

Um Aussagen über den Zusammenhang von Lebensstilfaktoren und Erkrankungsrisiken zu machen, bedient man sich epidemiologischer Verfahren. Nur wenn hierbei das Studiendesign der Fragestellung angemessen ist, lassen sich aus den erhobenen Daten der Studienteilnehmer seriöse Prognosen für die Gesamtbevölkerung stellen.

Methoden der epidemiologischen Ernährungsforschung

Beispiel des Typ-2-Diabetes mellitus

Ernährungsepidemiologische Studien untersuchen mögliche Zusammenhänge zwischen bestimmten Ernährungsfaktoren (Exposition) und einer Erkrankung (Endpunktvariable). Sie basieren auf mathematisch-statistischen Grundlagen. Dabei entscheiden Studiendesign und korrekte Vorgehensweise über die Aussagekraft und zulässige Interpretationen der Ergebnisse. Erst die Kenntnis über diese Limitationen epidemiologischer Methoden erlaubt valide Rückschlüsse bzw. Prognosen auf der Basis von Studienergebnissen. Am Beispiel des Typ-2-Diabetes erläutert dieser Beitrag der Online-Fortbildung wichtige epidemiologische Begriffe.



Dr. Matthias B. Schulze
Deutsches Institut für
Ernährungsforschung,
Potsdam-Rehbrücke
Abteilung Epidemiologie
Arthur-Scheunert-Allee
114-116
14558 Nuthetal
E-Mail: mschulze@
dife.de

Vor dem Hintergrund der raschen Zunahme der Diabetesprävalenz in vielen Ländern, wie auch in Deutschland [1], scheint es klar, dass Veränderungen in der Umwelt ursächlich mit der Entstehung dieser Erkrankung verbunden sind. Denn die genetische Prädisposition kann sich über solch einen kurzen Zeitraum kaum geändert haben.

Während die genetische Veranlagung zu einem „sparsamen“ Metabolismus ein wesentlicher Vorteil in Zeiten der Nahrungsknappheit war, führen vermutlich dieselben Gene nun in Kombination mit einem inaktiven Lebensstil und einer ungünstigen Ernährung zur Entwicklung des Übergewichts und des Typ-2-Diabetes mellitus [2]. Durch gezielte Veränderungen des Lebensstils sollte es

allerdings auch möglich sein, das Auftreten der Erkrankung zu vermeiden.

Lebensstilfaktoren sind somit für die Primärprävention des Typ-2-Diabetes zugänglich. Die ernährungsepidemiologische Forschung beschäftigt sich dabei mit der Aufgabe, die Verteilung von Erkrankungen wie Typ-2-Diabetes in der Bevölkerung zu beschreiben und diejenigen Ernährungsfaktoren zu identifizieren, die diese Verteilung beeinflussen.

Identifizierung von Risikofaktoren für Typ-2-Diabetes

Das Ziel ernährungsepidemiologischer Studien ist es, herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen einer

Typen ernährungsepidemiologischer Studien

Deskriptive Studien

Fallbeschreibung

z. B. Beschreibung des Symptomkomplexes bei Seefahrern führt zur Entdeckung der Vitamin-C-Mangelkrankheit Skorbut

Korrelationsstudie

z. B. Vergleich von Krankheitshäufigkeiten mit Expositionsfaktoren

Migrationsstudie

Untersuchung z. B. an Auswanderern zum Einfluss genetischer und Umweltfaktoren

Querschnittsstudie

einmalige Erfassung von Krankheitsstatus bzw. Expositionsfaktor sowie soziodemografischer Faktoren, oft an einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe

Analytische Studien

Beobachtungsstudien:

Fall-Kontroll-Studie

Vergleich erkrankter [Fälle] und nicht erkrankter [Kontrollen] Personen hinsichtlich Expositionsfaktoren in der Vergangenheit; häufigster epidemiologischer Studientyp

Kohortenstudie

Vergleich verschiedener Expositionsgruppen (z.B. Altersgruppen) hinsichtlich des Auftretens neuer Merkmale (Erkrankungen)

Experimentelle Studien:

Interventionsstudie

der Untersucher beobachtet nicht nur, sondern greift ein, indem er Expositionsfaktoren beeinflusst, z.B. durch Medikamente oder Beratung, parallel gibt es eine Kontrollgruppe ohne Intervention

Meta-Analysen

Auswertung verschiedener Studien mit dem Ziel einer Gesamtbewertung der Einzelergebnisse dieser Studien. Es werden keine neuen Daten erhoben, lediglich vorhandene Studiendaten genutzt.

realisierbar, da Interventionen über einen mehrjährigen Zeitraum in großen Studienpopulationen durchgeführt werden müssen. Ethische Probleme und praktische Schwierigkeiten, z. B. die nicht mögliche „Verblindung“ von Untersuchern und Studienteilnehmern oder eine mangelnde Einhaltung der Intervention (Compliance) bei auf Ernährungsgewohnheiten basierenden Interventionen kommen hinzu.

Teilnehmer von Interventionsstudien sind in der Regel hoch selektiert und motiviert, so dass es schwierig sein kann, eine notwendige Differenz in der Exposition zwischen Interventions- und Kontrollgruppe zu erreichen. In der Finnischen Diabetes Prevention Study erreichten z. B. nur 25 % der Teilnehmer in der Interventionsgruppe das Ziel für die Ballaststoffaufnahme; in der Kontrollgruppe immerhin 12% auch ohne intensive Beratung [4].

Kohortenstudien

Ein experimentelles Studiendesign stellt also nicht für alle wissenschaftlichen Fragestellungen das optimale Design dar. Zur

Bewertung einzelner Ernährungsexpositionen sind außerdem jeweils separate Interventionsstudien notwendig. In **Beobachtungsstudien** hingegen lassen sich gleichzeitig **verschiedene Expositionen**

erfassen und bewerten. Im Hinblick auf Typ-2-Diabetes können verschiedene Ernährungsexpositionen (neben Ballaststoffen z. B. Makronährstoffe, glykämischer Index, Mikronutrienten, verschie-

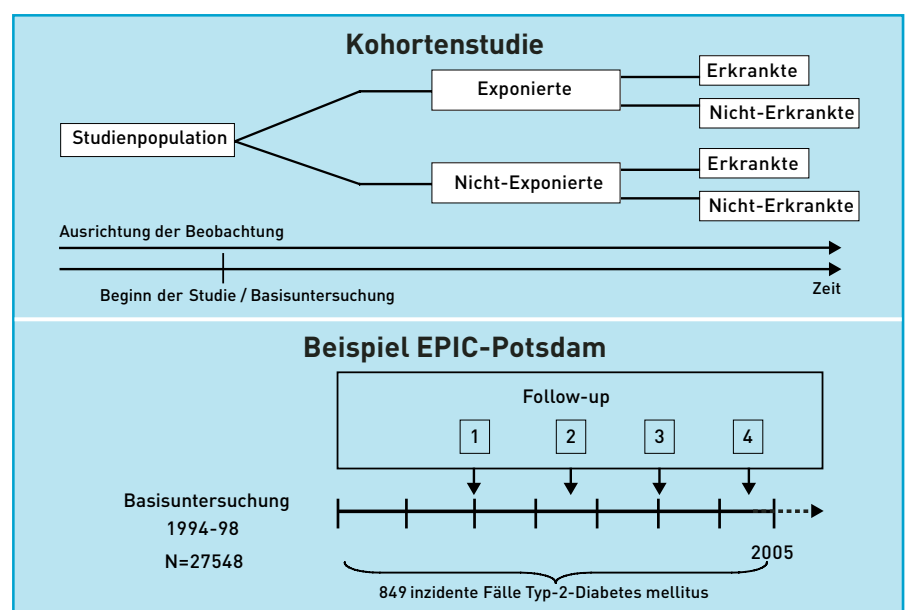


Abb. 2: Design einer prospektiven Kohortenstudie mit Beispiel der EPIC-Potsdam Studie

Studie	Land	Teilnehmerzahl	
EPIC Study	10 europäische Länder	520 000	Männer und Frauen
Nurses' Health Study	USA	122 000	Krankenschwestern
Nurses' Health Study II	USA	117 000	Krankenschwestern
Health Professionals Follow-up Study	USA	52 000	Männer (Heilberufe außer Ärzte)
Iowa Women's Study	USA	100 000	Frauen
ARIC Study	USA	16 000	Männer und Frauen

Tab. 1: Ausgewählte Beispiele von Kohortenstudien im Bereich Ernährungsepidemiologie zum Typ-2-Diabetes mellitus

dene Lebensmittel) von Bedeutung sein [5]. In diesem Fall ermöglichen Beobachtungsstudien eine kosteneffizientere Beantwortung dieser verschiedenen Fragestellungen. Von den verschiedenen Designs epidemiologischer Beobachtungsstudien erfüllt dabei nur die Kohortenstudie den Anspruch, dass eine **klare zeitliche Abfolge von Exposition und Erkrankung** bei der Erfassung der Individualdaten gesichert ist. Dementsprechend wird die Aussagekraft dieser Studien höher bewertet, als die anderer Studienformen wie Fall-Kontroll-Studien und Querschnittstudien.

Studien, deren Beobachtungszeitraum wie im Beispiel der Kohortenstudien ab Studienbeginn in die Zukunft reicht, nennt man prospektive Studien.

Wird hingegen ein zurückliegender Zeitraum erfasst, spricht man von retrospektiven Studien.

Bei Kohortenstudien wird zu Beginn eine Studienpopulation ausgewählt und während der Studiendauer hinsichtlich des Auftretens neuer Erkrankungen beobachtet.

Die Studienpopulation kann auf Grund der Basiserhebung nach ihrem **Expositionsstatus** eingeteilt werden.

◆ Abbildung 2 verdeutlicht das Schema am Beispiel der Brandenburger Ernährungs- und Krebsstudie, die national und international auch als EPIC-Potsdam Studie bekannt ist [6]. Zwischen 1994 und 1998 wurden insgesamt 27 548 Teilnehmer für die Studie gewonnen. Diese wer-

den seit der Basisuntersuchung und -erhebung bis heute nachbeobachtet. Von allen Studienteilnehmern waren rund 25 000 Teilnehmer zum Zeitpunkt der Basisuntersuchung frei von Diabetes. Bis Mitte 2005 wurden 849 neue Diabeteserkrankungen registriert.

Aufgrund der Ernährungserhebung zum Zeitpunkt der Basisuntersuchung kann die Studienpopulation nach ihrer Ballaststoffaufnahme gruppiert werden. Ein Vergleich der Diabetesinzidenz zwischen den Expositiongruppen erlaubt dann eine Bewertung, ob die Ballaststoffaufnahme mit

dem Diabetesrisiko assoziiert ist. Weitere wichtige Kohortenstudien zur Ernährung und Typ-2-Diabetes sind in **◆ Tabelle 1** aufgeführt.

Beobachtungsstudien können keinen Beweis der Kausalität von Zusammenhängen zwischen Exposition und Erkrankungsrisiko liefern.

Kohortenstudien spielen in der ernährungsepidemiologischen Forschung zum Typ-2-Diabetes und zu anderen chronischen Erkrankungen eine wesentliche Rolle. Generell können Beobachtungsstudien zwar keinen Beweis der Kausalität von Zusammenhängen zwischen Exposition und Diabetesrisiko liefern, dennoch liefern sie wichtige Hinweise auf mögliche kausale Zusammenhänge. Dies gilt besonders, wenn

- Studien konsistente Ergebnisse liefern,
- eine starke Assoziation beobachtet wird,
- eine Dosis-Wirkungs-Beziehung besteht,
- die Assoziation biologisch plausibel erscheint und
- eine klare zeitliche Abfolge zwischen Exposition und Erkrankung besteht [7].

Relatives Risiko RR

		Krankheit K		
		K = 1 (ja)	K = 0 (nein)	
Exposition E	E = 1 (ja)	a	b	r ₁
	E = 0 (nein)	c	d	r ₂
		S ₁	S ₂	n

$$RR = \frac{a/r_1}{c/r_2}$$

Beispiel Diabetes Prevention Study [4]

		Diabetes		
		K = 1 (ja)	K = 0 (nein)	
Intervention	E = 1 (ja)	27	238	265
	E = 0 (nein)	59	198	257
		86	436	522

$$RR = \frac{27/265}{59/257} = 0,44$$

Abb. 3: Relatives Risiko

Energieadjustierung

Die Energieadjustierung erfolgt durch das mathematische Verfahren der **linearen Regression**, in diesem Fall der Werte für die Ballaststoff- und Energieaufnahme. Die **Residuen** stellen die individuellen Abweichungen (in g) dar und werden zum mittleren Ballaststoffwert (in g) addiert. Da die Residuen je nach Individuum unterschiedlich große positive Werte (über dem Durchschnitt für eine gegebene Energie) als auch negative Werte (unter dem Durchschnitt für eine gegebene Energie) annehmen können, ergibt sich eine neue Verteilung von Ballaststoffwerten (in g), die **energieadjustierte Ballaststoffaufnahme**.

Personen mit gleich großer Abweichung vom mittleren Ballaststoffwert für die jeweilige Energieaufnahme haben deshalb die gleiche energieadjustierte Ballaststoffaufnahme, auch wenn ihre absolute Aufnahme sich deutlich unterscheidet.

Beispiel: Ergeben sich aus der linearen Regression zwischen Energieaufnahme und Ballaststoffaufnahme mittlere Ballaststoffwerte von 18 g bei 1800 kcal und 25 g bei 2500 kcal, dann hätte eine Person A mit einer Ballaststoffaufnahme von 22 g und einer Energieaufnahme von 1800 kcal die gleiche energieadjustierte Ballaststoffaufnahme (Residuum = $22 - 18 = 4$ g) wie eine Person B mit einer absoluten Ballaststoffaufnahme von 29 g bei einer Energieaufnahme von 2500 kcal (Residuum = $29 - 25 = 4$ g), obwohl Person B natürlich absolut eine um 7 g höhere Aufnahme hat.

Da zu dem Residuum in der Regel die mittlere Aufnahme in der Studienpopulation addiert wird, könnte die energieadjustierte Ballaststoffaufnahme für beide Personen z. B. bei 31 g (arithmetischer Mittelwert der Studienpopulation = 27 g) oder 26 g (arithmetischer Mittelwert der Studienpopulation = 22 g) liegen.

Im Falle des Typ-2-Diabetes sind diese Kriterien für Ballaststoffe aus Getreideprodukten mehr als erfüllt, da Kohortenstudien weitestgehend konsistente Ergebnisse liefern [7–15] und eine Meta-Analyse das Vorliegen einer inversen Beziehung zwischen Aufnahme von Ballaststoffen und Diabetesrisiko unterstützt [15]. Der temporäre Bezug, also die zeitliche Abfolge zwischen Exposition und Erkrankung ist durch das prospektive Design der Kohortenstudien gewährleistet. Experimentelle Untersuchungen bestätigen zudem, dass die beobachtete Assoziation biologisch plausibel ist [16, 17].

Ermittlung von Richtung und Stärke der Assoziation

Interventions- und Kohortenstudien liefern auf Grund des prospektiven Designs Erkrankungsdaten, von denen man **Inzidenzen** ableiten kann. Die Inzidenz beschreibt dabei die Anzahl neuer Erkrankungen in einer festgelegten Population innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts. Dabei müssen die beobachteten Personen „unter Risiko“ sein, d. h. sie dürfen nicht bereits zu Studienbeginn erkrankt sein.

Die Inzidenz beschreibt die Anzahl neu auftretender Erkrankungen in einer festgelegten Population innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts.

Die Prävalenz hingegen ist der Anteil bereits Erkrankter zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Ein Vergleich der Inzidenz der Interventions- und der Kontrollgruppe (Interventionsstudie) bzw. von Exponierten mit der von Nicht-Exponierten (Kohortenstudie) ergibt dabei das **Relative Risiko** als Schätzung des Risikos, welches mit der Exposition assoziiert ist (◆ **Abbildung 3**). So wurde bei 27 von 265 Personen in der Interventionsgruppe und von 59 von 257 Personen in der Kontrollgruppe im Lauf von 4 Jahren der Diabetes Prevention Study ein Diabetes diagnostiziert [4]. Daraus ergibt sich ein Relatives Risiko der Intervention im Vergleich zur Kontrollgruppe von 0,44 ($27/265$ geteilt durch $59/257$, vgl. ◆ **Abbildung 3**).

Eine genauere Berücksichtigung der Zeit, die einzelne Personen gesund und damit „unter Risiko“ in der Studie verweilten (= Personenzeit), ergab ein Relatives Risiko von 0,42 welches in der Originalarbeit publiziert wurde [4].

Das relative Risiko gibt an, um wie viel höher/niedriger das Erkrankungsrisiko exponierter Personen im Vergleich zu nicht exponierten Personen ist.

Werte <1: das Erkrankungsrisiko wird durch den Expositionsfaktor erniedrigt

Wert =1: das Erkrankungsrisiko wird nicht durch den Expositionsfaktor beeinflusst

Werte >1: das Erkrankungsrisiko wird durch den Expositionsfaktor erhöht

Bestimmung des Expositionsgrades

Ernährung als „Exposition“ kann in ernährungs-epidemiologischen Studien in mehrfacher Richtung untersucht werden. Untersuchungen zu einzelnen Nährstoffen oder Inhaltsstoffen, einzelnen Lebensmitteln und Lebensmittelmustern werden dabei als sich ergänzende Forschungsstrategien angesehen [18].

Aus der Vielzahl verschiedener Lebensmittel und Nährstoffe ergibt sich generell die Möglichkeit, zahlreiche unterschiedliche Expositionen hinsichtlich der Entwicklung des Typ-2-Diabetes mellitus in ernährungs-epidemiologischen Studien zu untersuchen. Diese haben sich bislang im Wesentlichen auf die Ebene der Nährstoffe beschränkt, wobei insbesondere die Zufuhr von Makronährstoffen und Ballaststoffen sowie Mikronährstoffen wie Magnesium im Vordergrund standen [5], die pathophysiologisch sinnvoll erschienen.

Während in Interventionsstudien die Exposition nach Art, Dauer und Dosis vom Untersucher bestimmt werden kann, beruht die Bestimmung des Expositionsgrades in Beobachtungsstudien allein auf der Beobachtung der Studienteilnehmer. Dazu werden vor allem verschiedene **Ernährungserhebungsinstrumente** verwendet, von denen **Häufigkeitsfragebögen** in Kohortenstudien eine herausragende Bedeutung erlangt haben.

Erhebungsinstrument	Was wird erfasst
Ernährungsprotokoll (food record)	Genauer Lebensmittelverzehr auf individueller Ebene
24-Stunden-Erinnerungsprotokoll (24-hour food recall)	Genauer Lebensmittelverzehr auf Gruppenebene
Häufigkeitsfragebogen (Food frequency questionnaire)	Üblicher Verzehr über eine längere Zeit auf individueller Ebene
Ernährungsgeschichte (diet history)	Üblicher Verzehr über eine längere Zeit auf individueller Ebene
Kurzfragebogen	Einteilung von Personen in Gruppen/Identifizierung von Zielpersonen

Tab. 2: Vergleich verschiedener Erhebungsinstrumente

Mit Häufigkeitsfragebögen wird der durchschnittliche Verzehr von Lebensmitteln in der Vergangenheit (mehrere Monate bis wenige Jahre, sehr häufig 1 Jahr) erfasst.

Die Studienteilnehmer geben dabei die Häufigkeit des Verzehrs an. Oft werden

zudem Optionen für Portionsgrößen angeboten. So lässt sich der durchschnittliche Verzehr von Lebensmitteln in Gramm je Tag berechnen, welcher durch Verbindung mit einer Nährstoffdatenbank (z. B. Bundeslebensmittelschlüssel) auch eine Abschätzung der durchschnittlichen Nährstoffaufnahme erlaubt.

Häufigkeitsfragebögen können als maschinenlesbare (mittels Scan oder Video-Pen) Papierfragebögen oder auch als Online-Instrumente erstellt werden, was den Aufwand bei der Datenerfassung, -aufbereitung und -verwaltung erheblich verringert. Da die Fragebögen durch die Studienteilnehmer selbstständig ausgefüllt werden, werden zur unmittelbaren Erhebung auch keine Untersucher benötigt. Andere Erhebungsmethoden müssen dagegen entweder durch Interviewer begleitet werden (24-Stunden-Erinnerungsprotokolle, Ernährungsgeschichte) oder sind, wie im Fall der Verzehrprotokolle, mit einem erheblichen Aufwand für die Studienteilnehmer (Protokollierung aller verzehrten Lebensmittel über mehrere Tage) und Untersucher (Codierung aller protokollierten Lebensmittel) verbunden.

Für Kohortenstudien mit einer großen Anzahl von Teilnehmern stellen Häufigkeitsfragebögen durch die geringe Belastung der Studienteilnehmer, die Maschi-

Salat und Rohkost (Bitte nur den Verzehr von rohem Gemüse angeben)

Lebensmittel	Esse ich nicht	Vorgabe	meine Portion				1 mal pro Monat oder weniger	2-3 mal pro Monat	1 mal pro Woche	2-3 mal pro Woche	4-6 mal pro Woche	1 mal pro Tag	2 mal pro Tag	3-4 mal pro Tag	5 mal pro Tag oder häufiger
			1/2	1	2	3									
Kopf-, Endivien-, Feldsalat, Chinakohl oder anderer Blattsalat	<input type="checkbox"/>	Bild 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gemischter Salat	<input type="checkbox"/>	Bild 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Salatgurke	<input type="checkbox"/>	Bild 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rettich, Radieschen, Krautsalat	<input type="checkbox"/>	Bild 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rohe Möhren, Karotten	<input type="checkbox"/>	Bild 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Keime, Sprossen	<input type="checkbox"/>	Bild 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rohe Paprika, Pfefferschote	<input type="checkbox"/>	Stück	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rohe Tomaten im Sommer	<input type="checkbox"/>	Tomate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Rohe Tomaten im Winter	<input type="checkbox"/>	Tomate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Essen Sie regelmäßig rohen Knoblauch? ja nein

Wie oft essen Sie Salatsauce zu Gurke und anderer Rohkost?
 nie selten manchmal häufig immer

Abb. 4. Häufigkeitsfragebogen der EPIC-Studie (Ausschnitt)

nenlesbarkeit und den geringen Codieraufwand im Moment das Mittel der Wahl dar. So wurde auch in der EPIC-Potsdam Studie ein Häufigkeitsfragebogen (◆ Abbildung 4) verwendet [19].

Allerdings erfassen Häufigkeitsfragebögen nur die Auswahl der verzehrten Lebensmittel. Sie ermöglichen keine quantitative Abschätzung der Menge an Lebensmitteln, die eine Person verzehrt, sondern erlauben es, Personen in einer Studienpopulation nach ihrem Verzehr zu ordnen.

Häufigkeitsfragebögen erlauben es, Personen nach ihrem Expositionsstatus zu ordnen und zu gruppieren (hohe bzw. niedrige Aufnahme von Ballaststoffen); wie hoch die Aufnahme in den Gruppen tatsächlich ist, bleibt dabei allerdings meist unklar.

Deshalb sind Ergebnisse von Studien, die Häufigkeitsfragebögen einsetzen, auch nicht vorbehaltlos quantitativ interpretierbar. So ist die Interpretation der Kohortenstudien, dass eine hohe Ballaststoffaufnahme aus Getreideprodukten das Diabetesrisiko senkt, zwar richtig, wie hoch die Aufnahme in Gramm je Tag sein sollte, können diese Studien aber nicht zweifelsfrei beantworten.

Energieadjustierung

In Datenanalysen zu Ernährungsexpositionen und dem Risiko für Typ-2-Diabetes wird – wie auch bei anderen Erkrankungsbildern – häufig mit **energieadjustierten Aufnahmemengen** gerechnet. Dies ist für bisherige Studien zur Rolle der Ballaststoffe für den Typ-2-Diabetes in der Mehrzahl der Studien der Fall.

Bei der Energieadjustierung wird berücksichtigt, dass die Aufnahme an Ballaststoffen mit der Aufnahme an Gesamtenergie steigt, d. h. Personen mit höherem Energiebedarf nehmen in der Regel auch mehr Ballaststoffe auf, als Personen mit niedrigerem Energiebedarf. Ein Großteil der Variation zwischen Individuen in der Ballaststoffaufnahme ist demnach auf Unterschiede in der Gesamtenergieaufnahme zurückzuführen.

Von Interesse ist aber häufig nicht, ob Per-

sonen viel oder wenig Energie (und damit auch viel oder wenig Ballaststoffe) aufnehmen, ob sie unterschiedlichen Geschlechts, Gewichts oder unterschiedlich körperlich aktiv sind, sondern ob sie relativ zu ähnlichen Personen viel oder wenig Ballaststoffe aufnehmen.

Die Energieadjustierung berücksichtigt diese Zusammenhänge und berechnet für jede Person die Abweichung in der Ballaststoffaufnahme vom mittleren Ballaststoffwert für eine gegebene Energieaufnahme [20] (s. Infokasten auf S. 272).

Die Verwendung energieadjustierter Ballaststoffwerte ist zur Untersuchung der Risikobeziehung zwischen Exposition und Erkrankung sinnvoll, da sich so Personen mit relativ hoher Aufnahme und Personen mit relativ niedriger Aufnahme (relativ zu ihrer Energieaufnahme) vergleichen lassen. Eine Interpretation energieadjustierter Ballaststoffwerte als absolute Aufnahmen, z. B. im Vergleich zu Zufuhrempfehlungen (> 30 g), ist allerdings nicht sinnvoll.

Literatur

1. Hauner H (2006) Diabetesepidemie und Dunkelziffer. In *Deutscher Gesundheitsbericht. Diabetes 2006* [Deutsche Diabetes Union (DDU), editor]. Mainz: Kirchheim Verlag.
2. Neel JV (1962) Diabetes mellitus: a "thrifty" genotype rendered detrimental by "progress"? *Am J Hum Genet* 14, 353–362.
3. Schulz M (2006) Einführung in die Epidemiologie. Teil 2: Studiendesign. *Ernährungs-Umschau* 03/06, B 13–16.
4. Tuomilehto J et al. (2001) Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *N Engl J Med* 344, 1343–1350.
5. Schulze MB & Hu FB (2005) Primary prevention of diabetes: What can be done and how much can be prevented? *Annu Rev Public Health* 26, 445–467.
6. Boeing H, Wahrendorf J, Becker N (1999) EPIC-Germany - A source for studies into diet and risk of chronic diseases. *Ann Nutr Metab* 43, 195–204.
7. Potischman N, Weed DL (1999) Causal criteria in nutritional epidemiology. *Am J Clin Nutr* 69, 1309S–1314S.
8. Salmeron J et al. (1997) Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *Jama* 277, 472–477.
9. Salmeron J et al. (1997) Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. *Diabetes Care* 20, 545–550.
10. Meyer KA et al. (2000) Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *Am J Clin Nutr* 71, 921–930.
11. Hu FB et al. (2001) Diet, lifestyle, and the risk of type 2 diabetes mellitus in women. *N Engl J Med* 345, 790–797.
12. Stevens J et al. (2002) Dietary fiber intake and glycemic index and incidence of diabetes in African-American and white adults: the ARIC study. *Diabetes Care* 25, 1715–1721.
13. Montonen J et al. (2003) Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 77, 622–629.
14. Schulze MB et al. (2004) Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes in younger and middle-aged women. *Am J Clin Nutr* 80, 348–356.
15. Schulze MB et al. ([in press]) Fiber and magnesium intake and incidence of type 2 diabetes: Prospective study and meta-analysis. *Arch Intern Med*.
16. Weickert MO et al. (2005) Impact of cereal fibre on glucose-regulating factors. *Diabetologia* 48, 2343–2353.
17. Weickert MO et al. (2006) Cereal fiber improves whole-body insulin sensitivity in overweight and obese women. *Diabetes Care* 29, 775–780.
18. Jacobs DR, Steffen LM (2003) Nutrients, foods, and dietary patterns as exposures in research: a framework for food synergy. *Am J Clin Nutr* 78, 508S–513S.
19. Kroke A et al. (1999) Validation of a self-administered food-frequency questionnaire administered in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) Study: comparison of energy, protein, and macronutrient intakes estimated with the doubly labeled water, urinary nitrogen, and repeated 24-h dietary recall methods. *Am J Clin Nutr* 70, 439–447.
20. Boeing H, Lochs H & Scheppach W (2001) Müssen die Ernährungsempfehlungen für die Ballaststoffaufnahme geändert werden? *Akt Ernähr Med*. 26, 107–112