

# Konrad Martin Joachim Sauerborn Agrarökologie



Ulmer

**UTB**



UTB 2793

### **Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

Beltz Verlag Weinheim · Basel  
Böhlau Verlag Köln · Weimar · Wien  
Wilhelm Fink Verlag München  
A. Francke Verlag Tübingen und Basel  
Haupt Verlag Bern · Stuttgart · Wien  
Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft Stuttgart  
Mohr Siebeck Tübingen  
C. F. Müller Verlag Heidelberg  
Ernst Reinhardt Verlag München und Basel  
Ferdinand Schöningh Verlag Paderborn · München · Wien · Zürich  
Eugen Ulmer Verlag Stuttgart  
uvk Verlagsgesellschaft Konstanz  
Vandenhoeck & Ruprecht Göttingen  
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich  
Verlag Barbara Budrich Opladen · Farmington Hills  
Verlag Recht und Wirtschaft Frankfurt am Main  
WUV Facultas · Wien

Konrad Martin/Joachim Sauerborn

# **Agrarökologie**

192 Abbildungen

21 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

PD Dr. **Konrad Martin** ist Biologe und Hochschuldozent im Fachgebiet Agrarökologie am Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim.

Prof. Dr. **Joachim Sauerborn** ist Agrarwissenschaftler und Leiter des Fachgebiets Agrarökologie am Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim.

### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN-13: 978-3-8252-2793-7 (UTB)

ISBN-10: 3-8252-2793-6 (UTB)

ISBN-13: 978-3-8001-2853-2 (Ulmer)

ISBN-10: 3-8001-2853-5 (Ulmer)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2006 Eugen Ulmer KG

Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim)

E-Mail: [info@ulmer.de](mailto:info@ulmer.de)

Internet: [www.ulmer.de](http://www.ulmer.de)

Lektorat: Werner Baumeister

Graphische Bearbeitung: Rolito Dumlalag (Zeichnungen), Anne Auffarth (Graphiken)

Herstellung: Otmar Schwerdt

Satz: KL-Grafik, München

Druck: Gutmann, Talheim

Bindung: Dollinger, Metzingen

Umschlagentwurf: Atelier Reichert, Stuttgart

Printed in Germany

ISBN-13: 978-3-8252-2793-7 (UTB-Bestellnummer)

ISBN-10: 3-8252-2793-6 (UTB-Bestellnummer)

---

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	10
<b>1 Einführung</b>	12
1.1 Grundbegriffe und Inhaltsübersicht	12
1.1.1 Ökosysteme	14
1.1.2 Agrarökosysteme	15
<b>2 Beginn und Entwicklung der Landwirtschaft</b>	18
2.1 Die ersten Menschen	18
2.2 Beginn der Landwirtschaft	20
2.2.1 Von der Wild- zur Kulturpflanze	21
2.2.2 Entstehungszentren der Landwirtschaft	24
2.2.3 Ausbreitung von Landwirtschaft und Kulturpflanzen	26
2.3 Fortschritte und Folgen der Landwirtschaft	28
2.3.1 Technische Entwicklung und Mechanisierung	30
2.3.2 Künstliche Bewässerung	30
2.3.3 Dünger und Pflanzenschutzmittel	31
2.3.4 Pflanzenzüchtung	32
2.3.5 Auswirkungen intensiver Landbewirtschaftung	34
2.4 Einteilung der Agrarökosysteme	36
2.4.1 Wechselsysteme	38
2.4.1.1 Feldwaldwirtschaft	38
2.4.1.2 Feldbuschwirtschaft	39
2.4.1.3 Feldgraswirtschaft	40
2.4.2 Dauersysteme	41
2.4.2.1 Permanenter Ackerbau	41
2.4.2.2 Dauerkulturen	44
<b>3 Muster und Prozesse in Ökosystemen</b>	47
3.1 Biotische Interaktionen	47
3.1.1 Nahrungsbeziehungen	47

3.1.1.1	Autotrophe Organismen . . . . .	47
3.1.1.2	Heterotrophe Organismen . . . . .	48
3.1.1.3	Trophische Ebenen und Nahrungsnetze. . . . .	50
3.1.2	Konkurrenz. . . . .	51
3.1.3	Mutualismus. . . . .	52
3.2	Biozönosen . . . . .	54
3.3	Biodiversität . . . . .	58
3.3.1	Artendiversität in natürlichen Systemen . . . . .	58
3.3.2	Artendiversität in Agrarökosystemen. . . . .	60
3.4	Sukzession . . . . .	63
3.5	Energie- und Stoffflüsse . . . . .	65
3.5.1	Energieflüsse durch Nahrungsnetze. . . . .	65
3.5.2	Stofftransport durch Wasser und Wind . . . . .	68
3.5.3	Energie- und Stoffflüsse in Agrarökosystemen . . . . .	69
3.6	Globale Stoffkreisläufe . . . . .	70
3.6.1	Wasser (H <sub>2</sub> O) . . . . .	70
3.6.2	Kohlenstoff (C). . . . .	73
3.6.2.1	Anthropogene Einflüsse auf den CO <sub>2</sub> -Haushalt. . . . .	75
3.6.3	Sauerstoff (O) . . . . .	77
3.6.4	Stickstoff (N). . . . .	79
3.6.4.1	Prozesse im Stickstoffkreislauf . . . . .	79
3.6.4.2	Anthropogene Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf . . . . .	83
3.6.5	Phosphor (P). . . . .	86
<b>4</b>	<b>Die Kulturpflanze und ihre Umwelt . . . . .</b>	<b>89</b>
4.1	Strahlung und Energie . . . . .	89
4.1.1	Fotosynthese. . . . .	89
4.1.1.1	C <sub>3</sub> -Pflanzen . . . . .	91
4.1.1.2	C <sub>4</sub> -Pflanzen . . . . .	92
4.1.1.3	CAM-Pflanzen . . . . .	93
4.1.1.4	Einstrahlung in Agrarökosysteme . . . . .	93
4.1.2	Wärmeenergie . . . . .	96
4.1.2.1	Temperatur und Standort. . . . .	97
4.1.2.2	Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von Kulturpflanzen . . . . .	98
4.2	Wasser. . . . .	100
4.2.1	Bodenwasserhaushalt. . . . .	100

4.2.1.1	Infiltration. . . . .	100
4.2.1.2	Verdunstung. . . . .	102
4.2.2	Bewässerung. . . . .	102
4.3	Boden . . . . .	105
4.3.1	Bodenentwicklung und Bodeneigenschaften. . . . .	106
4.3.2	Identifizierung und Einteilung von Böden . . . . .	108
4.3.3	Pflanzennährstoffe . . . . .	109
4.3.3.1	Verfügbarkeit der Nährstoffe . . . . .	111
4.3.4	Bodenreaktion (pH-Wert) . . . . .	113
4.3.5	Bodenorganismen. . . . .	114
4.3.5.1	Zusammensetzung und Funktionen von Bodenbiozöosen . . . . .	115
4.3.5.2	Einflussfaktoren auf Bodenbiozöosen . . . . .	117
4.3.5.3	Bedeutung von Humus in Agrarökosystemen. . . . .	121
4.3.6	Bodenerosion . . . . .	122
4.4	Ackerbegleitflora. . . . .	124
4.4.1	Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern . . . . .	124
4.4.1.1	Konkurrenz um Licht. . . . .	124
4.4.1.2	Konkurrenz um Nährstoffe . . . . .	126
4.4.1.3	Konkurrenz um Wasser . . . . .	126
4.4.1.4	Kombinierte Konkurrenzwirkungen . . . . .	127
4.4.1.5	Spezielle Konkurrenzsituationen . . . . .	127
4.4.2	Allelopathie. . . . .	130
4.4.3	Parasitische Blütenpflanzen . . . . .	130
4.5	Phytophagen. . . . .	131
4.5.1	Trophische Gruppen der Phytophagen. . . . .	132
4.5.1.1	Ektophage Konsumenten des Kormus. . . . .	132
4.5.1.2	Endophage Konsumenten des Kormus . . . . .	134
4.5.1.3	Konsumenten an Blüten, Samen und Früchten . . . . .	136
4.5.2	Wirtspflanzenspektrum der Phytophagen . . . . .	137
4.5.3	Schädlinge und ihre Wirkungen auf den Ertrag. . . . .	139
4.5.3.1	Kompensationsfähigkeit der Pflanze . . . . .	141
4.5.3.2	Ressourcenversorgung und Schädlingsbefall . . . . .	142
4.5.4	Pflanzliche Abwehr von Phytophagen . . . . .	143
4.5.4.1	Morphologische Merkmale. . . . .	145
4.5.4.2	Sekundäre Pflanzenstoffe . . . . .	146
4.5.4.3	Induzierte Abwehr . . . . .	152
4.5.4.4	Effektivität der pflanzlichen Abwehr . . . . .	156

4.6	Phytopathogene . . . . .	158
4.6.1	Viren . . . . .	159
4.6.2	Bakterien . . . . .	160
4.6.3	Pilze. . . . .	161
4.6.4	Pflanzliche Abwehr von Pathogenen . . . . .	162
4.6.4.1	Konstitutive Mechanismen. . . . .	163
4.6.4.2	Induzierte Mechanismen . . . . .	164
<b>5</b>	<b>Bekämpfung unerwünschter Organismen . . . . .</b>	<b>168</b>
5.1	Unkrautbekämpfung . . . . .	168
5.1.1	Herbizide. . . . .	168
5.1.2	Herbizid-resistente Kulturpflanzen. . . . .	169
5.1.3	Kulturmaßnahmen. . . . .	170
5.1.4	Weitere Methoden der Unkrautbekämpfung. . . . .	172
5.2	Schädlingsbekämpfung. . . . .	173
5.2.1	Chemische Schädlingsbekämpfung . . . . .	173
5.2.1.1	Synthetische Insektizide . . . . .	174
5.2.1.2	Natürliche Insektizide. . . . .	175
5.2.1.3	Pheromone . . . . .	176
5.2.1.4	Unerwünschte Insektizidwirkungen . . . . .	177
5.2.2	Schädlingsresistente Kulturpflanzen . . . . .	180
5.2.2.1	Transgene schädlingsresistente Kulturpflanzen . . . . .	181
5.2.3	Kulturmaßnahmen zur Schädlingsbekämpfung . . . . .	183
5.2.3.1	Fruchtfolge . . . . .	183
5.2.3.2	Aussattermin. . . . .	183
5.2.3.3	Bestandesdichte . . . . .	184
5.2.3.4	Bodenbearbeitung . . . . .	185
5.2.4	Biologische Schädlingsbekämpfung . . . . .	186
5.2.4.1	Hauptgruppen der Antagonisten . . . . .	186
5.2.4.2	Beziehungen zwischen Antagonisten und Schädlingen. . . . .	192
5.2.4.3	Beziehungen zwischen Antagonisten und Kulturpflanzen . . . . .	200
5.2.4.4	Beziehungen zwischen Antagonistenarten . . . . .	204
5.2.4.5	Konservative biologische Schädlingsbekämpfung . . . . .	208
5.2.4.6	Inundative biologische Schädlingsbekämpfung . . . . .	213
5.2.4.7	Klassische biologische Schädlingsbekämpfung. . . . .	214
5.2.4.8	Biologische Schädlingsbekämpfung mit Pflanzen . . . . .	216
5.3	Bekämpfung von Phytopathogenen. . . . .	218
5.3.1	Viren . . . . .	218
5.3.2	Bakterien . . . . .	218
5.3.3	Pilze. . . . .	218

<b>6</b>	<b>Klimazonen und Landnutzung</b> . . . . .	222
6.1	Globale atmosphärische Zirkulation . . . . .	222
6.1.1	Klima . . . . .	225
6.2	Klimazonen . . . . .	226
6.2.1	Tropen . . . . .	230
6.2.1.1	Immerfeuchte Tropen . . . . .	230
6.2.1.2	Wechselfeuchte Tropen . . . . .	237
6.2.2	Subtropen . . . . .	242
6.2.2.1	Trockene Subtropen . . . . .	242
6.2.2.2	Winterfeuchte Subtropen . . . . .	244
6.2.2.3	Immerfeuchte Subtropen . . . . .	248
6.2.3	Gemäßigte Breiten . . . . .	249
6.2.3.1	Feucht-gemäßigte Breiten . . . . .	249
6.2.3.2	Trocken-gemäßigte Breiten . . . . .	253
6.2.4	Boreale Klimazone . . . . .	255
6.2.5	Subpolare und polare Klimazone . . . . .	256
<b>7</b>	<b>Agrarökologische Aspekte des Globalen Wandels</b> . . . . .	258
7.1	Der Globale Wandel . . . . .	258
7.1.1	Anstieg der Weltbevölkerung . . . . .	259
7.1.2	Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion . . . . .	260
7.1.2.1	Ausweitung der Anbauflächen . . . . .	261
7.1.2.2	Intensivierung des Anbaus . . . . .	262
7.1.2.3	Potenziale der Zukunft . . . . .	265
7.1.3	Klimawandel . . . . .	268
7.1.3.1	Ursachen des Klimawandels . . . . .	268
7.1.3.2	Klimaprognosen für das 21. Jahrhundert . . . . .	273
7.1.4	Ausblick . . . . .	280
	Literaturverzeichnis . . . . .	282
	Sachregister . . . . .	293

---

## Vorwort

Vor rund 10.000 Jahren begann der Mensch, Ackerbau zu betreiben und damit Teile der natürlichen Landschaft in den verschiedenen Vegetationszonen der Erde grundlegend zu verändern. Die seitdem geschaffenen Produktionsflächen werden nicht nur von den angebauten Kulturpflanzen eingenommen, sondern auch von bestimmten wild vorkommenden Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen besiedelt. Sie stellen Agrarökosysteme dar, deren Strukturen und Funktionen einerseits vom Menschen gesteuert und beeinflusst, andererseits von natürlichen Faktoren mitbestimmt werden.

Dieses Buch behandelt die Muster und Prozesse in Agrarökosystemen und strebt darüber hinaus eine ganzheitliche Betrachtung der ökologischen Zusammenhänge zwischen den Interaktionen in Agrarökosystemen, den landwirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen und ihren Wechselwirkungen mit der natürlichen Umwelt an. In diesem Rahmen wird nicht nur auf die mitteleuropäischen Verhältnisse eingegangen, sondern auch auf Agrarökosysteme anderer Regionen und Klimazonen. Bei allen Themenbereichen stehen globale Aspekte im Vordergrund. Prozesse wie die Entwicklung der Landwirtschaft und des Klimas der Erde werden auch in ihren verschiedenen zeitlichen Dimensionen aufgezeigt.

Letztlich ist es auch das Ziel, eine Verknüpfung zwischen der allgemeinen Ökologie als Basiswissenschaft und den angewandten und produktionsorientierten agrarwissenschaftlichen Disziplinen wie Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenschutz herzustellen. Ausgangspunkte sind die biotischen und abiotischen Einflüsse, denen alle Arten und ihre Beziehungen zueinander in natürlichen und agrarischen Systemen unterworfen sind. Dabei erfolgt nicht nur die Betrachtung einzelner Faktoren, sondern auch ihrer vielfältigen, direkten und indirekten Wirkungen auf verschiedene Systemkomponenten. Aufbauend auf den ökologischen Grundlagen werden die Möglichkeiten der Steuerung von Agrarökosystemen zur Sicherung und Steigerung der Pflanzenerträge aufgezeigt. Dazu gehören Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Düngung, Bewässerung und Bodenbearbeitung, die Wahl der angebauten Arten und Sorten von

Kulturpflanzen sowie die Bekämpfung von Schädlingen, Unkräutern und Pflanzenkrankheiten. Solche Eingriffe beeinflussen auch die Umwelt. Sie wirken sich nicht nur auf natürliche Lebensräume, ihre Artengemeinschaften und das globale Klima aus, sondern betreffen in unterschiedlicher Weise auch die Lebensbedingungen der weiter ansteigenden Weltbevölkerung.

Mit seinem fächerübergreifenden Thema richtet sich dieses Buch primär an angehende und ausgebildete Agrarwissenschaftler, Biologen, Agrarbiologen und Geografen, vermittelt aber auch Hintergrundwissen für die Bereiche Geo- und Landschaftsökologie, Landespflege, Landschaftsplanung und Gartenbau. Auch Lehrer der Sekundarstufe II können daraus kompakte Informationen für den Unterricht beziehen.

Die im Buch verwendeten Zeichnungen wurden, sofern nicht anders vermerkt, von Rolito Dumalag (Philippinen) angefertigt. Besonderer Dank gilt Frau Anne Auffarth für ihre hohe Motivation und ihr großes zeitliches Engagement bei der professionellen Erstellung sämtlicher Grafiken.

Für hilfreiche Hinweise oder Korrekturen in Manuskriptteilen danken wir Prof. Dr. Reinhold Jahn, Dr. Ludger Herrmann, Prof. Dr. Michael Ahlheim, Prof. Dr. Michael Sommer und Prof. Dr. Reinhard Böcker. Für die kritische Durchsicht des gesamten Manuskripts, inhaltliche Anregungen und sprachliche Verbesserungen gilt unser Dank Dr. Jan Grenz und Frau Dr. Elke Fischer. Dem Verlag Eugen Ulmer, und namentlich unserem Lektor Werner Baumeister, danken wir herzlich für die gute Zusammenarbeit.

Hohenheim, im Januar 2006 Konrad Martin/Joachim Sauerborn

---

# 1 Einführung

## 1.1 Grundbegriffe und Inhaltsübersicht

Der Begriff **Agrarökologie** setzt sich aus drei Wortstämmen zusammen, die sich ableiten von dem lateinischen *agrarius* (den Acker betreffend), dem griechischen *oikos*, was Wohnort oder Haushalt bedeutet, sowie dem ebenfalls griechischen *logos* (Lehre). Nach HAECKEL (1866) ist **Ökologie** die Lehre bzw. Wissenschaft von den Existenzbedingungen der Organismen in ihrer unbelebten und belebten Umwelt. In Anlehnung daran lässt sich Agrarökologie definieren als die Wissenschaft von den Existenzbedingungen von Organismen in der Umwelt, die der Mensch für die Produktion bestimmter Kulturpflanzen gestaltet.

Bei den Organismen handelt es sich um die Individuen verschiedener Arten bzw. Populationen (Exkurs 1.1) von Kultur- und

### Exkurs 1.1: Art und Population

Gruppen von Individuen sind Mitglieder ein und derselben **biologischen Art** und bilden eine genetische Einheit, wenn sie fortpflanzungsfähige Nachkommen hervorbringen können. Dies trifft ebenso für die aus Wildarten hervorgegangenen Kulturformen von Pflanzen (Sorten) und Tieren (Rassen) zu, auch wenn sich diese in ihrem äußeren Erscheinungsbild oft extrem voneinander unterscheiden und in vielen Fällen ihre gemeinsame Artzugehörigkeit und Abstammung kaum noch erahnen lassen. Erst wenn verschiedene Individuen keine Fortpflanzungsgemeinschaft mehr bilden, also reproduktiv voneinander isoliert sind, handelt es sich um verschiedene Arten. Als **Population** wird eine Fortpflanzungsgemeinschaft bezeichnet, die sich aus den Individuen einer Art in einem bestimmten geografischen Gebiet bzw. einem bestimmten Lebensraum zusammensetzt.

Wildpflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Die Kulturpflanzen stammen von Wildpflanzenarten ab und sind durch die unbewusste oder gezielte Auslese bestimmter Merkmale durch den Menschen entstanden (Abschnitt 2.2.1).

Die **Umwelt** besteht aus der Gesamtheit der Faktoren, die auf Organismen einwirken. Die verschiedenen physikalischen und chemischen Einflüsse, die von der unbelebten Umwelt ausgehen, stellen die **abiotischen Faktoren** dar. In terrestrischen Lebensräumen zählen dazu im Wesentlichen die Eigenschaften des Bodens, bestimmte geografische Faktoren (z. B. Relief und Höhenlage) sowie die Einflüsse des Klimas. Letztere sind vor allem die strahlungsenergetischen Faktoren (Wärme und Licht) sowie die Niederschlagsbedingungen bzw. die Wasserversorgung.

Die Wirkungen der **biotischen Faktoren** gehen von Organismen aus und können auf die Individuen derselben Art (intraspezifisch), die Individuen einer anderen Art (interspezifisch) oder auf die abiotische Umwelt (z. B. auf bestimmte Bodeneigenschaften) ausgeübt werden. Aus der Perspektive einer Art besteht die biotische Umwelt im Wesentlichen aus anderen Arten, zu denen sie in unterschiedlichen Beziehungen stehen kann. Hierzu zählen Nahrungsbeziehungen, Konkurrenz und Mutualismus (Abschnitt 3.1).

Bestimmte Umweltfaktoren werden als **Ressourcen** bezeichnet. Bei diesen handelt es sich um lebensnotwendige Komponenten der Umwelt, die von den Individuen bzw. Arten genutzt werden. Sie können biotischer oder abiotischer Natur sein und unterscheiden sich bei einzelnen Arten entsprechend ihren Bedürfnissen. Prinzipiell lassen sich drei Kategorien an Ressourcen unterscheiden, die für alle Arten von Bedeutung sind, und zwar Nahrung, Energie und bestimmte räumliche Strukturen.

Wichtige Ressourcen für Pflanzen sind Licht (Energiequelle), Kohlendioxid, mineralische Nährstoffe und für Wurzeln bildende Arten eine geeignete Bodenstruktur zur Verankerung und Stützung der Pflanze. Tiere beziehen Nahrung bzw. Energie aus organischen Verbindungen, die entweder von lebenden Organismen oder deren abgestorbenen Resten stammen. Bestimmte Bakterien nutzen chemische Verbindungen (z. B. Schwefelwasserstoff oder Methan) als Energiequelle. Die meisten Lebewesen benötigen außerdem Sauerstoff für die Atmung. Räumliche Ressourcen für Tiere können Schutz- oder Versteckmöglichkeiten sowie geeignete Orte zur Sicherung des Nachwuchses sein (z. B. Eiablageplätze).

Die **ökologische Nische** einer Art umfasst das gesamte Spektrum der verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren, unter denen eine Art bzw. Population lebt, sich durch Reproduktion erhalten und eine bestimmte Individuendichte (Abundanz) pro Flächen- oder Raumeinheit erreichen kann.

terrestrisch (von lat. *terra* = Erde, Land): dem Land angehörend

Lebewesen beziehen ihre Nahrung unmittelbar aus der natürlichen Umwelt, in der sie leben und sich fortpflanzen. Von dieser allgemeinen Tatsache gibt es nur wenige, aber bemerkenswerte Ausnahmen. Eine davon betrifft die im tropischen Amerika vorkommenden Blattschneiderameisen (*Atta*- und *Acromyrme*-Arten), die Blattstücke von Pflanzen ernten und in ihre unterirdischen Nester tragen. Dort wird das Blattmaterial zu Brei zerkaut und dient als Substrat für die Aufzucht von Pilzen, von denen sich die Ameisenkolonie ernährt. Auch der Mensch ist durch den gezielten Anbau bestimmter Pflanzenarten in der Lage, seine Nahrung selbst zu produzieren. Er nutzte diese Möglichkeit jedoch nicht während der gesamten Zeitspanne seiner bisher mindestens 150.000-jährigen Existenz als so genannter moderner Mensch (*Homo sapiens sapiens*), sondern begann damit erst vor rund 10.000 Jahren. Wichtige Aspekte der Agrarökologie betreffen also auch die Ökologie des Menschen. Dabei geht es nicht nur um die Frage, warum es zu diesem Wechsel in der Nutzung von Nahrungsressourcen kam (Kapitel 2), sondern auch um zukünftige Entwicklungen, die wesentlich von der ansteigenden Weltbevölkerung bestimmt werden. Sie betreffen sowohl die Nahrungsversorgung der Menschheit als auch Veränderungen der globalen Umwelt (Kapitel 7).

### 1.1.1 Ökosysteme

Beziehungsgefüge von Organismen und ihrer Umwelt, in denen die verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren wirken, werden als **Ökosysteme** bezeichnet. Es sind strukturelle und funktionelle Einheiten, die einerseits einen räumlichen Bezug haben und andererseits im Austausch von Stoffen, Energie und Organismen stehen, wodurch sie sich gegenseitig beeinflussen. Diese Charakterisierung trifft auch für **Agrarökosysteme** zu, die aber im Unterschied zu natürlichen Ökosystemen vom Menschen gestaltet sind und von ihm durch regelmäßige Eingriffe in ihren Organismenbestand und in ihre Funktion gesteuert werden.

Zu den wichtigsten Mustern und Prozessen, die sowohl für natürliche als auch für agrarische Ökosysteme kennzeichnend sind, zählen die Beziehungen zwischen den Arten, die Artenvielfalt, die zeitlichen Veränderungen von Artengemeinschaften sowie die Stoff- und Energieflüsse (Kapitel 3).

Für die räumliche und funktionale Abgrenzung von Ökosystemen gibt es keine objektiven Kriterien. Anhand von abiotischen und biotischen Merkmalen lassen sich jedoch bestimmte strukturelle Ausschnitte festlegen, die auf unterschiedlichen Maßstabsebenen als Grundlage für die Beschreibung von Mustern und die Analyse von Prozessen herangezogen werden können. So lässt sich z.B. die Erdoberfläche anhand des Klimas in verschiedene öko-

logische Zonen einteilen, die weitgehende Übereinstimmung mit bestimmten Vegetations- und Bodentypen aufweisen (Kapitel 6). Innerhalb der Klima- bzw. Vegetationszonen können verschiedene Landschaften, Teillandschaften und Landschaftselemente bis hin zu einzelnen Biotopen bzw. Habitaten (Exkurs 1.2) definiert werden. Kriterien hierfür sind z.B. die jeweiligen Temperatur- und Niederschlagsbedingungen, die geologischen und hydrologischen Verhältnisse, das Relief, die Höhenlage und die durch diese Faktoren beeinflussten Pflanzen- und Tiergemeinschaften. Dementsprechend können auch Energie- und Stoffflüsse auf verschiedenen Maßstabsebenen betrachtet werden, die von den globalen Stoffkreisläufen (Abschnitt 3.6) bis hin zu kleinräumigen Verlagerungen im Boden (Abschnitt 4.3) reichen können.

### Exkurs 1.2: Biotop und Habitat

Unter einem **Biotop** wurde ursprünglich der durch abiotische Faktoren gekennzeichnete Lebensraum einer Lebensgemeinschaft (Biozönose; Abschnitt 3.2) verstanden, wobei Biotop und Biozönose zusammen ein Ökosystem bilden. In erweiterter und heute meist gebräuchlicher Form wird der Begriff jedoch weitgehend unabhängig von einer Trennung zwischen abiotischen und biotischen Merkmalen verwendet. Er bezieht sich dann in der Regel auf bestimmte Strukturen innerhalb einer Landschaft (z.B. Tümpel, Trockenrasen, Acker, Laubwald).

Der Begriff **Habitat** wurde geprägt, um den Lebensraum einer bestimmten Art zu charakterisieren. Inzwischen wird er aber ebenso für Artengemeinschaften verwendet und bezieht sich wie der Biotop auf abiotische und biotische Merkmale.

Insgesamt stellen Biotope, Habitats und Ökosysteme keine hierarchisch angeordneten und voneinander trennbaren Gefüge dar, sondern werden erst durch eine genauere Kennzeichnung (z.B. anhand der Vegetation) als räumliche Einheiten erfassbar.

### 1.1.2 Agrarökosysteme

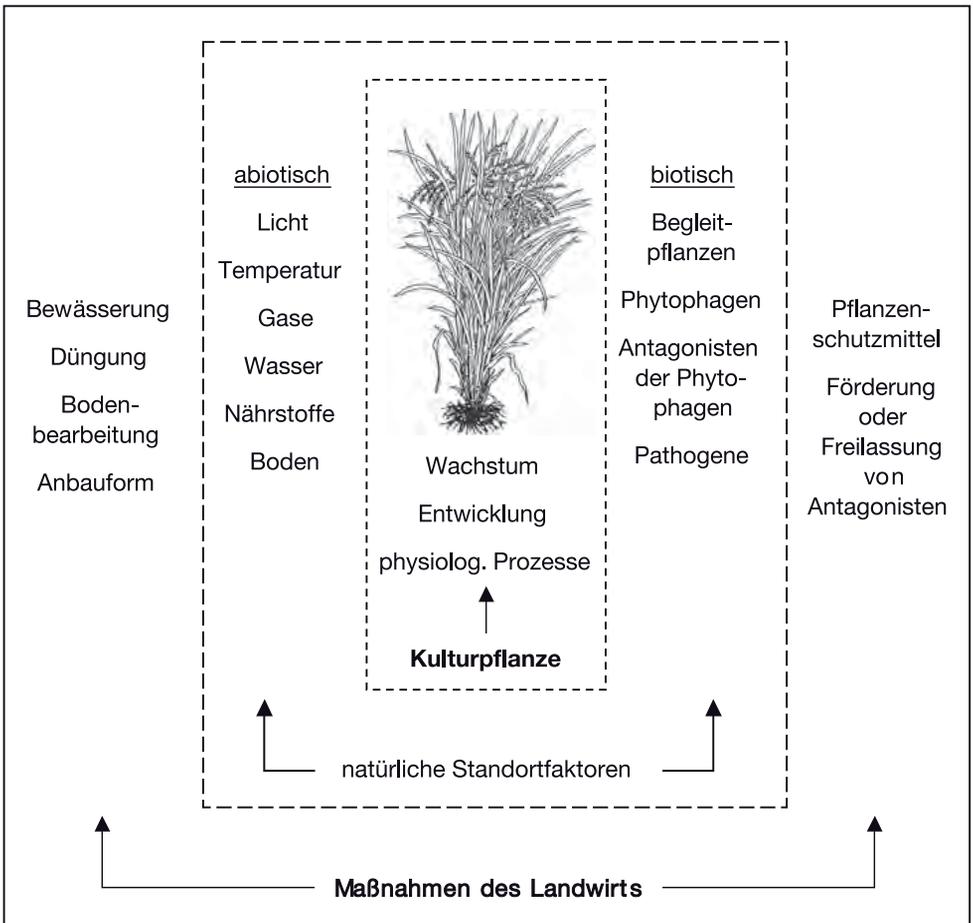
Agrarökosysteme sind Ökosysteme, die der Produktion von Kulturpflanzen auf Äckern dienen. Sie sind durch regelmäßige Bewirtschaftungsmaßnahmen, zu denen hauptsächlich Aussaat, Ernte und Bodenbearbeitung zählen, gekennzeichnet. Dadurch unterscheiden sich Agrarökosysteme von anderen Systemen, die ebenfalls vom Menschen etabliert und genutzt werden, wie z.B. Dauergrünland (Wiesen und Weiden) und Forsten.

Eine Einteilung der unterschiedlichen Agrarökosysteme wird in Abschnitt 2.4 vorgenommen. Die in den verschiedenen Systeme-

men produzierten Kulturpflanzen lassen sich nach ihrer Nutzung einteilen in:

- **Nahrungspflanzen**, die der menschlichen Ernährung dienen. Hierzu zählen z.B. Getreide, Knollen- und Wurzelfrüchte, Hülsenfrüchte (Körnerleguminosen), Ölf Früchte, Blattgemüse und Obstpflanzen.
- **Genuss-, Heil- und Gewürzpflanzen**. Beispiele sind Kaffee (*Coffea*-Arten), Tee (*Camellia sinensis*), Kamille (*Matricaria recutita*), Lavendel (*Lavandula angustifolia*) und Pfeffer (*Piper nigrum*).
- **Ackerfutterpflanzen** für die Nutztierproduktion. Die im Ackerfutterbau produzierten Pflanzenarten sind teilweise identisch mit den Nahrungspflanzen für den Menschen (z.B. Getreidearten), umfassen im engeren Sinne aber hauptsächlich Futterleguminosen, zu denen v.a. Luzerne (*Medicago sativa*) und Klee (*Trifolium*-

**Abb. 1.1**  
Das Agrarökosystem  
als Umwelt der Kulturpflanze.



Arten) gehören. Letztere werden häufig in Gemengen zusammen mit Ackerfuttergräsern wie Weidelgras (*Lolium*-Arten) und Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*) angebaut. Ackerfuterbau wird in der Regel in ein- bis dreijähriger Nutzungsdauer innerhalb einer Fruchtfolge (Abschnitt 2.4.2) betrieben.

- **Rohstoffpflanzen**, die z.B. der Produktion von Fasern oder Treibstoffen dienen. Faserpflanzen sind z.B. Baumwolle (*Gossypium*-Arten), Hanf (*Cannabis sativa*) und Faserbanane (*Musa textilis*). Als Treibstoffe werden v.a. Rapsöl („Biodiesel“) und Alkohol (Ethanol) verwendet. Letzterer wird für diesen Zweck aus verschiedenen Kulturpflanzen gewonnen, z.B. aus Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*).

Viele Kulturpflanzenarten können für verschiedene Zwecke angebaut werden und Verwendung finden, d.h. sie lassen sich nicht nur einer, sondern z.T. mehreren der genannten Kategorien zuordnen.

Ein Ansatz zur Beschreibung und Analyse von Agrarökosystemen besteht darin, die Kulturpflanze in den Mittelpunkt zu stellen. Aus ihrer Perspektive ist das Agrarökosystem die Umwelt, in der ihr Wachstum, ihre Entwicklung und ihre physiologischen Prozesse in direkter oder indirekter Weise beeinflusst werden (Abb. 1.1). Jeder Standort ist durch bestimmte natürliche Bedingungen gekennzeichnet, denen die Kulturpflanzen ausgesetzt sind (Kapitel 4). Diese können teilweise vom Landwirt verändert werden, um den angebauten Kulturpflanzen möglichst günstige Existenzbedingungen zu verschaffen. Entsprechende Maßnahmen sind z.B. Düngung und Bewässerung sowie die Bekämpfung von Organismen, die negative Einflüsse auf die Kulturpflanzen haben bzw. Ertragsverluste verursachen (Kapitel 5).

---

## 2 Beginn und Entwicklung der Landwirtschaft

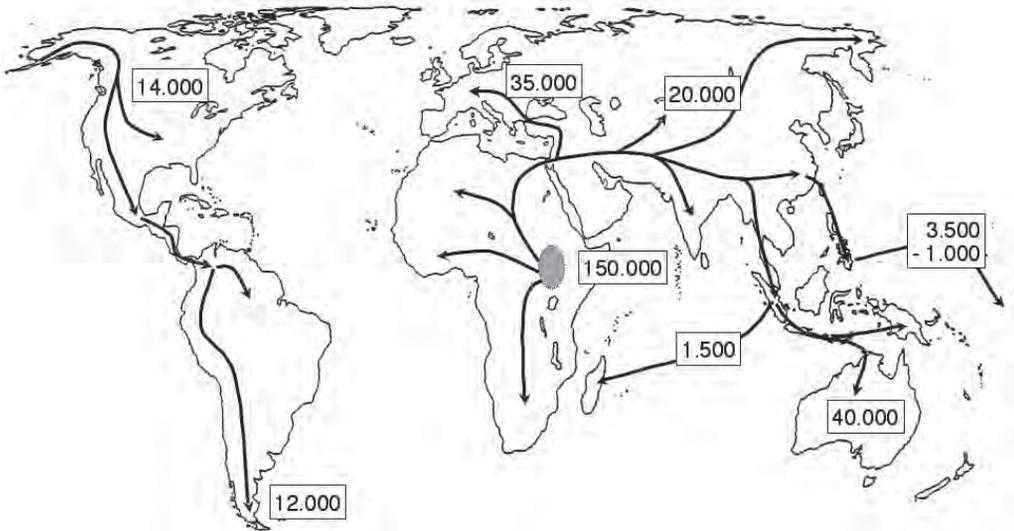
### 2.1 Die ersten Menschen

Die Wiege der Menschheit sind die Savannengebiete Afrikas. Alle heute lebenden Vertreter des *Homo sapiens sapiens* stammen von einer Population ab, die dort vor 150.000 bis 200.000 Jahren lebte. Wie bereits zwei andere Vertreter der Gattung *Homo* (*H. erectus* und die Vorfahren des *H. neanderthalensis*) zuvor, verließen auch Gruppen des modernen Menschen ihre ursprüngliche Heimat, um andere Kontinente zu besiedeln. Dies geschah vor 50.000 bis 70.000 Jahren. Über die Ursache dieser Migrationen, die erst 100.000 Jahre nach Entstehung des *H. sapiens* einsetzten, lässt sich nur spekulieren. Möglicherweise fielen die ersten Auswanderungen mit einer klimatischen Veränderung zusammen, die auch das Ressourcenangebot bzw. die Lebensbedingungen der Menschen beeinflusste. Zur Ernährungsweise des frühen *H. sapiens* in Afrika ist jedoch nur wenig bekannt. Er trat zwar bereits als Jäger von Wildtieren in Erscheinung, stand dabei aber in Konkurrenz mit den großen Katzenarten und anderen Raubtieren. Gegen diese musste er nicht nur seine Beute, sondern auch sich selbst verteidigen. Auch auf Grund der noch primitiven Waffen hatte die Jagd auf große Tiere wie Gazellen, Büffel oder gar Elefanten für die ersten modernen Menschen eher geringe Bedeutung. Sie nutzen vermutlich ein breites Nahrungsspektrum, das pflanzliche Produkte (Wurzeln, Samen und Früchte), Tiere von geringer Größe (z. B. Kleinsäuger, Reptilien, Insekten) sowie Wildhonig und Eier von Vögeln und Reptilien umfasste. Wahrscheinlich verzehrten sie auch Reste von Großtierkadavern wie Knochenmark, das mit Hilfe von Steinwerkzeugen (Abb. 2.1) zugänglich gemacht werden konnte. Mit Hilfe des Feuers ließen sich nicht nur Fleisch, sondern auch viele Pflanzenarten als Nahrung verwerten, die in rohem Zustand ungenießbar oder sogar giftig sind.



Abb. 2.1  
Faustkeil aus Feuerstein.

Nach dem heutigen Stand des Wissens verließen die ersten Gruppen des *H. sapiens* Afrika über Vorderasien und erreichten



bereits vor mindestens 40.000 Jahren Australien (Abb. 2.2). Da zu keiner Zeit eine Landbrücke zwischen Asien und Australien bestand, konnte dieser Kontinent nur mit Hilfe von Booten oder Flößen besiedelt werden. Vor rund 35.000 Jahren gelangten die ersten Menschen nach Europa, wo zu dieser Zeit noch der Neandertaler (*H. neanderthalensis*) lebte. Die ersten modernen Europäer werden als Cro-Magnon-Menschen bezeichnet (benannt nach ihrem ersten Fundort in Frankreich). Vor mindestens 14.000 Jahren wurde Amerika von Asien aus über die Bering-Straße besiedelt. Im eiszeitlichen Europa und Nordamerika (d.h. bis vor etwa 11.000 Jahren) waren die Menschen in erster Linie Jäger. Mit der Entwicklung effektiver Waffen (Abb. 2.3) und anderer Jagdtechniken wurde es möglich, auch die Großtiere der offenen Steppe oder Tundra (z.B. Mammut, Wollnashorn, Pferd, Riesenhirsch und Wisent) zu erbeuten. Diese waren nicht nur für die Ernährung von Bedeutung, sondern lieferten z.B. auch Felle oder Häute zur Herstellung von Bekleidung und Behausungen. Die Nutzung pflanzlicher Ressourcen dürfte auf Grund der Vegetationsverhältnisse in diesen Gebieten zu dieser Zeit eine untergeordnete Rolle gespielt haben.

Nur etwa 2.000 Jahre nach der Besiedelung Nordamerikas erreichte der Mensch die Südspitze Südamerikas. Die Besiedelungsgeschichte Amerikas ist allerdings nicht unumstritten, da es auch Hinweise auf ein deutlich früheres Erscheinen von Menschen auf diesem Kontinent gibt. Die letzten größeren Gebiete, die außer den Polarregionen vom Menschen erreicht wurden, waren die Inseln der Südsee (vor 3.000 bis 1.000 Jahren) und Madagaskar (vor etwa 1.500 Jahren), und zwar jeweils von Asien aus (Abb. 2.2).

**Abb. 2.2**  
Die Ausbreitung des *Homo sapiens* über die Erde mit Zeitanangaben (in Jahren vor Heute).



**Abb. 2.3**  
Pfeilspitze aus Feuerstein.

## 2.2 Beginn der Landwirtschaft

Mit dem Ende der letzten Eiszeit vor rund 11.000 Jahren wandelten sich die klimatischen Bedingungen in vielen Regionen der Erde grundlegend. Temperaturanstieg und veränderte Niederschlagsverhältnisse führten zu Veränderungen in der Vegetation. In Mitteleuropa und bestimmten anderen Gebieten, in denen während der Eiszeit baumfreie Tundren oder Steppen ausgebildet waren, etablierten sich Wälder. Auch in den Tropen und Subtropen kam es vielerorts zu deutlichen Veränderungen in der Ausdehnung verschiedener Vegetationszonen. Gegen Ende der Eiszeit starben außerdem die meisten der Großtierarten aus, die in Europa, Nordamerika und Teilen Asiens in den eiszeitlichen Tundren und Steppen gelebt hatten. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass eine Klimaänderung die alleinige Ursache für das Verschwinden dieser Fauna war. Ihr Lebensraum ging nicht verloren, sondern verschob sich weiter nach Norden, sodass ein Ausweichen in die heute existierenden Tundrengebiete prinzipiell möglich war und wenigen Arten auch gelang. So existieren dort noch heute Moschusochsen und Rentiere, und die letzten Zwergmammuts lebten bis vor 4.000 Jahren auf der Wrangel-Insel im nordöstlichen Sibirien. Ein weiterer Faktor, der wahrscheinlich zum Artensterben bei der eiszeitlichen Großtierfauna beigetragen hat, war die Bejagung durch den Menschen.

### Merksatz

Die Anfänge des Ackerbaus reichen in verschiedenen Regionen der Erde 11.000 bis 10.000 Jahre zurück und fallen in eine Klimaphase, die auch für den Menschen grundlegende Veränderungen der Lebensbedingungen mit sich brachte.

Wie und warum vollzog sich die Entwicklung von Jägern und Sammlern zu Ackerbauern? Zahlreiche Theorien und Modelle versuchen, darauf eine Antwort zu geben. Dabei lassen sich zwei Hauptthesen unterscheiden:

1. Nach der ersten These ist Landwirtschaft eine Innovation, die eine Lebensweise ermöglicht, die gegenüber dem Jäger- und Sammler-Dasein vorteilhafter ist. Manche der damals lebenden Bevölkerungsgruppen entdeckten die Möglichkeit, Pflanzen auf dem Acker zu produzieren, wodurch sie sich nicht nur eine gesicherte Nahrungsgrundlage schufen, sondern auch sesshaft werden konnten. Dies bedeutete auch einen kulturellen Fortschritt und insgesamt einen höheren Lebensstandard. Solche Bevölkerungen dienten als Vorbild für Jäger- und Sammler-Gruppen, die daraufhin ebenfalls begannen, Landwirtschaft zu betreiben.

2. Nach der zweiten These schuf ein Mangel an Nahrungsressourcen (in erster Linie an jagdbarem Wild) die Voraussetzung für die Entstehung von Landwirtschaft. Als Ursachen dafür kommen ein Anstieg der Bevölkerungsdichte, eine Dezimierung der Wildtierbestände oder eine Kombination beider Faktoren in Frage. Demnach war der Übergang zur bäuerlichen Lebensweise kein freiwilliger Akt, sondern geschah aus der Notwendigkeit heraus, alternative Nahrung zu beschaffen. Dies hat keineswegs Vorteile gegenüber dem Jagen und Sammeln, sondern ist arbeits- und zeitaufwändiger und darüber hinaus mit dem Risiko von Missernten, und damit von Hunger, verbunden.

Die Entwicklung von Landwirtschaft war kein spontanes Ereignis oder eine Erfindung wie z.B. das Schießpulver oder die Dampfmaschine, sondern vielmehr ein allmählicher Prozess. Aus verschiedenen Regionen der Erde gibt es Hinweise darauf, dass die gezielte Produktion von Pflanzen in der Regel mit einer verringerten Nutzung bzw. dem Rückgang von Wildtieren verbunden war, was die zweite der oben genannten Thesen unterstützt. In den frühesten Phasen des Ackerbaus dienten die angebaute Pflanzen wahrscheinlich als eine Art Nahrungsreserve oder Alternative für Fälle ausbleibenden Jagderfolgs. Der Ackerbau gewann demnach umso größere Bedeutung, je seltener die gejagten Tiere wurden.

In den verschiedenen Regionen der Erde, in denen sich Landwirtschaft entwickelte (Abschnitt 2.2.2), geschah dies jedoch sicher nicht immer nach genau demselben Muster. Wahrscheinlich gab es entsprechend den gegebenen Bedingungen auch alle erdenklichen Übergänge vom nomadischen Jäger- und Sammler-Dasein zum sesshaften Bauerntum, in denen sowohl die natürlichen Wildressourcen als auch der Ackerbau zum Nahrungserwerb beitrugen.

### **Merksatz**

Eine völlige Abhängigkeit des Menschen von der Landwirtschaft entstand erst, nachdem Wildtiere und -pflanzen keinen nennenswerten Beitrag mehr zur Ernährung der anwachsenden Bevölkerung leisten konnten.

#### **2.2.1 Von der Wild- zur Kulturpflanze**

Alle Kulturpflanzen, die heute für die in Abschnitt 1.1.2 genannten Zwecke Bedeutung haben, stammen von wild wachsenden Arten ab, von denen einige bereits vor der Entstehung der Ackerbaus vom Menschen gesammelt und genutzt wurden. Gegenüber den Wildformen weisen die Kulturpflanzenarten veränderte Merkmale auf, die durch Selektion (Exkurs 2.1) entstanden sind.

### Exkurs 2.1: Genetische Vielfalt und Selektion

Bereits bei den Mitgliedern derselben Population bzw. Art, die sich untereinander sexuell fortpflanzen, sind individuelle Unterschiede erkennbar. Sie beziehen sich hauptsächlich auf morphologische, physiologische und biochemische Merkmale, die in ihrer Gesamtheit den **Phänotyp** eines Individuums darstellen. Der Phänotyp ist das Ergebnis der Wechselwirkungen zwischen den Genen (die in ihrer Gesamtheit den **Genotyp** repräsentieren) und der Umwelt im Verlauf der Entwicklung eines Individuums. Ein bestimmter Genotyp kann, entsprechend den Umweltbedingungen, unterschiedlich ausgeprägte Phänotypen hervorbringen. So werden z.B. ausreichend mit Nährstoffen und Wasser versorgte Pflanzen größer und produzieren mehr Biomasse als solche, denen es an diesen Ressourcen mangelt. Die Variationsbreite des Phänotyps, den derselbe Genotyp in Abhängigkeit von den herrschenden Umweltbedingungen hervorbringt, wird als **Reaktionsnorm** bezeichnet. Die zweite Ursache für die phänotypische Variation der Mitglieder einer Population sind Unterschiede in den Genotypen. Individuen, die sexuell erzeugt wurden, sind genetisch nie genau gleich, da sie jeweils eine neu zusammengestellte, einzigartige Kombination der elterlichen Gene aufweisen. Die Vielfalt des Genbestandes einer Population (des so genannten Genpools) wird durch das Auftreten von **Mutationen** ständig verändert. Mutationen sind zufallsbedingte Veränderungen im Genotyp eines Individuums, die meistens durch Fehler bei der Verdoppelung des Erbguts bei der Zellteilung entstehen und schädlich, nützlich oder unbedeutend für ein Individuum sein können.

Auf Grund ihrer unterschiedlichen genetischen Ausstattung haben die Individuen einer Population auch unterschiedliche Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeiten (Fitness; Exkurs 3.1), d.h. sie sind nicht alle gleich gut an die herrschenden Umweltbedingungen angepasst. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn sich der Einfluss einzelner Faktoren in extremer Weise verändert. Dabei kann es sich um Einflüsse der abiotischen Umwelt (z.B. Witterungsbedingungen) handeln oder solche, die von anderen Organismen (Krankheitserreger, Fressfeinde oder Konkurrenten) ausgehen. Je nach Situation erweisen sich dabei manche Merkmale als Vorteil, andere dagegen als Nachteil, um unter den gegebenen Bedingungen bestehen zu können. Individuen mit einem ungeeigneten Geno- bzw. Phänotyp werden in bestimmten Fällen aus einer Population eliminiert. Dieser Vorgang wird **Selektion** oder natürliche Auslese genannt.

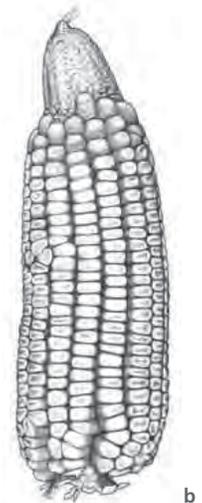
Bei bestimmten Pflanzen- und Tierarten beruht die Selektion nicht nur auf natürlichen Prozessen, sondern ging und geht von Menschen aus, was anfangs wahrscheinlich unbewusst geschah. Von den wilden Samen oder Früchten einer Art wurden sicher nicht alle völlig wahllos gesammelt, sondern bevorzugt die größten Exemplare. Von dieser Ausbeute ging an den Rast- oder Siedlungsplätzen ein gewisser Anteil versehentlich verloren und wurde dadurch unbeabsichtigt ausgesät. Bei diesen Pflanzen, die später an solchen Orten geerntet werden konnten, traten dann bereits die bevorzugten Merkmale häufiger auf als in der natürlichen Population. Nun war es nur noch ein kleiner Schritt zur bewussten Selektion oder Auslesezüchtung, bei der durch Vermehrung und wiederholte Auslese von Individuen die gewünschten Eigenschaften weiter verbessert werden. Über Jahrhunderte und Jahrtausende hinweg entstanden durch gezielte Ausleseprozesse aus den jeweiligen Wildformen allmählich die Kulturpflanzen (Abb. 2.4) und die Haustiere. Die bewusste oder unbewusste Veränderung einer Pflanzen- oder Tierart in der Weise, dass sie für den Menschen nützlicher ist als die ursprüngliche Wildform, wird als **Domestikation** bezeichnet.

Zu den veränderten Eigenschaften der Nahrungspflanzen zählen vor allem die Größe der genutzten Teile, aber z.B. auch die Gehalte an bestimmten Inhaltsstoffen, die deren genießbarkeit und Geschmack bestimmen. Darüber hinaus gibt es noch weitere Merkmale, die für den Anbau von Bedeutung sind und bei der Selektion der Kulturform eine Rolle gespielt haben. Hierzu zählen

- **Verbreitungsmechanismen** von Samen liefernden Arten (v.a. Getreide und Hülsenfrüchte): Die Wildarten besitzen Mechanismen, die den Abwurf der reifen Samen von der Pflanze bewirken und somit eine effektive Verbreitung ermöglichen. Diese Eigenschaften sind bei Kulturpflanzen unerwünscht, da sie zu hohen Ertragsverlusten führen, wenn die Samen vor oder während der Ernte von der Pflanze abfallen. Bei vielen Arten treten jedoch Mutanten auf, die ihre Samen nicht abwerfen können. So bleiben z.B. bei den mutierten Individuen der Leguminosenarten die Hülsen geschlossen, und bei entsprechenden Gräsern bzw. Getreide wird der Bruch der Ähre bzw. der Ährchenspindel verhindert. Bei der Ernte im Wildbestand oder auf dem Acker werden diese Mutanten automatisch bevorzugt. Ihre Merkmale etablieren sich schließlich in den Kulturpflanzen, die damit in ihrer Vermehrung völlig vom Landwirt abhängig sind.
- **Keimverzögerung**: Die Samen vieler einjähriger Pflanzenarten keimen nicht alle gleichzeitig in einer Saison, sondern verteilt über mehrere Jahre. Dieser Mechanismus verhindert, dass bei Eintreten ungünstiger Bedingungen (v.a. Trockenheit) alle Nachkommen einer Population absterben. Nach der Aussaat auf dem Acker kei-



a



b

**Abb. 2.4**  
Die Teosinte (a), eine mittelamerikanische Grasart, gilt als Wildform von Mais (b).

men im ersten Jahr nur solche Individuen, die diese Keimverzögerung nicht aufweisen. Sie werden geerntet und für eine erneute Aussaat verwendet. Damit erfolgte die Selektion von Pflanzen, die nun alle gleichzeitig keimen und zur Reife gelangen, wodurch ein höherer Flächenertrag erzielt wird. Somit ist auch das Fehlen von Keimverzögerung ein Merkmal vieler Kulturpflanzen.

Abb. 2.5

Entstehungszentren der Landwirtschaft.

- 1 = Vorderasien (Fruchtbarer Halbmond),
- 2a = nördliches China, 2b = südliches China,
- 3 = Südostasien,
- 4a = südamerikanisches Hochland, 4b = südamerikanisches Tiefland, 5 = Mittelamerika,
- 6 = östliches Nordamerika, 7 = Trockensavanne im nördlichen Afrika, 8 = Hochland von Äthiopien, 9 = Feuchtsavanne Westafrikas (in Anlehnung an DIAMOND 1999).

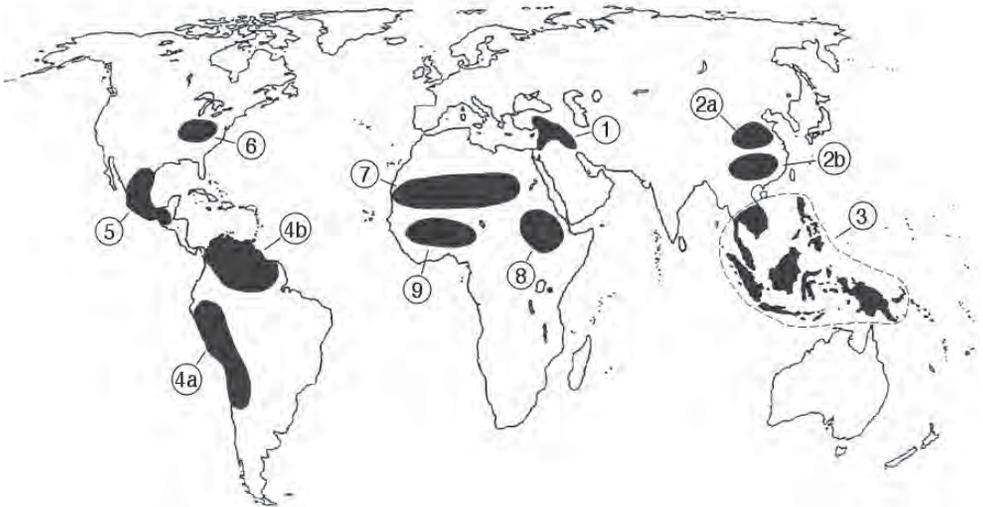
### 2.2.2 Entstehungszentren der Landwirtschaft

Weltweit gibt es etwa 11 Regionen, die als Entstehungszentren der Landwirtschaft gelten, da dort unabhängig voneinander einheimische Pflanzenarten domestiziert und angebaut wurden (Abb. 2.5). In anderen Gebieten basierte der Beginn des Ackerbaus dagegen zumindest größtenteils auf Kulturpflanzen, die dort eingeführt wurden und ursprünglich aus den Entstehungszentren stammen.

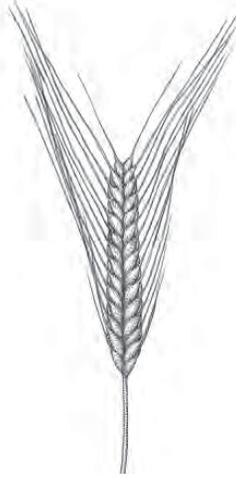
Die wichtigsten Regionen, in denen Pflanzen und teilweise auch Tiere domestiziert wurden, sind:

#### Vorderasien

Das vorderasiatische Zentrum, auch „Fruchtbarer Halbmond“ genannt, erstreckt sich von Gebieten Jordaniens und Syriens über die östliche Türkei bis zu den Tälern von Euphrat und Tigris (Mesopotamien, heutiger Irak). Die Anfänge der Landwirtschaft in dieser Region reichen etwa 11.000 Jahre zurück. Die ältesten dort domestizierten Kulturpflanzenarten sind die Weizenarten Emmer (*Triticum dicoccum*) und Einkorn (*Triticum monococcum*; Abb. 2.6), Gerste (*Hordeum vulgare*), Erbse (*Pisum sativum*; Abb. 2.7), Linse (*Lens esculenta*).



ta), Kichererbse (*Cicer arietinum*) und Flachs (= Lein; *Linum usitatissimum*). Die ersten in dieser Region domestizierten Tiere waren Schaf (*Ovis ammon*) und Ziege (*Capra hircus*), später kamen Schwein (*Sus scrofa*) und Rind (*Bos taurus*) hinzu.



### Nördliches und südliches China

Vermutlich etwas später als in Vorderasien begann die Entwicklung der Landwirtschaft in China, wo es mindestens zwei Ursprungsgebiete gab. Das ältere liegt im tropisch-subtropischen Süden, wo Reis (*Oryza sativa*) vor etwa 10.000 Jahren domestiziert wurde. Von dort stammt vermutlich auch das Haushuhn (*Gallus gallus*).

Das Schwein zählt ebenfalls zu den frühen Haustieren Chinas und wurde dort wahrscheinlich unabhängig von dem vorderasiatischen Zentrum domestiziert. Zu den ältesten Kulturpflanzen des kühleren und trockeneren Nordens zählen die Kolbenhirse (*Setaria italica*), die vor etwa 6.000 Jahren zur Kulturpflanze wurde, und die Sojabohne (*Glycine max*).

Abb. 2.6 (links)  
Einkorn (*Triticum monococcum*).

Abb. 2.7 (rechts)  
Erbsen (*Pisum sativum*).

### Südostasien

Aus dem tropischen Südostasien stammen Bananen (*Musa*-Arten), Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*), Taro (*Colocasia esculenta*; Abb. 2.8) und asiatischer Yam (*Dioscorea*-Arten). Die Landwirtschaft dieser Region hatte ihren Ursprung wahrscheinlich im Hochland von Papua-Neuguinea und begann dort nach neueren Erkenntnissen vor rund 10.000 Jahren (DENHAM et al. 2003).

### Tropisches Südamerika

Auch in Südamerika begann die Landwirtschaft vor mindestens 10.000 Jahren, nachweislich mit der Domestikation von Kürbisgewächsen (*Cucurbita*-Arten; PIPERNO und STOTHERT 2003). In Südamerika lassen sich in Abhängigkeit von der Höhenlage drei Regionen unterscheiden, aus denen jeweils bestimmte Kulturpflanzenarten stammen. Aus den Hochlagen der Anden Perus und Boliviens kommt die Kartoffel (*Solanum tuberosum*). In den mittleren Höhenlagen der Anden wurden u.a. die Erdnuss (*Arachis hypogaea*) und die Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*) domestiziert. Das tropische Tiefland Südamerikas umfasst z.B. das Herkunftsgebiet von Kürbisarten, Paprika und Chili (*Capsicum*-Arten), Ananas (*Ananas*

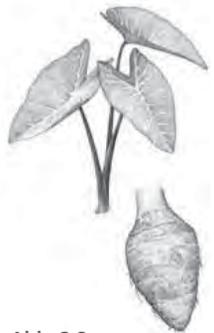


Abb. 2.8  
Taro (*Colocasia esculenta*), Habitus der Pflanze und Rhizom.

comosus), Süßkartoffel (*Ipomoea batatas*), Maniok (= Cassava, *Manihot esculenta*) Avocado (*Persea americana*) und der Baumwollart *Gossypium barbadense*. Die einzigen in Südamerika domestizierten Tierarten sind Guanako (*Lama guanicoe*; Wildform von Lama und Alpaka) und Meerschwein (*Cavia aperea*).



**Abb. 2.9**  
Baumwolle (*Gossypium hirsutum*), Zweig mit aufgeplatzen Samenkapseln.

### Mittelamerika

In Mexiko erfolgte die Domestikation des Gartenkürbis (*Cucurbita pepo*) vor etwa 10.000 Jahren (SMITH 1997), was unabhängig von diesem Prozess bei *Cucurbita* in Südamerika geschah. Ebenfalls unabhängig von Südamerika entstanden auch in Mexiko Kulturformen von *Phaseolus*- und *Capsicum*-Arten, Avocado und der Baumwollart *Gossypium hirsutum* (Abb. 2.9). Die wichtigste in Mittelamerika entstandene Kulturpflanze ist der Mais (*Zea mays*). Die Kartoffel gelangte erst Jahrtausende nach ihrer Domestikation in den Anden nach Mittelamerika. Dies kann als weiterer Hinweis darauf gewertet werden, dass sich die beiden Regionen über lange Zeit unabhängig voneinander entwickelt haben.

### Nordamerika

Vor etwa 4.000 Jahren entstand im östlichen Nordamerika ein unabhängiges Zentrum landwirtschaftlicher Entwicklung. Dort erfolgte der Anbau einiger heute unbedeutender Arten wie Sumpfholunder (*Iva annua*) und ein Gänsefußgewächs (*Chenopodium berlandieri*). Die einzige wichtige Kulturpflanze, die aus Nordamerika stammt, ist die Sonnenblume (*Helianthus annuus*), die wahrscheinlich als Öl liefernde Pflanze domestiziert wurde.

### Regionen Afrikas

In Afrika lassen sich drei klimatisch unterschiedliche Regionen unterscheiden, die als Ursprungsgebiete von Kulturpflanzen gelten. Im **Hochland von Äthiopien** entwickelte sich die Landwirtschaft vor rund 6.000 Jahren. Von dort stammen Kaffee (*Coffea arabica*; Abb. 2.10), Fingerhirse (*Eleusine coracana*) und die Getreideart Teff (*Eragrostis tef*). In der **Trockensavanne im nördlichen Afrika** wurden Sorghum (*Sorghum bicolor*), Perlhirse (*Pennisetum glaucum*) und afrikanischer Reis (*Oryza glaberrima*) domestiziert. Die **Feuchtsavanne Westafrikas** ist das Ursprungsgebiet der Ölpalme (*Elaeis guineensis*), der Augen-, Kuh- oder Kundebohne (*Vigna unguiculata*) und des afrikanischen Yam (*Dioscorea*-Arten).



**Abb. 2.10**  
Kaffee (*Coffea arabica*), Zweig mit Blättern und Früchten.

### 2.2.3 Ausbreitung von Landwirtschaft und Kulturpflanzen

In den meisten Regionen, in denen sich Ackerbau entwickelte, lassen sich bei den kultivierten Pflanzenarten vier Hauptgruppen

unterscheiden, die jeweils bestimmten Bedürfnissen des Menschen gerecht werden. Es handelt sich um

- Stärke liefernde Pflanzen (v.a. Getreide und Knollenfrüchte),
- eiweißreiche Nahrungspflanzen (hauptsächlich Hülsenfrüchte),
- Pflanzen zur Gewinnung von Speiseöl und
- Faserpflanzen, die hauptsächlich der Herstellung von Textilien dienen.

Sofern sich die entsprechenden Vertreter nicht aus den vorhandenen Wildpflanzenarten domestizieren ließen, konnten sie unter bestimmten Voraussetzungen auch aus anderen Regionen erworben werden. Die Möglichkeiten hierfür wurden vor allem bestimmt von

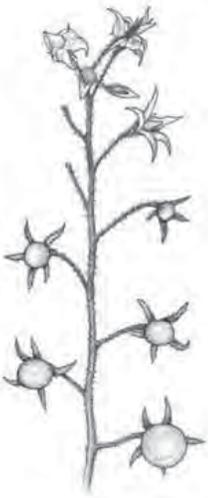
- der Entfernung zu einer anderen Region und dem Bestehen von Kontakten zur dort ansässigen Bevölkerung und
- der klimatischen Eignung von Regionen für den Anbau von Kulturpflanzen, die aus anderen Klimazonen stammen.

Viele der in Vorderasien domestizierten Pflanzen- und Tierarten bzw. die dort entwickelte Landwirtschaft wurden früher oder später von den Bevölkerungen benachbarter Gebiete übernommen. Dies erfolgte vor 9.000 bis 8.000 Jahren zunächst im Niltal (Ägypten, Sudan bis Äthiopien) und etwas später auch im Industal (heutiges Pakistan). Die Ausbreitung des Ackerbaus nach Mittel-, West- und Nordeuropa erstreckte sich über Jahrtausende. Vor rund 7.000 Jahren waren die meisten der vorderasiatischen Kulturpflanzenarten in Mitteleuropa bekannt, wurden aber in manchen Regionen (z.B. Küstengebiete von Nord- und Ostsee, Alpenraum) erst vor 6.000 bis 4.500 Jahren angebaut. Bereits in vorrömischer Zeit gelangten auch Kulturpflanzen aus anderen Regionen als Vorderasien nach Mitteleuropa. Beispiele sind die Rispenhirse (*Panicum miliaceum*), die bis ins Mittelalter eine bedeutende Nahrungspflanze war und wahrscheinlich aus Zentralasien stammt, und die Ackerbohne (*Vicia faba*), deren Ursprungsform und Herkunft nicht genau bekannt sind.

Sowohl in vielen der ursprünglichen Zentren als auch in Regionen, in die sich die Landwirtschaft ausbreitete, entstanden im Laufe der Zeit weitere Kulturpflanzenarten. Die Wildformen des Hafers (*Avena sativa*; Abb. 2.11) waren vermutlich der Taube Hafer (*Avena sterilis*) oder der Flughafers (*A. fatua*), die als Ackerunkräuter aus Vorderasien nach Mitteleuropa gelangten und dort vor etwa 4.000 Jahren domestiziert wurden. Andere Wildpflanzen, die sich in Europa etabliert haben, wurden erst im 19. Jahrhundert zu Kulturpflanzen. Solche sind z.B. der Feldsalat (*Valerianella locusta*) und die Wegwarte (*Cichorium intybus*), deren Kulturform als Chicoree-Gemüse genutzt wird.



Abb. 2.11  
Hafer (*Avena sativa*).



**Abb. 2.12**  
Tomate (*Solanum lycopersicum*;  
Synonym: *Lycopersicon esculentum*), Blütenstand.

Erst mehrere Jahrtausende nach den ersten Nahrungspflanzen entstanden auch die Kulturformen der meisten landwirtschaftlich genutzten Gehölzpflanzen. Zu diesen zählen z.B. viele der heute für das Mittelmeergebiet typischen Arten wie Weinrebe (*Vitis vinifera*), Ölbaum (Olive; *Olea europaea*), Feige (*Ficus carica*) und Mandel (*Prunus dulcis*), deren Wildformen aus Vorder- bis Zentralasien stammen, sowie Orange (*Citrus sinensis*), Zitrone (*C. limon*), Pfirsich (*Prunus persica*) und Aprikose (*P. armeniaca*), deren Ursprungsgebiet China ist. Die Wildformen von Apfel (*Malus*-Arten) und Birne (*Pyrus*-Arten) und anderen Obstbäumen bilden die Laubwaldzone der mittelasiatischen Gebirge.

Nach der Wiederentdeckung Amerikas durch Kolumbus im Jahr 1492 begann der transkontinentale Austausch von Kulturpflanzen und Haustieren. Von keiner der in Amerika domestizierten Pflanzenarten wie z.B. Mais, Kartoffel, Paprika, Tomate (*Solanum lycopersicum*; Abb. 2.12), Baumwolle und Kürbis hatte man zuvor in Europa, Afrika oder Asien Kenntnis. Im Verlauf der Jahrhunderte kam es zu einer weltweiten Verbreitung der wichtigsten Kulturpflanzenarten, d.h. sie werden heute fast überall angebaut, wo es die klimatischen Bedingungen erlauben. In den meisten Regionen basiert die heutige Landwirtschaft auf Arten, die dort ursprünglich nicht heimisch waren. Europa, Nordamerika und Australien sind praktisch vollständig abhängig von Weizen und Gerste (aus Vorderasien), Mais (aus Mittelamerika), Kartoffel (aus Südamerika) und Sojabohne (aus China). Auch in Afrika werden rund 80% der landwirtschaftlichen Produktion mit Arten erzielt, die ursprünglich aus Mittelamerika (Mais), Südamerika (Maniok, Süßkartoffel) und Südostasien (Banane) stammen.

### Merksatz

Die Entwicklung der Landwirtschaft vollzog sich unabhängig voneinander in verschiedenen Regionen der Erde und war geprägt von allmählichen, teilweise Jahrtausende dauernden Prozessen. Diese wurden wesentlich bestimmt durch das Angebot an Jagdwild, die Verfügbarkeit an domestizierbaren Pflanzen- und Tierarten sowie der Möglichkeit des Erwerbs von Arten aus anderen Gebieten.

## 2.3 Fortschritte und Folgen der Landwirtschaft

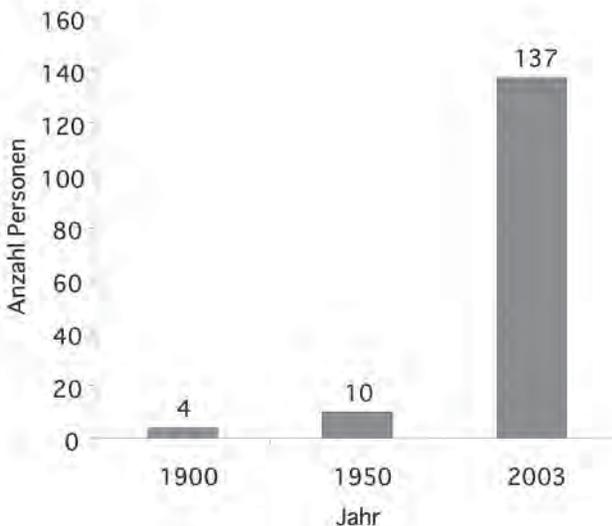
Die Entstehung der Landwirtschaft löste eine Kette von Prozessen aus, die sich auf die Lebensverhältnisse der Menschen, die gesellschaftlichen und kulturellen Rahmenbedingungen sowie die technische Entwicklung auswirkten. Als Folge davon veränderten sich auch die landwirtschaftlichen Produktionsmethoden, was im

weiteren Verlauf mit erheblichen Steigerungen der Ernteerträge verbunden war. Zwei sich gegenseitig bedingende Entwicklungen schufen hierfür die Voraussetzung. Zum einen führten Sesshaftigkeit und eine Erhöhung der Nahrungsproduktion über die Subsistenz (Selbstversorgung) hinaus zu einem Anstieg der Bevölkerungsdichte, und zum anderen ermöglichte Landwirtschaft die Entstehung großer Siedlungen und einer arbeitsteiligen Wirtschaft. Während Bauern für die Nahrungsproduktion zuständig waren, konnten sich Spezialisten wie Schmied, Wagner und Zimmermann mit anderen Aufgaben befassen, zu denen auch die Herstellung von Geräten für die Landwirtschaft zählte. Damit veränderten sich die sozialen und materiellen Lebensbedingungen innerhalb der Gesellschaften, was die Grundlage für die Entstehung von Städten, Hochkulturen, Staaten und insgesamt von Zivilisation darstellte. Im Verlauf dieser Entwicklung verringerte sich der Anteil der in der Landwirtschaft tätigen Menschen. Dadurch wurden Fortschritte in Technik und Wissenschaft möglich, die zur Erhöhung des Lebensstandards beitrugen.

Weltweit erzeugen heute über eine Milliarde Landwirte Nahrung für mehr als sechs Milliarden Menschen. In Deutschland versorgt derzeit ein Landwirt durchschnittlich 137 Personen mit Nahrung (Abb. 2.13). Die Bewohner der Industrieländer verwenden heute nur noch wenige Minuten am Tag für den Erwerb von Nahrungsmitteln, was für viele Menschen in den Entwicklungsländern nicht selbstverständlich ist.

### Zivilisation

(von lat. *civis* = Bürger) ist die Gesamtheit der durch Wissenschaft und Technik geschaffenen (verbesserten) Lebensbedingungen.



**Abb. 2.13**

Anzahl der von einem Landwirt in Deutschland mit Nahrung versorgten Personen (nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten).