist, insbesondere im ersten und zweiten Trimenon⁷⁹. Mit der Hormonproduktion während der Schwangerschaft muss sowohl der Bedarf der Mutter als auch der Bedarf des Fötus gedeckt werden. Eine isolierte Hypothyroxinämie der Mutter (definiert als tiefes T4 und normales TSH) wurde bei 4,8 % der schwangeren Frauen beobachtet. Es ist nicht auszuschliessen, dass eine suboptimale Jodaufnahme bei schwangeren Frauen in der Schweiz in Kombination mit einem niedrigen Jodvorrat in der Schilddrüse aufgrund einer vor der Schwangerschaft zu geringen Aufnahme die Gesamtproduktion von T4 beeinträchtigt. Eine isolierte mütterliche Hypothyroxinämie in der ersten Hälfte der Schwangerschaft kann problematisch sein, denn sie wurde in Beobachtungsstudien⁸⁰⁻⁸³ mit einem niedrigeren IQ im Kindesalter, einer verzögerten Motorik des Kindes und mit einem problematischen Verhalten im Kleinkind- und Schulalter in Verbindung gebracht. Allerdings wurde nach einer T4-Behandlung keine Verbesserung des IQ des Kindes oder der kognitiven Ergebnisse beobachtet^{84, 85}.

Frauen im gebärfähigen Alter und schwangere Frauen wiesen auch relativ hohe Thyreoglobulinkonzentrationen auf, die höher waren als zuvor bei Bevölkerungsgruppen mit ausreichender Jodaufnahme festgestellt³³. Die Thyreoglobulinkonzentration lag bei 13 % der Schwangeren über den normalen Referenzbereichen, was vermutlich auf eine erhöhte Schilddrüsenaktivität aufgrund von Jodmangel hinweist. Die klinische Relevanz und die Gefahr einer Schilddrüsenenerkrankung bei Frauen mit erhöhter Thyreoglobulinkonzentration sind jedoch unklar. Eine längerfristige Schilddrüsenüberfunktion könnte das Risiko für eine Wachstums- und Funktionsautonomie der Schilddrüse erhöhen. Eine solche funktionelle Autonomie der Schilddrüse ist eine häufige Ursache für eine Schilddrüsenüberfunktion bei älteren Menschen. Für eine bessere Beurteilung der Auswirkungen der geringen Jodaufnahme in der Schweizer Bevölkerung sind weitere Daten zur Schilddrüsenfunktion erforderlich.

Die untersuchten Daten weisen auch darauf hin, dass bei den stillenden Frauen in der Schweiz ein Jodmangel besteht. Ihre durchschnittliche Jodkonzentration in der Muttermilch ist dreimal tiefer als bei Bevölkerungsgruppen mit ausreichender Jodversorgung^{21, 43, 86}. Der Jodbedarf im Kleinkindalter ist hoch^{28, 69}, da Kleinkinder mit minimalen Jodvorräten in der Schilddrüse geboren werden und die Produktion von T4 in der Kindheit dreimal höher ist als bei Erwachsenen^{87, 88}. Der UIC-Median bei Kleinkindern in der Schweiz weist auf eine niedrige Jodaufnahme hin^{62, 68}, und sowohl bei ausschliesslich gestillten Säuglinge als auch bei entwöhnten Kleinkindern besteht die Gefahr eines Jodmangels aufgrund einer geringen Jodkonzentration in der Muttermilch⁶² und aufgrund der kinderärztlichen Empfehlungen, Speisen nicht zu salzen und in diesem Alter wenig Kuhmilch zu geben⁸⁹.

Eine Jodsupplementierung für schwangere und stillende Frauen kann hilfreich sein, um die Jodaufnahme zu erhöhen, wenn die Abdeckung mit jodiertem Salz ungenügend ist^{20, 90}. In mehreren Ländern wird Frauen empfohlen, während Schwangerschaft und Stillzeit eine Nahrungsergänzung mit 150 µg Jod täglich einzunehmen^{91–96}. Eine solche Supplementierung wird jedoch im Allgemeinen am Ende des ersten Trimenons verschrieben und deckt damit möglicherweise das erste Trimenon nicht ab, das für die fetale Gehirnentwicklung besonders kritisch ist⁹⁷. Kontrollierte und randomisierte Studien mit Jodsupplementierung bei schwangeren Frauen mit leichtem Jodmangel zeigten einen verbesserten Jodstatus der Frauen, aber keinen langfristigen Nutzen für die Entwicklung der Kinder¹⁶. Es ist möglich, dass schwangere Frauen in der Lage sind, eine mässig tiefe Jodaufnahme physiologisch zu kompensieren und eine normale Schilddrüsenfunktion des Fötus aufrechtzuerhalten und damit eine gesunde intrauterine Entwicklung zu gewährleisten. Zur Jodsupplementierung bei schwangeren Frauen liegen nur beschränkt Daten vor. In den USA enthalten 62 % der Vitaminpräparate für Schwangere Jod⁹⁸, in Europa ist dies bei den meisten Präparaten nicht der Fall (unveröffentlichte Daten). In der Schweiz enthält rund die Hälfte der verschriebenen Vitaminpräparate Jod, das am häufigsten verwendete Produkt jedoch nicht. Die Einnahme von jodhaltigen Nahrungsergänzungen während der Schwangerschaft ist von 15 % im Jahr 2009 auf 41 % im Jahr 2015 gestiegen^{62, 63}. Auch wenn wir in der Studie von 2015 zwischen Frauen, die ein jodhaltiges Präparat einnehmen, und anderen Frauen keinen statistisch signifikanten Unterschied beim UIC-Median festgestellt haben, dürften Jodsupplementierungen in der Schwangerschaft eine wichtige Rolle spielen und zur Gesamtaufnahme von Jod in dieser Gruppe beitragen.

Eine Jodaufnahme, die den täglichen Bedarf überschreitet, wird im Allgemeinen von einer gesunden Schilddrüse gut toleriert^{99, 100, 101}. Bei emp-

findlichen Personen wurde jedoch sowohl eine akut als auch eine chronisch übermässige Jodaufnahme mit Schilddrüsenstörungen in Verbindung gebracht^{99–102}.

Zusammengefasst ist die Jodaufnahme in der Schweiz bei Schulkindern ausreichend, sie unterschreitet aber die empfohlenen Werte für Frauen im gebärfähigen Alter, schwangere und stillende Frauen sowie Kleinkinder. Trotz einer langjährigen und erfolgreichen Strategie der freiwilligen Salzzodierung und eines regelmässigen Monitorings zum Jodstatus ist die Abdeckung durch das aktuelle nationale Programm derzeit nicht ausreichend. Der Anteil von jodiertem Salz ist in den Haushalten immer noch hoch, bei den verarbeiteten Lebensmitteln aber unzureichend. Ziel sollte eine universelle Salzzodierung sein, d. h. alles Speisesalz sollte Jod enthalten. Frühere Studien zeigen, dass eine universelle Salzzodierung mit mindestens 25 mg Jod pro kg Salz ausreicht, um den über die Nahrung zugeführten Jodbedarf aller Bevölkerungsgruppen zu decken²¹. Zur Sicherstellung einer adäquaten Jodaufnahme für alle Bevölkerungsgruppen müssen neue Strategien gewährleisten, dass insbesondere in der Lebensmittelproduktion vermehrt jodiertes Salz verwendet wird. Besonders wichtig ist eine ausreichende Jodzufuhr für Frauen vor einer Schwangerschaft, da sonst die Gefahr eines Jodmangels beim Fötus im kritischen Zeitraum der frühen Schwangerschaft besteht. Eine gezielte Jodsupplementierung für schwangere und stillende Frauen ist vermutlich sicher und kann eine mögliche zwischenzeitliche Massnahme sein, um einen Jodmangel bei Neugeborenen und gestillten Kleinkindern zu vermeiden.

Maria Andersson¹, Isabelle Herter-Aeberli²

¹ Abteilung Gastroenterologie und Ernährung, Universitäts-Kinderspital Zürich, Schweiz;

Iodine Global Network, Ottawa, ON, Canada

² Labor für Humanernährung, Institut für Lebensmittelwissenschaften,

Ernährung und Gesundheit, ETH Zürich, Schweiz

Korrespondenzadresse

Maria Andersson

Abteilung Gastroenterologie und Ernährung

Universitäts-Kinderspital Zürich

Steinwiesstrasse 75

8032 Zürich

E-Mail: maria.andersson@hest.ethz.ch

Zitierweise

Andersson M, Herter-Aeberli I (2018) Jodstatus in der Schweizer Bevölkerung.

Schweizer Ernährungsbulletin: Seiten 63–83

DOI: 10.24444/blv-2018-0111

Finanzierungsquellen

Unterstützt vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV und von der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH Zürich

Interessenkonflikt

Die Autorinnen geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Die erwähnten Studien wurden unterstützt vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV und von der ETH Zürich. Wir danken Michael Zimmermann für die Bereitstellung der Daten aus den nationalen Studien 1999 und 2004 und Stefan Trachsel, Schweizer Salinen AG, für die Verkaufszahlen zum Salz. Wir danken den ETH-Studierenden Lea Wildeisen, Friederike Becker, Elisabeth Schlunke, Lisa Mazzolini, Alexandra Thoma, Simon Hartung und Matthias Buchli für ihre Mitarbeit an der nationalen Jodstudie von 2015 und Sara Stinca und Sandra Hunziker für ihre Unterstützung mit den Laboranalysen.

Referenzen

- 1** Zimmermann MB. The effects of iodine deficiency in pregnancy and infancy. *Paediatr Perinat Epidemiol* 2012; 26 Suppl 1: 108–17.
- 2** Brent GA. Mechanisms of thyroid hormone action. *J Clin Invest* 2012; 122(9): 3035–43.
- 3** Fuge R, Johnson CC. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Appl Geochem* 2015; 63: 282–302.
- 4** WHO, UNICEF, ICCIDD. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. A guide for programme managers, 3rd edition. Geneva: World Health Organization, 2007.
- 5** Andersson M, Takkouche B, Egli I, Allen HE, de Benoist B. Current global iodine status and progress over the last decade towards the elimination of iodine deficiency. *Bull World Health Organ* 2005; 83(7): 518–25.
- 6** Iodine Global Network. Internet: http://www.ign.org/cm_data/IGN_Global_Scorecard_AllPop_and_PW_May2017.pdf (accessed 28 August 2017).
- 7** Gizak M, Gorstein J, Andersson M. Epidemiology of iodine deficiency. Edtion ed. In: Pearce E, ed. Iodine deficiency disorders and their eradication. New York, NY: Springer, 2017: 29–43.
- 8** Zimmermann MB, Gizak M, Abbott K, Andersson M, Lazarus JH. Iodine deficiency in pregnant women in Europe. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2015; 3(9): 672–4.
- 9** Eastman CJ, Zimmermann MB. The iodine deficiency disorders. Edtion ed. In: De Groot LJ, Chrousos G, Dungan K, al. E, eds. *Thyroid Disease Manager Endotext* [Internet] South Dartmouth (MA): MDTextcom, Inc; 2000– (Available at: <http://www.thyroidmanager.org/chapter/the-iodine-deficiency-disorders/>) (accessed Feb 27, 2018).
- 10** Pearce EN, Lazarus JH, Moreno-Reyes R, Zimmermann MB. Consequences of iodine deficiency and excess in pregnant women: an overview of current knowns and unknowns. *Am J Clin Nutr* 2016; 104 Suppl 3: 918S–23S.
- 11** Bath SC, Steer CD, Golding J, Emmett P, Rayman MP. Effect of inadequate iodine status in UK pregnant women on cognitive outcomes in their children: results from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *Lancet* 2013; 382(9889): 331–7.
- 12** Hynes KL, Otahal P, Hay I, Burgess JR. Mild iodine deficiency during pregnancy is associated with reduced educational outcomes in the offspring: 9-year follow-up of the gestational iodine cohort. *J Clin Endocrinol Metab* 2013; 98(5): 1954–62.
- 13** Rebagliato M, Murcia M, Alvarez-Pedrerol M, et al. Iodine Supplementation During Pregnancy and Infant Neuropsychological Development INMA Mother and Child Cohort Study. *Am J Epidemiol* 2013; 177(9): 944–53.
- 14** Zhou SJ, Anderson AJ, Gibson RA, Makrides M. Effect of iodine supplementation in pregnancy on child development and other clinical outcomes: a systematic review of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2013; 98(5): 1241–54.
- 15** Taylor PN, Okosieme OE, Dayan CM, Lazarus JH. Therapy of Endocrine Disease: Impact of iodine supplementation in mild-to-moderate iodine deficiency: systematic review and meta-analysis. *Eur J Endocrinol* 2014; 170(1): R1–R15.
- 16** Gowachirapant S, Jaiswal N, Melse-Boonstra A, et al. Effect of iodine supplementation in pregnant women on child neurodevelopment: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2017.
- 17** Cao XY, Jiang XM, Dou ZH, et al. Timing of vulnerability of the brain to iodine deficiency in endemic cretinism. *N Engl J Med* 1994; 331(26): 1739–44.
- 18** Stinca S, Andersson M, Herter-Aeberli I, et al. Moderate-to-Severe Iodine Deficiency in the "First 1000 Days" Causes More Thyroid Hypofunction in Infants Than in Pregnant or Lactating Women. *J Nutr* 2017; 147(4): 589–95.
- 19** Bougma K, Aboud FE, Harding KB, Marquis GS. Iodine and mental development of children 5 years old and under: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients* 2013; 5(4): 1384–416.

20

WHO Secretariat, Andersson M, de Benoist B, Delange F, Zupan J. Prevention and control of iodine deficiency in pregnant and lactating women and in children less than 2-years-old: conclusions and recommendations of the Technical Consultation. *Public health nutrition* 2007; 10(12A): 1606–11.

21

Dold S, Zimmermann MB, Jukic T, et al. Universal salt iodization provides sufficient dietary iodine to achieve adequate iodine nutrition during the first 1000 days: A cross-sectional multicenter study. *J Nutr* 2018; 148(4): 587–598.

22

Meng F, Zhao R, Liu P, Liu L, Liu S. Assessment of iodine status in children, adults, pregnant women and lactating women in iodine-replete areas of China. *PLoS one* 2013; 8(11): e81294.

23

Yang J, Zhu L, Li X, et al. Iodine status of vulnerable populations in Henan province of China 2013–2014 after the implementation of the new iodized salt standard. *Biol Trace Elem Res* 2016; 173(1): 7–13.

24

Aburto N, Abudou M, Candeias V, Wu T. Effect and safety of salt iodization to prevent iodine deficiency disorders: a systematic review with meta-analyses. WHO eLibrary of Evidence for Nutrition Actions (eLENA). Geneva: World Health Organization, 2014.

25

Jahreis G, Hausmann W, Kiessling G, Franke K, Leiterer M. Bioavailability of iodine from normal diets rich in dairy products – results of balance studies in women. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 2001; 109(3): 163–7.

26

König F, Andersson M, Hotz K, Aeberli I, Zimmermann MB. Ten repeat collections for urinary iodine from spot samples or 24-h samples are needed to reliably estimate individual iodine status in women. *J Nutr* 2011; 141(11): 2049–54.

27

Karmisholt J, Laurberg P, Andersen S. Recommended number of participants in iodine nutrition studies is similar before and after an iodine fortification programme. *Eur J Nutr* 2014; 53(2): 487–92.

28

Dold S, Zimmermann MB, Baumgartner J, et al. A dose-response crossover iodine balance study to determine iodine requirements in early infancy. *Am J Clin Nutr* 2016; 104(3): 620–8.

29

Rousset B, Dupuy C, Mitot F, Dumont J. Thyroid hormone synthesis and secretion. Edition ed. *Thyroid disease manager*. Available at: <http://www.thyroid-manager.org>. (Accessed: March 5, 2018), 2015.

30

Ma ZF, Skeaff SA. Thyroglobulin as a biomarker of iodine deficiency: a review. *Thyroid* 2014; 24(8): 1195–209.

31

Krejbjerg A, Bjergved L, Pedersen IB, et al. Serum thyroglobulin as a biomarker of iodine deficiency in adult populations. *Clin Endocrinol* 2016; 85(3): 475–82.

32

Zimmermann MB, Aeberli I, Andersson M, et al. Thyroglobulin is a sensitive measure of both deficient and excess iodine intakes in children and indicates no adverse effects on thyroid function in the UIC range of 100–299 µg/L: a UNICEF/ICCIDD study group report. *J Clin Endocrinol Metab* 2013; 98(3): 1271–80.

33

Stinca S, Andersson M, Weibel S, et al. Dried blood spot thyroglobulin as a biomarker of iodine status in pregnant women. *J Clin Endocrinol Metab* 2017; 102(1): 23–32.

34

Ma ZF, Venn BJ, Manning PJ, Cameron CM, Skeaff SA. Iodine Supplementation of Mildly Iodine-Deficient Adults Lowers Thyroglobulin: A Randomized Controlled Trial. *J Clin Endocrinol Metab* 2016; 101(4): 1737–44.

35

Zimmermann MB, de Benoist B, Corigliano S, et al. Assessment of iodine status using dried blood spot thyroglobulin: development of reference material and establishment of an international reference range in iodine-sufficient children. *J Clin Endocrinol Metab* 2006; 91(12): 4881–7.

36

Bath SC, Pop VJ, Furmidge-Owen VL, Broeren MA, Rayman MP. Thyroglobulin as a Functional Biomarker of Iodine Status in a Cohort Study of Pregnant Women in the United Kingdom. *Thyroid* 2017; 27(3): 426–33.

37

Nepal AK, Suwal R, Gautam S, et al. Subclinical hypothyroidism and elevated thyroglobulin in infants with chronic excess iodine intake. *Thyroid* 2015; 25(7): 851–9.

38

Farebrother J, Assay V, Castro MC, et al. Thyroglobulin is markedly elevated at both low and high iodine intakes in 6–24 month-old weaning infants and suggests a narrow optimal iodine intake range. *J Nutr* (Submitted) 2018.

39

Zimmermann MB. Assessing iodine status and monitoring progress of iodized salt programs. *J Nutr* 2004; 134(7): 1673–7.

40

Krejbjerg A, Bjergved L, Pedersen IB, et al. Serum thyroglobulin before and after iodization of salt: an 11-year DanThyr follow-up study. *Eur J Endocrinol* 2015; 173(5): 573–81.

41

Spencer CA. Assay of Thyroid Hormones and Related Substances. Edition ed. In: De Groot LJ, Chrousos G, Dungan K, et al., eds. *Endotext*. South Dartmouth (MA), 2000.

42

Stinca S, Andersson M, Erhardt J, Zimmermann MB. Development and validation of a new low-cost enzyme-linked immunoassay for serum and dried blood spot thyroglobulin. *Thyroid* 2015; 25(12): 1297–305.

43

Dold S, Zimmermann MB, Aboussad A, et al. Breast milk iodine concentration is a more accurate biomarker of iodine status than urinary iodine concentration in exclusively breastfeeding women. *J Nutr* 2017; 147(4): 528–37.

44

Nazeri P, Dalili H, Mehrabi Y, Hedayati M, Mirmiran P, Azizi F. Breast Milk Iodine Concentration Rather than Maternal Urinary Iodine Is a Reliable Indicator for Monitoring Iodine Status of Breastfed Neonates. *Biol Trace Elem Res* 2018.

45

Gibson RS. *Principles of Nutritional Assessment*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005.

46

Zimmermann MB, Andersson M. Assessment of iodine nutrition in populations: past, present, and future. *Nutrition reviews* 2012; 70(10): 553–70.

47

Carriquiry AL, Spungen JH, Murphy SP, et al. Variation in the iodine concentrations of foods: considerations for dietary assessment. *Am J Clin Nutr* 2016; 104 Suppl 3: 877S–87S.

48

Pehrsson PR, Patterson KY, Spungen JH, et al. Iodine in food- and dietary supplement-composition databases. *American Journal of Clinical Nutrition* 2016; 104(3): 868S–76S.

49

Ershow AG, Skeaff SA, Merkel JM, Pehrsson PR. Development of Databases on Iodine in Foods and Dietary Supplements. *Nutrients* 2018; 10(1).

50

Brantsaeter AL, Haugen M, Alexander J, Meltzer HM. Validity of a new food frequency questionnaire for pregnant women in the Norwegian Mother and Child Cohort Study (MoBa). *Matern Child Nutr* 2008; 4(1): 28–43.

51

Rasmussen LB, Ovesen L, Bulow I, et al. Evaluation of a semi-quantitative food frequency questionnaire to estimate iodine intake. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55(4): 287–92.

52

Tan LM, Charlton KE, Tan SY, Ma G, Batterham M. Validity and reproducibility of an iodine-specific food frequency questionnaire to estimate dietary iodine intake in older Australians. *Nutr Diet* 2013; 70(1): 71–8.

53

Combet E, Lean MEJ. Validation of a short food frequency questionnaire specific for iodine in UK females of childbearing age. *J Hum Nutr Diet* 2014; 27(6): 599–605.

- 54**
Lightowler HJ, Davies GJ. Assessment of iodine intake in vegans: weighed dietary record vs duplicate portion technique. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56(8): 765–70.
- 55**
Bürgi H, Supersaxo Z, Selz B. Iodine deficiency diseases in Switzerland one hundred years after Theodor Kocher's survey: a historical review with some new goitre prevalence data. *Acta Endocrinol (Copenh)* 1990; 123: 577–90.
- 56**
Zimmermann MB. Research on iodine deficiency and goiter in the 19th and early 20th centuries. *J Nutr* 2008; 138(11): 2060–3.
- 57**
Bürgi H, Andersson M. History and current epidemiology of iodine nutrition in Switzerland. Edtion ed. Federal Commission for Nutrition Iodine supply in Switzerland: Current Status and Recommendations Expert report of the FCN. Zurich: Federal Office of Public Health (Available at: <http://www.blv.admin.ch/themen/04679/05065/05090/index.html?lang=de>), 2013.
- 58**
Hess SY, Zimmermann MB. Thyroid volumes in a national sample of iodine-sufficient swiss school children: comparison with the World Health Organization/International Council for the control of iodine deficiency disorders normative thyroid volume criteria. *Eur J Endocrinol* 2000; 142(6): 599–603.
- 59**
EDI. Verordnung des EDI über den Zusatz von Vitaminen, Mineralstoffen und sonstigen Stoffen in Lebensmitteln (817.022.32) [in German], vom 16. Dezember 2016 (Stand am 6. Februar 2018). In: Eidgenössisches Department des Innern (EDI) [Federal Department of Home Affairs], ed. Bern, 2018.
- 60**
Hess SY, Zimmermann MB, Torresani T, Burgi H, Hurrell RF. Monitoring the adequacy of salt iodization in Switzerland: a national study of school children and pregnant women. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55(3): 162–6.
- 61**
Zimmermann MB, Aeberli I, Torresani T, Burgi H. Increasing the iodine concentration in the Swiss iodized salt program markedly improved iodine status in pregnant women and children: a 5-y prospective national study. *Am J Clin Nutr* 2005; 82(2): 388–92.
- 62**
Andersson M, Aeberli I, Wust N, et al. The Swiss iodized salt program provides adequate iodine for school children and pregnant women, but weaning infants not receiving iodine-containing complementary foods as well as their mothers are iodine deficient. *J Clin Endocrinol Metab* 2010; 95(12): 5217–24.
- 63**
Andersson M, et al. Swiss iodine study manuscript in preparation. 2018.
- 64**
Stalder U, Haldimann M. Brotmonitoring des BLV 2014, Salzgehalt in gewerblich hergestelltem Brot. Bern: BLV, 2015.
- 65**
Pearce EN, Lazarus JH, Smyth PP, et al. Urine test strips as a source of iodine contamination. *Thyroid* 2009; 19(8): 919.
- 66**
Haldimann M, Bochud M, Burnier M, Paccaud F, Dudler V. Prevalence of iodine inadequacy in Switzerland assessed by the estimated average requirement cut-point method in relation to the impact of iodized salt. *Public health nutrition* 2015; 18(8): 1333–42.
- 67**
Schupbach R, Wegmüller R, Berguerand C, Bui M, Herter-Aeberli I. Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr* 2017; 56(1): 283–93.
- 68**
Dorey CM, Zimmermann MB. Reference values for spot urinary iodine concentrations in iodine-sufficient newborns using a new pad collection method. *Thyroid* 2008; 18(3): 347–52.
- 69**
Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington DC: National Academy Press, 2001.
- 70**
Federal Commission for Nutrition. Iodine supply in Switzerland: Current status and recommendations. Edtion ed. Expert report of the Federal Commission for Nutrition. Zurich: Federal Office of Public Health, 2013.
- 71**
Chappuis A, Bochud M, Glatz N, Vuistiner P, Paccaud F, Burnier M. Swiss survey on salt intake: main results. Lausanne: Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV), Lausanne, Suisse, 2011.
- 72**
Brown IJ, Tzoulaki I, Candeias V, Elliott P. Salt intakes around the world: implications for public health. *Int J Epidemiol* 2009; 38(3): 791–813.
- 73**
The EUthyroid Consortium. The Krakow declaration on iodine. Tasks and responsibilities for prevention programs targeting iodine deficiency disorders. 2018. Internet: <https://www.iodinedeclaration.eu/> [accessed Date Accessed].
- 74**
World Health Organization. Salt reduction and iodine fortification strategies in public health: Report of a joint technical meeting. Geneva: World Health Organization, 2014: 1–36.
- 75**
Webster J, Land MA, Christoforou A, et al. Reducing dietary salt intake and preventing iodine deficiency: towards a common public health agenda. *Med J Aust* 2014; 201(9): 507–8.
- 76**
van der Reijden OL, Zimmermann MB, Galetti V. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2017; 31(4): 385–95.
- 77**
van der Reijden OL, Galetti V, Hulmann M, et al. The main determinants of iodine in cows' milk in Switzerland are farm type, season and teat dipping. *Br J Nutr* 2018; 119(5): 559–69.
- 78**
Laurberg P, Cerqueira C, Ovesen L, et al. Iodine intake as a determinant of thyroid disorders in populations. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2010; 24(1): 13–27.
- 79**
Zoeller RT. Transplacental thyroxine and fetal brain development. *J Clin Invest* 2003; 111(7): 954–7.
- 80**
Dosiou C, Medici M. MANAGEMENT OF ENDOCRINE DISEASE: Isolated maternal hypothyroxinemia during pregnancy: knowns and unknowns. *Eur J Endocrinol* 2017; 176(1): R21–R38.
- 81**
Furnica RM, Lazarus JH, Gruson D, Daumerie C. Update on a new controversy in endocrinology: isolated maternal hypothyroxinemia. *J Endocrinol Invest* 2015; 38(2): 117–23.
- 82**
Henrichs J, Ghassabian A, Peeters RP, Tiemeier H. Maternal hypothyroxinemia and effects on cognitive functioning in childhood: how and why? *Clin Endocrinol (Oxf)* 2013; 79(2): 152–62.
- 83**
Andersen SL, Andersen S, Liew Z, Vestergaard P, Olsen J. Maternal Thyroid Function in Early Pregnancy and Neuropsychological Performance of the Child at 5 Years of Age. *J Clin Endocrinol Metab* 2018; 103(2): 660–70.
- 84**
Lazarus JH, Bestwick JP, Channon S, et al. Antenatal thyroid screening and childhood cognitive function. *N Engl J Med* 2012; 366(6): 493–501.
- 85**
Casey BM, Thom EA, Peaceman AM, et al. Treatment of Subclinical Hypothyroidism or Hypothyroxinemia in Pregnancy. *N Engl J Med* 2017; 376(9): 815–25.
- 86**
Nazeri P, Kabir A, Dalili H, Mirmiran P, Azizi F. Breast-Milk Iodine Concentrations and Iodine Levels of Infants According to the Iodine Status of the Country of Residence: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Thyroid* 2018; 28(1): 124–38.
- 87**
Delange F. Screening for congenital hypothyroidism used as an indicator of the degree of iodine deficiency and of its control. *Thyroid* 1998; 8(12): 1185–92.
- 88**
Segni M. Disorders of the thyroid gland in infancy, childhood and adolescence, in www.thyroidmanager.org. Accessed on 21 Sept 2017. Edtion ed. South Dartmouth, MA Endocrine Educations Inc, 2017.

89

Fewtrell M, Bronsky J, Campoy C, et al. Complementary feeding: A position paper by the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition (ESPGHAN) Committee on Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2017; 64(1): 119–32.

90

WHO, UNICEF. Joint Statement by the World Health Organization and the United Nations Children's Fund. Reaching optimal iodine nutrition in pregnant and lactating women and young children. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007.

91

Becker DV, Braverman LE, Delange F, et al. Iodine supplementation for pregnancy and lactation-United States and Canada: recommendations of the American Thyroid Association. *Thyroid* 2006; 16(10): 949–51.

92

Stagnaro-Green A, Abalovich M, Alexander E, et al. Guidelines of the American Thyroid Association for the diagnosis and management of thyroid disease during pregnancy and postpartum. *Thyroid* 2011; 21(10): 1081–125.

93

Obican SG, Jahnke GD, Soldin OP, Scialli AR. Teratology public affairs committee position paper: Iodine deficiency in pregnancy. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol* 2012; 94(9): 677–82.

94

National Health and Medical Research Council (NHMRC). Iodine supplementation for pregnant and breastfeeding women. Edition ed. NHMRC Public Statement, January 2010 Available at: http://www.nhmrc.gov.au/_files_nhmrc/file/publications/synopses/new45_statementpdf (Accessed 10 August 2012), 2010.

95

Lazarus J, Brown RS, Daumerie C, Hubalewska-Dydejczyk A, Negro R, Vaidya B. 2014 European thyroid association guidelines for the management of subclinical hypothyroidism in pregnancy and in children. *Eur Thyroid J* 2014; 3(2): 76–94.

96

Alexander EK, Pearce EN, Brent GA, et al. 2017 Guidelines of the American Thyroid Association for the Diagnosis and Management of Thyroid Disease During Pregnancy and the Postpartum. *Thyroid* 2017; 27(3): 315–89.

97

Zoeller RT, Rovet J. Timing of thyroid hormone action in the developing brain: clinical observations and experimental findings. *J Neuroendocrinol* 2004; 16(10): 809–18.

98

Lee SY, Stagnaro-Green A, MacKay D, Wong AW, Pearce EN. Iodine Contents in Prenatal Vitamins in the United States. *Thyroid* 2017; 27(8): 1101–2.

99

Leung AM, Braverman LE 2014 Consequences of excess iodine. *Nat Rev Endocrinol* 10: 136–142.

100

Katagiri R, Yuan X, Kobayashi S, Sasaki S 2017 Effect of excess iodine intake on thyroid diseases in different populations: A systematic review and meta-analyses including observational studies. *PLoS One* 12: e0173722.

101

Farebrother F, Zimmermann MB, Abdallah F, Assey V, Fingerhut R, Gichohi-Wainaina WN, Hussein I, Makokha A, Sagno K, Untoro J, Watts M, Andersson M. The effect of excess iodine intake from iodized salt and/or groundwater iodine on thyroid function in non-pregnant and pregnant women, infants and children: a multicenter study in East Africa. *Thyroid*, Accepted June 2018.

102

Burgi H 2010 Iodine excess. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 24: 107–115.

Impressum

Schweizer Ernährungsbulletin

Herausgeber:

Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV
Schwarzenburgstrasse 155

3003 Bern

Layout/Illustrationen:

lesgraphistes.ch

DOI: 10.24444/blv-2018-0111