

Jodmangel

MICHAEL B. ZIMMERMANN, ISABELLE AEBERLI



Jod zählt zu den essenziellen Spurenelementen. Es dient als Ausgangsmaterial für die Synthese der lebensnotwendigen Schilddrüsenhormone Trijodthyronin und Thyroxin. Der vorliegende Beitrag behandelt die Auswirkungen, die Epidemiologie und Therapie des Jodmangels und berichtet über die Massnahmen zur Prävention in der Schweiz und weltweit.

Die Jodmangelkrankungen

Jodmangel hat verschiedene unerwünschte Effekte auf das Wachstum und die Entwicklung von Tier und Mensch. Diese werden als Jodmangelkrankungen (iodine deficiency disorders = IDDIDD) zusammengefasst (Tabelle 1). Sie gehören zu den wichtigsten und häufigsten Erkrankungen beim Menschen (1, 2) und werden durch die inadäquate Produktion der Schilddrüsenhormone aufgrund von Jodmangel verursacht. Die Vergrößerung der Schilddrüse (Kropf oder Struma) ist ein klassisches Zeichen des Jodmangels. Sie kann in jedem Alter auftreten, sogar bei Neugeborenen. Bei dieser Ver-

größerung, mit der Zeit aber entwickeln sich häufig knotige Veränderungen. Jodmangel ist in vielen Fällen mit einem hohen Auftreten an multinodulär toxischem Kropf assoziiert, der hauptsächlich bei Frauen über 50 Jahren auftritt (3).

Jodmangel während der Schwangerschaft

Die schwerwiegendste Auswirkung von Jodmangel ist die Schädigung des Fötus. Schwerer Jodmangel während der Schwangerschaft erhöht das Risiko kongenitaler Missbildungen, von Tot- oder Fehlgeburten (4). Die Behandlung von

Schwangeren mit Jod in Gegenden mit schwerem Jodmangel verringert die fötale und perinatale Mortalität und verbessert die motorische und kognitive Leistung der Nachkommen

(5). Erheblicher Jodmangel in utero verursacht schwere geistige Behinderungen, die mit unterschiedlich ausgeprägten körperlichen Folgen einhergehen, wie einer kleinen Statur (Minderwuchs), Taubstummheit und Spastizität (Symptome des sogenannten Kretinismus) (6). Die potenziell unerwünschten Effekte eines leichten bis mittleren Jodmangels wäh-

rend der Schwangerschaft sind unklar. In Europa wurden mehrere randomisierte kontrollierte Studien zur Jodsupplementation bei Schwangeren mit leichtem bis mittlerem Jodmangel durchgeführt. Jod reduzierte die Schilddrüsengrösse der Mutter und des Neugeborenen und verringerte in einigen Fällen die Konzentration des mütterlichen TSH. Allerdings konnte keine dieser Studien einen Effekt auf die gesamte oder freie Schilddrüsenhormonkonzentration der Mutter oder des Neugeborenen zeigen, und in keiner der Studien wurden klinische Langzeitfolgen wie Kropf, Schilddrüsenautoimmunität oder die weitere Entwicklung des Kindes bestimmt (7).

Jodmangel in der Kindheit

Obwohl Jodmangel in utero das Wachstum und die Gehirnentwicklung beeinträchtigt, sind die postnatalen Effekte auf Wachstum und die kognitiven Fähigkeiten des Kindes weniger klar. Querschnittsstudien zu mittlerem bis schwerem Jodmangel bei Kindern berichten im Allgemeinen von eingeschränkten intellektuellen und feinmotorischen Fähigkeiten; zwei Metaanalysen schätzen, dass der Intelligenzquotient (IQ) bei Bevölkerungsgruppen mit chronischem Jodmangel um 12,5 bis 13,5 Punkte geringer ist (8,

«Ich bin zufrieden. Ich habe die Hauptattraktionen der Schweiz gesehen – den Mont Blanc und den Kropf – und jetzt nach Hause.» **Mark Twain, 1880**

größerung handelt es sich um die physiologische Anpassung an einen chronischen Jodmangel. Bei reduzierter Jodaufnahme, erhöht sich die Sekretion von Thyreotropin (TSH), um die Aufnahme des verfügbaren Jods zu maximieren. TSH stimuliert also die Schilddrüsenhypertrophie und -hyperplasie. Zu Beginn manifestiert sich der Kropf durch eine diffuse,

9). Kürzlich zeigten plazebokontrollierte Studien bei Kindern mit leichtem bis mittlerem Jodmangel in Neuseeland und Albanien, dass eine Jodsupplementation die kognitiven und feinmotorischen Fähigkeiten signifikant verbessert (10, 11). Somit ist die kognitive Einschränkung bei Kindern, die in Jodmangelgebieten geboren und aufgewachsen sind, wenigstens teilweise durch eine entsprechende Jodzufuhr reversibel. Daten aus Querschnittsstudien zur Jodaufnahme und zum kindlichen Wachstum sind dagegen widersprüchlich. Die meisten Untersuchungen finden leichte positive Korrelationen (1). Bei Kindern mit Jodmangel korrelieren eingeschränkte Schilddrüsenfunktion und Kropf umgekehrt mit den Konzentrationen für IGF-1 (insulin-like growth factor) und IGFBP-3 (insulin-like growth factor binding protein) (12). Kürzlich zeigten kontrollierte Studien, dass eine ausreichende Jodzufuhr die IGF-1- und IGFBP-3-Konzentrationen erhöht und das somatische Wachstum bei Kindern verbessert (13).

Epidemiologie des Jodmangels

Die Schwere des Jodmangels in Populationen wird üblicherweise mittels der

mittleren Jodkonzentration im Urin (UI) klassifiziert (Tabelle 2). Nur in wenigen Ländern wie der Schweiz, einigen skandinavischen Ländern, Australien, den USA und Kanada bestand vor 1990 kein Jodmangel. Seitdem ist die Zahl der Haushalte, die jodiertes Salz verwenden, von weniger als 20 Prozent auf mehr als 70 Prozent gestiegen. Dadurch ist der Jodmangel drastisch gesunken (1, 2). Diese Bemühungen wurden durch eine Koalition internationaler Organisationen (z.B. ICCIDD, WHO, MI und UNICEF) unterstützt, die eng mit nationalen IDD-Kontrollkomitees und der Salzindustrie zusammengearbeitet haben. Finanziert wurden sie durch Kiwanis International, die Gates Foundation sowie durch Hilfsprogramme der Länder.

Im Jahr 2007 schätzte die WHO, dass fast zwei Milliarden Menschen, einschliesslich einem Drittel aller Schulkinder, zu wenig Jod aufnehmen (14). Die niedrigste Jodmangelprävalenz findet man in Nord- und Südamerika (10,6%), weil hier der Anteil der Haushalte, die jodiertes Salz verwenden, weltweit am höchsten ist (ca. 90%). Die höchste Jodmangelprävalenz findet man in Europa (52%), wo die wenigsten Haushalte jodiertes Salz verwenden

(ca. 25%). Ausserdem haben viele dieser Länder unzureichende oder keine IDD-Kontrollprogramme. In 47 Ländern bleibt Jodmangel ein Gesundheitsproblem. Allerdings sind seit 2003 Fortschritte zu verzeichnen: 12 Länder haben einen optimalen Jodstatus erreicht, und der Prozentsatz der Schulkinder, die ein Jodmangelrisiko haben, ist um 5 Prozent zurückgegangen. In 34 Ländern ist die Jodaufnahme ausreichend oder sogar exzessiv, was im Vergleich zu den ursprünglich 27 Ländern im Jahr 2003 einer deutlichen Zunahme entspricht (14). In 2 Ländern in denen die Jodaufnahme zuvor ausreichend Jod war, nämlich in Australien und den USA, geht diese zurück. Australien weist jetzt einen leichten Jodmangel auf (15) und in den USA ist die Jodaufnahme noch ausreichend, aber der Durchschnittswert ist halb so hoch wie jener in den Siebzigerjahren (Mittelwert UI = 145 µg/l vs. 321 µg/l in den Siebzigerjahren) (16). Diese Veränderungen unterstreichen die Bedeutung einer regelmässigen Überprüfung des Jodstatus, um sowohl niedrige als auch exzessive Jodaufnahmen rechtzeitig festzustellen.

Behandlung und Prävention des Jodmangels

Salzfortifizierung mit Jod

In fast allen von Jodmangel betroffenen Regionen ist die Salzjodierung der effektivste Weg, den Jodmangel zu kontrollieren (2). Salzjodierung wird zur Kontrolle von IDD empfohlen, weil

- Salz eines der wenigen Lebensmittel ist, das von fast jedem konsumiert wird
- die Salzaufnahme über das ganze Jahr ziemlich konstant ist
- in vielen Ländern die Salzproduktion/der Salzimport auf wenige Quellen beschränkt ist
- die Jodierungstechnologie einfach und relativ kostengünstig umzusetzen ist
- die Zugabe von Jod die Farbe oder den Geschmack des Salzes nicht beeinflusst
- die Menge an Jod im Salz auf der Produktions-, Verkaufs- und Haushaltsebene einfach überwacht werden kann.

Die WHO, UNICEF und das ICCIDD empfehlen, abhängig von der lokalen Salzaufnahme, Jod in einer Konzentration von 20

Tabelle 1: Jodmangelerkrankungen, nach Altersgruppen (1)

Physiologische Gruppen	Gesundheitliche Folgen des Jodmangels
Jedes Alter	<ul style="list-style-type: none"> • Kropf, einschliesslich des toxisch nodulären Kropfs • erhöhtes Vorkommen von Hypothyreoidismus bei mittlerem bis schwerem Jodmangel; geringeres Auftreten von Hypothyreoidismus bei leichtem bis mittlerem Jodmangel • erhöhte Anfälligkeit der Schilddrüse auf nukleare Bestrahlung
Fötus	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlgeburt • Totgeburt • kongenitale Missbildungen • perinatale Mortalität
Neugeborene	<ul style="list-style-type: none"> • Säuglingssterblichkeit • endemischer Kretinismus
Kinder und Jugendliche	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkte mentale Funktion • verzögerte körperliche Entwicklung
Erwachsene	<ul style="list-style-type: none"> • eingeschränkte mentale Funktion • jodinduzierter Hyperthyreoidismus • Allgemein verursacht mittlerer bis schwerer Jodmangel in einer Population leichte, aber weitverbreitete unerwünschte, sekundäre Effekte. Dies schliesst verringerte Lernfähigkeit, Apathie und verringerte Arbeitsproduktivität ein, was mit eingeschränkter sozialer und ökonomischer Entwicklung einhergeht.

bis 40 mg Jod/kg Salz zuzusetzen. Jod kann als Kaliumjodid (KI) oder Kaliumjodat (KIO₃) zugesetzt werden. KIO₃ wird als Zusatzform in tropischen Ländern und solchen mit schlechter Salzqualität empfohlen, weil es bei Salzverunreinigungen, Feuchtigkeit und porösen Verpackungen eine bessere Stabilität besitzt als KI. Die Salzjodierung ist sowohl der kostengünstigste Weg zur Sicherung der Jodversorgung als auch zur Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten in Jodmangelbevölkerungen (17). Weltweit werden die jährlichen Kosten der Salzjodierung auf 0,02 bis 0,05 US-Dollar pro Kind, das abgedeckt wird, geschätzt. Die Kosten für die Verhinderung des Todes eines Kindes belaufen sich auf 100 US-Dollar und diejenigen für den Gewinn eines produktiven Lebensjahres auf 34 bis 35 US-Dollar (18).

Jodsupplementierung

In einigen Regionen kann die Salzjodierung zur Jodmangelkontrolle – zumindest kurzfristig – nicht praktikabel sein. Dies kann abgelegene Orte betreffen, in denen die Kommunikationsstrukturen

schlecht sind und wo es zahlreiche kleine Salzproduzenten gibt. In diesen Gebieten lassen sich Supplemente mit jodiertem Öl verwenden. Gängige orale Dosen sind 200 bis 400 mg Jod/Jahr (1, 2). Sie werden häufig bei Frauen im gebärfähigen Alter, bei Schwangeren und Kindern eingesetzt. Jodiertes Öl, das im ersten und zweiten Schwangerschaftstrimenon gegeben wurde, verringerte die Prävalenz neurologischer Missbildungen. Im Vergleich zu einer späteren Supplementation in der Schwangerschaft oder nach der Geburt, verbessert die frühe Supplementierung die Entwicklungstests bis zum 7. Lebensjahr (19). In Ländern oder Gegenden, wo länger als zwei Jahre laufende Salzjodierungsprogramme mehr als 90 Prozent der Haushalte abdecken und die durchschnittliche UI ausreichend Jod ausweist, brauchen schwangere und stillende Frauen keine Jodsupplemente (20). In Jodmangelgebieten oder -regionen, die eine schlechte Verteilung des jodierten Salzes aufweisen, sollten jedoch Supplemente an Schwangere, stillende Frauen und Säuglinge verabreicht werden (20).

Kontrolle des Jodmangels in der Schweiz

Das Salzjodierungsprogramm der Schweiz existiert seit 1922 ohne Unterbrechung. Vor seiner Einführung zeigte das Land einen starken Jodmangel. Das Jod im Schweizer Salz wurde vorsichtig und nach und nach schrittweise auf 7,5 mg/kg (1962), 15 mg/kg (1980) und 20 mg/kg (1998) erhöht. Momentan hat die Schweiz ein mustergültiges Salzjodierungsprogramm: Fast alle Haushalte verwenden jodiertes Salz, und Schulkinder sowie Schwangere waren bei der letzten nationalen Erhebung ausreichend mit Jod versorgt. Dem ursprünglichen Schweizer Kropfkomitee, das 1922 gegründet wurde, folgte die Fluor-Jod-Kommission der Schweizer Akademie der medizinischen Wissenschaften (SAMW), die heute noch aktiv ist.

Weltweit wird davon ausgegangen, dass auch Säuglinge ausreichend mit Jod versorgt sind, wenn dies bei Kindern und Schwangeren in der Bevölkerung der Fall ist. Dafür gibt es aber wenig Beweise. Der UI-Durchschnittswert, der eine ausrei-

Tabelle 2: Epidemiologische Kriterien zur Jodaufnahme in einer Population, basierend auf der mittleren Bandbreite der urinär ausgeschiedenen Jodkonzentrationen (2)

Jod im Urin (UI) Mittelwert (µg/l)	Jodaufnahme	Jodstatus
Schulkinder		
< 20	unzureichend	schwerer Jodmangel
20–49	unzureichend	mittlerer Jodmangel
50–99	unzureichend	leichter Jodmangel
100–199	ausreichend	optimal
200–299	mehr als ausreichend	Risiko eines jodinduzierten Hyperthyreoidismus in anfälligen Gruppen
> 300	exzessiv	Risiko unerwünschter Gesundheitsfolgen (jodinduzierter Hyperthyreoidismus, autoimmune Schilddrüsenerkrankung)
Schwangere Frauen		
< 150	unzureichend	
150–249	ausreichend	
250–499	mehr als ausreichend	
≥ 500	exzessiv*	
Stillende Frauen**		
< 100	unzureichend	
≥ 100	ausreichend	
Kinder unter 2 Jahren		
< 100	unzureichend	
≥ 100	ausreichend	

* «Exzessiv» bedeutet mehr als die Menge, die nötig ist, um einen Jodmangel zu verhindern und diesem vorzubeugen.

** Bei stillenden Frauen sind die Mittelwerte für die urinäre Jodausscheidung geringer als der Jodbedarf, weil Jod in die Muttermilch abgegeben wird.

chende Versorgung beim Säugling anzeigt, ist unsicher. Darüber hinaus trägt jodiertes Salz in der ersten Zeit nach dem Stillen kaum zur Jodaufnahme bei, was das Risiko einer Defizienz erhöht. Um diese Lücke zu füllen, bedarf es wahrscheinlich einer Jodanreicherung der Säuglingsmilch (IF) und der Beikost (CF) (21).

Wir beendeten kürzlich eine grosse Studie in der Schweiz, um zu bestätigen, dass die Bevölkerung immer noch mit ausreichend Jod versorgt ist. Zudem wurden der Jodstatus sowie die Ernährungsgewohnheiten bei Säuglingen überprüft, um: a) den WHO-UI-Grenzwert für Jodmangel zu validieren und b) den relativen Beitrag der Muttermilch und von IF/CF zur Jodversorgung zu schätzen. Wir bestimmten das UI in nationalen Stichproben von Schwangeren und Schulkindern sowie zu drei verschiedenen Zeitpunkten im Säuglingsalter: bei Neugeborenen (n = 682) und bei 6 beziehungsweise 12 Monate alten Kindern (n = 507). Auch bei den Müttern dieser Kinder wurden die UI- und die Jodkonzentrationen in der Muttermilch (BMIC) gemessen. Zudem haben wir den Ursprung des Jods in der Ernährung des Babys bestimmt und den Jodgehalt kommerzieller IF/CF analysiert (n = 22). Wie *Tabelle 3* zeigt, ist die Schweizer Bevölkerung auch 2009 ausreichend mit Jod versorgt; UI-Durchschnittswerte bei Schwangeren und Schulkindern waren adäquat. Bei Neugeborenen lag der UI-Wert bei 77 µg/l, bei 6 und 12 Monate alten Säuglingen bei 98 µg/l. Der Durchschnittswert für BMIC lag bei 49 µg/kg. Säuglinge, die IF erhalten haben, hatten höhere UI-Werte als solche, die gestillt wurden (109 vs. 70 µg/l; p < 0,01). Kleinkinder, die weder IF noch Muttermilch erhielten, hatten ebenfalls tiefere UI-Werte

als jene, die IF erhielten, jedoch nicht signifikant (89 vs. 109 µg/l). Der angegebene und analysierte Jodgehalt der IF/CF stimmten gut überein. Aus diesen Studien lässt sich entnehmen, dass die Schweizer Daten allgemein die durchschnittlichen UI-Grenzwerte der WHO von ≥ 100 µg/l für Jodsuffizienz im späteren Säuglingsalter bestätigen. Allerdings könnten sie für jüngere Säuglinge etwas zu hoch sein. Jodhaltige IF/CF müssen für Schweizer Säuglinge während der Abstillphase als kritische Jodquellen angesehen werden; es sollte daher erwogen werden, minimale Jodkonzentrationen in den CF festzulegen.

Aufgrund der neuen Handelseinschränkungen zum Import von verarbeiteten jodhaltigen Lebensmitteln in europäischen Nachbarländern, sind Betriebe der schweizer Nahrungsmittelindustrie, die in diese Länder exportieren, zurückhaltend, jodiertes Salz in ihren Produkten zu verwenden. In den letzten zwei Jahren ist das Verhältnis von jodiertem zu nicht jodiertem Salz, das durch die Schweizer Salzraffinerien an die Nahrungsmittelindustrie geliefert wurde, stark gesunken (S. Trachsel, private Mitteilung 2009). Hier sind besonders verarbeitete Milchprodukte wie Käse betroffen. Wurde der Käse in der Vergangenheit mit jodiertem Salz hergestellt, wurde damit etwa 10 Prozent der Schweizer Jodaufnahme gedeckt (22). Da geschätzte 70 bis 85 Prozent der gesamten Salzaufnahme in Europa über verarbeitete Lebensmittel erfolgt, könnte dies erklären, warum die Jodversorgung über die Nahrung in der Schweiz abzunehmen scheint. Die durchschnittlichen UI-Werte bei Schwangeren und Schulkindern in der Schweiz sind seit 2004 auf 32 beziehungsweise 14 Prozent gesunken (23), liegen aber noch im ausreichenden

Bereich. Obwohl von den Gesundheitsämtern empfohlen wird, die Salzaufnahme zu reduzieren, gibt es keine Hinweise für bedeutende Veränderungen im Schweizer Salzkonsum (S. Trachsel, private Mitteilung, 2009). Somit zeigen diese Daten, wie wichtig die Verwendung von jodiertem Salz in verarbeiteten Lebensmitteln ist, da sich so die Jodaufnahme über die Nahrungszufuhr in den Industrieländern sicherstellen lässt.

International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders

Der Internationale Rat für die Kontrolle von Jodmangelkrankungen (ICCIDD) ist die einzige internationale Organisation, die speziell errichtet wurde, um eine optimale Jodversorgung zu fördern und Jodmangelkrankheiten (IDD) zu eliminieren (24). Dieses multidisziplinäre weltweite Netzwerk besteht aus mehr als 600 Spezialisten in mehr als 100 Ländern. Diese umfassen Wissenschaftler aus den Bereichen Medizin und Humanernährung, Akteure im Gesundheitswesen, Entwicklungsmanager, Technologen, Kommunikatoren, Wirtschaftswissenschaftler, Salzproduzenten sowie andere Experten aus Industrie und Wirtschaft, die in Bereichen involviert sind, die in der Jodversorgung eine Rolle spielen. Alle haben sich verpflichtet, die Regierungen und internationalen Agenturen zu unterstützen, um nationale Programme zur Eliminierung der IDD zu entwickeln. Das ICCIDD wurde 1985 mit Unterstützung von UNICEF, WHO und der australischen Regierung gegründet. Es soll die Lücke zwischen dem verfügbaren Wissen und dessen Anwendung schliessen, um eine ausreichende Jodversorgung für die Millionen durch Jodmangel gefährdeten Menschen zu erreichen. Das ICCIDD spielte eine we-

Tabelle 3: Jodkonzentrationen im Urin (UI in µg/l) nach Alter/Bevölkerungsgruppe in nationalen Schweizer Studien, 2007–2009

Altersgruppe	Neugeborene	Säuglinge 6 Monate	Kleinkinder 12 Monate	Schulkinder	Schwangere
Anzahl	678	279	228	916	648
Männer/Frauen	59/67	13/68	53/61	13/113	Alle Frauen
UI (µg/l)	77 (0–885)	91 (11–759)	103 (6–951)	120 (10–408)	162 (0–1497)

sentliche Rolle bei der Bekanntmachung der Gefahren und Auswirkungen des Jodmangels an die Entscheidungsträger der nationalen Regierungen, der internationalen Agenturen und an die unterschiedlichsten Mediziner und Gesundheitsplaner. ICCIDD-Berater sind Fürsprecher und beteiligen sich an der Entwicklung von gesellschaftlichen Konzepten, an der Ausarbeitung entsprechender Programme, an deren Umsetzung und am Training. Dies erreichen sie dadurch, dass sie Ländern mit bedeutenden IDD-Problemen bei der Entwicklung eines nationalen IDD-Kontrollprogramms helfen. Dies geschieht in Kooperation mit nationalen Regierungen, Institutionen, der Privatindustrie, Wohlfahrtsverbänden, bedeutenden internationalen Agenturen und wichtigen bilateralen Hilfsorganisationen (24).

Ausblick

Die International Child Development Steering Group hat Jodmangel weltweit als einen der vier Hauptrisikofaktoren identifiziert, der für Beeinträchtigungen der kindlichen Entwicklung verantwortlich ist und der einer dringenden Intervention bedarf (25). Allerdings wird die Prävention der IDD im restlichen Drittel der von diesem Risiko betroffenen Weltbevölkerung nicht leicht sein. Obwohl die wichtigsten Aspekte für ein erfolgreiches nationales Programm identifiziert wurden, bleibt es eine grosse Herausforderung, einkommensschwache in abgelegenen Gegenden wohnende Bevölkerungsgruppen zu erreichen und kleine Salzproduzenten davon zu überzeugen, ihr Salz zu jodieren. Eine wichtige Strategie wird die Stärkung nationaler Koalitionen sein, die Regierungspartner, nationale und internationale Agenturen, das Gesundheitswesen sowie die Salzproduzenten einbeziehen. In Ländern, die bereits mit Salzjodierungsprogrammen begonnen haben, steht die Nachhaltigkeit dieser Massnahme im Mittelpunkt. Diese Programme sind fragil und benötigen Langzeitverpflichtungen der Regierungen. In Ländern, in denen der Jodmangel bereits beseitigt schien, sind Salzjodierungsprogramme abgebrochen worden,

und der Jodmangel ist inzwischen wieder aufgetreten (26).

Die Verfechtung dieser Programme sollte auf die Beeinträchtigungen der Reproduktion und der kognitiven Entwicklung zielen. Es ist essenziell, dass Regierungen die schwerwiegenden Auswirkungen des Jodmangels verstehen. Viele setzen Jodmangel mit Kropf gleich, das als rein kosmetisches Problem mit entsprechend geringer Priorität angesehen wird. IDD ist die weltweit wichtigste Ursache für vermeidbare geistige Behinderungen – ihre Eliminierung kann zu mindestens 5 der festgelegten Entwicklungsziele des Millenniums beitragen: 1. Ausrottung von extremer Armut und Hunger; 2. Erreichen von universeller primärer Bildung; 3. Reduktion der Sterblichkeit bei Kindern; 4. Verbesserung der mütterlichen Gesundheit und 5. Entwicklung weltweiter Entwicklungspartnerschaften.

Die Weltbank (27) empfiehlt nachdrücklich, dass Regierungen in Mikronährstoffprogramme wie die Salzjodierung investieren, um die Entwicklung zu fördern und meint dazu: «Wahrscheinlich bietet keine andere Technologie derart umfassende Möglichkeiten, das Leben vieler Menschen so kostengünstig und schnell zu verbessern.»

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Michael B. Zimmermann
ETH Zürich, Schmelzbergstrasse 7
LFV E 19, 8092 Zürich
Tel: 044-632 86 57
E-Mail: michael.zimmermann@ilw.agr.ethz.ch

Literatur:

- Zimmermann MB, Jooste PL, Pandav CS. The iodine deficiency disorders. *Lancet* 2008; 372: 1251–1262.
- WHO/ICCIDD/UNICEF. Assessment of the Iodine Deficiency Disorders and Monitoring their Elimination. WHO/NHD/01.1 Geneva: WHO, 2007.
- Laurberg P, Pedersen KM, Vestergaard H, Sigurdsson G. High incidence of multinodular toxic goitre in the elderly population in a low iodine intake area vs. high incidence of Graves' disease in the young in a high iodine intake area: comparative surveys of thyrotoxicosis epidemiology in East-Jutland Denmark and Iceland. *J Intern Med* 1991; 229: 415–420.
- Cobra C, Muhilal, Rusmil K, Rustama D, Djatnika, Suwardi SS, Permaesih D, Muherdiyantiningsih, Martuti S, Semba RD. Infant survival is improved by oral iodine supplementation. *J Nutr* 1997; 127: 574–578.
- Cao XY, Jiang XM, Dou ZH, Rakeman MA, Zhang ML, O'Donnell K, Ma T, Amette K, DeLong N, DeLong GR. Timing of vulnerability of the brain to Jodmangel

in endemic cretinism. *N Engl J Med* 1994; 331: 1739–1744.

- Delange F, Hetzel B. The Iodine Deficiency Disorders. In: DeGroot LE, Hannemann G, eds *The thyroid and its diseases*. Available at: www.thyroidmanager.org/. Accessed November 18, 2007.
- Zimmermann MB. Iodine deficiency in pregnancy and the effects of maternal iodine supplementation on the offspring: a review. *Am J Clin Nutr* 2009; 89 (2): 668S–672S.
- Bleichrodt N, Garcia I, Rubio C, Morreale de Escobar G, Escobar del Rey F. Developmental disorders associated with severe iodine deficiency. In: B Hetzel, J Dunn and J Stanbury, eds, *The prevention and control of Jodmangel disorders*. 1987; Elsevier, Amsterdam, pp. 65–84.
- Qian M, Wang D, Watkins WE. The effects of iodine on intelligence in children: a meta-analysis of studies conducted in China. *Asia Pac J Clin Nutr* 2005; 14: 32–42.
- Gordon RC, Rose MC, Skeaff SA, Gray AR, Morgan KM, Ruffman T. Iodine supplementation improves cognition in mildly iodine-deficient children. *Am J Clin Nutr* 2009; 90 (5): 1264–1271.
- Zimmermann MB, Connolly K, Bozo M, Bridson J, Rohner F, Grimci L. Iodine supplementation improves cognition in iodine-deficient schoolchildren in Albania: a randomized, controlled, double-blind study. *Am J Clin Nutr* 2006; 83: 108–114.
- Wan Nazaimoon WM, Osman A, Wu LL, Khalid BA. Effects of iodine deficiency on insulin-like growth factor-I, insulin-like growth factor-binding protein-3 levels and height attainment in malnourished children. *Clin Endocrinol* 1996; 45: 79–83.
- Zimmermann MB, Jooste PL, Mabapa NS, Mbheenyane X, Schoeman S, Biebinger R, Chaouki N, Bozo M, Grimci L, Bridson J. Treatment of iodine deficiency in school-age children increases insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF binding protein-3 concentrations and improves somatic growth. *J Clin Endocrinol Metab* 2007; 92 (2): 437–442.
- de Benoist B, McLean E, Andersson M. Iodine deficiency in 2007: Global progress since 2003. *Food Nutr Bull* 2007 (in press).
- Li M, Eastman CJ, Waite KV, Ma G, Zacharin MR, Topliss DJ, Harding PE, Walsh JP, Ward LC, Mortimer RH, Mackenzie EJ, Byth K, Doyle Z. Are Australian children iodine deficient? Results of the Australian National Iodine Nutrition Study. *Med J Aust* 2006; 184 (4): 165–169.
- Haddow JE, McClain MR, Palomaki GE, Hollowell JG. Urine iodine measurements, creatinine adjustment, and thyroid deficiency in an adult United States population. *J Clin Endocrinol Metab* 2007; 92 (3): 1019–1022.
- Engle PL, Black MM, Behrman JR, Cabral de Mello M, Gertler PJ, Kapiriri L, Martorell R, Young ME; International Child Development Steering Group. Strategies to avoid the loss of developmental potential in more than 200 million children in the developing world. *Lancet* 2007; 369 (9557): 229–242.
- Caulfield LE, Richard SA, Rivera JA, Musgrove P, Black RE. Stunting, Wasting, and Micronutrient Deficiency Disorders 2006 in Disease Control Priorities in Developing Countries (2nd Edition), eds Dean T, Jamison DT, Breman JG, Measham AR, Alleyne G, Claeson M, Evans DB, Jha P, Mills A, Musgrove P. 2006, New York: Oxford University Press. p 551–568.
- WHO. 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. WHO Secretariat, Andersson M, de Benoist B, Delange F, Zupan J. *Public Health Nutr* 2007; 10 (12A): 1606–1611.
- O'Donnell KJ, Rakeman MA, Zhi-Hong D, Xue-Yi C,

- Mei ZY, DeLong N, Brenner G, Tai M, Dong W, DeLong GR. Effects of iodine supplementation during pregnancy on child growth and development at school age. *Dev Med Child Neurol* 2002; 44: 76–81.
21. Dunn JT. Iodine should be routinely added to complementary foods. *J Nutr* 2003; 133 (9): 3008S–310S.
22. Haldimann M, Alt A, Blanc A, Blondeau K. Iodine content of food groups. *J Food Comp Analysis* 2005; 18: 461–471.
23. Zimmermann MB, Aeberli I, Torresani T, Bürgi H. Increasing the iodine concentration in the Swiss iodized salt program markedly improves iodine status in pregnant women and children: a 5-yr prospective national study. *Am J Clin Nutr* 2005; 88: 388–392.
24. International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD) Website. available at: www.iccidd.org
25. Walker SP, Wachs TD, Gardner JM, Lozoff B, Wasserman GA, Pollitt E, Carter JA; International Child Development Steering Group. Child development: risk factors for adverse outcomes in developing countries. *Lancet*. 2007; 369 (9556): 145–157.
26. Dunn JT. Complacency: the most dangerous enemy in the war against iodine deficiency. *Thyroid*. 2000; 10 (8): 681–683.
27. McGuire J, Galloway R. Enriching lives. Overcoming vitamin and mineral malnutrition in developing countries. Washington, DC: World Bank, 1994.