

Ressource Wasser



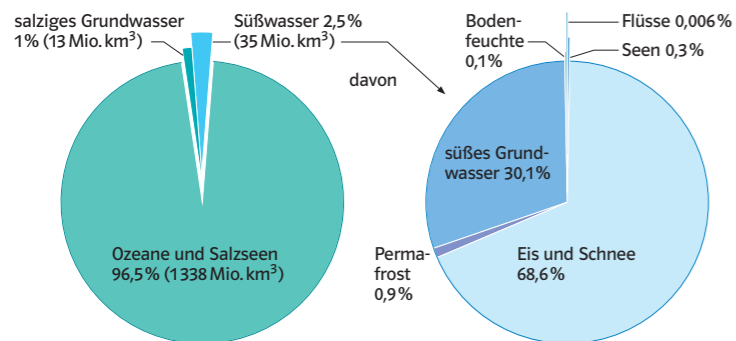
Bewässerungsanlagen in der Sahara

Mitten im Winter gibt es frische Kartoffeln aus der Sahara in deutschen Supermärkten. Sie stammen aus riesigen Monokulturen in der ägyptischen und libyschen Wüste. Die häufig kreisrunden Felder mit einem Durchmesser von bis zu 1,6 km sind auf Luftbildern gut zu erkennen (s. Randspalte). Für die permanente Bewässerung werden ca. 500 l Süßwasser pro kg Kartoffeln benötigt. Süßwasser ist jedoch eine immer knapper werdende Ressource in diesen Ländern.

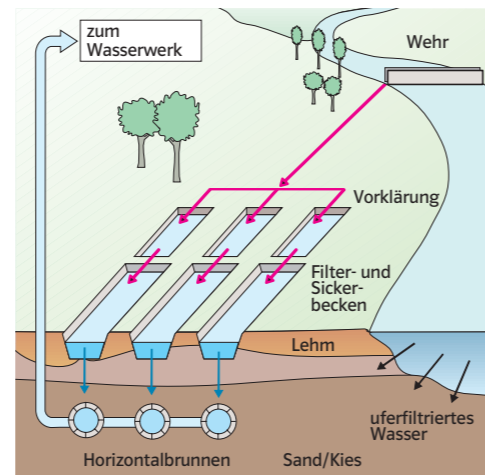
Verfügbarkeit von Trinkwasser

Der weitaus größte Teil des Wassers auf der Erde eignet sich weder zum Trinken noch zur Bewässerung. 97,5 % liegen als Salzwasser vor (Abb. 1). Die Eiskappen der Pole und Gletscher im Hochgebirge bilden mehr als die Hälfte des Süßwassers. Weniger als 1% des Wassers der Erde ist für den Menschen direkt nutzbar. In Regionen mit einem Leitungsnetz wird meist Grundwasser oder aufbereitetes Flusswasser als Trinkwasser genutzt (Abb. 2).

Die meisten Menschen auf der Erde versorgen sich jedoch direkt aus Gewässern oder aus Brunnen oder sie verwenden aufgefangenes Regenwasser. In vielen Ländern Asiens und Afrikas ist die Trinkwasserentnahme aus Flüssen problematisch. Durch die Einleitung von Abwässern enthält das Wasser vielerorts Giftstoffe bzw. Krankheitserreger. Die Hälfte der Weltbevölkerung ist von Wasserknappheit bedroht.



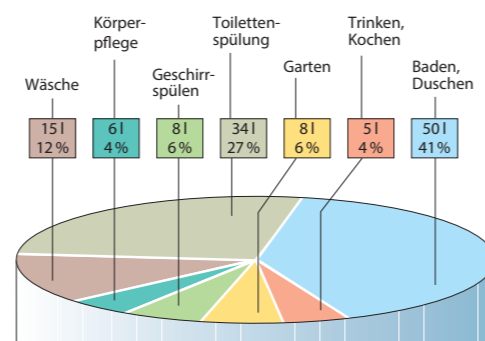
1 Wasserressourcen auf der Erde



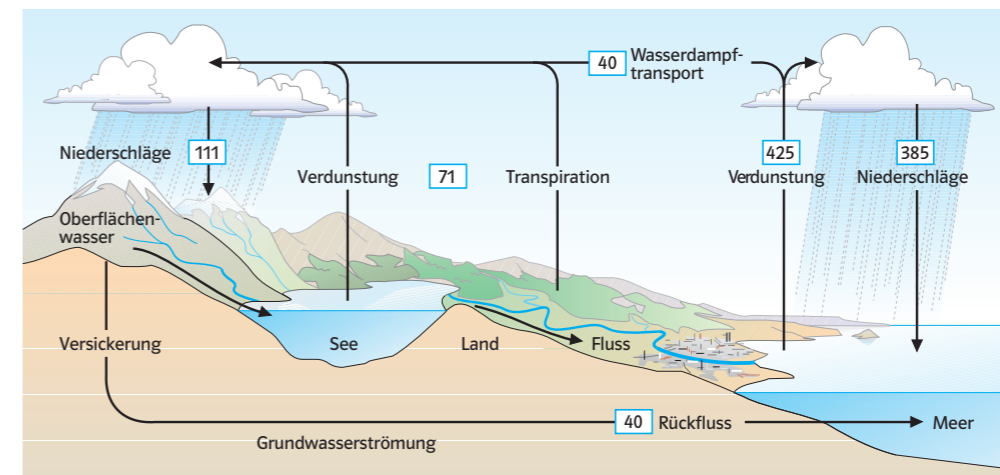
2 Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat

Süßwassernutzung

Weltweit dienen etwa 70% des genutzten Süßwassers zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. In trockenen Regionen in Äquatornähe liegt der Anteil höher, in den Ländern Nordamerikas und Eurasiens deutlich darunter. Die industrielle Kartoffelproduktion in der Sahara stellt einen Sonderfall dar. Gegen Ende der letzten Eiszeit sind unter dem Wüstensand große Süßwasserreservoirs entstanden, die letztlich begrenzt sind. Bei der Nutzung zur Bewässerung der Wüste steht jedoch ein enormer Wasserverbrauch einem relativ geringen Nutzen für die Bevölkerung gegenüber. Durch die Wahl von Nahrungspflanzen, die weniger Wasser



3 Trinkwasserverbrauch pro Person/Tag



4 Geologischer Wasserkreislauf (Angaben in 1000 km³/Jahr)

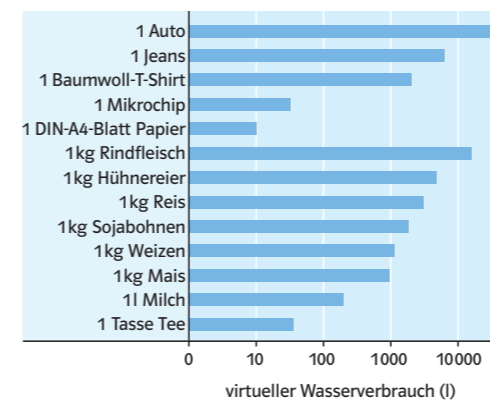
benötigen, sowie die gezieltere Zufuhr des Wassers zu den Pflanzen kann vorhandenes Wasser sparsamer verwendet werden. So kann zum Beispiel bei Weinreben und Obstbäumen durch die Gabe geringer Wassermengen im Wurzelbereich erreicht werden, dass die Pflanzen im sogenannten Wasserstress weniger Wasser verdunsten und sich dennoch gut entwickeln.

In Deutschland liegt der tägliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch bei etwa 130 Litern. Nur ein Bruchteil davon dient der Zubereitung von Nahrung (Abb. 3). Durch den Konsum von Gütern aller Art verbrauchen wir indirekt ebenfalls Wasser, das für die Herstellung

dieser Güter benötigt wurde. Der Verbrauch dieses sogenannten *virtuellen Wassers* liegt sogar bei über 3500 Litern täglich (Abb. 5).

Der geologische Wasserkreislauf

Durch den geologischen Wasserkreislauf entsteht ständig Niederschlag (Regen, Schnee), wodurch Süßwasser in Flüssen, Seen und Grundwasserbrunnen verfügbar wird (Abb. 4). Von den global 40 000 km³ Niederschlagswasser sind 31 000 km³ nicht nutzbar, da sie schnell abfließen oder versickern. Vom verbleibenden Süßwasser profitieren die Menschen je nach Klimazone regional sehr unterschiedlich. Eine Reihe von Flüssen und Seen wird von mehreren angrenzenden Staaten genutzt. Dadurch entstehen häufig politische Konflikte um die Wasserverteilung.



5 Virtueller Wasserverbrauch (Beispiele)

AUFGABEN >>

- 1 Vergleichen Sie die Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasser aus der Grundwasserströmung und fossilem Grundwasser wie unter der Sahara.
- 2 Stellen Sie mithilfe von Abb. 5 einen Zusammenhang zwischen den Ernährungsgewohnheiten und dem virtuellen Wasserverbrauch her.
- 3 Bewerten Sie die Nutzung von Wasser aus Lagerstätten unter der Sahara für den Kartoffelanbau.

Der Klimawandel

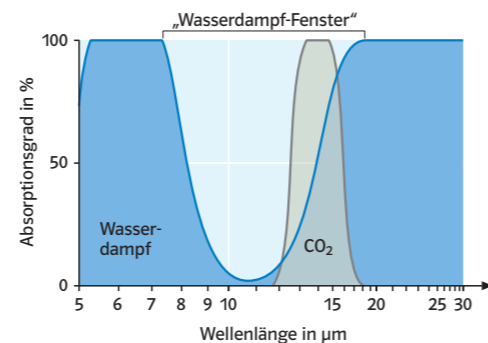


1 Rückgang eines Gletschers (Hornkees)

Manche Sommer sind wärmer als andere, manche Winter sind besonders kalt. Langfristige Klimaveränderungen sind nicht leicht von zufälligen Folgen warmer oder kalter Jahre zu unterscheiden. Einen Hinweis auf eine *globale Erwärmung* liefert der Vergleich von Gletschern der letzten 100 Jahre (Abb. 1). Der Meeresspiegel steigt nach Satellitenmessungen seit 1993 durchschnittlich um 2,9 mm/Jahr, also um 29 cm pro Jahrhundert.

Der Treibhauseffekt

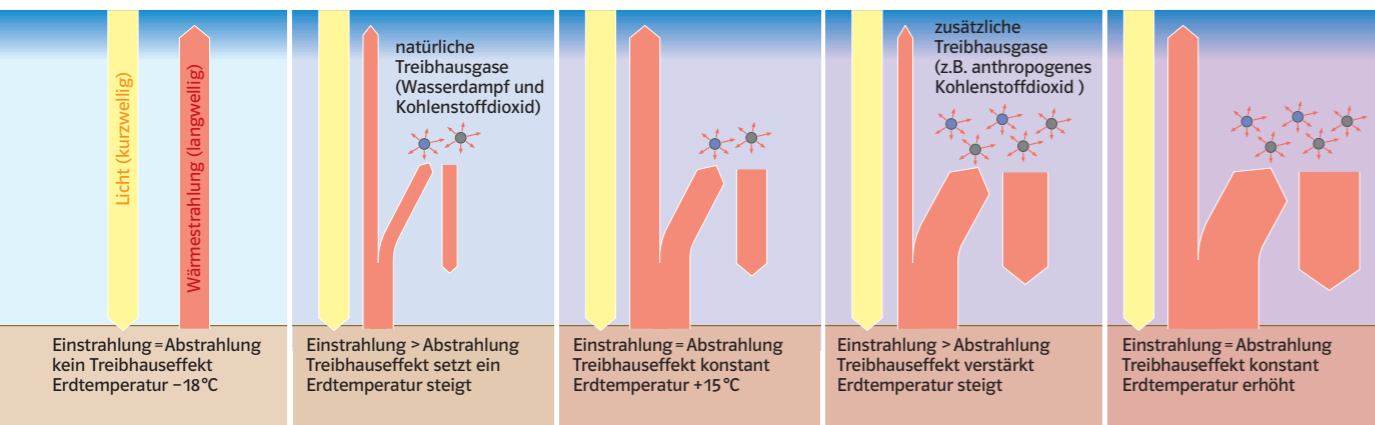
Für unser Klima spielt der Begriff *Treibhauseffekt* eine zentrale Rolle. Er leitet sich aus der Beobachtung ab, dass die Temperatur in Treibhäusern und Wintergärten an sonnigen Tagen weit über der Außentemperatur liegt. Sonnenlicht gelangt durch die Glashülle auf



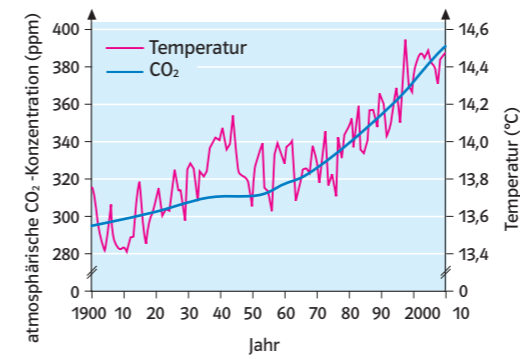
3 Absorption von Infrarotstrahlung in der Atmosphäre

den Boden des Treibhauses und erwärmt ihn. Die langwellige Wärmestrahlung kann Glas weniger durchdringen als das Licht; die Temperatur steigt. Die Abstrahlung ist ab einer bestimmten Temperatur so stark, dass ein Strahlungsgleichgewicht besteht und die Temperatur nicht weiter ansteigt. Auf der Erde vermindert die Atmosphäre die Wärmeabstrahlung ähnlich wie eine Glasscheibe.

Das auf die Erdoberfläche treffende Sonnenlicht wird in langwelligere Wärmestrahlung umgewandelt. Von der durch das Sonnenlicht erwärmten Erdoberfläche geht im Wesentlichen Wärmestrahlung mit einer Wellenlänge von 8–13 µm gelangt nahezu ungehindert ins Weltall.



2 Treibhauseffekt



4 Jahresmitteltemperatur und CO₂-Gehalt

Sowohl kürzer- als auch längerwellige Wärmestrahlung wird vor allem durch die natürlichen Treibhausgase Wasserdampf und Kohlendioxid absorbiert (Abb. 3). Dadurch wird die Atmosphäre erwärmt. Die globale Jahresdurchschnittstemperatur würde ohne diesen Treibhauseffekt -18 °C betragen statt tatsächlich heute +15 °C.

Gegenwärtiger Einfluss des Menschen

Der Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur zeigt starke Übereinstimmungen mit dem Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre (Abb. 4). Die Hauptursache für die Zunahme des Kohlendioxids ist die Verbrennung der fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas. Außerdem trägt die Abholzung von Wäldern durch verminderte Kohlendioxidfixierung dazu bei.

Mit zunehmender Industrialisierung wurden weitere Stoffe freigesetzt, die die Strahlung im sogenannten Wasserdampf-Fenster absorbieren (Abb. 5), z. B. das inzwischen in vielen Ländern verbotene Treibgas für Sprayflaschen Distickstoffoxid (N₂O). Bodennahes Ozon (O₃) entsteht verstärkt durch Luftverschmutzungen, Methan (CH₄) wird bei der Erdöl- und Erdgasförderung freigesetzt und von Rindern ausgeschieden (ca. 140 l pro Tier und Tag). Entscheidend für den Einfluss auf die Erderwärmung ist nicht nur die Konzentration der Stoffe, sondern auch die Wirksamkeit pro Molekül im Wasserdampf-Fenster (Abb. 3).

Treibhausgas	Konzentration (global) in ppm		Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt	relative Wirksamkeit pro Molekül
	1985	2013		
CO ₂	345,7	396	50–60 %	1
CH ₄	1,66	1,82	15–20 %	25
N ₂ O	0,304	0,326	5–6 %	298
FCKW	ca. 0,003	ca. 0,005	< 10 %	bis 14 400
O ₃ (Boden)	regional verschieden		4–8 %	2000

5 Anteil der Treibhausgase am Treibhauseffekt

Folgen der anthropogenen Einflüsse

Mit Computersimulationen versucht man, den zu erwartenden Temperaturanstieg und dessen Folgen vorherzusagen. Die Zusammenhänge sind sehr komplex. Ein Teil des durch Menschen freigesetzten Kohlendioxids löst sich im Meerwasser. Es kann dort allerdings durch Senkung des pH-Werts die Fixierung von Kohlenstoff bei der Bildung von Kalk durch Muscheln und Korallen stören.

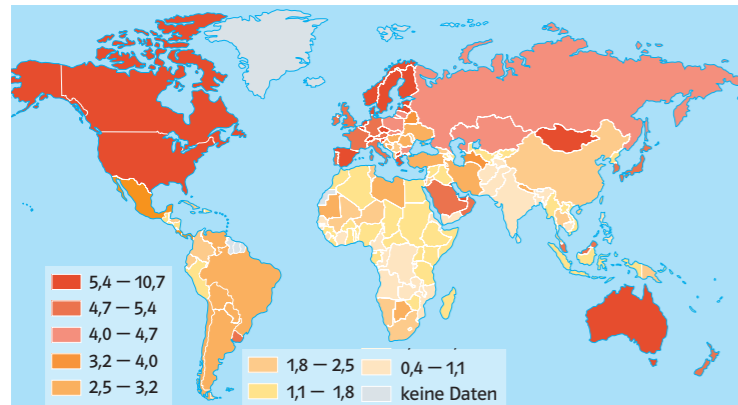
Der Rückgang von Gletschern und vereisten Polkappen kann die Lichtreflexion verringern und so die Erwärmung beschleunigen. Auch die Einflüsse von sich verändernden Meeresströmungen durch die erhöhte Wassertemperatur sind schwer abzuschätzen. Die Simulationen sagen einen Temperaturanstieg von 2 bis 6 °C in 100 Jahren voraus.

[► Steuerung und Regelung]

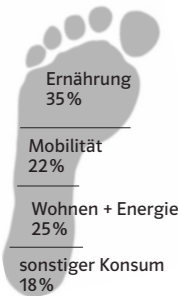
AUFGABEN >>

- 1 Nennen Sie mögliche Folgen für Lebewesen durch die relativ schnelle Verschiebung von Klimazonen.
- 2 Erklären Sie am Beispiel des Gletscherrückgangs das Prinzip der positiven Rückkopplung.
- 3 Diskutieren Sie folgende Aussage: „Der Klimawandel wird überwiegend von Industriestaaten verursacht, trifft jedoch besonders stark Menschen in wirtschaftlich weniger entwickelten Regionen“.

Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität



1 Größe des Ökologischen Fußabdrucks (2007)



Menschen haben schon immer Ressourcen z. B. in Form von Wasser, Nahrungsmitteln und Brennstoffen verbraucht. Diese Ressourcennutzung kann nachhaltig geschehen wie zum Teil in der Forstwirtschaft, wenn nur so viel Holz entnommen wird, wie in der gleichen Zeit nachwächst.

Dieses Konzept der *Nachhaltigkeit* wurde 1987 von den Vereinten Nationen aufgegriffen. Gefordert wurde, dass Entwicklungen so gestaltet werden sollen, dass Ressourcennutzung die Umwelt, den wirtschaftlichen Wohlstand und die soziale Gerechtigkeit für zukünftige Generationen nicht gefährdet. Dafür wurden verschiedene Konzepte entwickelt, die den Ressourcenverbrauch erfassen können.

Der Ökologische Fußabdruck

Im Jahr 1994 veröffentlichten WILLIAM REES und MATHIS WACKERNAGEL ihr *Modell des Ökologischen Fußabdrucks*. Es beruht auf der Vorstellung, dass international jedem Konsum von Gütern oder Dienstleistungen eine Ackerfläche zugeordnet werden kann, die für die Bereitstellung der verbrauchten Ressourcen notwendig ist. Der Flächenbedarf für die Bereitstellung eines Hamburgers beträgt z. B. 2,9 m², für eine Portion Spaghetti mit Tomatensoße 0,46 m². Im Modell werden die Bereiche Ernährung, Mobilität, Wohnen und Energie sowie sonstiger Konsum erfasst. Aufgrund der einheitlichen

Land	Fußabdruck (ha/Person und Jahr)	Biokapazität (ha/Person und Jahr)	Anzahl benötigter Erden
Äthiopien	0,6	0,8	0,75
Brasilien	2,9	9,0	1,8
Deutschland	5,1	1,9	2,7
Frankreich	5,0	3,0	1,7
Finnland	6,2	12,5	0,5
Indien	0,9	0,5	1,8
USA	8,0	3,9	2,1
VR China	2,2	1,0	2,2
Welt	2,2	1,8	1,2

2 Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität

Berechnungsgrundlage lässt sich der Ressourcenverbrauch international vergleichen (Abb. 1).

Die Biokapazität der Erde

Dem Ressourcenbedarf aller Menschen auf der Erde steht die Kapazität der Umwelt zur Bereitstellung gegenüber. Die Kapazität der Erde oder eines Landes, nutzbare biologische Materialien bereitzustellen und Abfallstoffe umweltverträglich aufzunehmen, wird als *Biokapazität* bezeichnet (Abb. 2). Sie wird ebenfalls in Hektar pro Person und Jahr angegeben.

Im walddichten, dünn besiedelten Finnland ist der Ökologische Fußabdruck nur etwa halb so groß wie die Biokapazität. Die Einwohner der USA hingegen nutzen Ressourcen doppelt so stark, wie ihr Land sie bereitstellt. Für eine solche Ressourcennutzung würden die Bewohner der USA mehr als 2 Erden benötigen (Abb. 2).

AUFGABEN >>

- 1 Erklären Sie den unterschiedlich großen Ökologischen Fußabdruck für die beiden im Text genannten Mahlzeiten.
- 2 Erläutern Sie die Werte in Abb. 2 aus der Perspektive der Nachhaltigkeit.

Praktikum

Der persönliche Ökologische Fußabdruck

Das Modell des Ökologischen Fußabdrucks und die Berechnung der Biokapazität können dazu beitragen, den übermäßigen Verbrauch von Ressourcen zu erkennen. Durch regionale Vergleiche des Verbrauchsverhaltens können außerdem Lösungs-

ansätze zur Reduktion gefunden werden. Jeder von uns kann seinen persönlichen Ökologischen Fußabdruck als Maß für die ökologische Belastung durch das eigene Handeln nehmen.

Fragebogen und Internetrechner

Mithilfe von Fragebögen zum Ökologischen Fußabdruck kann man die Lebensumstände ermitteln, die hauptsächlich zum Ressourcenverbrauch beitragen (Abb. 1). Dazu sind den Alternativen jeweils Bewertungspunkte zugeordnet. Die Fragen umfassen die Bereiche Ernährung, Wohnen und Energieverbrauch, Mobilität/Reisen und allgemeines Konsumverhalten.

Die Auswertung ist meist so angelegt, dass die Größe des Ökologischen Fußabdrucks in Beziehung gesetzt ist zur Biokapazität in Deutschland. Das Ergebnis wird in Anzahl benötigter Erden angegeben, wenn alle Menschen sich so verhielten.

Wie oft essen Sie tierische Produkte (Milch, Eier, Käse, Butter etc.)?

- | | | | |
|--|----|--|---|
| <input type="checkbox"/> mehrmals am Tag | 10 | <input type="checkbox"/> einmal am Tag | 8 |
| <input type="checkbox"/> jeden zweiten Tag | 6 | <input type="checkbox"/> 1-3-mal die Woche | 5 |
| <input type="checkbox"/> seltener | 3 | <input type="checkbox"/> nie | 0 |

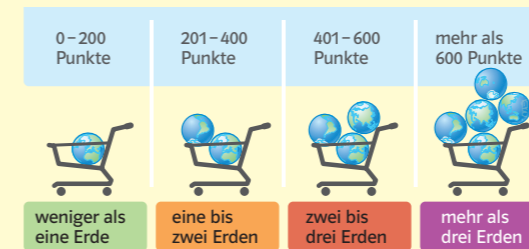
Kaufen Sie Lebensmittel aus ökologischem Anbau?

- | | | | |
|---|----|---------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> ausschließlich | -5 | <input type="checkbox"/> zu 3/4 | 2 |
| <input type="checkbox"/> zur Hälfte | 4 | <input type="checkbox"/> zu 1/4 | 7 |
| <input type="checkbox"/> gar nicht | 10 | | |

Kaufen Sie Ihre Lebensmittel frisch oder tiefgefroren/ in Konserven?

- | | |
|--|----|
| <input type="checkbox"/> Ich kaufe nur frisch. | 0 |
| <input type="checkbox"/> Ich kaufe mehr frisch als tiefgefroren/ in Konserven. | 5 |
| <input type="checkbox"/> Ich kaufe beides zu gleichen Teilen. | 10 |
| <input type="checkbox"/> Ich kaufe mehr tiefgefroren/ in Konserven als frisch. | 15 |

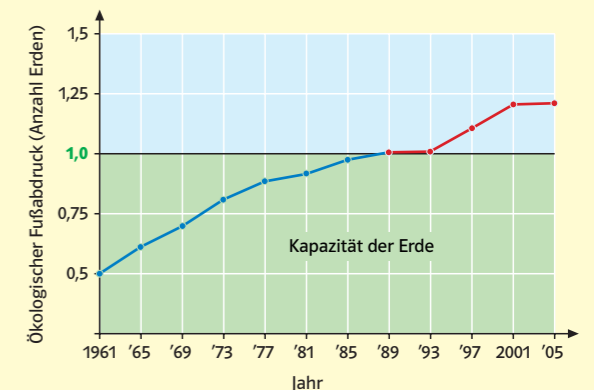
1 Fragebogenschnitt zum Nahrungsmittelkonsum



2 Auswertung des Fragebogens

Prinzipiell auf die gleiche Weise sind im Internet angebotene Rechenprogramme aufgebaut, die über Suchmaschinen leicht zu finden sind (Suchbegriff Footprint-Rechner).

Warum sollte man den persönlichen Ökologischen Fußabdruck ermitteln? Damit können unterschiedliche Ziele verbunden sein. Zum einen geben die den Konsumgewohnheiten zugeordneten Bewertungspunkte einen Hinweis darauf, in welcher Größenordnung ein Ressourcenverbrauch mit dem jeweiligen Konsum verbunden ist. Zum anderen kann man Verhaltensänderungen auf ihre Auswirkungen auf den Ökologischen Fußabdruck prüfen. Global betrachtet bietet der Ökologische Fußabdruck die Möglichkeit, Entwicklungstendenzen zu erkennen und für Verhaltensänderungen zu werben (Abb. 2).



3 Entwicklung des Ökologischen Fußabdrucks

AUFGABEN >>

- 1 Ermitteln Sie Ihren persönlichen Ökologischen Fußabdruck mit zwei unterschiedlichen Footprint-Rechnern.
- 2 Vergleichen Sie die Ergebnisse und erklären Sie, wenn möglich, die Unterschiede. Dazu können Sie auch die Punktezuordnung durch verschiedene Angaben prüfen.
- 3 Stellen Sie Bereiche zusammen, in denen Sie sich eine Verhaltensänderung vorstellen können, und prüfen Sie deren Effekt durch entsprechende Angaben im Footprint-Rechner.
- 4 Diskutieren Sie, inwieweit Ihnen die in Abb. 1 erkennbare Punktezuordnung verständlich erscheint.