

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projektträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schätzung der Jod- und Salzversorgung 2023

– Abschlussbericht –

Förderkennzeichen: 2823HS002

Projektlaufzeit: 01.08.2023 – 31.07.2024

Projektbearbeitung und Berichterstellung:
Felicitas Vogelgesang und Dr. Roma Thamm
Abt. Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
Robert Koch-Institut, Berlin

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens	5
1.1. Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	9
2. Material und Methoden	14
2.1. Labormethoden und Qualitätssicherung in KiGGS Welle 2	14
2.2. Labormethodik in der DONALD-Studie	16
2.3. Bewertung der Jod- und Natriumausscheidung	17
2.4. Datenvorbereitung und statistische Auswertung	19
3. Ergebnisse	24
3.1 Allgemeine Charakteristika der Untersuchungspopulation aus KiGGS Welle 2	24
3.2 Jodversorgung auf Basis von KiGGS Welle 2	26
3.2.1 Beurteilung der Jodausscheidung im Spontanurin nach WHO-Kriterien	27
3.2.2 Prävalenzen einer unzureichenden Jodtageszufuhr	28
3.2.3 Untersuchung der geschätzten Jodtageszufuhr nach ausgewählten Charakteristika	28
3.3 Natrium- und Kochsalzzufuhr in KiGGS Welle 2	30
3.3.1 Beurteilung der geschätzten täglichen Salzzufuhr	31
3.3.2 Salzzufuhr im Verhältnis zur Jodzufuhr	32
3.4 Geschätzte Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie der Jahre 2018 bis 2022	33
3.4.1 Entwicklung über die Zeit	34
3.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	36
4. Zusammenfassung	36
4.1 Fazit	38
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	39
6. Literaturverzeichnis	40

Abkürzungsverzeichnis

AmEDa	Arzneimittel-Erfassungs-Datenbank
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMI	Body Mass Index
CDC	Center for Disease Control and Prevention
DEGS	Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DONALD	Dortmund Nutritional and Anthropometric Longitudinally Designed Study
EAR	Estimated Average Requirement
EQUIP	Ensuring the Quality of Urinary Iodine Procedures
G-EQUAS	The German External Quality Assessment Scheme for Analysis in Biological Materials
ICP-MS	Inductively Coupled-Mass Spectrometry
KiGGS	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
LOD	Limit of Detection
MRI	Max Rubner-Institut
RKI	Robert Koch-Institut
Rili-BÄK	Richtlinien der Deutschen Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung
SES	Sozioökonomischer Status
UIC	Urinary Iodine Concentration, Spontanurin
UL	Upper Level
VERA	Verbundstudie Ernährungserhebung und Risikofaktoren-Analytik
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die Teilnehmendenzahlen der KiGGS Welle 2 (19)	12
Tabelle 2: WHO-Kriterien zur Bestimmung der Jodversorgung auf Bevölkerungsebene, basierend auf der Jodkonzentration im Spontanurin (20, 38)	17
Tabelle 3: Mittlerer geschätzter Bedarf an Jod (EAR, Estimated Average Requirement ($\mu\text{g}/\text{d}$)) nach Altersgruppen (43)	18
Tabelle 4: Maximalwerte für die Natriumzufuhr zur Prävention von chronischen ernährungsmitbedingten Krankheiten (44) sowie die daraus resultierende Salzzufuhr	19
Tabelle 5: Tolerable Upper Intake Level (UL) für Jod in verschiedenen Altersgruppen; Stand 2001 ...	21
Tabelle 6: Allgemeine Studiencharakteristika der KiGGS Welle 2 Teilnehmenden mit Urinprobe	25
Tabelle 7: Messwerte der Jodausscheidung im Spontanurin in KiGGS und daraus geschätzte Jodtagesausscheidung sowie -zufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht	26
Tabelle 8: Anteil der Personen mit einem Wert über WHO-Grenzwert	27
Tabelle 9: Prozentualer Anteil mit 95%-Konfidenzintervall mit einer geschätzten täglichen Jodzufuhr unterhalb des mittleren geschätzten Bedarfs, nach Alter und Geschlecht	28
Tabelle 10: Regressionsergebnisse (Regressionskoeffizient und 95%-Konfidenzintervall) der statistisch signifikanten Einflussgrößen auf die geschätzte Jodtageszufuhr	29
Tabelle 11: Messwerte der Natriumausscheidung im Spontanurin und daraus geschätzte Salztageszufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht	30
Tabelle 12: Messwerte der Jodausscheidung im Urin in DONALD und daraus geschätzte Jodtagesausscheidung sowie -zufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht	33
Tabelle 13: Regressionsergebnisse (Regressionskoeffizient und 95%-Konfidenzintervall) der geschätzten Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie über die Zeit von 2018 – 2022, adjustiert für Alter und Geschlecht.....	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Studiendesign von KiGGS	10
Abbildung 2: Sample Points KiGGS Welle 2.....	11
Abbildung 3: Anteil der Personen mit einer geschätzten Jodtageszufuhr unter EAR, nach BMI-Gruppen.....	29
Abbildung 4: Anteil der Personen, deren geschätzte Salzzufuhr im Rahmen der Empfehlung der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine sowie der DGE liegt	31
Abbildung 5: Anteil der Personen, deren geschätzte Salzzufuhr über der Empfehlung der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine sowie der DGE liegt	32
Abbildung 6: Anteil der Personen mit geschätzter Jodtageszufuhr unter EAR, je nach Salzzufuhr	32
Abbildung 7: Geschätzte Jodtagesausscheidung in der DONALD-Studie und in der KiGGS Welle 2, Boxplots mit Median und Interquartilsrange (25., 75. Perzentil), nach Alter	34
Abbildung 8: Geschätzte Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie über die Zeit (2018 – 2022).....	34
Abbildung 9: Entwicklung der geschätzten Jodtageszufuhr in der Zeit von 2014 bis 2022 auf Basis von KiGGS Welle 2 und der DONALD-Studie, Boxplots mit Median und Interquartilsrange (25., 75. Perzentil)	35

1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Deutschland hat bezüglich der Jodversorgung der Bevölkerung eine Berichtspflicht gegenüber der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Aus diesem Grund führt das Robert Koch-Institut (RKI) seit 2003 im Rahmen seines bevölkerungsbezogenen Gesundheitsmonitorings im Auftrag des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern und Jugendlichen Jodmonitoringstudien durch. Die bisherigen Ergebnisse hatten gezeigt, dass die Jodversorgung auf Bevölkerungsebene ungenügend ist (1). Das BMEL hat deshalb das Ziel, Maßnahmen zur Verbesserung der Jodversorgung der Bevölkerung zu entwickeln und umzusetzen. Außerdem verfolgt es die Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten, deren Ziel es unter anderem ist, die Salzaufnahme in der Bevölkerung zu reduzieren (2).

Bioproben für ein aktuelles Jodmonitoring waren ursprünglich im Rahmen der gern-Studie des RKI von 2020 – 2023 geplant. Die Studie konnte jedoch aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht durchgeführt werden. Da die vom RKI geplante neue panelbasierte Infrastruktur zur Gewinnung von bundesweit repräsentativen Untersuchungsergebnissen (Labor- und Messdaten) zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Bioproben zur Verfügung stellen kann und solche Bioproben momentan auch aus keiner anderen bundesweiten Studie zur Verfügung stehen, erfolgt die Schätzung der aktuellen Jodversorgung vor Beginn verschiedener Maßnahmen auf Basis der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland, KiGGS Welle 2 (3). Aus dieser von 2014 – 2017 durchgeführten Studie liegen für ca. 9.500 Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene im Alter von 3 bis 29 Jahren Messergebnisse vor. Als weitere Datenbasis wird die Dortmund Nutritional and Anthropometric Longitudinally Designed (DONALD)-Studie herangezogen (4).

Das vorliegende Projekt lässt durch die gemeinsame Betrachtung der Daten aus dem KiGGS Welle 2-Quer- und Längsschnitt und der DONALD-Studie Aussagen über die mittlere Jod- und Salztageszufuhr bei 3- bis 29-Jährigen in Deutschland bis Ende 2022 zu, d.h. vor Beginn einer geplanten Intervention zur Verbesserung der Jodversorgung. Das Projekt ist dazu geeignet, die Jod- und Salzversorgung aussagekräftig für die entsprechende Bevölkerungsgruppe in Deutschland einzuschätzen.

1.1. Planung und Ablauf des Vorhabens

Jod ist als essentieller und damit lebensnotwendiger Mikronährstoff unentbehrlich für die Synthese der Schilddrüsenhormone Trijodthyronin (T3) und Thyroxin (T4), die zahlreiche Stoffwechselforgänge im menschlichen Organismus steuern. Dazu zählen Energieverbrauch, Thermoregulation, Wachstum und Entwicklung bei Föten, Kindern und Jugendlichen inkl. geistige Leistung und Konzentration sowie

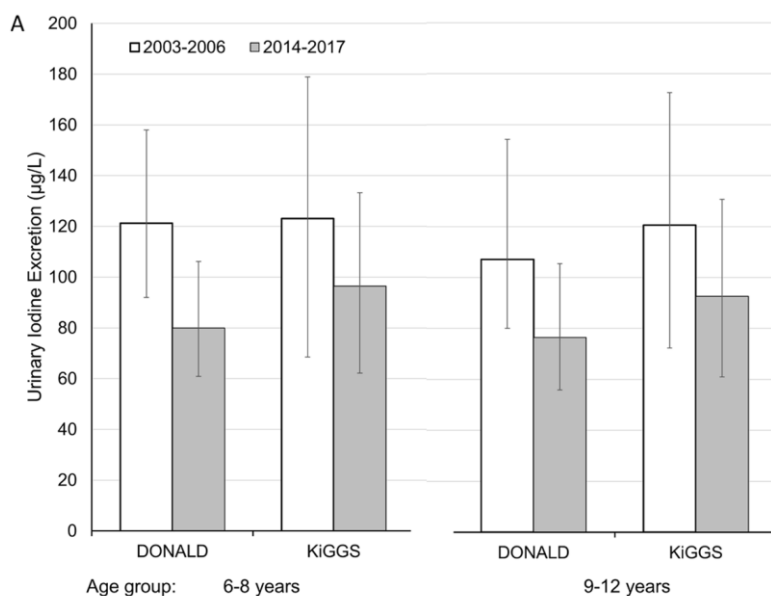
Vorgänge im Bereich der immunologischen Abwehr. Die körperliche Leistungsfähigkeit sowie Darmmotilität und Verdauung werden ebenfalls beeinflusst.

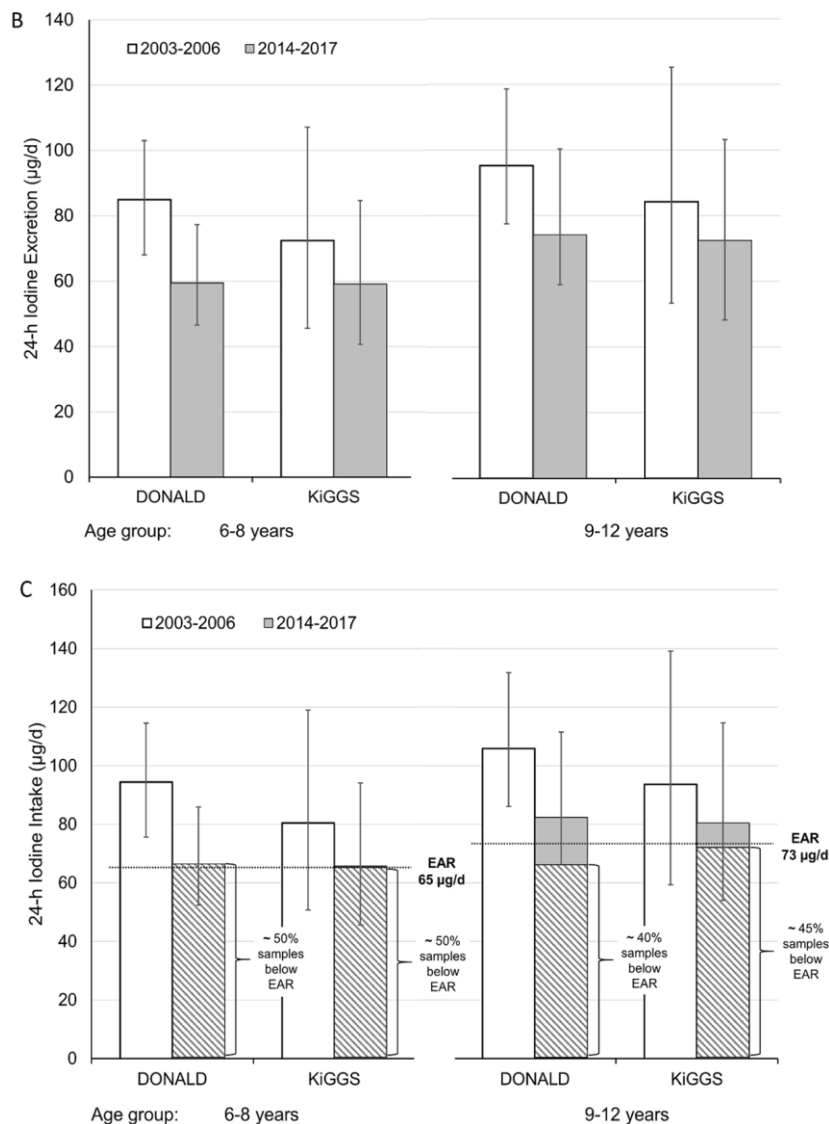
Der Bedarf des Körpers an Jod wird vor allem durch die Bildung der Schilddrüsenhormone bestimmt und ist abhängig von Alter und Stoffwechselaktivität, wodurch v. a. Kinder und Jugendliche bezogen auf das Kilogramm Körpergewicht einen relativ hohen Jodbedarf aufweisen (Wachstums- und Entwicklungsphase) (5). Da der Körper Jod nicht selbst synthetisieren kann, muss eine regelmäßige Aufnahme über die Nahrung erfolgen. Eine unzureichende Jodversorgung und daraus folgender Jodmangel ist eines der häufigsten Ernährungs- und Gesundheitsprobleme weltweit. Nach Verbrauch der Jodreserven in der Schilddrüse (Jodbestand im Körper 10 bis 20 mg, davon 80 % in der Schilddrüse) nimmt die Bildung von Schilddrüsenhormonen ab, wodurch eine Schilddrüsenunterfunktion (Hypothyreose) entstehen kann. Diese hat gesundheitliche Auswirkungen zur Folge, u. a. neurophysiologische Entwicklungsstörungen, Antriebsschwäche, Kälteempfindlichkeit, Gewichtszunahme und Wassereinlagerungen. Mit abnehmendem Jodgehalt versucht die Schilddrüse durch Vergrößerung ihrer Zellen Jod effizienter aus dem Blut aufzunehmen. Es kommt zur Kropfbildung (Struma), die bei starker Ausprägung zu Schluck- und Atembeschwerden führen kann. Bleiben leichte und mäßige Vergrößerungen der Schilddrüse unbemerkt, können sich diese zu kalten und heißen Knoten verändern (5-7). Besonders im Säuglings- und Kindesalter ist eine adäquate Jodversorgung wesentlich für die geistige und körperliche Entwicklung. Bereits ein milder Jodmangel führt zu geistigen Beeinträchtigungen, welche sich in geringerer Leistungsfähigkeit und niedrigeren Intelligenzquotienten äußern können (8, 9). Auch Schwangere und Stillende haben einen erhöhten Jodbedarf und zählen zu den Risikogruppen einer Jodunterversorgung (10).

Die Jodgehalte von Boden, Grundwasser und nationalen Agrarprodukten stellen heutzutage keine ausreichende Jodzufuhr sicher. Deutschland gilt zudem nicht als traditionelles Fischkonsumland, wodurch der Jodprophylaxe eine hohe Bedeutung zukommt. Seit 1989 gilt Jodsalz als Lebensmittel des allgemeinen Verzehrs und steht Privathaushalten, der Lebensmittelindustrie, dem -handwerk und der Gastronomie als jodiertes Speisesalz (Natrium- und Kaliumjodat) auf freiwilliger Basis zur Verfügung (5). Die Verwendung von jodiertem Salz ist laut Max Rubner-Institut (MRI) in den letzten Jahren jedoch rückläufig und liegt 2023 nur noch bei 35,5 % bei Wurstwaren, bei 14,8 % bei weiteren Fleischerzeugnissen und bei nur 9,8 % bei Brot und Kleingebäck (11). Produkte aus biologischer Produktion für diese drei Produktgruppen weisen laut MRI noch deutlich niedrigere Werte auf (8,1 %, 0 % bzw. 0,6 %). Auf der anderen Seite liegt der Konsum von Kochsalz bei Erwachsenen mit 8 bis 10 g pro Tag weit über den empfohlenen Mengen der DGE von 6 g bzw. der WHO von 5 g (12, 13). Ergebnisse der DONALD-Studie zeigen ebenfalls einen deutlich erhöhten Konsum bei Kindern und Jugendlichen (14). Ein erhöhter

Salzkonsum geht einher mit einem erhöhten Risiko für Bluthochdruck und daraus folgenden kardiovaskulären Erkrankungen (14). Das Ziel, den Salzkonsum in der deutschen Bevölkerung zu reduzieren, hätte demnach auch eine entsprechend geringere Jodsalzaufnahme zur Folge. Da 80 % des täglichen Salzkonsums aus hauptsächlich unjodierten Salzquellen wie Brot, Wurstwaren und Fertigprodukten aufgenommen wird und weniger als 30 % des in der Lebensmittelindustrie verwendeten Salzes jodiert ist, müssen sich eine Salzreduktion und angemessene Jodversorgung nicht widersprechen (5), sofern entsprechende Maßnahmen hinsichtlich der Salzjodierung ergriffen werden.

Das vorliegende Projekt schätzt die Jodversorgung zum Zeitpunkt der KiGGS Welle 2 für die Bevölkerungsgruppe der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter von 3 bis 29 Jahren, indem alle Teilnehmenden der KiGGS Welle 2, also Quer- und Längsschnittprobanden, in die Analyse einbezogen werden. Unter Zuhilfenahme von Daten der DONALD-Studie, die für den Zeitraum 2018 – 2022 Ergebnisse zur Jodversorgung von Kindern im Alter von 5 bis 12 Jahren liefert, soll die wahrscheinliche Entwicklung der Jodversorgung bei 3- bis 29-Jährigen bis Ende 2022 aufgezeigt werden. DONALD-Daten eignen sich dazu, da sich gezeigt hat, dass die Beobachtungen aus beiden Studien für gleiche Altersbereiche (6-8 und 9-12 Jahre) in ihrer Richtung und Größenordnung vergleichbar sind (siehe nachfolgende Abbildungen aus Remer et al. 2022 (15)). Dargestellt ist der Vergleich zwischen den Veränderungen in der DONALD-Studie und Veränderungen in den bundesweiten KiGGS-Studienwellen (KiGGS Basiserhebung und KiGGS Welle 2) in Bezug auf Jod-Konzentrationen (A), 24-h-Jodausscheidungsraten (B) und der geschätzten täglichen Jodaufnahme (C). Letztere zeigen bei etwa 50 % der 6- bis 8-jährigen DONALD- und KiGGS Welle 2-Kinder beziehungsweise ca. 40 %-45 % der 9- bis 12-Jährigen eine tägliche Jodzufuhr unterhalb des jeweils geschätzten durchschnittlichen Bedarfs.





Die DONALD-Studie ist die einzige Studie in Deutschland, die derzeit aktuelle Jodmessdaten bereitstellen kann. Für Erwachsene selbst liegen keine Daten vor. Vor dem Hintergrund, dass Veränderungen in der Jodaufnahme im Wesentlichen von der Verwendung von Jodsalz in der Lebensmittelindustrie abhängen, erscheint es plausibel, dass Entwicklungen bei Kindern grundsätzlich auf junge Erwachsene übertragbar sind. Wenn beispielsweise die aktuellen DONALD-Daten einen Abfall der Jodversorgung für die Jahre 2018 – 2022 zeigten, wäre die Größenordnung des Abfalls auf die KiGGS-Daten übertragbar. Damit wird eine Schätzung der aktuellen Lage möglich, auch wenn keine aktuellen, bundesweit repräsentativen Messergebnisse für den Jodstatus vorliegen, da solche geeigneten Proben, wie bereits ausgeführt, derzeit nicht verfügbar sind.

Die wissenschaftliche Arbeit des vorliegenden Projekts beginnt mit der Durchführung spezieller Auswertungen zur Jod- und Salzversorgung auf Basis von KiGGS Welle 2. Diese beziehen sich auf die Konzentration im Urin und, daraus abgeleitet, die geschätzte 24--Tagesausscheidung und die geschätzte Tageszufuhr. Die Ergebnisse werden dargestellt für die Studienpopulation der 3- bis 29-Jährigen

(n=9.465), gesamt und stratifiziert nach Geschlecht und sechs Altersgruppen (3-6 Jahre, n=817; 7-10 Jahre, n=883; 11-13 Jahre, n=2.144; 14-17 Jahre, n=2.825; 18-22 Jahre, n=1.647; 23-29 Jahre, n=1.149). Dazu werden folgende bereits gemessene Laborparameter herangezogen: Jod, Kreatinin und Natrium im Spontanurin. Dazu erfolgten Absprachen mit dem Epidemiologischen Datenzentrum des RKI, auf deren Grundlage ein spezieller Auswertungsdatensatz für alle Teilnehmenden mit Urinprobe (Querschnitt- und Längsschnitt) erstellt wurde. Anschließend wurden geeignete Auswertungsalgorithmen auf Basis bestehender Auswertungssyntaxen der Jodmonitoringstudien, die bereits in den bisherigen Gesundheitsstudien bei Kindern und Erwachsenen integriert waren, erstellt, geprüft und ausgeführt.

Im Labor der DONALD-Studie wurden im Auftrag des RKI aus Projektmitteln Jodanalysen in n=335 Urinproben von 164 Kindern im Alter von 5,5 bis 12,5 Jahren aus den Jahren 2019 – 2022 nach etabliertem Verfahren durchgeführt (WHO-Standard Sandell-Kolthoff-Methode, analog RKI). Zusammen mit weiteren Daten (z.B. Alter, Geschlecht, Größe und Körpergewicht) wurden diese Messwerte dem RKI zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden dem RKI die Daten von im Rahmen der DONALD-Studie bereits durchgeführten Jodanalysen bei 88 Kindern aus dem Jahr 2018 zur Verfügung gestellt. Im Projekt wurden diese Werte genutzt, um sie in die Bewertung der Entwicklung des Jodstatus von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen bis Ende 2022 einfließen zu lassen.

Im Rahmen des Projekts wurden alle DONALD-Daten in ein geeignetes RKI-Auswertungsformat überführt und auf Plausibilität geprüft. In der Gesamtschau aller Daten wurde die Modellierung (Extrapolation) der Entwicklung der Jodversorgung für den Zeitraum von 2018 – 2022 angestrebt. Es wurde geprüft, mit welchen statistischen Verfahren dies am besten ermöglicht werden könnte, z.B. über prozentuale Abweichungen oder über Veränderungsdifferenzen im Ergebnis einer Regressionsanalyse.

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

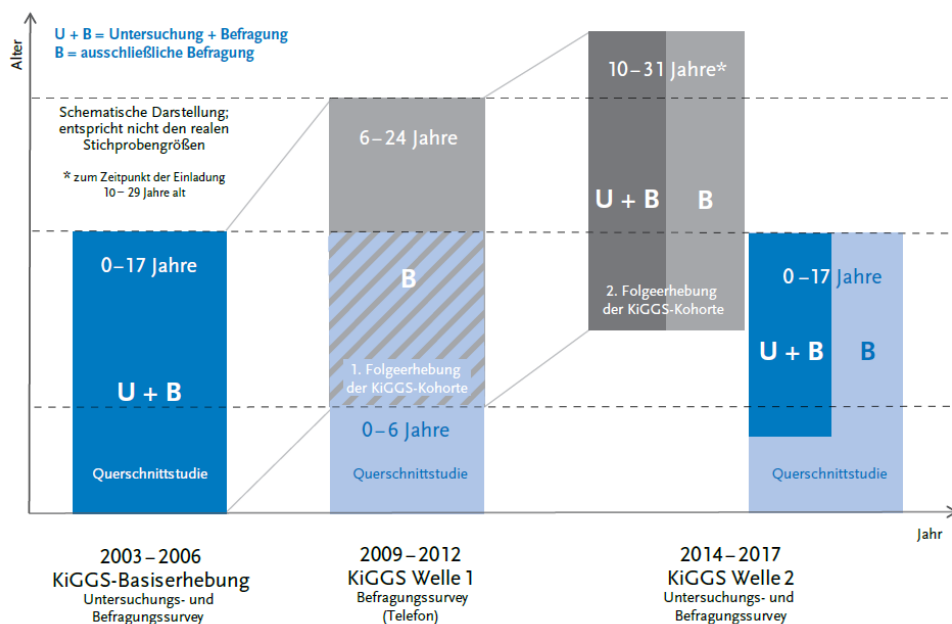
Beschreibung der KiGGS-Studie

Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland ist eine bevölkerungsbezogene Quer- und Längsschnittstudie, die im Rahmen des Gesundheitsmonitorings am Robert Koch-Institut umfangreiche Ergebnisse zum Gesundheitszustand, -verhalten und -versorgung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Deutschland liefert. Auf der Grundlage bundesweit repräsentativer Stichproben wird eine zuverlässige und aussagekräftige Datenbasis zu Gesundheit und Wohlbefinden für die Gesundheitsberichterstattung, für gesundheitspolitische Entscheidungen sowie für die epidemiologische Forschung, Präventions- und Interventionsmaßnahmen bereitgestellt. Eine Weiterbeobachtung der Teilnehmenden der KiGGS-Basiserhebung bis ins Erwachsenenalter (KiGGS-

Kohorte) ermöglicht eine Analyse komplexer Zusammenhänge in verschiedenen Lebensphasen und entsprechenden Entwicklungsverläufen (3).

Die KiGGS-Basiserhebung wurde zwischen 2003 und 2006 als Befragungs- und Untersuchungssurvey durchgeführt, gefolgt von einer ersten telefonischen Folgerhebung (KiGGS Welle 1) von 2009 – 2012 mit kombiniertem Quer- und Längsschnittdesign. Die Datenerhebung der zweiten Folgerhebung (KiGGS Welle 2) wurde von 2014 – 2017 wiederum als Befragungs- und Untersuchungssurvey realisiert (Abbildung 1).

Abbildung 1: Studiendesign von KiGGS



Quelle: (16)

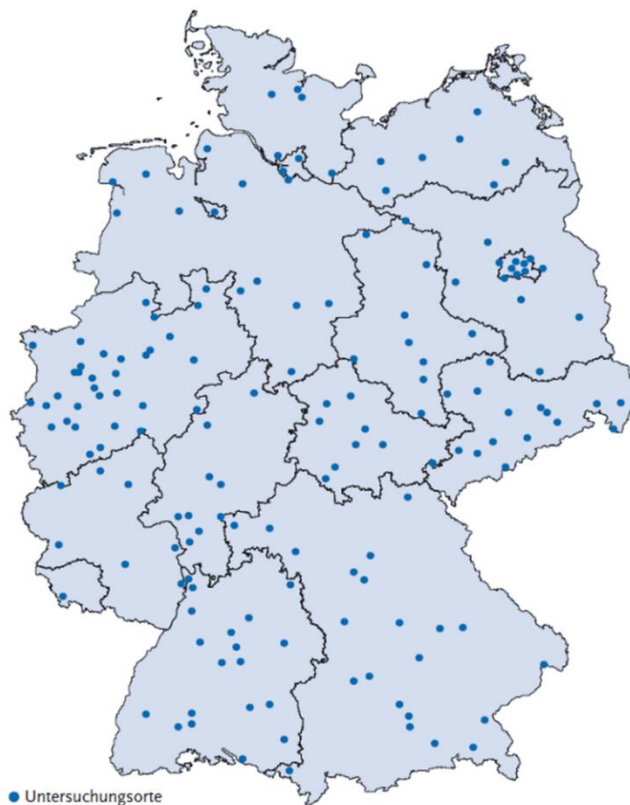
Die Grundgesamtheit für Prävalenzschätzungen bilden die in Deutschland mit Hauptwohnsitz gemeldeten Kinder und Jugendlichen im Alter von 0 bis 17 Jahren. Dafür wurde eine zweistufig geschichtete Zufallsstichprobe gezogen:

1. Stufe: Die 167 Untersuchungsorte (sample points) wurden von der KiGGS-Basiserhebung übernommen (Abbildung 2). Diese wurden in Zusammenarbeit mit dem heutigen GESIS-Leibnitz-Institut für Sozialwissenschaften (ehemals ZUMA) gezogen. Dabei wurde sichergestellt, dass die gewählten Untersuchungsorte die Siedlungsstruktur der Bundesrepublik Deutschlands nach Bundesland und Gemeindetypen (BIK-Klassifikation) abbilden.

2. Stufe: Für jeden Untersuchungsort erfolgte eine Zufallsauswahl von Adressen von Kindern und Jugendlichen in Deutschland aus den Melderegistern der zuständigen Gemeinden. Um gleiche Fallzahlen in allen Untersuchungsorten zu erreichen, wurden verschiedene Anzahlen von Adressen pro

Altersjahrgang gezogen. Dies erfolgte in Abhängigkeit von Gemeindegröße, Region und den Responsequoten aus der KiGGS-Basiserhebung. Darüber hinaus wurde ein 1,5-faches Oversampling von Kindern und Jugendlichen ohne deutsche Staatsbürgerschaft vorgenommen, um den erwarteten höheren Anteil an qualitätsneutralen Ausfällen sowie niedrigen Responsequoten auszugleichen (16).

Abbildung 2: Sample Points KiGGS Welle 2



Quelle: (17)

Die übermittelten Adressen der ausgewählten Kinder und Jugendlichen wurden nach Erhalt im RKI direkt zufällig auf zwei Gruppen verteilt: eine Befragungsgruppe mit 0- bis 17-Jährigen und einer Befragungs- und Untersuchungsgruppe im Alter von 3 bis 17 Jahren. Ein Elternfragebogen zur Gesundheit des Kindes, ein zusätzlicher Gesundheitsfragebogen für die Kinder und Jugendlichen selbst (ab 11 Jahren) sowie ein Ernährungsfragebogen (ab 11 Jahren von den Kindern und Jugendlichen selbst ausgefüllt, bei Jüngeren von den Eltern ausgefüllt) wurden bei allen Studienteilnehmenden eingesetzt. Die Befragungen wurden ausschließlich schriftlich durchgeführt. Die Untersuchungen fanden anhand eines festgesetzten Routenplans in parallel arbeitenden Untersuchungsteams statt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Teilnehmendenzahlen in KiGGS Welle 2. 15.023 Studienpersonen (7.538 Mädchen und 7.485 Jungen) liefern die Querschnittdatengrundlage in KiGGS Welle 2 für alle Analysen, die sich auf Befragungsdaten beziehen. Am Untersuchungsprogramm nahmen 3.567 Kinder und Jugendliche (1.801 Mädchen und 1.766 Jungen) teil. Diese Teilgruppe wird für Analysen der

körperlichen Untersuchungen, Tests sowie Blut- und Urinproben herangezogen. In der Gesamtstichprobe wurde eine Responsequote von 40,1 % erreicht, in der Teilgruppe der zusätzlich Untersuchten lag diese mit 41,5 % etwas höher (16). In die KiGGS-Kohorte konnten 10.853 Wiederteilnehmende eingeschlossen werden. Demnach konnten 61,5 % der Teilnehmenden der Basiserhebung für die zweite Folgerhebung gewonnen werden. 36,6 % der Basisstichprobe (n=6.465) nahmen sowohl am Befragungs- als auch am Untersuchungsprogramm teil. Personen, die noch im damaligen Studienort wohnten, wurden zur Untersuchung und Befragung eingeladen. Personen, die verzogen waren, wurden ausschließlich um Teilnahme an der Befragung gebeten (18).

Tabelle 1: Überblick über die Teilnehmendenzahlen der KiGGS Welle 2 (19)

	KiGGS Welle 2 (Querschnitt)	KiGGS Welle 2 (Längsschnitt)
Alter (in Jahren)	0-17	10-31
Teilnehmende gesamt	15.023	10.853
Teilnehmende an Befragung und Untersuchung	3.567	6.465
Teilnehmende mit Blutprobe	3.016	6.044
Kohortenteilnehmende mit Befragung	-	61,5 %
Kohortenteilnehmende mit Befragung und Untersuchung	-	36,6 %

Die KiGGS-Studie wurde durch die Bundesministerien für Gesundheit sowie durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert (15).

Jodausscheidung messen und schätzen

Die Bestimmung der Jodausscheidung im Urin gilt nach wie vor als empfohlenes Verfahren, um den Jodstatus in einer Bevölkerung zu erfassen (20). Der Goldstandard, die 24-h-Urinmessung, ist mit einem hohen logistischen Aufwand, hohen Kosten und einer erschwerten Umsetzbarkeit verbunden. Vor allem in bevölkerungsweiten Studien mit hohen Fallzahlen ist die Anwendung unüblich und führt besonders bei Kindern zu logistischen Problemen und ungenauen Messungen durch nicht konstante Urinsammlungen oder zu geringe Urinvolumina (21).

Aus diesen Gründen wird in bevölkerungsweiten Studien auf Spontanurinproben zurückgegriffen. Laut der WHO gilt eine Bevölkerung bei einer medianen Jodausscheidung von > 100 µg/l als ausreichend mit Jod versorgt (20). Zur Messung empfiehlt die WHO die Sandell-Kolthoff-Methode (22). Jodkonzentrationen in Spontanurinproben sind großen inter- und intraindividuellen Tagesschwankungen ausgesetzt, abhängig von Urinvolumen und Hydrationsstatus, wodurch die Reliabilität der bevölkerungsweit geschätzten Jodversorgung einschränkt ist. Auch eine hohe Fallzahl ist kein Garant für den Ausgleich

der intra- und interindividuellen Schwankungen im Hydrationsstatus (23). Auf individuellem Level gelten 24-h-Jodurinmessungen als quasi Referenzstandard, jedoch sind mehrere Proben nötig, um die Reliabilität zu erhöhen. König et al. empfehlen bis zu 10 Wiederholungen, um valide Schätzungen der individuellen Jodaufnahme vorzunehmen und Hydrationsstatuseffekte zu reduzieren (24). Dies ist in populationsbezogenen Studien jedoch nicht umsetzbar.

Um in der Praxis auf wiederholte Messungen verzichten und dennoch für den Hydrationsstatus kontrollieren zu können, werden die Analyt-Konzentrationen im Urin in Relation zum Kreatinin gesetzt. Kreatinin ist abhängig von der Muskelmasse, und die 24-h-Kreatinin-Exkretionsrate ist zumindest im Erwachsenenalter relativ konstant. Bei Kindern und Jugendlichen hingegen zeigt Kreatinin aufgrund von Wachstum und Entwicklung eine starke Altersabhängigkeit (25, 26). Als angemessene Lösung erscheinen daher zusätzliche alters- und geschlechtsstandardisierte 24-h-Kreatinin-Referenzwerte, um anhand von Analyt-Kreatinin-Verhältnissen 24-h-Analyt-Konzentrationen aus Spontanurinproben zu schätzen. Remer et al. (2002) entwickelten solche 24-h-Kreatinin-Referenzwerte in Relation zum Körpergewicht, um die Altersabhängigkeit von Kreatinin im Kindes- und Jugendalter zu reduzieren (27). In Anlehnung an Remer et al. (2002) wurden für Erwachsene im Rahmen der VERA-Studie (Verbundstudie Ernährungserhebung und Risikofaktoren-Analytik) 24-h-Kreatinin-Referenzwerte entwickelt. Diese wurden mit einer Unterstichprobe der DONALD-Studie auf deren Anwendbarkeit für die Schätzung von Jod- und Salz-Tagesausscheidungen aus Spontanurinproben untersucht und zeigten sich als ein nützliches Instrument, um realistische und vom Hydrationsstatus unabhängige 24-h-Analytausscheidungen für Erwachsene auf Bevölkerungsebene zu schätzen (28).

Im Rahmen des Jodmonitorings der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS) von 2008 – 2011 wurden die VERA-Referenzwerte angewendet. Ein Vergleich von Jodausscheidungen aus Spontanurinmessungen (Urinary Iodine Concentration (UIC)) und den geschätzten 24-h-Jodausscheidungen der KiGGS-Basiserhebung und DEGS zeigte zudem, dass die ausschließliche Berücksichtigung der UIC (WHO-Empfehlung) zu falschen Interpretationen geführt hätte. Während die medianen UIC bei der KiGGS-Basiserhebung bei 117 µg/l und DEGS bei deutlich geringeren 61 µg/l lagen, zeigten Schätzungen der medianen 24-h-Tagesausscheidung ein umgekehrtes, physiologisch erwartbares Bild (KiGGS-Basiserhebung 84 µg/l, DEGS 113 µg/l). Ein Vergleich der individuellen Jodtageszufuhr mit dem geschätzten mittleren Bedarf (EAR, Estimated Average Requirement) wird daher als Alternative zur WHO-Empfehlung für die Schätzung der Jodversorgung auf Bevölkerungsebene als sinnvoll erachtet. Hierbei wird der Anteil an Individuen geschätzt, der die empfohlene Jodzufuhr nicht erreicht. Dabei gilt eine Bevölkerung als ausreichend mit Jod versorgt, wenn maximal 2 % der Individuen unterhalb des EAR liegen (d.h. 98 % erreichen die Empfehlung) (29, 30).

Aufbauend auf den Grundlagen von Remer et al. (2002) (26) verglichen Montenegro-Bethancourt et al. (2015) (31) zwei Ansätze, um den Jodstatus aus Spontanurinproben in gesunden Kindern und Jugendlichen zu erheben. Der erste Ansatz bestand wie von der WHO empfohlen in der UIC ($\mu\text{g}/\text{l}$). Als zweiten Ansatz wurde die geschätzte 24-h-Jodtagesausscheidung ($\mu\text{g}/\text{d}$) analog nach Remer et al. (2002) berechnet, d.h. das Analyt-Kreatinin-Ratio in Relation zu den 24-h-Kreatinin-Referenzwerten für Kinder und Jugendliche. Beide Ansätze wurden mit parallel gesammelten 24-h-Urinproben derselben Kinder und Jugendlichen validiert. Dabei zeigte sich eine höhere Übereinstimmung der geschätzten zu den realen 24-h-Jodausscheidungen als die UIC zu den realen 24-h-Jodausscheidungen. Die Referenzwerte von Remer et al. (2002) in Relation zum Körpergewicht scheinen sich für die Schätzungen von Analyt-Tagesausscheidungen aus Spontanurinmessungen bei Kindern und Jugendlichen sehr gut zu eignen und wurden deshalb in den Auswertungen von KiGGS Welle 2 berücksichtigt (1).

2. Material und Methoden

Zunächst werden die bereits durchgeführten Labormethoden zur Bestimmung der Jod- und Natriumversorgung sowie der Einsatz von externen Kontrollen (Ringversuchen) zur Qualitätssicherung in der KiGGS-Studie sowie die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten labortechnischen Messungen in der DONALD-Studie beschrieben. Anschließend wird die Bewertung der Jod- und Salzversorgung anhand empfohlener Richtwerte/ Kriterien (WHO-Kriterien, EAR) erklärt. Abschließend werden die Aufbereitungs- und Auswertungsschritte des KiGGS Welle 2-Datensatzes inkl. DONALD-Daten erläutert.

2.1. Labormethoden und Qualitätssicherung in KiGGS Welle 2

Jod

Die Spontanurinproben zur Bestimmung der Jodausscheidung wurden zunächst tiefgefroren und nach Beendigung der Feldphase im Epidemiologischen Zentrallabor des RKI für die Messungen chargenweise aufgetaut. Zum Einsatz kam die von der WHO empfohlene Methode nach dem Prinzip der Sandell-Kolthoff-Reaktion (22) auf dem Analyzer Cobas Mira plus (Roche), nach Vorbehandlung mit Ammoniumperoxodisulfat. Validiert wurde das Verfahren an ICP-MS (Inductively Coupled-Mass Spectrometry; Goldstandard) und der konventionellen manuellen Sandell-Kolthoff-Photometrie (sehr gute Übereinstimmung, Spearman-Korrelationskoeffizienten 0,97 ($p < 0,001$)).

Kreatinin

Um den Hydrationsstatus (verdünnter vs. konzentrierter Urin) zu berücksichtigen und für unterschiedliche Urinkonzentrationen kontrollieren zu können, wurde neben der Jodkonzentration auch die Kreatininausscheidung in demselben Urin gemessen. Dies erfolgte ebenfalls im Epidemiologischen Zentrallabor des RKI am Architect CI 8200 (Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, USA) nach dem Prinzip der Jaffé-Methode ohne Enteiweißung.

Natrium

Die Natriumausscheidung im Urin wurde mittels ionensensitiver Elektrode auf dem Architect CI 8200 (Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, USA) quantifiziert.

Externe Kontrollen/Ringversuche

In sogenannten Ringversuchen werden identische Proben mehrerer Konzentrationsbereiche (meist gemessen mit Goldstandardmethoden) an mehrere Labore verschickt, die diese im laufenden Laboranalytikprozess unter definierten Bedingungen mitmessen (32). Dazu zählen die Ringversuche EQUIP und G-EQUAS, die in bestimmten Abständen mitgemessen wurden, sowie die tägliche RECIPE-Kontrolle:

EQUIP: Ensuring the Quality of Urinary Iodine Procedures

2001 entwickelten die Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Atlanta, USA, das EQUIP-Programm, um Laboren weltweit zu ermöglichen, in regelmäßigen Abständen die Genauigkeit ihrer Jodanalysemethoden zu kontrollieren. EQUIP ist ein standardisiertes Programm zur externen Qualitätssicherung von Jodmessungen. Die Ergebnisse der Ringversuche werden extern evaluiert und mit verschiedenen Laboren weltweit verglichen. Inzwischen nutzen über 126 Labore in über 60 Ländern der Welt das Programm. Dreimal im Jahr senden die CDC den teilnehmenden Laboren ein Set mit vier Proben mit einer bestimmten Jodkonzentration (mit der ICP-MS Goldstandardmethode gemessen) zu, die in den jeweiligen Laboren mit deren Standardmethode (hier Sandell-Kolthoff-Reaktion) gemessen und deren Messwerte anschließend zurückgesendet werden. Der anschließende Bericht durch die CDC dient dazu, dass die Labore die Qualität ihrer Analysen bestätigen, Bias und Präzisionsprobleme eliminieren, aber auch die Qualität des Laborpersonals absichern können. Um die gesamte Messlaufzeit der KiGGS Welle 2-Analysen abzudecken, wurden drei verschiedene Ringversuche herangezogen: EQUIP 45, der zu Beginn der Jodmessungen im September 2016 mitgemessen wurde, EQUIP 47, der im Mai 2017 gemessen wurde und so eine Stichprobe in der Mitte der Laufzeit abdeckt, und EQUIP 50, der letzte Ringversuch im Rahmen der Jodmessungen im Juni 2018.

G-EQUAS: The German External Quality Assessment Scheme for Analyses in Biological Material

Das G-EQUAS-Programm bietet halbjährliche Ringversuche in arbeits- und umweltmedizinischen Bereichen für 153 Biomonitoringparameter an, gemäß den Richtlinien der Bundesärztekammer (seit 1982) im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin. Rund 200 Labore in 35 Ländern beteiligen sich an den Ringversuchen (33). So wurden auch im Rahmen der Jodmessungen die zwei G-EQUAS-Kontrollen pro Jahr gemessen.

RECIPE-Kontrollen

Eine weitere Qualitätssicherungsmaßnahme war der tägliche Einsatz der ClinCheck®-Kontrollurine der Firma RECIPE Chemicals + Instruments GmbH, die ein breites Spektrum an Test- und Referenzmaterialien anbietet. Die ClinCheck®-Kontrollen stehen in verschiedenen Matrizen (hier Urin) zur Verfügung und werden wie Patientenproben behandelt (34). Zum Einsatz kommen lyophilisierte (gefriergetrocknete) Kontrollurine humanen Ursprungs mit Sollwerten in zwei Konzentrationsbereichen, die analog zu Patientenproben aufgearbeitet und analysiert werden. Dabei garantiert die Firma RECIPE für jedes Fläschchen einer Charge gleiche Haltbarkeit und Zusammensetzung, welches durch strenge Qualitätsprüfungen bei der Herstellung der Proben sichergestellt wird. Entsprechend der Richtlinien der Deutschen Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung (Rili-BÄK) werden die Sollwerte und Vertrauensbereiche unter Leitung von RECIPE mit statistischen Methoden ermittelt. Für die Sollwertbestimmung des Spurenelements Jod wurde die ICP-MS Methode eingesetzt (35).

Über den gesamten Messzeitraum wurden sämtliche verfügbaren Ringversuche und Kontrollmessungen durchgeführt und zu 100 % bestanden.

2.2. Labormethodik in der DONALD-Studie

Die 24-h-Urinsammlung begann morgens nach dem Aufstehen mit der vollständigen Entleerung der Blase. Diese Miktion (Morgenurin) wurde verworfen und der genaue Zeitpunkt notiert (Sammelstart). Alle nachfolgenden Urinfraktionen wurden vollständig in mit Extran gereinigten 1-Liter-Plastikbehältern ohne Zusatz sonstiger Substanzen und Konservierungsmittel gesammelt, wobei die Behälter nach jeder Miktion sofort bei -18°C , mindestens jedoch bei -12°C , zu Hause tiefgefroren wurden. Die Urinsammlung endete mit dem vollständigen Auffangen und Tieffrieren des Morgenurins am Folgetag; der genaue Zeitpunkt wurde notiert (Sammelende). Die Sammelzeit wurde berechnet aus der Differenz von Sammelende und Sammelbeginn, ggf. minus Ausfallzeiten, d.h. nicht gesammelter Miktionen. Die Urinsammelbehälter wurden bei den Familien abgeholt und bis zum Auftauen für die Aliquotierung und Analysen im Studienzentrum bei -18°C bis -22°C gelagert.

Für die Analysen wurden die Urine bei Raumtemperatur über Nacht aufgetaut und das Sammelvolumen (in ml) bestimmt. Die Urin-Aliquote für die Langzeitreserve wurden für spätere Analysen und zukünftige Fragestellungen im Studienzentrum bei -18°C bis -22°C tiefgefroren (36). Die Konzentration an Kreatinin wurde mit der photometrischen Jaffé-Reaktion bestimmt, bei der Kreatinin mit Pikrinsäure reagiert und einen roten Farbkomplex bildet, dessen Extinktionsverlauf bei 546 nm zeitabhängig gemessen wird. Die ermittelte Reaktionsgeschwindigkeit ist linear proportional zur Konzentration.

Die Jodkonzentration wurde durch eine saure, nasse Veraschung (Sandell-Kolthoff-Reaktion) bestimmt, bei der eine jodkatalysierte Entfärbung von Cer(IV)-Sulfatlösung mit Arsenit stattfindet. Die Jodkonzentration wurde dabei bestimmt, indem die Abnahme der Absorption nach einer bestimmten, definierten Zeit der katalytischen Aktivität gemessen wurde.

2.3. Bewertung der Jod- und Natriumausscheidung

Zur Beurteilung der gemessenen Jodausscheidungen wurden folgende Richtwerte zur medianen Jodkonzentration der KiGGS Welle 2-Population herangezogen, die von der WHO vorgeschlagen wurden (Tabelle 2):

Tabelle 2: WHO-Kriterien zur Bestimmung der Jodversorgung auf Bevölkerungsebene, basierend auf der Jodkonzentration im Spontanurin (20, 37)

Median der Jodausscheidung im Urin ($\mu\text{g/l}$)	Jodaufnahme	Jodversorgung
< 20	Unzureichend	Schwerer Jodmangel
20-49	Unzureichend	Moderater Jodmangel
50-99	Unzureichend	Leichter Jodmangel
100-199	Ausreichend	Adäquate Jodversorgung
200-299	Mehr als ausreichend	Signalisiert eine mehr als ausreichende Jodversorgung einer Population
>300	Übermäßig	Risiko von gesundheitlichen Nebenwirkungen (z.B. jodinduzierte SD-Überfunktion (Hyperthyreose)) bei zuvor jahrzehntelangem Jodmangel

Zur Ableitung realistischer Tagesausscheidungswerte aus Spontanurinmessungen existieren für Kinder und Jugendliche alters- und geschlechtsstratifizierte Kreatinin-Referenzwerte (27), die für diese Altersgruppe bereits erfolgreich eingesetzt wurden (38, 39) und nun auch auf die KiGGS-Studienpopulation angewendet wurden.

Berechnung zur Ableitung der geschätzten Jodtagesausscheidung sowie Jodtageszufuhr aus Spontanurinmessungen

Folgende Formel wurde für die Schätzung der 24-h-Jodausscheidung aus Spontanurinmessungen herangezogen (31):

$$24h\text{-Jodausscheidung } [\mu\text{g/d}] = \frac{\text{Jod } [\mu\text{g/l}]}{\text{Kreatinin } [\text{mmol/l}]} \times \frac{\text{Kreatinin } [\text{mmol}]}{[24\text{h}] \cdot [\text{kg}]} \times \text{Körpergewicht } [\text{kg}]$$

Schätzung gemessen in Spontanurin Referenzwerte individuell

Die alters- und geschlechterspezifischen Referenzwerte der Kreatininausscheidung nach Remer et al. (2002) (27) wurden als Bezugssystem berücksichtigt und in Relation zum individuellen Körpergewicht gesetzt, um für wachstumsbedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung zu kontrollieren. Da bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen ca. 85 % der mit der Nahrung aufgenommenen Jodmenge im Urin ausgeschieden wird und die restlichen 15 % auf nicht renale Jodverluste durch Schweiß und Faeces zurückzuführen sind (40, 41), wurde zusätzlich noch eine geschätzte tägliche Jodzufuhr aus den 24-h-Jodausscheidungswerten berechnet (Jodtageszufuhr = 24-h-Jodausscheidung / 0,85). Diese geschätzte individuelle 24-h-Jodzufuhr wurde mit dem geschätzten mittleren Bedarf (Estimated Average Requirement – EAR) laut dem amerikanischen Institute of Medicine verglichen (Tabelle 3), um die Prävalenz einer unzureichenden Jodzufuhr zu ermitteln (42, 43).

Tabelle 3: Mittlerer geschätzter Bedarf an Jod (EAR, Estimated Average Requirement (µg/d)) nach Altersgruppen (42)

Alter (in Jahren)	EAR (in µg/d)
1-8	65
9-13	73
ab 14	95

Berechnung zur Ableitung der geschätzten Natriumtagesausscheidung sowie Natrium- bzw. Kochsalztageszufuhr aus Spontanurinmessungen

Die Schätzung der täglichen Natriumausscheidung erfolgte analog zur Jodausscheidung mit den von Remer et al. (2002) generierten Referenzwerten der Kreatininausscheidung (27).

$$24h\text{-Natriumausscheidung } [\text{g/d}] = \frac{\text{Natrium } [\text{g/l}]}{\text{Kreatinin } [\text{mmol/l}]} \times \frac{\text{Kreatinin } [\text{mmol}]}{[24\text{h}] \cdot [\text{kg}]} \times \text{Körpergewicht } [\text{kg}]$$

Schätzung gemessen in Spontanurin Referenzwerte individuell

Die Tagesausscheidung von Natrium multipliziert mit dem Faktor 2,54 entspricht der Kochsalz-Tagesausscheidung (NaCl). Die National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine empfehlen zur Prävention von chronischen ernährungsmitbedingten Krankheiten Maximalwerte für die Natriumzufuhr, welche für Kinder von den Erwachsenen extrapoliert wurden (Tabelle 4; (44)). Diese Werte werden für die Bewertung der geschätzten Salzzufuhr verwendet, wobei Salzausscheidung und Salzzufuhr gleichgesetzt wurden. Zusätzlich wurde für Erwachsene eine Bewertung der geschätzten Salzzufuhr anhand der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) von 6 g/d vorgenommen (45).

Tabelle 4: Maximalwerte für die Natriumzufuhr zur Prävention von chronischen ernährungsmitbedingten Krankheiten (44) sowie die daraus resultierende Salzzufuhr

Alter	Natriumzufuhr (mg/d)	Salzzufuhr (g/d)
1 bis unter 4 Jahre	1200	3,0
4 bis unter 9 Jahre	1500	3,8
9 bis unter 14 Jahre	1800	4,6
14 bis unter 19 Jahre	2300	5,8
19 bis unter 31 Jahre	2300	5,8

2.4. Datenvorbereitung und statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistikprogramm STATA 17. Für die Analysen wurden alle Teilnehmenden mit Urinproben aus KiGGS Welle 2 berücksichtigt, sowohl Teilnehmende an der Querschnittsstudie (0-17 Jahre) als auch Wiederteilnehmende an der Längsschnittstudie im Alter zwischen 10 und 29 Jahren. Personen, die an beiden Studien teilgenommen hatten, wurden nur einmal berücksichtigt.

Imputation von Messwerten unterhalb der Messgrenze

Im Rahmen der Jodmessungen lagen für 284 Fälle die Jodmesswerte unterhalb der messbaren Grenze (Limit of Detection - LOD) von 0,1 µmol/l. Es ist davon auszugehen, dass in diesen Fällen der Urin so stark durch vorheriges Trinken verdünnt war, dass eine Messung technisch nicht mehr möglich war. Um diese Fälle nicht zu verlieren, wurden die fehlenden Messwerte imputiert. Dafür wurde auf eine Dreiecksfunktion zurückgegriffen, welche den fehlenden Werten zufällig Werte zwischen 0 und dem LOD zuordnet, wobei Werte, die näher am LOD sind, häufiger zugeordnet werden. Das wurde erreicht, indem aus einer Gleichverteilung die Wurzel gezogen wurde. Folgendes Statement wurde in STATA angewendet: `gen y = LOD (limit of detection) * sqrt(uniform())`. Eine Imputation von Messwerten unterhalb der Messgrenze wurde ebenfalls beim Kreatinin (n=8) angewendet, wobei der LOD hier bei 0,52 mmol/l lag.

Variablenerstellung

Für die gemessenen Parameter wurden die Variablen jeweils in verschiedene Einheiten umgerechnet. Es wurden die alters- und geschlechterspezifischen 24-h-Kreatininreferenzwerte nach Remer et al. (2002) (27) in Relation zum individuellen Körpergewicht berechnet. Darauf aufbauend erfolgte, wie bereits beschrieben, die Berechnung der geschätzten Jod- und Natriumtagesausscheidung bzw. die jeweilige Zufuhr.

Variablenübersicht mit Einheiten:

- Jod im Urin ($\mu\text{mol/l}$ bzw. $\mu\text{g/l}$)
- Kreatinin im Urin (mmol/l bzw. $\mu\text{g/l}$ bzw. g/l bzw. mg/dl)
- Natrium im Urin (mmol/l bzw. g/l)
- Salz im Urin (g/l ; berechnet aus Natrium im Urin (g/l) * 2,54)
- Jod-Kreatinin-Quotient ($\mu\text{g}/\text{mmol}$; berechnet aus Jod im Urin ($\mu\text{g/l}$) / Kreatinin im Urin (mmol/l))
- geschätzte 24-h-Jodausscheidung ($\mu\text{g/d}$)
- geschätzte 24-h-Jodzufuhr ($\mu\text{g/d}$)

Ausschluss der Teilnehmenden mit Einnahme von Schilddrüsenhormonen (ATC H03AA) und/oder Jodpräparaten (ATC H03C)

Um die Jodstatusergebnisse nicht zu verzerren, wurden diejenigen Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus den Analysen zu Jod ausgeschlossen, die Schilddrüsenhormone und/oder Jodpräparate einnahmen. Die Erfassung der Einnahme erfolgte im Rahmen von standardisierten Arzneimittelinterviews (computergestütztes ärztliches Interview) durch den untersuchenden Arzt/die untersuchende Ärztin. Die mitgebrachten Packungen konnten durch Scannen der Pharmazentralnummer über die Arzneimittel-Erfassungs-Datenbank (AmEDa) erfasst werden. Neben den erwachsenen Teilnehmenden, wurden die Eltern aller minderjährigen Teilnehmenden am Untersuchungssurvey (Altersbereich ab 3 Jahre) interviewt, Jugendliche ab 14 Jahre konnten die Angaben auch selbst machen. Für Schilddrüsenhormone wurden Präparate mit dem ATC-Code H03AA, für Jodpräparate wurden Personen mit der Einnahme eines Arzneimittels mit ATC-Code H03C ausgeschlossen. Für die Analysen zu Jod wurden 191 Teilnehmende ausgeschlossen, die Schilddrüsenhormone eingenommen hatten sowie 34 Personen, die angegeben hatten, Jodpräparate einzunehmen.

Identifikation und Bereinigung von Ausreißern

Für die Identifikation von Messwerten, die deutlich außerhalb eines plausiblen Bereichs für Jod liegen, wurde das *Tolerable Upper Intake Level* (UL) als Orientierung herangezogen (42). Das UL selbst

beschreibt die tolerierbare Obergrenze für die tägliche Aufnahme von Jod, welche für eine gesunde Bevölkerungsgruppe langfristig keine Gesundheitsbeeinträchtigung erwarten lässt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Tolerable Upper Intake Level (UL) für Jod in verschiedenen Altersgruppen; Stand 2001

Alter in Jahren	UL ($\mu\text{g}/\text{d}$)
1-3	200
4-8	300
9-13	600
14-18	900
ab 19	1100

Das UL für Jod (Stand 2001) liegt je nach Altersgruppe zwischen 200 $\mu\text{g}/\text{d}$ (bei 1- bis 3-Jährigen) und 1100 $\mu\text{g}/\text{d}$ (für Erwachsene). Als Ausreißer wurde definiert, wenn das Doppelte des UL als Aufnahmemenge überschritten wurde. Insgesamt wurden 7 Fälle ausgeschlossen.

Statistische Analyse

Gewichtungsfaktor

Für die vorliegenden Auswertungen wurde ein Gewichtungsfaktor erstellt, der - normiert auf die Stichprobe - jedem Untersuchungsteilnehmenden ein Gewicht zuordnet, welches die Abweichungen der Stichprobe von der Bevölkerungsstruktur in Hinblick auf Alter (in Jahren), Geschlecht, Bundesland, Staatsangehörigkeit und Bildungsverteilung der Eltern (Mikrozensus 2013) korrigiert (16).

Deskriptive Statistik

Die Ergebnisse für die Jod- und Natriumausscheidung im Urin, sowie für die geschätzte Jod- und Salzaufnahme werden jeweils mittels Median sowie 25. und 75. Perzentil angegeben (stratifiziert nach Altersgruppe und Geschlecht). Es werden ungewichtete Fallzahlen sowie gewichtete Perzentile berichtet. Anteile werden in Prozent mit 95 %-Konfidenzintervall (ebenfalls gewichtet) berichtet.

Weitere Analysen

Gruppenunterschiede bei berichteten Anteilen wurden mittels Chi-Quadrat-Tests getestet. Mittels linearer Regression wurde untersucht, nach welchen Merkmalen sich die Jodzufuhr unterscheidet. Dabei wurde nach Alter, Geschlecht, Wohnort (Nord, Mitte, Süd), Untersuchungsjahr, Kategorisierung des Body Mass Index (BMI) sowie für Teilnehmende unter 18 Jahren nach elterlicher Bildung unterschieden. Für Teilnehmende ab 18 Jahren wurde stattdessen die eigene Bildung untersucht. Ebenso wurde in einer weiteren Regression der Einfluss des Rauchens untersucht.

Untersuchte Kovariablen

Für die Betrachtung der unterschiedlichen Einflussgrößen auf die Parameter des Jodstatus' wurden verschiedene Informationen zu den einzelnen Teilnehmenden der KiGGS Welle 2 herangezogen. Folgende Daten wurden genutzt und wie nachfolgend definiert verwendet:

a) Der Wohnort der Teilnehmenden wurde in drei Regionen eingeteilt:

Nord: Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen, Bremen, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern

Mitte: Nordrhein-Westfalen, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen

Süd: Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern, Saarland

b) Zur Beurteilung der Körpermasse wurde für die KiGGS-Teilnehmenden der Body-Mass-Index wie folgt berechnet:

$$\text{BMI} = \text{Körpergewicht (in kg)} / \text{Körpergröße (in m)}^2$$

Für alle Teilnehmenden wurde dabei eine Einteilung anhand von Kromeyer-Hauschild-Perzentilen vorgenommen (46):

BMI-Perzentile < 10: Untergewicht

10 ≤ BMI-Perzentile ≤ 90: Normalgewicht

BMI-Perzentile > 90: Übergewicht

BMI-Perzentile > 97: Adipositas

Für Sensitivitätsanalysen wurde für Erwachsene ab 18 Jahren zusätzlich auch eine Einteilung nach WHO-Kriterien vorgenommen (BMI < 18,5 kg/m²: Untergewicht; 18,5 kg/m² ≤ BMI < 25 kg/m² Normalgewicht; BMI ≥ 25 kg/m²: Übergewicht; BMI ≥ 30 kg/m²: Adipositas).

c) Erhebung der Bildung

Für die Teilnehmenden unter 18 Jahren lagen Angaben zu Schul- sowie Ausbildungsabschlüssen der Eltern vor. Zur Klassifikation der Bildungsabschlüsse wurden Gruppen auf Basis der internationalen Klassifikation „Comparative Analyses of Social Mobility in Industrial Nations“ (CASMIN) verwendet (47). Die Klassifikation unterscheidet in eine niedrige, mittlere und eine hohe Bildungsgruppe, die sich anhand von Kombinationen aus schulischen und berufsqualifizierenden Abschlüssen ergeben. Für jeden Haushalt wurde das Maximum der verfügbaren Elternangaben zugewiesen. Für Teilnehmende ab 18 Jahren wurde statt der elterlichen die eigene Bildung als Stratifizierungsvariable betrachtet. Analog erfolgte eine Einteilung anhand der schulischen und berufsqualifizierenden Abschlüsse der Teilnehmenden nach CASMIN.

d) Erhebung des Rauchstatus'

Teilnehmende ab 11 Jahren wurden gefragt, ob sie zurzeit rauchen, mit den Antwortmöglichkeiten: nein, täglich, mehrmals pro Woche, einmal pro Woche, seltener. Für die hier vorliegenden Auswertungen wurden die Antworten dichotomisiert in: ‚nein‘ und ‚ja‘ (auch Gelegenheitsraucher).

Daten der DONALD-Studie

Die DONALD-Studie ist eine offene Kohortenstudie aus dem Raum Dortmund, die 1985 initiiert wurde und seit 2012 zur Professur Ernährungsepidemiologie des Instituts für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften an der landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Leitung: Prof. Dr. Ute Nöthlings) gehört. Jedes Jahr werden 30-40 Säuglinge neu rekrutiert und mit regelmäßigen Untersuchungen im Studienzentrum bis ins Erwachsenenalter begleitet. Seit 1985 wird in der DONALD-Studie von Probanden ab dem Alter von 3-4 Jahren bei möglichst jedem Untersuchungstermin ein 24-h-Urin gesammelt. Von den Urinproben werden Aliquote in der DONALD-Biobank für spätere Analysen eingefroren (4).

Im Rahmen des Vorhabens hat das RKI mit der Universität Bonn einen Dienstleistungs- und einen Datennutzungsvertrag geschlossen. Die Dienstleistung bezog sich auf Jodanalysen in Urinproben von Kindern im Alter von 5,5 bis 12,5 Jahren aus den Jahren 2019 – 2022 im Labor der DONALD-Studie. Für das Vorhaben relevante Aliquote von 24-h-Urinen wurden aus der Biobank ausgewählt und die Jodkonzentration analysiert. Im Datennutzungsvertrag wurden die Datenlieferung und die Datennutzung relevanter Variablen für 2019 – 2022 sowie ebenfalls für das Jahr 2018 geregelt.

Für die Jahre 2018 – 2022 wurden dem RKI insgesamt 423 Messwerte von 185 Personen über folgende Variablen übermittelt:

Alter (Jahre): Alter zum Zeitpunkt der anthropometrischen Messung [ALTER]

Datum der anthropometrischen Messung [UDATUM]

Datum der Urinsammlung [PI_DATUM]

Geschlecht: 1 = Jungen, 2 = Mädchen [SEX]

Gewicht (kg): Körpergewicht zum Zeitpunkt der Urinsammlung [KGEW]

Größe (cm): Körpergröße zum Zeitpunkt der Urinsammlung [GROES]

Kreatininkonzentration im 24-h-Urin (mmol/l) [U_KREA]

Jodkonzentration im 24-h-Urin (µg/dl) [U_JOD]

Aufbereitung und Auswertung von DONALD-Daten im RKI

Analog zum Vorgehen mit KiGGS-Daten wurde aus den gemessenen Jod- und Kreatininwerten die geschätzte tägliche Jodausscheidung sowie Jodzufuhr berechnet. Dafür wurden die alters- und geschlechterspezifischen 24-h-Kreatininreferenzwerte nach Remer et al. 2002 (27) sowie das individuelle Körpergewicht verwendet. Es wurden weder Ausreißer identifiziert, noch mussten fehlende Werte ersetzt werden. Mittels linearer Regression wurde untersucht, ob sich die Jodausscheidung in der DONALD-Studie zwischen 2018 und 2022 geändert hat. Da von einzelnen Teilnehmenden mehrere Messwerte aus verschiedenen Untersuchungsjahren vorlagen, musste diese Clusterung aufgrund von Wiederholungsmessungen berücksichtigt werden. Dafür wurden gemischte Modelle verwendet, in denen die Personen-ID als Clustervariable einging und für Alter und Geschlecht kontrolliert wurde.

3. Ergebnisse

Im Folgenden wird die KiGGS Welle 2-Untersuchungspopulation mit Urinproben vorgestellt. Anschließend werden die Jodmesswerte sowie die geschätzte Jodtagesausscheidung und -zufuhr berichtet. Diese werden anhand der WHO-Kriterien und anhand des Estimated Average Requirements eingeordnet. Es folgen die Ergebnisse zu Natrium- und Salzausscheidung bzw. -zufuhr in KiGGS Welle 2, sowie deren Beurteilung anhand der Empfehlungen zur Natrium- bzw. Salzaufnahme. Um die Entwicklung der Jodversorgung in den Jahren 2018 bis 2022 zu beurteilen, werden die Daten der DONALD-Studie herangezogen. Diese werden zunächst analog zu den KiGGS-Ergebnissen präsentiert. Abschließend wird der zeitliche Trend in beiden Studien untersucht und zusammengeführt.

3.1 Allgemeine Charakteristika der Untersuchungspopulation aus KiGGS Welle 2

Für die vorliegenden Auswertungen mit KiGGS Welle 2-Daten standen Urinproben von 9.465 Personen zwischen 3 und 29 Jahren aus den Jahren 2014 – 2017 zur Verfügung. Die hohen Fallzahlen für die Altersgruppe 11-17 Jahre begründen sich aus der Erhebung. Es wurden zwei Stichproben vereint, KiGGS Welle 2-Teilnehmende im Querschnittsarm (Kinder und Jugendliche zwischen 0 und 17 Jahren) und KiGGS Welle 2-Teilnehmende im Längsschnittarm, in dem eine Wiederbefragung und -untersuchung von Jugendlichen und junge Erwachsenen zwischen 11 und 29 Jahren realisiert wurde. Durch die Verwendung von Anpassungsgewichten konnte diese Dopplung der Fallzahl für die Analysen ausgeglichen werden. Somit entsprechen die Prozentzahlen nach Alter und Geschlecht der Bevölkerungsverteilung. Tabelle 6 zeigt die wichtigsten Studiencharakteristika der Untersuchungspopulation hinsichtlich Alter, geographische Lage (Nord, Mitte, Süd), nach Bildung, nach BMI und nach Rauchstatus, jeweils gesamt und getrennt nach Geschlecht.

Tabelle 6: Allgemeine Studiencharakteristika der KiGGS Welle 2 Teilnehmenden mit Urinprobe

	Männlich			Weiblich			Gesamt		
	Anteil*	95 %-KI	n	Anteil*	95 %-KI	n	Anteil*	95 %-KI	n
	51,9 %	[50,4-53,3]	4.742	48,1 %	[46,7-49,6]	4.723	100 %		9.465
Altersgruppe									
3-6 Jahre	6,4 %	[5,9-6,8]	438	6,0 %	[5,6-6,6]	379	12,4 %	[11,8-13,0]	817
7-10 Jahre	6,5 %	[6,0-6,9]	464	6,1 %	[5,7-6,6]	419	12,6 %	[12,0-13,1]	883
11-13 Jahre	5,0 %	[4,7-5,3]	1.065	4,7 %	[4,4-5,0]	1.079	9,7 %	[9,3-10,1]	2.144
14-17 Jahre	7,3 %	[6,9-7,7]	1.370	6,8 %	[6,4-7,2]	1.455	14,1 %	[13,5-14,6]	2.825
18-22 Jahre	10,1 %	[9,1-11,2]	806	9,1 %	[8,3-9,9]	841	19,2 %	[18,0-20,4]	1.647
23-29 Jahre	16,7 %	[15,3-18,2]	599	15,5 %	[14,1-16,9]	550	32,1 %	[30,4-33,9]	1.149
geographische Lage									
Nord	12,8 %	[9,5-17,1]	1.187	12,2 %	[9,0-16,3]	1.213	25,0 %	[18,4-32,9]	2.400
Mitte	20,1 %	[16,2-24,7]	2.118	18,7 %	[15,0-23,0]	2.094	38,8 %	[31,2-47,0]	4.212
Süd	18,9 %	[15,0-23,6]	1.437	17,3 %	[13,7-21,6]	1.416	36,2 %	[28,6-44,6]	2.853
Bildung der Eltern (für Teilnehmende < 18 Jahren)									
niedrig	12,5 %	[10,9-14,3]	364	10,0 %	[8,5-11,8]	348	22,5 %	[20,3-25,0]	712
mittel	24,2 %	[22,7-25,9]	1.739	24,3 %	[22,6-26,0]	1.774	48,5 %	[46,0-51,0]	3.513
hoch	14,6 %	[13,1-16,2]	1.129	14,4 %	[13,0-15,9]	1.110	29,0 %	[26,6-31,4]	2.239
missing			105			100			205
eigene Bildung (für Teilnehmende ab 18 Jahren)									
niedrig	11,5 %	[9,2-14,3]	125	5,5 %	[4,0-7,4]	73	17,0 %	[14,2-20,2]	198
mittel	34,5 %	[32,1-37,0]	1.053	35,9 %	[33,7-38,2]	1.103	70,4 %	[67,4-73,1]	2.156
hoch	5,3 %	[4,3-6,5]	129	7,3 %	[6,0-8,9]	148	12,6 %	[10,9-14,7]	277
missing			98			67			165
BMI-Kategorie (nach Kromeyer-Hauschild)									
Untergewicht	5,3 %	[4,5-6,2]	448	4,3 %	[3,7-4,9]	443	9,6 %	[8,6-10,6]	891
Normalgewicht	38,7 %	[37,1-40,3]	3.577	35,7 %	[34,4-37,1]	3.580	74,4 %	[72,8-76,0]	7.157
Übergewicht	4,5 %	[3,8-5,2]	402	4,6 %	[4,0-5,3]	412	9,1 %	[8,1-10,1]	814
Adipositas	3,7 %	[3,1-4,5]	312	3,2 %	[2,7-3,8]	267	6,9 %	[6,1-7,9]	579
missing			3			21			24
Rauchstatus (ab 11 Jahren)									
ja	15,5 %	[13,8-17,4]	666	11,6 %	[10,1-13,2]	570	27,1 %	[25,0-29,4]	1.236
nein	36,0 %	[34,1-38,0]	3.013	36,9 %	[35,0-38,8]	3.237	72,9 %	[70,6-75,1]	6.250
missing			161			118			279

* gewichtet; KI=Konfidenzintervall

3.2 Jodversorgung auf Basis von KiGGS Welle 2

Um Aussagen über die Jodversorgung der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Deutschland treffen zu können, wurde, wie bereits erwähnt, der bereits gemessene Jodgehalt aus Spontanurinproben [$\mu\text{g/l}$] benutzt, um daraus eine geschätzte Jodtagesausscheidung sowie die geschätzte Jodtageszufuhr [$\mu\text{g/d}$] zu ermitteln (Tabelle 77).

Tabelle 7: Messwerte der Jodausscheidung im Spontanurin in KiGGS und daraus geschätzte Jodtagesausscheidung sowie -zufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht

Alter in Jahren	n	Jod im Spontanurin [$\mu\text{g/l}$]	n	Geschätzte Jodtagesausscheidung [$\mu\text{g/d}$]*	Geschätzte Jodtageszufuhr [$\mu\text{g/d}$]**
Männlich					
3-6	431	105,3 (69,8; 148,5)	428	59,2 (37,5; 85,2)	69,6 (41,1; 100,3)
7-10	457	95,2 (62,2; 134,5)	457	64,6 (45,1; 98,7)	75,9 (53,1; 116,1)
11-13	1.055	91,4 (64,7; 125,6)	1.055	80,1 (55,9; 116,4)	94,2 (65,8; 136,9)
14-17	1.339	83,8 (57,1; 114,2)	1.339	92,9 (64,5; 128,9)	109,3 (75,9; 151,7)
18-22	786	76,1 (48,2; 106,6)	786	100,8 (68,5; 144,6)	118,6 (80,6; 170,1)
23-29	582	74,9 (45,7; 100,3)	581	108,5 (74,7; 152,7)	127,7 (87,9; 179,7)
gesamt	4.650	82,5 (53,3; 116,7)	4.646	88,3 (60,3; 131,1)	103,9 (70,9; 154,3)
Weiblich					
3-6	369	88,8 (57,1; 128,2)	369	53,1 (33,9; 68,9)	62,5 (39,9; 81,0)
7-10	415	87,6 (55,8; 128,2)	415	63,5 (42,4; 93,4)	74,7 (49,9; 109,9)
11-13	1.055	88,8 (55,8; 124,4)	1.055	67,2 (45,3; 101,4)	79,1 (53,3; 119,3)
14-17	1.391	77,4 (49,5; 110,4)	1.390	83,2 (57,2; 122,6)	97,8 (67,3; 144,2)
18-22	792	72,3 (45,7; 109,1)	787	81,4 (53,5; 124,7)	95,8 (62,9; 146,7)
23-29	500	63,5 (34,4; 96,4)	489	94,9 (61,6; 143,2)	111,6 (72,5; 168,5)
gesamt	4.522	76,1 (45,7; 112,9)	4.505	75,3 (50,1; 118,4)	88,6 (59,0; 139,3)
Gesamt					
3-6	800	97,7 (63,5; 139,6)	797	55,2 (36,2; 77,2)	64,9 (42,5; 90,8)
7-10	872	91,4 (58,4; 132,0)	872	64,4 (44,4; 96,5)	75,8 (52,2; 113,5)
11-13	2.110	91,4 (62,2; 125,6)	2.110	74,8 (51,3; 109,0)	88,0 (60,3; 128,2)
14-17	2.730	81,2 (53,3; 112,9)	2.729	86,0 (60,8; 126,3)	101,2 (71,5; 148,6)
18-22	1.578	74,9 (47,0; 107,9)	1.573	91,6 (59,8; 137,4)	107,7 (70,3; 161,6)
23-29	1.082	69,8 (41,9; 99,0)	1.070	103,2 (70,6; 146,8)	121,4 (83,1; 172,7)
gesamt	9.172	79,9 (50,8; 114,2)	9.151	81,9 (54,8; 125,5)	96,4 (64,5; 147,7)

*Die Jodtagesausscheidung wurde aus dem Jod-Kreatinin-Quotienten geschätzt anhand gewichtsbezogener alters- und geschlechtsstratifizierter Kreatininausscheidungs-Referenzwerte nach (27))

**Die Jodtageszufuhr berechnet sich aus der Jodtagesausscheidung / 0,85

Die mediane Jodausscheidung im Spontanurin der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen lag bei 79,9 $\mu\text{g/l}$, wobei Jungen mit 82,5 $\mu\text{g/l}$ eine höhere Jodausscheidung aufwiesen als Mädchen mit 76,1 $\mu\text{g/l}$. Während die Jungen in der Altersgruppe der 3- bis 6-Jährigen eine mediane Jodausscheidung von 105,3 $\mu\text{g/l}$ aufzeigten, lag die mediane Ausscheidung in der Altersgruppe 23- bis 29-Jährigen bei 74,9 $\mu\text{g/l}$. Bei den Mädchen zeigte die höchste Altersgruppe ebenfalls die geringsten Jodausscheidungswerte im Spontanurin. In den Altersgruppen zwischen 3 und 13 Jahren unterscheiden sich bei ihnen die Werte jedoch kaum und lagen jeweils bei etwa 88 $\mu\text{g/l}$. Die Umrechnung in die geschätzte

Jodtageszufuhr ergab einen Wert von 96,4 µg/d für die Gesamtgruppe. Jungen erreichten eine geschätzte Jodtageszufuhr von 103,9 µg/d und Mädchen von 88,6 µg/d (Tabelle 7).

3.2.1 Beurteilung der Jodausscheidung im Spontanurin nach WHO-Kriterien

Der Grenzwert der WHO für eine ausreichende Jodversorgung auf Bevölkerungsebene, ermittelt aus Spontanurinproben, liegt bei einem Median von 100 µg/l (s. Kapitel 2.3). Dieser Wert wird erreicht, wenn die Hälfte der Bevölkerung (50 %) einen Wert über 100 µg/l Jod im Spontanurin aufweist. In der KiGGS-Studie lag der Anteil jedoch nur bei 34 %, wobei keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Chi-Quadrat-Test, $p=0,069$) vorlagen. Mit zunehmendem Alter nahm der Anteil der Personen mit einem Wert über 100 µg/l Jod im Spontanurin statistisch signifikant ab (Chi-Quadrat-Test, $p<0,001$) und lag bei Personen zwischen 23 und 29 Jahren nur noch bei 24,3 % (Tabelle 8).

Tabelle 8: Anteil der Personen mit einem Wert über WHO-Grenzwert

Anteil der Personen mit einem Wert über 100 µg/l Jod im Spontanurin [95 %-Konfidenzintervall]		
Gesamt	34,0 %	[32,2-35,8]
männlich	35,4 %	[33,0-37,8]
weiblich	32,4 %	[30,0-34,9]
3-6 Jahre	47,9 %	[43,3-52,6]
7-10 Jahre	44,7 %	[40,1-49,4]
11-13 Jahre	41,6 %	[38,8-44,5]
14-17 Jahre	34,0 %	[31,6-36,5]
18-22 Jahre	29,2 %	[25,9-32,7]
23-29 Jahre	24,3 %	[21,1-27,8]

Die Ergebnisse zeigen, dass auf Basis der Spontanurinmessung nach WHO-Kriterien nicht von einer ausreichenden Jodversorgung auf Bevölkerungsebene ausgegangen werden kann. Nur die 3- bis 6-Jährigen haben laut WHO-Klassifikation (s. Tabelle 2) eine adäquate Jodversorgung, für alle anderen untersuchten Altersgruppen liegt ein leichter Jodmangel auf Bevölkerungsebene vor.

3.2.2 Prävalenzen einer unzureichenden Jodtageszufuhr

Für die Ermittlung der Prävalenzen einer unzureichenden Jodtageszufuhr erfolgte ein Vergleich der geschätzten Jodtageszufuhr mit dem EAR, dem mittleren geschätzten Bedarf (s. Kapitel 2.3). In Tabelle 9 sind die prozentualen Anteile von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen dargestellt, deren geschätzte tägliche Jodzufuhr unterhalb des täglichen mittleren geschätzten Bedarfes lag.

Tabelle 9: Prozentualer Anteil mit 95%-Konfidenzintervall mit einer geschätzten täglichen Jodzufuhr unterhalb des mittleren geschätzten Bedarfs, nach Alter und Geschlecht

Alter in Jahren	Prozentualer Anteil mit einer geschätzten täglichen Jodzufuhr < EAR					
	Männlich	95 %-KI	Weiblich	95 %-KI	Gesamt	95 %-KI
3-6	46,4	[40,4-52,5]	52,6	[47,4-59,8]	49,9	[45,6-54,2]
7-10	41,2	[35,4-47,3]	44,7	[38,5-51,4]	43,0	[43,0-47,4]
11-13	32,4	[28,1-37,0]	43,1	[39,2-48,0]	37,8	[34,7-41,0]
14-17	40,6	[36,9-44,4]	47,6	[45,0-52,1]	44,4	[41,7-47,1]
18-22	33,9	[29,4-38,7]	49,0	[44,3-55,0]	41,1	[38,4-45,0]
23-29	29,0	[24,5-33,8]	41,9	[36,4-48,3]	35,0	[31,1-39,1]
Gesamt	35,6	[33,4-37,8]	46,5	[43,8-49,2]	40,7	[38,8-42,6]

KI=Konfidenzintervall

Insgesamt lagen 40,7 % der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen unterhalb des EAR. Mädchen und junge Frauen wiesen mit 46,5 % einen statistisch signifikant höheren Anteil an Personen mit einer zu geringen geschätzten täglichen Jodzufuhr auf als Jungen und junge Männer (35,6 %; Chi-Quadrat-Test, $p < 0,0001$). Der Anteil an Mädchen, die den EAR nicht erreichten, überstieg in allen Altersgruppen den Anteil der Jungen. Sowohl bei Jungen als auch bei den Mädchen war der Anteil der Kinder unterhalb des EAR in der Altersgruppe der 3- bis 6-Jährigen am höchsten. Hier gelang es nur jedem Zweiten, den mittleren geschätzten Jodbedarf aufzunehmen.

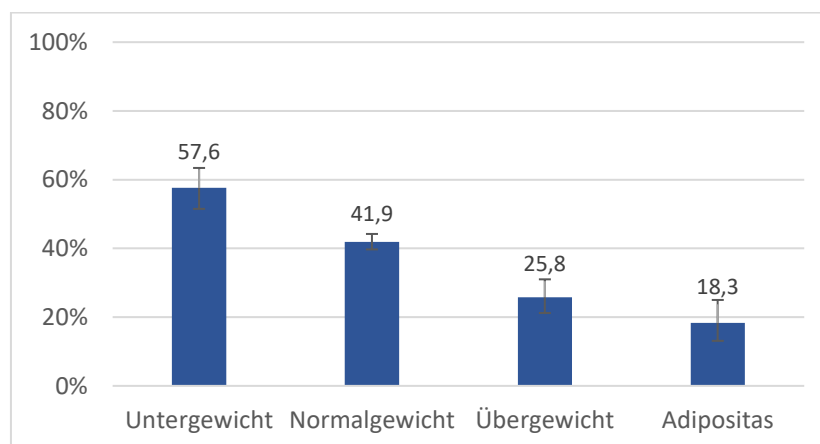
3.2.3 Untersuchung der geschätzten Jodtageszufuhr nach ausgewählten Charakteristika

Mit Hilfe einer Regression wurde untersucht, ob die geschätzte Jodtageszufuhr von bestimmten Merkmalen abhängig ist. In Tabelle 10 sind die statistisch signifikanten Einflussgrößen dargestellt. Statistisch signifikante Unterschiede der geschätzten täglichen Jodzufuhr konnten für Geschlecht, Alter und BMI festgestellt werden (lineare Regression, $p < 0,05$). Mädchen und junge Frauen wiesen im Vergleich zu Jungen und jungen Männern eine statistisch signifikant niedrigere geschätzte tägliche Jodzufuhr auf. Mit zunehmendem Alter nahm die geschätzte tägliche Jodzufuhr bei beiden Geschlechtern zu. Unterschiede waren insgesamt auch in Bezug auf den BMI festzustellen. Im Vergleich zu Normalgewichtigen hatten Untergewichtige eine deutlich niedrigere geschätzte Jodtageszufuhr, Übergewichtige und Adipöse eine deutliche höhere geschätzte Jodtageszufuhr (Tabelle 10). Abbildung 3 verdeutlicht die Assoziation zwischen geschätzter Jodtageszufuhr und BMI auch als Darstellung der prozentualen Anteile von Personen mit einer geschätzten Jodtageszufuhr unterhalb EAR, stratifiziert nach BMI-Gruppen.

Tabelle 10: Regressionsergebnisse (Regressionskoeffizient und 95%-Konfidenzintervall) der statistisch signifikanten Einflussgrößen auf die geschätzte Jodtageszufuhr

Prädiktor	Koeffizient [95%-KI]	p-Wert
Geschlecht weiblich (Referenz: männlich)	-10,1 [-16,6- -3,6]	0,002
Alter 7-10 Jahre (Referenz: 3–6 Jahre)	14,6 [7,4-21,8]	<0,001
Alter 11-13 Jahre (Referenz: 3–6 Jahre)	26,1 [19,9-32,3]	<0,001
Alter 14-17 Jahre (Referenz: 3–6 Jahre)	44,1 [38,0-50,3]	<0,001
Alter 18-22 Jahre (Referenz: 3–6 Jahre)	53,4 [45,5-61,3]	<0,001
Alter 23-29 Jahre (Referenz: 3–6 Jahre)	68,7 [60,3-77,1]	<0,001
Wohnregion Mitte (Referenz: Nord)	-0,1 [-10,0-9,7]	0,980
Wohnregion Süd (Referenz: Nord)	-4,5 [-15,7-6,7]	0,430
BMI Untergewicht (Referenz: Normalgewicht)	-29,5 [-35,6- -23,5]	<0,001
BMI Übergewicht (Referenz: Normalgewicht)	25,0 [15,0-34,9]	<0,001
BMI Adipositas (Referenz: Normalgewicht)	69,8 [40,9-98,7]	<0,001

Abbildung 3: Anteil der Personen mit einer geschätzten Jodtageszufuhr unter EAR, nach BMI-Gruppen



Keine statistisch signifikanten Assoziationen zeigten sich zwischen der geschätzten täglichen Jodzufuhr und der Wohnregion (Nord, Mitte, Süd) sowie dem Untersuchungsjahr. Für Teilnehmende unter 18 Jahren wurde in einer zusätzlichen Regression die elterliche Bildung (kategorisiert in niedrig, mittel, hoch) mit im Modell berücksichtigt. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede nach elterlicher Bildung ($p=0,554$). Für die Teilnehmenden ab 18 Jahre wurde in einer getrennten Regression der eigene Bildungsstatus zusätzlich berücksichtigt. Hierbei zeigte sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Einfluss ($p=0,183$). Der Rauchstatus (Rauchen ja/nein) wurde nur für Teilnehmende ab 11 Jahren erhoben. In einer zusätzlichen Regression für diese Altersgruppe zeigte der Rauchstatus keine statistisch signifikante Assoziation mit der geschätzten täglichen Jodzufuhr ($p=0,183$).

3.3 Natrium- und Kochsalzzufuhr in KiGGS Welle 2

Für die Schätzung der Salzaufnahme der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Deutschland wurden die ebenfalls bereits gemessenen Natrium- und die Kreatininkonzentrationen im Spontanurin benutzt, um daraus die Salztageszufuhr zu ermitteln. Tabelle 11 gibt die mediane Natriumkonzentration im Urin [g/l] und die geschätzte mediane Salztageszufuhr [g/d] nach Alter und Geschlecht an.

Tabelle 11: Messwerte der Natriumausscheidung im Spontanurin und daraus geschätzte Salztageszufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht

Alter in Jahren	n	Natrium im Urin [g/l]	n	Geschätzte Salztageszufuhr [g/d]*
Männlich				
3-6	432	3,4 (2,2; 4,9)	430	5,0 (3,1; 6,8)
7-10	457	3,6 (2,4; 4,9)	457	6,3 (3,8; 8,9)
11-13	1.056	3,7 (2,5; 4,9)	1.056	7,9 (5,0; 12,4)
14-17	1.352	3,5 (2,4; 4,6)	1.352	9,7 (6,5; 14,4)
18-22	796	3,3 (2,0; 4,3)	796	11,4 (6,7; 17,7)
23-29	595	3,0 (2,0; 4,2)	594	11,7 (7,7; 17,5)
gesamt	4.688	3,3 (2,2; 4,5)	4.685	9,0 (5,5; 14,3)
Weiblich				
3-6	358	2,7 (1,6; 4,0)	358	3,9 (2,6; 5,8)
7-10	409	3,1 (1,9; 4,6)	409	5,9 (4,0; 8,4)
11-13	1.057	3,4 (2,2; 4,5)	1.057	6,8 (4,2; 9,9)
14-17	1.422	3,0 (1,8; 4,3)	1.422	8,3 (5,3; 12,6)
18-22	807	2,8 (1,5; 4,1)	802	8,2 (4,9; 12,6)
23-29	521	2,4 (1,5; 3,7)	508	9,6 (6,6; 14,8)
gesamt	4.574	2,8 (1,6; 4,1)	4.407	7,3 (4,4; 11,3)
Gesamt				
3-6	790	3,1 (1,8; 4,5)	788	4,4 (2,8; 6,2)
7-10	866	3,3 (2,2; 4,7)	866	6,0 (3,9; 8,8)
11-13	2.113	3,5 (2,3; 4,7)	2.113	7,3 (4,7; 11,0)
14-17	2.774	3,3 (2,1; 4,5)	2.774	9,1 (5,8; 13,7)
18-22	1.603	3,1 (1,7; 4,2)	1.598	9,8 (5,7; 15,1)
23-29	1.116	2,7 (1,7; 3,9)	1.102	11,1 (7,4; 16,3)
gesamt	9.262	3,1 (1,9; 4,3)	9.024	8,3 (5,0; 13,1)

*Die Salzzufuhr wurde aus dem Natrium-Kreatinin-Quotienten geschätzt anhand gewichtsbezogener alters- und geschlechtsstratifizierter Kreatininausscheidungs-Referenzwerte nach (27)

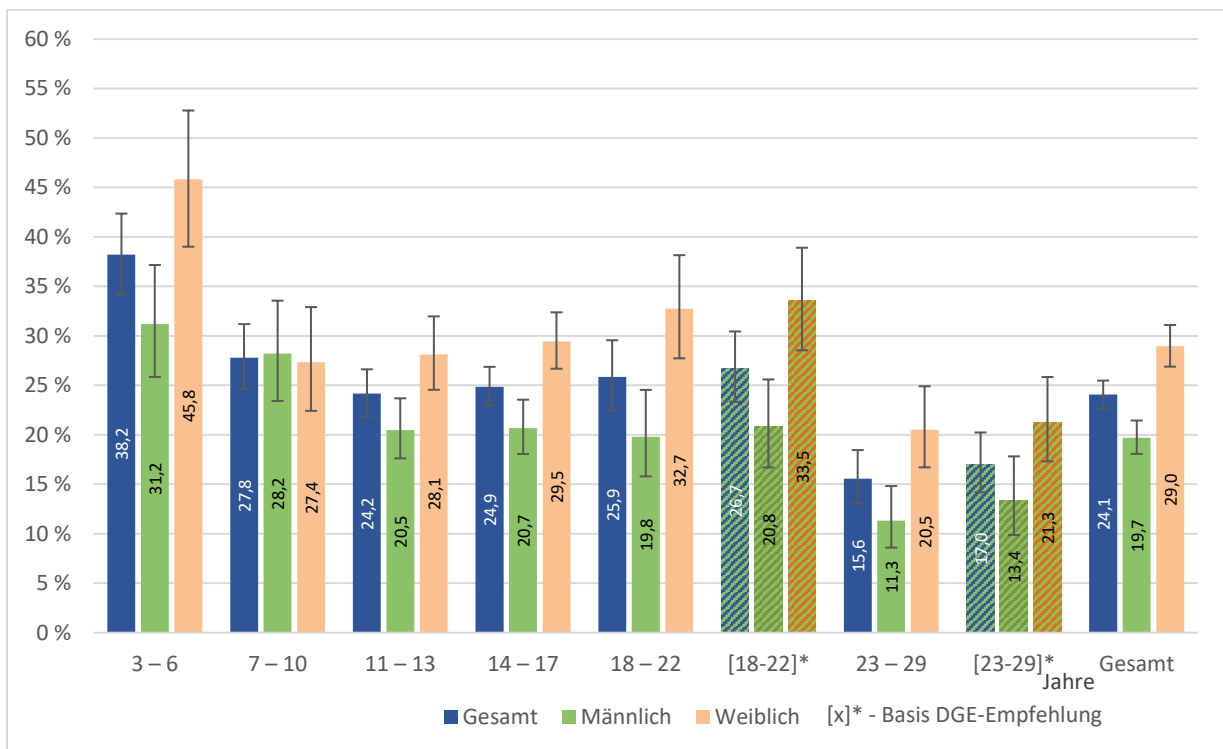
Die mediane Natriumkonzentration im Urin lag bei 3,1 g/l. Jungen und junge Männer wiesen eine leicht höhere (3,3 g/l), statistisch aber nicht signifikante Natriumausscheidung auf als Mädchen und junge Frauen (2,8 g/l). Sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen waren in der Altersgruppe der 11- bis 13-Jährigen mit 3,7 g/l bzw. 3,4 g/l die höchsten Natriumwerte im Urin festzustellen. Die geschätzte tägliche Salzzufuhr, die aus den Natrium-Kreatinin-Quotienten anhand gewichtsbezogener alters- und geschlechtsstratifizierter Kreatininausscheidungs-Referenzwerte nach Remer et al. 2002 (27) ermittelt wurde, nahm unabhängig vom Geschlecht mit dem Alter zu. Die geschätzte mediane Salztagesaufnahme lag bei Jungen und jungen Männern bei 9,0 g/d, bei Mädchen und jungen Frauen bei 7,3 g/d.

3.3.1 Beurteilung der geschätzten täglichen Salzzufuhr

In allen Alters- und Geschlechtergruppen lag die geschätzte mediane Salztageszufuhr über den Empfehlungen (s. Tabelle 4). Für die 9- bis 13-Jährigen liegt der Grenzwert der maximal empfohlenen Salzzufuhr beispielsweise bei 4,6 g/d, für Jugendliche ab 14 Jahren und Erwachsene bei 5,8 g/d. Die Mädchen und Jungen in diesen Altersgruppen wiesen im Median etwa 1,5-fache Zufuhrwerte auf.

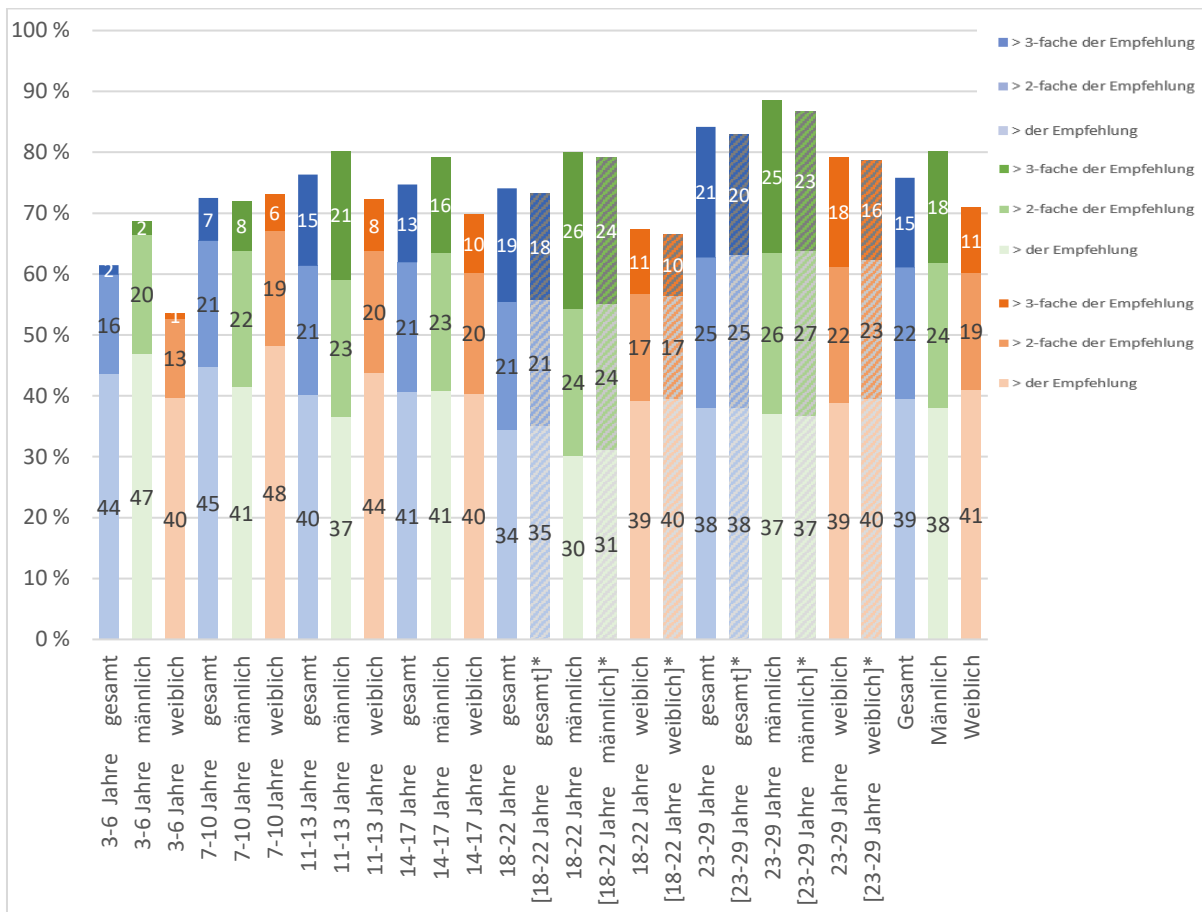
Abbildung 4 verdeutlicht, dass insgesamt nur etwa jeder Vierte im Rahmen der empfohlenen täglichen Salzzufuhr blieb. Dabei zeigten sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Bei den weiblichen Teilnehmenden war die geschätzte Salztageszufuhr bei etwa drei von zehn im Rahmen der Empfehlung. Bei den männlichen Teilnehmenden war dies nur bei jedem Fünften der Fall und damit bei einem statistisch signifikant geringeren Anteil (Chi-Quadrat-Test $p < 0,001$). Für Personen ab 18 Jahren wurde zusätzlich die DGE-Empfehlung von 6 g Salz pro Tag zur Bewertung herangezogen. Auf dieser Basis liegt ein geringfügig größerer Personenanteil im Rahmen der empfohlenen Salzzufuhrmenge.

Abbildung 4: Anteil der Personen, deren geschätzte Salzzufuhr im Rahmen der Empfehlung der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine sowie der DGE liegt



Junge Erwachsene ab 23 Jahren haben besonders häufig die Empfehlung überschritten, wobei etwa jeder Fünfte sogar mehr als das Dreifache der empfohlenen täglichen Zufuhrmenge aufwies (Abbildung 5). Insgesamt nahm mehr als jeder Fünfte der 3- bis 29-Jährigen das Doppelte und mehr als jeder Siebte das Dreifache der empfohlenen Salzmenge pro Tag auf.

Abbildung 5: Anteil der Personen, deren geschätzte Salzzufuhr über der Empfehlung der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine sowie der DGE liegt



3.3.2 Salzzufuhr im Verhältnis zur Jodzufuhr

Obwohl die geschätzte tägliche Salzzufuhr überwiegend über den empfohlenen Zufuhrmengen lag, wurden die empfohlenen Jodzufuhrmengen nicht von allen erreicht (Abbildung 6).

Abbildung 6: Anteil der Personen mit geschätzter Jodtageszufuhr unter EAR, je nach Salzzufuhr

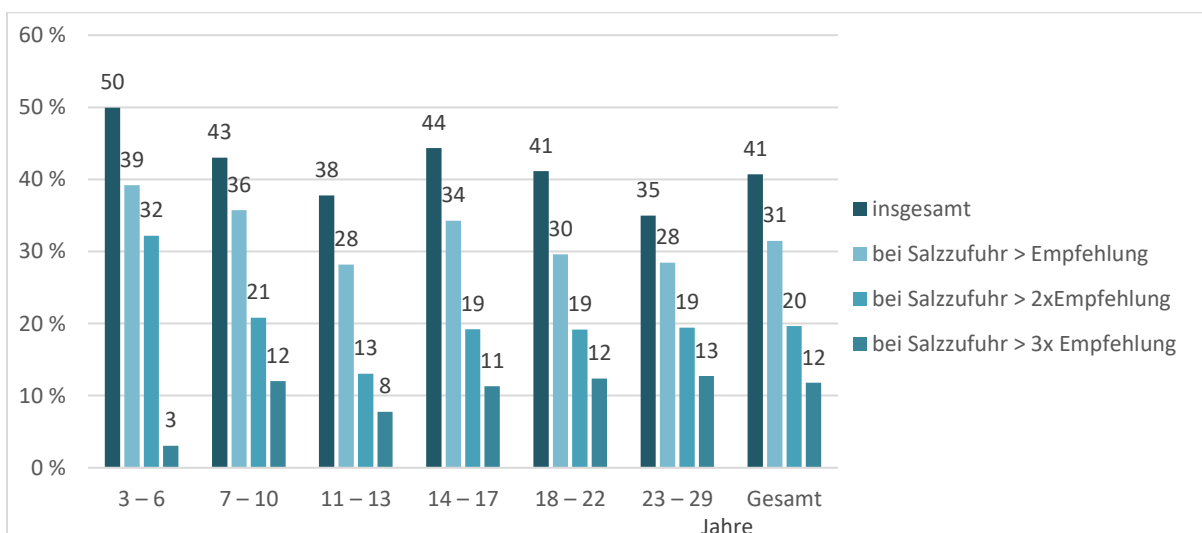


Abbildung 6 zeigt den prozentualen Anteil der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen, die eine geschätzte tägliche Jodzufuhr unterhalb des EAR aufwiesen in Abhängigkeit vom Überschreitungsgrad der Empfehlung für die Salzzufuhr. Ein Anteil von 31 % aller Teilnehmenden, deren geschätzte tägliche Salzzufuhr über der Empfehlung lag, erreichte die empfohlene Jod-EAR-Grenze nicht. Selbst Personen mit einer geschätzten täglichen Salzzufuhr, die über dem Dreifachen der empfohlenen Zufuhrmenge lag, erreichten die Jod-EAR-Grenze in knapp jedem 8. Fall nicht.

3.4 Geschätzte Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie der Jahre 2018 bis 2022

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse für die Messwerte der Jodausscheidung im Urin und die daraus geschätzte Jodtagesausscheidung sowie -zufuhr mittels Median und Interquartilsrange (25. Perzentil; 75. Perzentil) sowie nach Alter und Geschlecht auf Basis der DONALD-Studie dargestellt. Die Altersgruppen wurden wie in der KiGGS-Studie gewählt, wenngleich die Altersspanne in der DONALD-Studie nur von 5,5 Jahren bis 12,5 Jahren liegt.

Tabelle 12: Messwerte der Jodausscheidung im Urin in DONALD und daraus geschätzte Jodtagesausscheidung sowie -zufuhr, Median (25. Perzentil; 75. Perzentil), nach Alter und Geschlecht

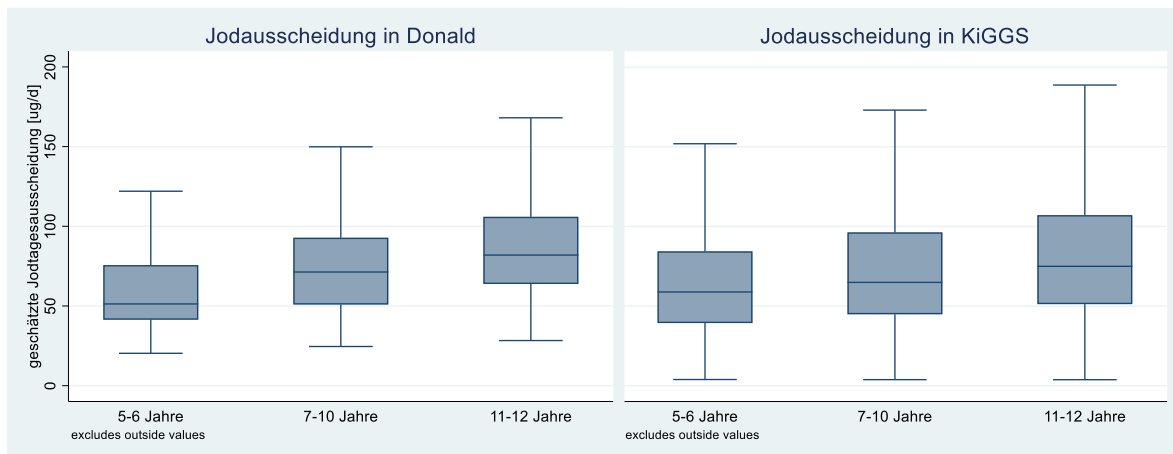
	n	Jod im Spontanurin [µg/l]	Geschätzte Jodtages- ausscheidung [µg/d]*	Geschätzte Jodtages- zufuhr [µg/d]**
Männlich	232	72,6 (55,7; 108,0)	76,1 (54,7; 98,4)	89,5 (64,3; 115,7)
Weiblich	191	67,2 (49,9; 90,9)	63,8 (44,4; 87,1)	75,1 (52,3; 102,5)
Nach Alter in Jahren				
5-6	81	72,6 (53,7; 97,3)	51,3 (41,4; 75,6)	60,3 (48,7; 89,0)
7-10	233	70,2 (51,8; 101,3)	71,3 (50,9; 92,8)	83,9 (59,9; 109,2)
11-12	109	67,2 (51,4; 95,2)	81,9 (63,8; 105,9)	96,4 (75,1; 124,6)
Gesamt	423	70,3 (51,8; 100,3)	71,0 (49,6; 93,1)	83,5 (58,3; 109,5)

*Die Jodtagesausscheidung wurde aus dem Jod-Kreatinin-Quotienten geschätzt anhand gewichtsbezogener alters- und geschlechtsstratifizierter Kreatininausscheidungs-Referenzwerte nach (27))

**Die Jodtageszufuhr berechnet sich aus der Jodtagesausscheidung / 0,85

Die mediane Jodkonzentration im Urin sowie die geschätzte Jodtagesausscheidung und die -zufuhr lagen in der DONALD-Studie bei 70,3 µg/l, 71,0 µg/d beziehungsweise 83,5 µg/d und damit etwas niedriger als für die analoge Altersgruppe der 5- bis 12-Jährigen in der KiGGS-Studie (Daten nicht gezeigt). Die nachfolgende Abbildung der geschätzten Jodtagesausscheidung im Vergleich beider Studien zeigt jedoch keine wesentlichen Unterschiede (Abbildung 7).

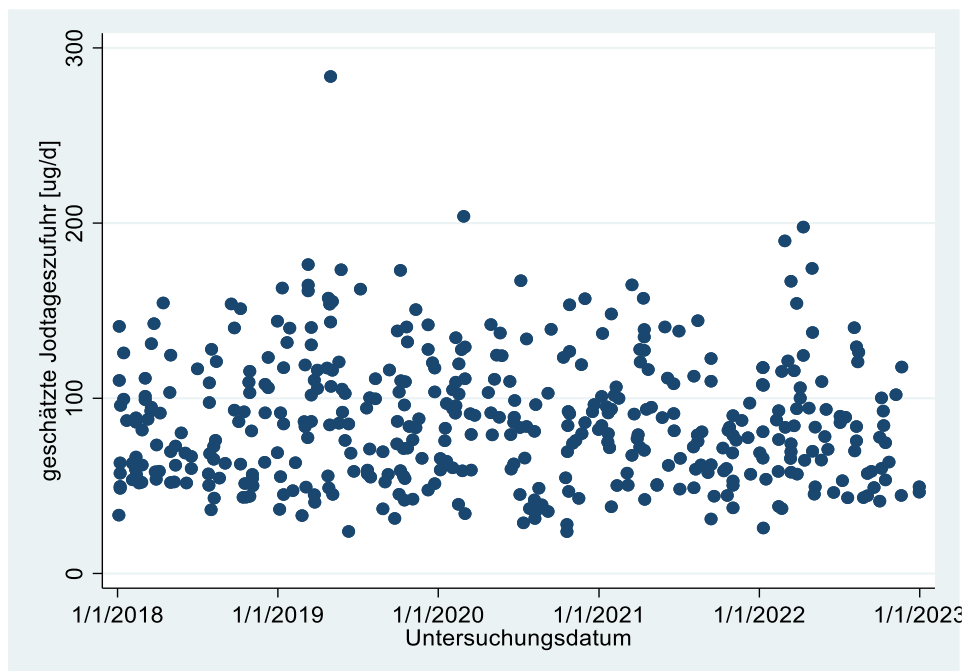
Abbildung 7: Geschätzte Jodtagesausscheidung in der DONALD-Studie und in der KiGGS Welle 2, Boxplots mit Median und Interquartilsrange (25., 75. Perzentil), nach Alter



3.4.1 Entwicklung über die Zeit

Um die aktuelle Jodversorgung einzuschätzen, wurde die Entwicklung der geschätzten Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie für die Jahre von 2018 bis 2022 betrachtet.

Abbildung 8: Geschätzte Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie über die Zeit (2018 – 2022)



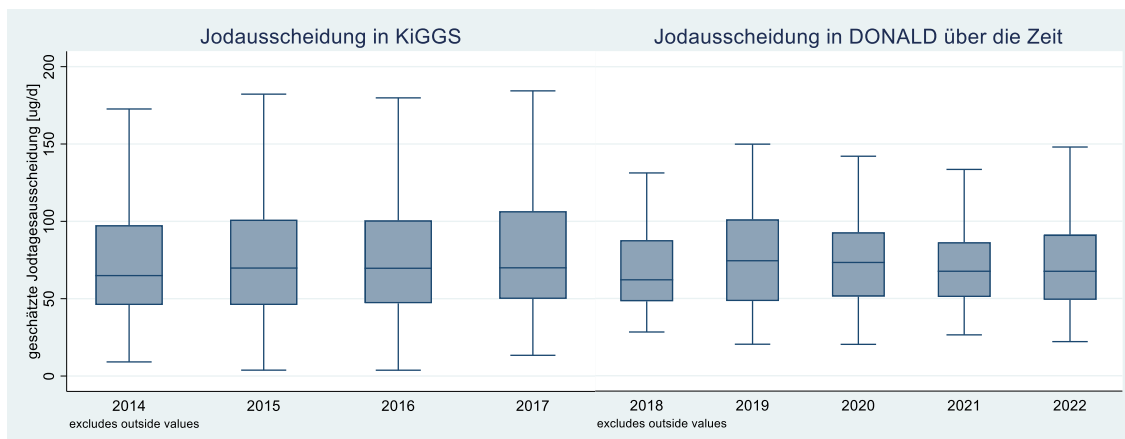
Unter Anwendung eines Regressionsmodells zeigte sich, dass sich die geschätzte Jodtageszufuhr in der Zeit von 2018 bis 2022 in der DONALD-Studie nicht wesentlich verändert hat (Abbildung 8, Tabelle 13). Insbesondere der Vergleich zwischen 2018 und dem letzten Beobachtungsjahr 2022 führte zu annähernd identischen Schätzungen. Außer gewissen Schwankungen über die Jahre ist kein Trend zu beobachten, der auf eine Erhöhung bzw. Verringerung der geschätzten Jodtageszufuhr hinweist.

Tabelle 13: Regressionsergebnisse (Regressionskoeffizient und 95%-Konfidenzintervall) der geschätzten Jodtageszufuhr in der DONALD-Studie über die Zeit von 2018 – 2022, adjustiert für Alter und Geschlecht

Prädiktor	Koeffizient	95 %-KI	p-Wert
2019 (Referenz 2018)	11,9	[3,7 – 20,0]	0,004
2020 (Referenz 2018)	3,3	[-5,5 – 12,1]	0,465
2021 (Referenz 2018)	2,8	[-6,4 – 12,0]	0,549
2022 (Referenz 2018)	0,6	[-8,9 – 10,0]	0,907
Alter (metrisch)	5,4	[3,7 – 7,1]	<0,001
männlich (Referenz weiblich)	-11,0	[-19,3 – -2,8]	0,009
Konstante	38,3	[22,0 – 54,6]	<0,001

Die gleichzeitige Betrachtung der medianen Jodtageszufuhr für die Altersgruppe der 5- bis 12-Jährigen über die Jahre 2014 bis 2022 in KiGGS Welle 2 und in der DONALD-Studie (Abbildung 9), verdeutlicht, dass auch über diesen längeren Beobachtungszeitraum nicht von einer nennenswerten Zu- oder Abnahme der geschätzten Jodtageszufuhr ausgegangen werden kann. Eine lineare Regression auf Basis von KiGGS Welle 2 zeigte auch in dieser Studie für die einzelnen Untersuchungsjahre von 2014 – 2017 keine zeitlichen Trends (Regressionsergebnisse nicht gezeigt).

Abbildung 9: Entwicklung der geschätzten Jodtageszufuhr in der Zeit von 2014 bis 2022 auf Basis von KiGGS Welle 2 und der DONALD-Studie, Boxplots mit Median und Interquartilsrange (25., 75. Perzentil)



3.5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das vorliegende Projekt führt Auswertungen zur Jod- und Salzversorgung auf Basis von Daten der KiGGS Welle 2 fort und schätzt die Versorgung über die Bevölkerungsgruppe der Kinder und Jugendlichen hinaus für junge Erwachsene bis 29 Jahre. Dies wurde erreicht, indem Daten sowohl des Querschnitts als auch des Längsschnittarms der KiGGS Welle 2 in die Analyse einbezogen wurden. Der Zeitraum für die Schätzung bezieht sich dabei auf die Jahre 2014 – 2017. Unter Zuhilfenahme von Daten der DONALD-Studie, die derzeit als einzige Studie in Deutschland Daten zur Jodversorgung, in diesem Fall von Kindern im Alter von 5 bis 12 Jahren, für einen aktuellen Zeitraum, nämlich 2018 – 2022, liefert, kann die wahrscheinliche Entwicklung der Jodversorgung bei 3- bis 29-Jährigen bis Ende 2022 eingeschätzt werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zur Einschätzung der aktuellen Jodversorgung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Deutschland dienen den Entscheidungsträgern somit als derzeit einzige Datengrundlage für die Erfüllung der Berichtspflicht gegenüber der WHO, die Ableitung, Entwicklung und Umsetzung von Präventionsmaßnahmen sowie für die Einschätzung eines gesetzlichen Handlungsbedarfs.

4. Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt schätzt die Jod- und Salzversorgung zum Zeitpunkt der KiGGS Welle 2 (2014 – 2017) für die Bevölkerungsgruppe der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter von 3 bis 29 Jahren, indem alle Teilnehmenden der KiGGS Welle 2, also Quer- und Längsschnittprobanden, in die Analyse einbezogen werden. Unter Zuhilfenahme von Daten der DONALD-Studie, die für den Zeitraum 2018 – 2022 Ergebnisse zur Jodversorgung von Kindern im Alter von 5 bis 12 Jahren liefert, wird die wahrscheinliche Entwicklung der Jodversorgung bei 3- bis 29-Jährigen bis Ende 2022 aufgezeigt. DONALD-Daten eignen sich dazu, da die Beobachtungen aus beiden Studien für gleiche Altersbereiche in ihrer Richtung und Größenordnung vergleichbar sind. Aus den Projektergebnissen lassen sich gesundheitspolitisch relevante Rückschlüsse auf die Jodversorgung von Kindern und Jugendlichen ziehen und die Jodversorgung in Deutschland vor Beginn der aktuellen Maßnahmen zur Verbesserung der Jodversorgung bewerten.

Die mediane Jodausscheidung im Spontanurin der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen lag bei 79,9 µg/l, wobei Jungen mit 82,5 µg/l eine höhere Jodausscheidung aufwiesen als Mädchen mit 76,1 µg/l. Der Grenzwert der WHO für eine ausreichende Jodversorgung auf Bevölkerungsebene, ermittelt aus Spontanurinproben, liegt bei einem Median von 100 µg/l. Dieser Wert wird erreicht, wenn die Hälfte der Bevölkerung (50 %) einen Wert über 100 µg/l Jod im Spontanurin aufweist. In KiGGS

Welle 2 lag der Anteil jedoch nur bei 34 %, wobei keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Chi-Quadrat-Test, $p=0,069$) vorlagen. Mit zunehmendem Alter nahm der Anteil der Personen mit einem Wert über 100 $\mu\text{g/l}$ Jod im Spontanurin statistisch signifikant ab (Chi-Quadrat-Test, $p<0,001$) und lag bei Personen zwischen 23 und 29 Jahren nur noch bei 24,3 %. Insgesamt lagen 40,7 % der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen unterhalb des mittleren geschätzten Bedarfs (gefordert: maximal 2 %). Mädchen und junge Frauen wiesen mit 46,5 % einen statistisch signifikant höheren Anteil an Personen mit einer zu geringen geschätzten täglichen Jodzufuhr auf als Jungen und junge Männer (35,6 %; Chi-Quadrat-Test, $p < 0,0001$). Der Anteil an Mädchen, die den EAR nicht erreichten, überstieg in allen Altersgruppen den Anteil der Jungen. Sowohl bei Jungen als auch bei den Mädchen war der Anteil der Kinder unterhalb des EAR in der Altersgruppe der 3- bis 6-Jährigen am höchsten. Hier gelang es nur jedem Zweiten, den mittleren geschätzten Jodbedarf aufzunehmen.

Die geschätzte mediane Salztageszufuhr nahm unabhängig vom Geschlecht mit dem Alter zu und lag bei Jungen und jungen Männern bei 9,0 g/d, bei Mädchen und jungen Frauen bei 7,3 g/d. Damit blieb nur etwa jeder Vierte im Rahmen der empfohlenen täglichen Salzzufuhr. Es zeigten sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Bei den weiblichen Teilnehmenden war die geschätzte Salztageszufuhr bei etwa drei von zehn Personen im Rahmen der Empfehlung der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Bei den männlichen Teilnehmenden war dies nur bei etwa jedem Fünften der Fall und damit bei einem statistisch signifikant geringeren Anteil (Chi-Quadrat-Test $p<0,001$). Junge Erwachsene im Alter zwischen 23 und 29 Jahren haben besonders häufig die Empfehlung überschritten, wobei mehr als jeder Fünfte dieser Altersgruppe sogar mehr als das Dreifache der empfohlenen täglichen Zufuhrmenge aufwies. Insgesamt nahm gut jeder Dritte der 3- bis 29-Jährigen mehr als das Doppelte und jeder Achte sogar mehr als das Dreifache der empfohlenen Salzmenge pro Tag auf.

Die hohe Salzzufuhr führte nicht zu einer ausreichenden Jodversorgung. Ein Anteil von 31 % aller Teilnehmenden, deren geschätzte tägliche Salzzufuhr über der Empfehlung lag, erreichte die empfohlene Jod-EAR-Grenze nicht. Selbst Personen mit einer geschätzten täglichen Salzzufuhr, die über dem Dreifachen der empfohlenen Zufuhrmenge lag, erreichten die Jod-EAR-Grenze in jedem 8. Fall nicht.

Laut DONALD-Studie hat sich die geschätzte Jodtageszufuhr von 2018 bis 2022 nicht wesentlich verändert. Insbesondere der Vergleich zwischen 2018 und dem letzten Beobachtungsjahr 2022 führte zu annähernd identischen Schätzungen. Außer gewissen Schwankungen über die Jahre ist kein Trend zu beobachten, der auf eine Erhöhung bzw. Verringerung der geschätzten Jodtageszufuhr hinweist.

In Übertrag auf die Bevölkerung in Deutschland bedeutet dies, dass auch aktuell von einem leichten Jodmangel auf Bevölkerungsebene ausgegangen werden kann. Demzufolge besteht Handlungsbedarf zur Reduzierung der Salzaufnahme bei gleichzeitiger Erhöhung der Jodzufuhr. Die aktuell in der Umsetzung befindliche Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten (BMEL) stellt einen wichtigen Schritt dar, die Salzaufnahme auf Bevölkerungsebene zu reduzieren (2). Auf der anderen Seite ist eine Salzreduktion mit einer Reduzierung des Konsums von jodiertem Speisesalz als Hauptlieferant für Jod verbunden. Dieser wichtige Aspekt sollte in Hinblick auf die Ergebnisse der KiGGS Welle 2 und der aufgezeigten auch aktuell noch bestehenden suboptimalen Jodzufuhr bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen bei der Planung und Umsetzung nationaler Präventions- und Informationsmaßnahmen berücksichtigt werden. Ein immer größerer Anteil des Salzes in der Nahrungsmittelproduktion ist nicht jodiert. Daher wäre es entscheidend, dass die Akteure in der Lebensmittelherstellung vermehrt jodiertes Speisesalz verwenden bzw. zusätzlich seitens der Behörden über eine Erhöhung der Jodkonzentration im jodierten Speisesalz nachgedacht wird. Sollte sich eine Verbesserung der Jodversorgung auf Bevölkerungsebene dadurch nicht einstellen, müsste vermehrt auf eine umfangreiche individuelle Jodprophylaxe durch frühzeitige Supplementierung, v. a. bei Jodmangel-Risikogruppen wie den Kindern und Jugendlichen, aber auch Schwangeren und Stillenden, hingewiesen und geworben werden.

4.1 Fazit

Auch in Ermangelung aktueller bevölkerungsbezogener Bioproben, ist die Einschätzung der aktuellen Lage zur Jod- und Salzversorgung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen in Deutschland möglich. Die Ergebnisse aus KiGGS Welle 2, bezogen auf den Zeitraum 2014 – 2017, bilden somit eine valide Ausgangsbasis vor Beginn präventionspolitischer Maßnahmen im Jahr 2023. Die Jodversorgung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen liegt im Bereich des leichten Jodmangels. Gleichzeitig ist die Salzaufnahme insgesamt deutlich zu hoch. Es erscheint daher sinnvoll und notwendig, die aktuell ergriffenen Maßnahmen zur Verbesserung der Jodversorgung und gleichzeitiger Reduktion des Salzkonsums fortzuführen und weitere zu entwickeln und umzusetzen. Außerdem sollte die Jod- und Salzversorgung auch in Zukunft auf Bevölkerungsebene gemonitort werden, um Maßnahmen wissenschaftlich zu begleiten und ihre Evaluation zu ermöglichen.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Das Hauptziel dieses Vorhabens war es, die aktuelle Lage der Jodversorgung in Deutschland vor Beginn gesundheitspolitischer Maßnahmen bei denjenigen Bevölkerungsgruppen einzuschätzen, für die eine ausreichende Versorgung mit Jod besonders wichtig ist. Das betrifft Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene. Dieses Ziel wurde erreicht.

Ein weiteres Ziel war die labortechnische Jodmessung in aktuellen Urinproben von Kindern der DONALD-Studie, und zwar für die Jahre 2019 – 2022. Dieses Ziel wurde erreicht.

Des Weiteren war es ein Ziel, von den DONALD-Probanden der Jahre 2019 – 2022 sowie 2018 neben den Jodmesswerten weitere Variablen dem RKI zu Verfügung zu stellen, um die Jod- und Salztageszufuhr zu ermitteln und die Entwicklung über die Zeit von KiGGS Welle 2 bis Ende 2022 zu prognostizieren. Auch dieses Ziel wurde erreicht.

Das Projekt wurde in der vorgesehenen Zeit mit dem vorgesehenen Personal erfolgreich umgesetzt.

6. Literaturverzeichnis

1. Thamm R, Hey I, Liesenkötter K-P, Thamm M. Jodversorgung von Kindern und Jugendlichen in Deutschland – Querschnittsergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. Pädiatrische Praxis. 2023; 100:18-28.
2. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten. 2018.
3. Robert Koch-Institut. KiGGS - Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. 2024 [17.07.2024]; Verfügbar unter: https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Kiggs/kiggs_node.html.
4. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Die DONALD Studie. 2024 [18.07.2024]; Verfügbar unter: <https://www.epi.uni-bonn.de/forschung/donald-studie>.
5. Arbeitskreis Jodmangel e.V. Jodmangel und Jodversorgung in Deutschland -Aktuelles zum derzeitigen Versorgungsstand und Handlungsbedarf. 2016 [24.07.2024]; Verfügbar unter: https://jodmangel.de/wp-content/uploads/2016/06/AKJ_Jodmangel_und_Jodversorgung_Deutschland.pdf.
6. Gärtner R. Jodstoffwechsel und Einflüsse auf Erkrankungen der Schilddrüse. Ernährungs Umschau 2015; 12:M694-M702.
7. Thomas L. Labor und Diagnose – Indikation und Bewertung von Laborbefunden für die medizinische Diagnostik. 8. Auflage ed. Frankfurt am Main: TH-Books; 2012.
8. 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; 90:1264-71.
9. Santiago-Fernandez P, Torres-Barahona R, Muela-Martinez JA, Rojo-Martinez G, Garcia-Fuentes E, Garriga MJ, et al. Intelligence quotient and iodine intake: a cross-sectional study in children. J Clin Endocrinol Metab. 2004; 89:3851-7.
10. Gärtner R. Recent data on iodine intake in Germany and Europe. J Trace Elem Med Biol. 2016; 37:85-9.
11. Gréa C, Busl L, Dittmann A, Ehnle-Lossos M, Elflein-Mack A, Goos E, et al. Ergänzende Auswertungen zum Produktmonitoring 2023: Verwendung von Jodsalz in Brot und Kleingebäck, Wurstwaren und weiteren Fleischerzeugnissen. Karlsruhe: Max Rubner-Institut; 2024. DOI: 10.25826/20240513-150058-0.
12. Johnner SA, Thamm M, Schmitz R, Remer T. Current daily salt intake in Germany: biomarker-based analysis of the representative DEGS study. Eur J Nutr. 2015b; 54:1109-15.
13. World Health Organization. Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva 2012.
14. Alexy U, Cheng G, Libuda L, Hilbig A, Kersting M. 24 h-Sodium excretion and hydration status in children and adolescents-results of the DONALD Study. Clin Nutr. 2012; 31:78-84.

15. Remer T, Hua Y, Esche J, Thamm M. The DONALD study as a longitudinal sensor of nutritional developments: iodine and salt intake over more than 30 years in German children. *Eur J Nutr.* 2022; 61:2143-51.
16. Hoffmann R, Lange M, Butschalowsky H, Houben R, Schmich P, Allen J, et al. Querschnitterhebung von KiGGS Welle 2 – Teilnehmendengewinnung, Response und Repräsentativität. *Journal of Health Monitoring.* 2018; 3:82-96.
17. Mauz E, Gößwald A, Kamtsiuris P, Hoffmann R, Lange M, von Schenck U, et al. Neue Daten für Taten. Die Datenerhebung zur KiGGS Welle 2 ist beendet. *Journal of Health Monitoring.* 2017; 2:2-28.
18. Lange M, Hoffmann R, Mauz E, Houben R, Gößwald A, Schaffrath Rosario A, et al. Längsschnitterhebung von KiGGS Welle 2 – Erhebungsdesign und Fallzahlentwicklung der KiGGS-Kohorte. *Journal of Health Monitoring.* 2018; 3:97-112.
19. Kurth B-M. Editorial: Neues von und über KiGGS. *Journal of Health Monitoring.* 2018; 3.
20. World Health Organization. *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination : a guide for programme managers.* – 3rd ed.2007.
21. Andersson M, Betonist B, Darnton-Hill I, Delange F. *Iodine Deficiency in Europe: A Continuing Public Health Problem.* 2007.
22. Sandell EB, Kolthoff M. Microdetermination of iodine by catalytic method. *Mikrochem Acta* 19-25. 1937.
23. Remer T, Fonteyn N, Alexy U, Berkemeyer S. Longitudinal examination of 24-h urinary iodine excretion in schoolchildren as a sensitive, hydration status–independent research tool for studying iodine status. *Am J Clin Nutr.* 2006; 83:639-46.
24. König F, Andersson M, Hotz K, Aeberli I, Zimmermann MB. Ten repeat collections for urinary iodine from spot samples or 24-hour samples are needed to reliably estimate individual iodine status in women. *J Nutr.* 2011; 141:2049-54.
25. Remer T, Manz F. The inadequacy of the urinary iodine-creatinine ratio for the assessment of iodine status during infancy, childhood and adolescence. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis.* 1994; 8:217-9.
26. Thamm M, Ellert U, Thierfelder W, Liesenkotter KP, Völzke H. Jodversorgung in Deutschland - Ergebnisse des Jodmonitorings im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.* 2007; 50:744-9.
27. Remer T, Neubert A, Maser-Gluth C. Anthropometry-based reference values for 24-h urinary creatinine excretion during growth and their use in endocrine and nutritional research. *Am J Clin Nutr.* 2002; 75:561-9.

28. Johner SA, Boeing H, Thamm M, Remer T. Urinary 24-h creatinine excretion in adults and its use as a simple tool for the estimation of daily urinary analyte excretion from analyte/creatinine ratios in populations. *Eur J Clin Nutr.* 2015a; 69:1336-43.
29. Zimmermann MB, Andersson M. Assessment of iodine nutrition in populations: past, present, and future. *Nutr Rev.* 2012; 70:553-70.
30. Rohner F, Zimmermann M, Jooste P, Pandav C, Caldwell K, Raghavan R, et al. Biomarkers of nutrition for development - iodine review. *J Nutr.* 2014; 144:1322S-42S.
31. Montenegro-Bethancourt G, Johner SA, Stehle P, Neubert A, Remer T. Iodine status assessment in children: spot urine iodine concentration reasonably reflects true twenty-four-hour iodine excretion only when scaled to creatinine. *Thyroid.* 2015; 25:688-97.
32. DIN 58936-2. Qualitätsmanagement in der Laboratoriumsmedizin - Teil 2: Begriffe zur Qualität und Anwendung von Untersuchungsverfahren. Berlin: Beuth-Verlag; 2001.
33. Institute and Out-Patient Clinic for Occupational, Social and Environmental Medicine of the University Erlangen-Nuremberg. THE GERMAN EXTERNAL QUALITY ASSESSMENT SCHEME For Analyses in Biological Materials. 2021-2023 [24.07.2024]; Verfügbar unter: <http://www.g-equas.de/>.
34. RECIPE Chemicals + Instruments GmbH. Kontrollen. 2024 [24.07.2024]; Verfügbar unter: <https://recipe.de/controls/>.
35. RECIPE Chemicals + Instruments GmbH. ClinChek® - Control. TRACE ELEMENTS. 2024 [24.07.2024]; Verfügbar unter: <https://recipe.de/products/trace-elements-whole-blood/>.
36. Remer T, Montenegro-Bethancourt G, Shi L. Long-term urine biobanking: storage stability of clinical chemical parameters under moderate freezing conditions without use of preservatives. *Clin Biochem.* 2014; 47:307-11.
37. World Health Organization. Urinary iodine concentrations for determining iodine status deficiency in populations. Vitamin and Mineral Nutrition Information System. Geneva: World Health Organization; 2013 [17.07.2024]; Verfügbar unter: <http://www.who.int/nutrition/vmnis/indicators/urinaryiodine>.
38. Koch HM, Becker K, Wittassek M, Seiwert M, Angerer J, Kolossa-Gehring M. Di-n-butylphthalate and butylbenzylphthalate - urinary metabolite levels and estimated daily intakes: pilot study for the German Environmental Survey on children. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology.* 2007; 17:378-87.
39. Mage DT, Allen RH, Kodali A. Creatinine corrections for estimating children's and adult's pesticide intake doses in equilibrium with urinary pesticide and creatinine concentrations. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology.* 2008; 18:360-8.

40. Johner SA, Gunther AL, Remer T. Current trends of 24-h urinary iodine excretion in German schoolchildren and the importance of iodised salt in processed foods. *Br J Nutr.* 2011; 106:1749-56.
41. Johner SA, Thamm M, Nothlings U, Remer T. Iodine status in preschool children and evaluation of major dietary iodine sources: a German experience. *Eur J Nutr.* 2013; 52:1711-9.
42. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academies Press (US), PMID: 25057538; 2001.
43. Murphy SP, Barr SI. Practice paper of the American Dietetic Association: using the Dietary Reference Intakes. *Journal of the American Dietetic Association.* 2011; 111:762-70.
44. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium. Washington (DC): The National Academies Press (US), <https://doi.org/10.17226/25353>; 2019.
45. Strohm D, Boeing H, Leschik-Bonnet E, Heseker H, Arens-Azevêdo U, Bechthold A, et al. Speisesalzzufuhr in Deutschland, gesundheitliche Folgen und resultierende Handlungsempfehlung. Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE). Sonderdruck. *Ernährungs Umschau.* 2016; 63:62-70.
46. Kromeyer-Hauschild K, Moss A, Wabitsch M. Referenzwerte für den Body-Mass-Index für Kinder, Jugendliche und Erwachsene in Deutschland. Anpassung der AGA-BMI-Referenz im Altersbereich von 15 bis 18 Jahren. *Adipositas.* 2015; 9:123-7.
47. Brauns H, Scherer S, Steinmann S. The CASMIN Educational Classification in International Comparative Research. In: Hoffmeyer-Zlotnik JHP, Wolf C, editors. *Advances in Cross-National Comparison: A European Working Book for Demographic and Socio-Economic Variables.* Boston, MA: Springer, US 2003. p. 221-44.