



Zytologie 1

Eine Mauer besteht aus einzelnen Bausteinen. Form und Funktion des einzelnen Steins sind für die Stabilität und das Gesamtbild wichtig.

Wer sich mit Pflanzen beschäftigt, muss sich mit den Zellen als deren Bausteine auskennen. Daher beginnt dieses Buch mit dem Teilbereich der Zytologie. Dieser beschäftigt sich mit Aufbau und Funktion einer Pflanzenzelle.

In diesem Kapitel finden Sie Grundlagen zum „Bauplan“ einer Pflanzenzelle und Unterschiede zum Aufbau einer tierischen Zelle. Sie lernen die Funktion wichtiger Zellbestandteile kennen und erhalten einen Überblick über die Vorgänge der Zellteilung und des Zellstoffwechsels.

1.1 Definition und Funktion der Zelle



DEFINITION

Die Zelle ist die kleinste noch selbstständig lebensfähige Einheit eines Organismus.

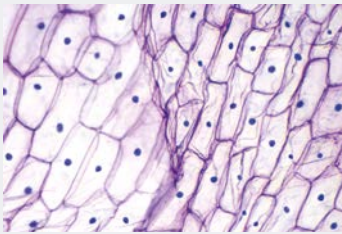
Zellen sind Bausteine, die jedem Organismus – Tier oder Pflanze – zugrunde liegen.

Größe und Gestalt der Zelle sind sehr variabel. Die durchschnittliche Größe wird mit 10–100 µm angegeben. Als Extrembeispiel sind Bakterienzellen mit einer Größe von 0,2 µm oder Faserzellen einer Brennnessel von 55 cm Länge bekannt.

Die Kugelform ist die einfachste Gestalt einer Zelle. Sie stellt eine Idealform dar und kommt nur selten in der Natur vor. Wesentlich häufiger sind Zellen mit **isodiametrischer** Form vertreten. Sie besitzen einen etwa gleichen Durchmesser in alle Richtungen, können aber zu einer Seite gestreckt sein. Daneben gibt es **prosenchymatische** Zellen. Sie sind lang gestreckt und an den Enden häufig zugespitzt.

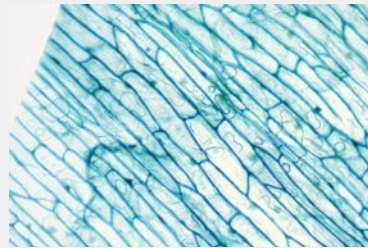


AUF EINEN BLICK



isodiametrische Zellen

gleicher Durchmesser in alle Richtungen



prosenchymatische Zellen

lang gestreckt, zugespitzte Enden

In einer pflanzlichen Zelle laufen unterschiedliche biochemische Prozesse ab, die für den Organismus einer Pflanze in verschiedener Weise wichtig sind. Eine jugendliche (embryonale) Zelle hat zunächst die Anlage, alle Funktionen ausüben zu können, sie ist **omnipotent**. Spezialisiert sich eine Zelle auf eine bestimmte Aufgabe, bezeichnet man dies als **Differenzierung**. Die Zellen übernehmen dann nur bestimmte, immer gleichbleibende Funktionen. Dies führt zu einer Art „Arbeitsteilung“ innerhalb des pflanzlichen Organismus. Ein Zellverband mit mehreren Zellen identischer Funktion wird als **Gewebe** bezeichnet. In ► Kap. 2 werden verschiedene Gewebearten behandelt, wie z. B. Festigungsgewebe, Leitgewebe oder Grundgewebe.



MERKE

Embryonale Zellen sind omnipotent („Alleskönner“). Erst durch Differenzierung spezialisieren sie sich auf bestimmte Funktionen innerhalb eines Organismus.

1.2 Aufbau einer Zelle

1

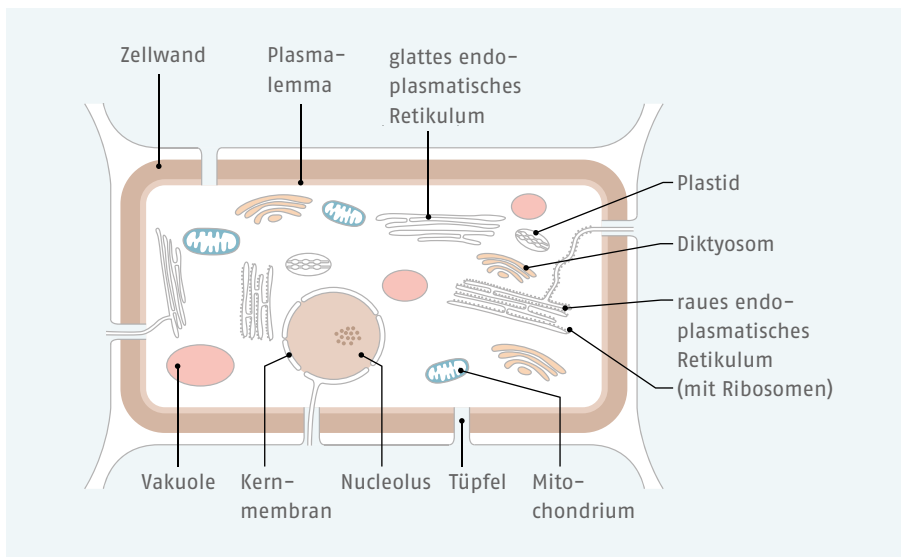
Bei Pflanzenzellen besteht die äußere Begrenzung aus einer **Zellwand** und das Zellinnere wird als **Protoplasma** zusammengefasst. Zum Protoplasma zählen die flüssige Zells substanz, das **Zytoplasma** und die darin befindlichen **Zellorganellen**. Diese übernehmen spezielle Funktionen für die Zelle (• Abb. 1.1).

Charakteristisch für die meisten Zellen ist das Vorhandensein eines **Zellkerns**, welcher Träger der Erbinformation ist. Nur in Bakterien- und Blaualgenzellen ist kein echter Zellkern vorhanden, sie besitzen sogenannte **kernäquivalente Bereiche**. Die Erbinformation liegt hier ohne Kernhülle frei im Protoplasma vor (► Kap. 1.2.2).

DEFINITION

Lebewesen, deren Zellen einen echten Zellkern besitzen, werden als **Eukaryoten** bezeichnet.

Zelluläre Organismen mit kernäquivalenten Bereichen werden als **Prokaryoten** bezeichnet.



• Abb. 1.1 Schematischer Aufbau einer Pflanzenzelle

1.2.1 Zellwand

Alle pflanzlichen Zellen sind von einer Zellwand umgeben. Die pflanzliche Zellwand gibt der Zelle ihre Gestalt und bietet Schutz und Festigung für das Protoplasma. Im Gegensatz dazu sind tierische Zellen nur durch eine flexible Zellmembran begrenzt. Tiere und Menschen benötigen für die eigene Stabilität ein Knochenskelett. Bei Pflanzen übernimmt dies

die Zellwand und ermöglicht z. B. Bäumen eine Wuchshöhe von vielen Metern. Unterstützt wird dies durch festigende Einlagerungen in das Gewebe.



MERKE

Pflanzliche Zellen verfügen über eine Zellwand, tierische Zellen besitzen keine.

Bei Pflanzen besteht die Zellwand aus Cellulose und Pektin. **Cellulose** ist ein Polysaccharid, das aus linear miteinander verknüpften Glucosemolekülen besteht. Diese bildet sehr stabile Cellulosefasern, welche für die Festigkeit von Pflanzengeweben ausschlaggebend sind. **Pektine** bestehen zum größten Teil aus Galacturonsäure als Baustein. Sie haben eine festigende, aber auch eine wasserregulierende Funktion für die Pflanze.

Die einzelnen Cellulose-Moleküle lagern sich zu Bündeln zusammen, die dann als Mizellarstränge oder **Elementarfibrillen** bezeichnet werden. Mehrere Elementarfibrillen sind zu **Mikrofibrillen** zusammengefasst. Mehrere Mikrofibrillen ergeben eine **Makrofibrille** (Abb. 1.2).

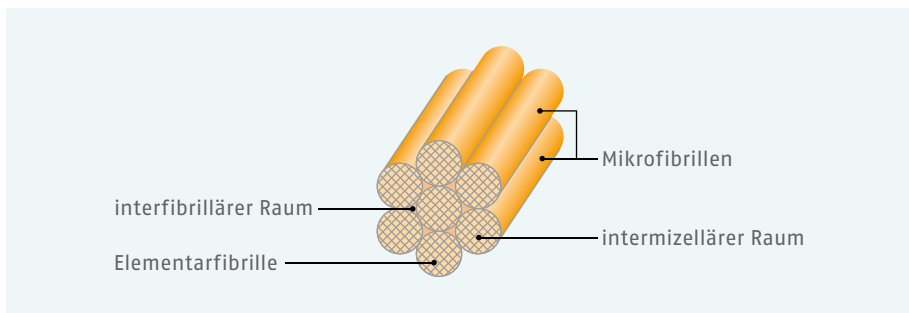


Abb. 1.2 Bündel aus mehreren Mikrofibrillen

Zwischen den Mikrofibrillen sind kleine Räume ausgespart, die interfibrillären Räume. In der Regel sind sie mit Wasser gefüllt. Es können aber auch andere Substanzen eingelagert sein, z. B. Lignine (Holzstoffe) in den verholzten Pflanzenteilen oder Kieselsäure in den Schachtelhalmen und Gräsern.

Die Zellwand besteht in der Regel aus mehreren Schichten. Die äußerste Schicht ist die **Mittellamelle**. Sie trennt die Wände benachbarter Zellen voneinander und besitzt eine gelartige Struktur. Sie besteht v. a. aus Pektin. Der Mittellamelle werden Cellulosefasern aufgelagert. Diese bilden zum Zellinneren hin die nächste Schicht, die **Primärwand**. Die Fasern der Primärwand sind flexibel und ermöglichen so ein Zellwachstum. Ist das Zellwachstum abgeschlossen, wird die **Sekundärwand** der Primärwand aufgelagert. Diese ist starr und schließt die Zellwand zum Zellinneren hin ab.



MERKE

Die Zellwand einer noch wachsenden Zelle besteht aus Mittellamelle und flexibler Primärwand. Ist das Zellwachstum abgeschlossen, wird der Primärwand eine starre Sekundärwand aufgelagert.



6 Drogen mit Kohlenhydraten

Wer isst nicht gerne Süßigkeiten?

„Zucker“ besteht aus dem Kohlenhydrat Saccharose und verleiht unseren Speisen den süßen Geschmack. Saccharose besteht jedoch aus gerade mal zwei verschiedenen Zuckerbausteinen. Es sind aber auch Verknüpfungen von vielen Tausend Bausteinen möglich. Dann entstehen Stärken oder Schleime.

Daher kann diese Stoffgruppe noch viel mehr als nur süß schmecken. Sie kann beispielsweise Hustenreiz lindern, Verstopfung beheben oder Hilfsstoff in der Galenik sein.

6.1 Kohlenhydrate

Bei der Photosynthese grüner Pflanzen entsteht aus anorganischem Material (CO_2 und H_2O) und Sonnenlicht als Energielieferant das Kohlenhydrat Glucose (► Kap. 1.4.2). Für die Pflanze ist **Glucose** ein sofort verfügbarer Energielieferant. Ihre große osmotische Wirksamkeit macht sie jedoch als Energiespeicher ungeeignet. Darum wird das Monosaccharid Glucose noch in den Chloroplasten in unlösliche und damit osmotisch unwirksame (Assimilations-) **Stärke** umgewandelt. Dieses Polysaccharid stellt den jederzeit wieder mobilisierbaren Energievorrat der Pflanze dar. Stärke ist der Reservestoff, der im Pflanzenreich der am weitesten verbreitet ist. Je nach Art der Pflanze werden aber auch andere Polysaccharide als Reservestoffe gebildet: **Glykogen** (bei Pilzen), **Inulin** (bei den Asterales), **Schleim**, **Gummen** und v. a. **Cellulose**. Sie dient als Stütz- und Gerüstsubstanz und ist somit ein Hauptbestandteil der pflanzlichen Zelle.

In Glykosiden dienen Kohlenhydrate nicht der Energiegewinnung. In Glykosiden ist ein Nichtzuckeranteil (Aglykon) mit einem Zucker verbunden. Diese Verknüpfung eines oder mehrerer Monosaccharide mit einem meist lipophilen Aglykon macht das entstandene Glykosid zu einer wasserlöslichen Substanz, die am Stoffwechsel der Pflanze beteiligt werden kann.

GUT ZU WISSEN

Im Begriff Kohlenhydrate steckt das griechische Wort „hydros“ für Wasser. Kohlenhydrat bedeutet übersetzt „mit Wasser angereicherte Kohlenstoffatome“. Viele weisen die Summenformel $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ auf, es gibt jedoch Vertreter, die davon abweichen oder auch andere Atome beinhalten.

aha

Polysaccharide bestehen aus glykosidisch miteinander verbundenen Monosacchariden, die entweder alle identisch oder aber verschieden sein können. Es sind also viele einzelne Zuckermoleküle miteinander verknüpft. Polysaccharide zeigen nicht mehr die typischen chemischen Reaktionen der Zucker wie Oxidierbarkeit der Carbonylgruppe oder direkte Vergärbarkeit. Sie sind wasserunlöslich bzw. bilden mit Wasser kolloidale Lösungen.

6.2 Stärke

Bei der Photosynthese entstandene Glucosemoleküle werden in den Chloroplasten zu Assimilationsstärke verknüpft. In den Ruhepausen der Photosynthese wird diese Stärke wieder in Monosaccharide zerlegt und in die Speicherorgane transportiert, wo sie in den Leukoplasten zu Reservestärke (Stärkekekörnern) kondensiert.



PRAXISTIPP

Die Struktur der Stärkekörner, ihr geometrischer Aufbau, ihre Größe und ihre Form sind artspezifisch und können deshalb zur Identifizierung der Droge herangezogen werden. Dieses wird dadurch erleichtert, dass die Stärkekörner zum Teil charakteristische Schichtungen aufweisen, die um ein Bildungszentrum herum angelegt sind und durch unterschiedliche Moleküldichte und unterschiedlichen Wassergehalt bedingt sind.

In kaltem Wasser quillt Stärke auf, beim Erhitzen geht sie in eine kolloidale Lösung über, die nach dem Abkühlen einen Kleister ergibt. Dieser ist bei Kartoffelstärke durchsichtig bei anderen Stärkearten trüb. Der teilweise Abbau von Stärke durch Säurehydrolyse führt zu großen Polysaccharid-Bruchstücken, den Dextrinen. Werden diese weiter hydrolysiert, so treten als Abbauprodukte zunächst das Disaccharid Maltose und schließlich Glucose als Monosaccharid-Baustein auf. Natürliche pflanzliche Stärke ist ein Gemisch zweier verschiedener Polysaccharide. Sie setzt sich zu etwa 20 % aus Amylose und zu etwa 80 % aus Amylopektin zusammen.

Amylose besteht aus 1,4- α -glykosidisch miteinander verknüpften Glucosemolekülen. Die Primärstruktur ist ein fadenförmiges, unverzweigtes Molekül. Aufgrund der räumlichen Ausrichtung der verknüpften Moleküle entsteht ein schraubig angeordnetes Makromolekül (Helix), in dessen Mitte sich ein Hohlraum befindet. In diesen „Kanal“ können leicht andere Moleküle eingelagert werden. Dies macht man sich bei der **Iod-Stärke-Reaktion** zunutze: Die Iod-Moleküle füllen den Hohlraum der Helix aus, indem sie eine durchgehende Kette darin bilden. Diese bedingt die intensive Blaufärbung der Stärke bei der entsprechenden Nachweisreaktion. Stärkelösung wird auch als Indikator bei den iodometrischen Bestimmungen der Maßanalyse angewendet. Amylose ist in Wasser schwer löslich. Nach dem Erhitzen entstehen dagegen echte Lösungen, was wahrscheinlich auf einen teilweisen Abbau der Moleküle zurückzuführen ist.

Amylopektin ist ein verzweigtes Molekül, das ebenfalls aus 1,4- α -glykosidisch miteinander verknüpften Glucose-Bausteinen besteht. Die Seitenketten entstehen jedoch abweichend davon durch 1,6- α -glykosidische Verknüpfungen. Amylopektin gibt bei der Behandlung mit Iod nur eine rötliche oder violette Färbung, da hier keine Helix ausgebildet ist. Amylopektin ist mit Wasser erst oberhalb der Verkleisterungstemperatur quellfähig und verkleistert.



MERKE

Stärke wird als Reservestärke in den Speicherorganen abgelagert, z. B. in Wurzeln, Rhizomen, Knollen und Samen. Die Früchte mancher Gräser (Weizen, Roggen) haben einen Stärkeanteil von 60–75 %, in den vegetativen Speicherorganen anderer Pflanzen sind es etwa 20 %.

Zur Gewinnung werden die stärkereichen Pflanzenteile zerkleinert und mit Wasser aufgeschäumt. Bei den Getreidestärken müssen die Eiweißanteile (Kleberschichten) durch Behandlung mit verdünnten Säuren oder Alkalien entfernt werden. Die sich absetzende Stärke wird gereinigt und bei 30°C getrocknet. Bei höheren Temperaturen könnte eine Umwandlung in Dextrin oder eine Verkleisterung eintreten.

Die **Nahrungsmittelindustrie** verarbeitet Stärke zu Nahrungsmitteln oder stellt daraus Glucose, Dextrine oder Stärkesirup (andere Bezeichnung: Glucosesirup) her. Als Diätetikum wird Stärke z. B. als Trockenreisschleim für den schonenden Nahrungsaufbau nach Durchfällen verwendet. Mit Stärkesirup werden Lebensmittel gesüßt.

Die **Textilindustrie** stellt aus Stärke Appreturen her; die **pharmazeutische Industrie** verwendet sie aufgrund ihres hohen Wasseraufnahmevermögens als Sprengmittel bei der Tablettenherstellung und als Grundlage für fettfreie Salben und Puder. Wegen der Größe der Einzelkörner ist Reisstärke (4–6 µm) hierzu besonders gut geeignet, Kartoffelstärke (bis 100 µm) dagegen nicht.

Die mikroskopische Untersuchung von Stärke bzw. stärkehaltigen Präparaten erfolgt im Wasserpräparat, das nicht wie üblich durch Kochen mit Chloralhydratlösung aufgehellt wird, weil die Stärkekörner dabei verkleistern und dann in ihrer Struktur nicht mehr erkennbar sind.

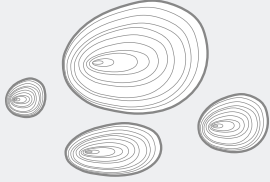
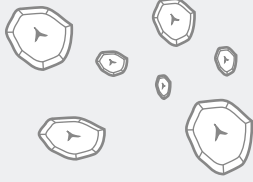
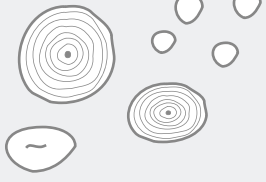
Färbemethoden

Stärkekörner lassen sich mit Iod/Kaliumiodid-Lösung im Wasserpräparat blau anfärben. Dabei wird das Iodmolekül in die Helixwindungen der Amylose eingelagert, diese Verbindung ist für die blaue Farbe verantwortlich.

6.2.1 Stärken verschiedener Pflanzenarten



AUF EINEN BLICK

Kartoffelstärke	Kleinkörner 10–35 μm , Einzelkörner bis 100 μm	
Maisstärke	10–20 μm	
Reisstärke	2–5 μm	
Weizenstärke	Kleinkörner 2–10 μm , Großkörner 10–60 μm	

Kartoffelstärke

Monographie: Kartoffelstärke, *Solani amyllum*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Solanum tuberosum*, Solanaceae.

Vorkommen: Die Heimat der Kartoffel sind die Andenstaaten, mittlerweile wird sie weltweit angebaut.

Gewinnung: Aus den Rhizomknollen der Kartoffelpflanze nach Zerkleinerung, Auswaschen und Absitzenlassen der Stärke. Stärkegehalt der Kartoffel: etwa 20 %.

Mikroskopische Merkmale: Typische, sehr große Einzelkörner (100 μm) von muschelähnlichem Aussehen. Die exzentrische Schichtung ist deutlich erkennbar. Daneben finden sich kleinere, rundliche, zum Teil zusammengesetzte Körner von 10–35 μm Größe. Im polarisierten Licht ist über dem Bildungszentrum ein deutliches Polarisationskreuz zu erkennen.

Maisstärke

Monographie: Maisstärke, *Maydis amylum*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Zea mays*, Poaceae.

Vorkommen: Mais wächst weltweit in der gemäßigten Zone, wird als Kulturpflanze jedoch v. a. in den USA gezogen.

Gewinnung: Die Maiskörner werden unter Säurezusatz zum Quellen gebracht, um die Kleberschicht aufzulockern. So wird das stärkehaltige Endosperm den mechanischen Trenn- und Reinigungsmethoden zugänglich gemacht.

Mikroskopische Merkmale: Einzelkörner von 10–20 µm Durchmesser mit runder oder 5- bis 6-kantiger Form. Eine Schichtung ist nicht zu erkennen, stattdessen ist ein zentraler kreuz- oder sternförmiger Trocknungsspalt ausgeprägt. Über diesem Spalt erscheint im polarisierten Licht ein deutliches Polarisationskreuz.

Reisstärke

Monographie: Reisstärke, *Oryzae amylum*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Oryza sativa*, Poaceae.

Vorkommen: Reis ist ein Rispengras, das in tropischen Ländern mit permanenten Überschwemmungsgebieten angebaut wird, weil es bis zur Befruchtung einen überschwemmten Erdboden braucht. In Asien ist Reis das wichtigste Grundnahrungsmittel.

Gewinnung: Die Reiskörner werden mit verdünnten Alkalien zur Auflockerung der Kleberschicht vorgequollen, anschließend vermahlen und mit Wasser ausgewaschen. Durch Zentrifugieren wird die Reisstärke von den anderen Zellbestandteilen abgetrennt und abschließend getrocknet.

Mikroskopische Merkmale: Reisstärke ist die feinkörnigste Stärkeart (2–5 µm). Die polyedrischen Einzelkörner lagern sich zu größeren Formationen zusammen. Sie haben weder erkennbare Schichtungen noch Kernspalten, zeigen aber im polarisierten Licht ein deutliches Kreuz über dem Bildungszentrum.

Weizenstärke

Monographie: Weizenstärke, *Tritici amylum*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Triticum aestivum*, Poaceae.

Vorkommen: Als Getreide weltweit verbreitet, großflächige Anbaubereiche finden sich in den USA, Kanada und Russland.

Gewinnung: Aus dem Endosperm der Weizenfrüchte (Karyopsen) nach Quellung und Aufschlämmung mit Wasser. Die Reinigung erfolgt durch wiederholtes Waschen mit Wasser und Absitzenlassen.

Mikroskopische Merkmale: Die Prüfung erfolgt unter dem Mikroskop unter Verwendung einer Mischung gleicher Volumenteile Glycerol und Wasser. Die Droge zeigt große und kleine Körner, nur sehr selten Körner von mittlerer Größe: Kleinkörner 2–10 µm, Groß-

körner 10–60 µm. Die Schichtung ist konzentrisch um ein zentrales Bildungszentrum, aber nur selten deutlich sichtbar. Bei den Großkörnern ist oftmals ein Spalt zu sehen; er beruht auf Lichtbrechungseffekten und ist kein Trockenriss. Im polarisierten Licht erscheint über dem Spalt ein ausgeprägtes Polarisationskreuz.

6.3 Cellulose



MERKE

Während Stärke das typische Reservekohlenhydrat darstellt, ist Cellulose ein Gerüstkohlenhydrat.

Cellulose gibt einzelnen Pflanzenzellen, Zellverbänden und der gesamten höheren Pflanze Struktur und Form. Sie ist im gesamten Pflanzenreich verbreitet. Eine Ausnahme bilden die Pilze, deren Zellwandsubstanz das Polysaccharid Chitin ist. Im Tierreich hingegen kommt Cellulose nicht vor.

Das Cellulose-Molekül besteht aus 1,4- β -glykosidisch verknüpften Glucose-Molekülen, ist linear aufgebaut und von beträchtlicher Länge. Mehrere Moleküle lagern sich nebeneinander zu Fibrillen und werden den Primär- und Sekundärwänden der Zellen aufgelagert (► Kap. 1.2.1). In Wasser ist Cellulose unlöslich, mit Iod-Lösung reagiert sie nicht.

Die Dünndarmenzyme des Menschen können Cellulose nicht abbauen. Damit gehört die Cellulose zu den sogenannten Ballaststoffen. Durch ihr Volumen und ihre Wasserbindungskapazität vergrößert sie das Volumen des Darminhalts und regt durch die bessere Füllung die Peristaltik an.

Cellulose ist das Ausgangsprodukt vieler pharmazeutisch wichtiger **Verbandstoffe**. Ein fast reines Cellulose-Präparat ist die Baumwolle, die entfetteten und gebleichten Samenhaare verschiedener *Gossypium*-Arten, aus der Verbandwatte und Verbandmull hergestellt werden. Verbandzellstoff wird aus dem Celluloseanteil des Holzes hergestellt.

6.4 Schleime und Gummien

Der Hauptunterschied zwischen Schleimen und Gummien liegt im Grund der Entstehung. Schleime sind ein physiologisches Produkt der Pflanze und werden durch Stoffwechselprozesse kontinuierlich produziert. Gummien entstehen erst nach Verletzung, also als pathologisches Produkt. Der chemische Aufbau beider Kohlenhydrate ist gleich: Es handelt sich in beiden Fällen um Polysaccharide, die entweder aus den gleichen Monosacchariden oder aus unterschiedlichen Zuckern und deren Oxidationsprodukten (z. B. Uronsäuren) bestehen. Der Abbau von Reserve- und Gerüstpolysacchariden aus der Zellwand liefert die Grundbausteine für die Synthese von Schleimen. Schleimvakuolen finden sich meistens in der Nähe der Zellwände.



Drogen mit Isoprenoiden 8

Jeder kennt sie, viele lieben sie, andere wiederum hassen diese Süßigkeit: die Rede ist von Lakritzschnecken. Als Lakritz oder Lakritze wird der Wurzelextrakt des Echten Süßholzes (*Glycyrrhiza glabra*) bezeichnet.

Eine schlechte Nachricht für alle Lakritz Fans: Zu viel davon kann gefährlich sein!

In diesem Kapitel erfahren Sie, warum das so ist.

Außerdem erfahren Sie, warum Maiglöckchen und Fingerhut zu den heimischen Giftpflanzen zählen und welche pharmakologischen Effekte im Kürbis versteckt sind.

■ **Tab. 8.1** Einteilung der Terpene

	Anzahl der Isopren-Einheiten	Anzahl der C-Atome	Grundgerüst von (Beispiel)
Monoterpene	2	10	Menthol
Sesquiterpene	3	15	Bisabolol
Diterpene	4	20	Vitamin A
Triterpene	6	30	Saponine, Steroide
Tetraterpene	8	40	Carotinoide
Polyterpene	n	$n \times 5$	Kautschuk

8.1 Terpene

Terpene werden als Isoprenoide bezeichnet, da ihre Biosynthese vom Isopren ausgeht. Ein (Mono-) **Terpen** ist eine C₁₀-Substanz, die aus zwei Isoprenmolekülen hervorgegangen ist. ■ Tab. 8.1 gibt eine Übersicht über die Einteilung der Terpene entsprechend ihrer Anzahl an Isopreneinheiten bzw. C-Atomen.

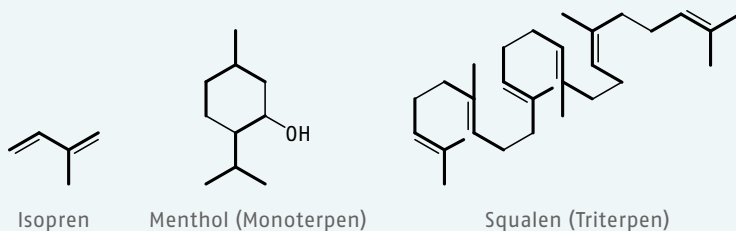
aha

GUT ZU WISSEN

Isoprenoide sind Substanzen, die aus dem Kohlenwasserstoff **Isopren** aufgebaut sind. Isopren ist 2-Methyl-1,3-Butadien (● Abb. 8.1). Die Verbindung entsteht in mehreren Biosyntheseschritten aus Essigsäure. Isopren ist ein Ausgangsstoff für eine ganze Reihe von Drogeninhaltsstoffen.

Terpene können als kettenförmige Verbindung vorliegen (aliphatisch) oder durch Ringschluss als zyklische Substanzen. Ihre flüchtigen Vertreter sind Hauptbestandteil vieler ätherischer Öle. Auf sie wird in dem ► Kap. 9.1 „Ätherische Öle“ näher eingegangen.

Das Triterpen **Squalen** ist die biochemische Ausgangssubstanz für die Steroide. Hierzu gehören so unterschiedlich wirkende Substanzen wie die Herzglykoside, die Nebennierenrindenhormone, die Sexualhormone, die Gallensäuren und die D-Vitamine.



● **Abb. 8.1** Strukturformeln von Isopren, Menthol und Squalen

8.2 Steroidglykoside

8.2.1 Aufbau

MERKE

Glykoside sind Verbindungen, die aus einem oder mehreren Zuckermolekülen und einem Aglykon („Nicht-Zuckermolekül“) bestehen. Das Zuckermolekül bewirkt eine verbesserte Wasserlöslichkeit des Gesamtmoleküls.



Das Grundgerüst des Aglykons aller Steroidglykoside ist das Steran. Dessen Biosyntheseweg geht von dem Triterpen Squalen aus und führt zu Cholesterol, das als „Muttersubstanz“ für alle biogenen Steroide bezeichnet werden kann. Nach Art der Substituenten am C17-Atom unterscheidet man **Cardenolide** und **Bufadienolide** (Abb. 8.2).

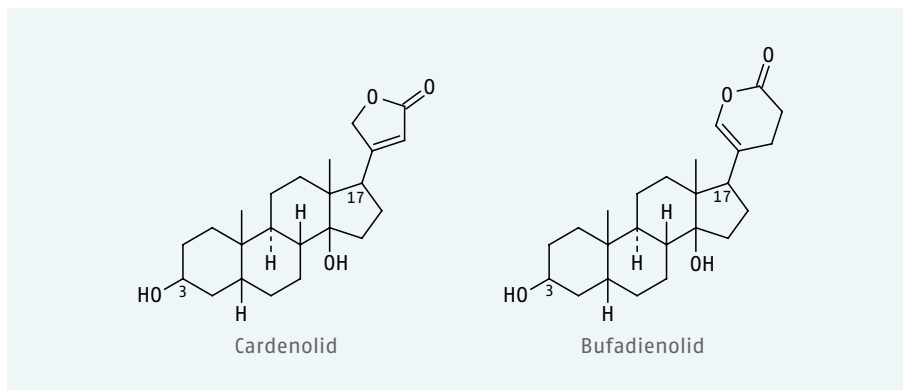


Abb. 8.2 Strukturformeln der beiden Herzglykosid-Aglyka Cardenolid und Bufadienolid

Zu den Cardenoliden gehören die herzwirksamen Glykoside der *Digitalis*- und *Strophanthus*-Arten, außerdem auch die Inhaltsstoffe der nicht herzwirksamen Uzarawurzel. Zu den Bufadienoliden zählen die *Scilla*-Glykoside und herzwirksame Verbindungen, die aus Krötegiften, besonders von *Bufo*-Arten, isoliert wurden.

Die in den Pflanzen vorliegenden Glykoside bestehen aus dem Steroid-Aglykon, welches für die Wirksamkeit verantwortlich ist. Dieses ist mit einem bis fünf Monosacchariden glykosidisch verknüpft. Als Zuckeranteile finden sich neben Glucose v. a. die für herzwirksame Glykoside typischen Desoxyzucker (z. B. Rhamnose und Digitoxose). Die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Aglykon und den unterschiedlichen Zuckern ermöglichen eine große Strukturvielfalt. Beispielsweise bei den herzwirksamen Glykosiden sind bisher mehr als 400 verschiedene gefunden worden.

8.2.2 Anwendung

Die Wirkung der Herzglykoside ist schon seit über 200 Jahren bekannt. Qualitativ wirken sie alle gleich: Sie beeinflussen die Herzleistung, indem sie die Kontraktionskraft der Herzmuskulatur erhöhen. Die Schlagfrequenz nimmt ab, der Druck im venösen Kreislauf wird geringer. Dadurch vermindert sich der Rückstau im venösen System, die bessere Blutzirkulation sorgt für eine gesteigerte Diurese. Dieses wiederum hat den Abbau der vor allem in den Beinen auftretenden Ödeme zur Folge.

Die einzelnen Herzglykoside unterscheiden sich sehr in ihrer Pharmakokinetik (Resorptionsquote, Zeit bis zum Wirkungseintritt, Abklingquote, Metabolisierungsweg im Körper). Daraus resultiert auch eine unterschiedliche Kumulationsgefahr. Strophantin hat nach intravenöser Injektion eine Latenzzeit von nur 2–15 Minuten und erreicht seine volle Wirksamkeit nach einer Stunde. Damit ist es hervorragend zur Behandlung der akuten Herzinsuffizienz geeignet. Digoxin braucht nach oraler Gabe eine Stunde bis zum Wirkungseintritt, erreicht seine Vollwirkung nach 6–8 Stunden und hat eine Wirkdauer von 6–8 Tagen. Bei Digitoxin sind die entsprechenden Werte noch weiter verlangsamt, seine Wirkdauer beträgt 20 Tage. Die Kumulationsgefahr ist also bei dieser Substanz besonders hoch.

Der Gefahr einer Digitalisintoxikation kann man heute mit einem spezifischen Antidot begegnen, das aus dem Serum von sensibilisierten Schafen gewonnen wird. Die Antikörper binden das Glykosid, wodurch in der Folge der gesamte Komplex rasch renal eliminiert wird.



MERKE

Herzwirksame Glykoside haben nur eine geringe therapeutische Breite, daher ist die Gefahr einer versehentlichen Überdosierung groß. Isolierte Reinstoffe, v. a. Digoxin und Digitoxin, haben Drogenzubereitungen daher aus der Herztherapie verdrängt. Drogen- oder Drogenextrakte unterliegen starken Schwankungen im Gehalt der Herzglykoside.

8.2.3 Drogen mit herzwirksamen Glykosiden

Digitalis

Monographien: Digitalis-purpurea-Blätter, Digitalis purpureae folium, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Digitalis purpurea*, Plantaginaceae.

Vorkommen: Der rote Fingerhut ist eine etwa 2 m hohe zweijährige Pflanze. Im ersten Jahr wird die grundständige Blattrosette ausgebildet, mit der die Pflanze überwintert. Erst im zweiten Jahr treibt sie den langen Spross mit stark behaarten Blättern und den in einseitiger Traube angeordneten Blüten. *Digitalis*-Arten sind in Mitteleuropa heimisch, in Kulturen werden sie jedoch auch außerhalb des Heimatgebietes angebaut.

Gewinnung: Das Arzneibuch gibt nur an, dass die Droge aus den getrockneten Blättern besteht. Aufgrund des höheren Glykosidgehalts werden vornehmlich die Rosettenblätter am Ende der ersten Vegetationsperiode zur Drogengewinnung herangezogen.

Bei *Digitalis* treten chemische Rassen auf, die aufgrund genetischer Faktoren in ihrer Glykosidzusammensetzung voneinander abweichen. Das Glykosidmuster der einzelnen Drogen wird jedoch auch von den äußeren Bedingungen beim Anbau und von der Art und Weise der Trocknung geprägt. Hiervon ist es z. B. abhängig, ob die in der Pflanze enthaltenen Primärglykoside erhalten bleiben oder durch Abspaltung der endständigen Glucose durch ein pflanzeigenes Enzym in die sogenannten Sekundärglykoside überführt werden, die dann andere pharmakokinetische Eigenschaften haben.

Inhaltsstoffe: Mindestens 0,3 % Cardenolidglykoside. Sie werden begleitet von anderen, nicht herzwirksamen Steroidglykosiden, Saponinen, Anthrachinonen und Flavonoiden.

Adoniskraut

Monographie: (Keine), Adoniskraut, *Adonis herba*,

Stammpflanze: *Adonis vernalis*, Ranunculaceae.

Inhaltsstoffe: Cardenolide.

Maiglöckchen

Monographie: (Keine), Maiglöckchenkraut, *Convallariae herba*

Stammpflanze: *Convallaria majalis*, Asparagaceae (● Abb. 8.3).

Inhaltsstoffe: Cardenolide.



● Abb. 8.3 Maiglöckchen

Meerzwiebel

Monographie: (Keine), Meerzwiebel, Scillae bulbosus

Stammpflanze: *Urginea maritima*, Hyacinthaceae.

Inhaltsstoffe: Bufadienolide.

8.2.4 Weitere Steroidglykosiddrogen

Uzarawurzel

Monographie: (Keine), Uzarawurzel, Uzarae radix.

Stammpflanze: *Xysmalobium undulatum*, Asclepiadaceae.

Vorkommen: Wild wachsende Pflanze aus Südafrika. Die Wurzeln werden traditionell von Medizinmännern verarbeitet und bei Durchfallerkrankungen eingesetzt.

Inhaltsstoffe: Steroidglykoside vom Cardenolidtyp, die nur in sehr hoher Dosierung Wirksamkeit auf die Herzfunktion zeigen. Dies liegt vermutlich an der von den Herzglykosiden abweichenden Struktur der Zuckerkomponente, aber auch an der schlechten Resorptionsquote der Glykoside, die eine Wirkung auf den Darmtrakt beschränken. Die Wirkung beruht v. a. auf einer Hemmung der Darmmotilität, die u. a. auf den Inhaltsstoff Uzarin zurückzuführen ist.

Anwendung: Uzarawurzel wird bei unspezifischen, akuten Durchfallerkrankungen eingesetzt, v. a. als Extrakt in Form von Fertigarzneimitteln.

8.3 Saponine

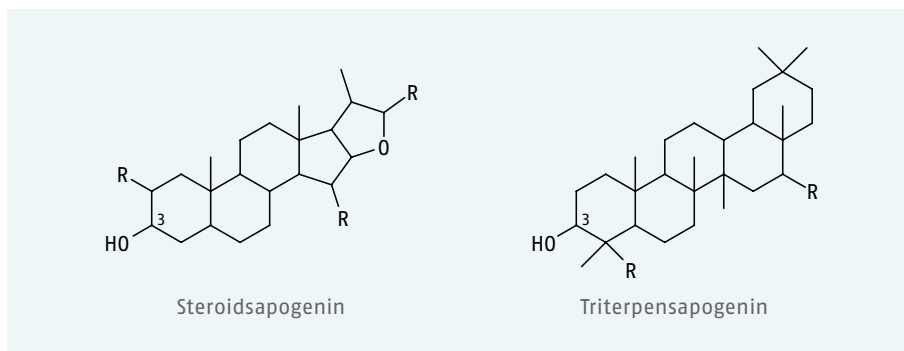
8.3.1 Aufbau

Eine weitere Gruppe von Pflanzeninhaltsstoffen, deren Biosynthese vom Isopren ausgeht, sind die Saponine.

Nach ihrem Aglykon, dem sog. Sapogenin, unterteilt man die Saponine in zwei Gruppen: **Steroidsaponine** und **Triterpensaponine** (● Abb. 8.4).

Bei beiden Aglyka gibt es durch sterische Veränderungen große Variationsmöglichkeiten. Diese werden durch die unterschiedlichen Zuckerkomponenten, mit denen die Sapogenine verknüpft sind, noch erweitert. Um die typischen Saponinmerkmale aufzuweisen, müssen sie mit mindestens zwei Zuckermolekülen verbunden sein, es wurden aber auch bis zu elf Monosaccharide pro Saponin gefunden.

Die typischen Eigenschaften der Saponine drücken sich bereits in ihrem Namen aus: Sapo (Seife). Es handelt sich um wasserlösliche Verbindungen, die durch ihre Oberflächenaktivität Seifencharakter haben. Die Voraussetzung dafür ist durch den Aufbau des Saponin-Moleküls gegeben: Das lipophile Aglykon und der hydrophile Zuckerrest machen es zu einer amphiphilen Substanz, welche die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen kann. Auf dieser Eigenschaft beruht auch die Anwendung der Saponine als Emulgatoren in der pharmazeutischen Technologie.



• **Abb. 8.4** Strukturformeln der Aglyka eines Steroidsaponins (Steroidsapogenin) und eines Triterpensaponins (Triterpensapogenin)

Saponine wirken außerdem hämolytisch, d.h., sie zerstören die Zellmembranen von Erythrozyten. Diese hämolytische Aktivität macht die Saponine zu hoch toxischen Substanzen, wenn sie parenteral verabreicht werden.

8.3.2 Anwendung

Viele Saponine werden als Expektoranzien eingesetzt. Bezüglich ihrer Wirkung existiert die Theorie, dass die Saponine die Schleimhaut des Magens reizen, was zu einer reflektorischen Steigerung der Bronchialsekretion führt. Dieser dünnflüssigere Schleim kann leichter abgehustet werden. Studien mit Efeuextrakt haben diese Theorie jedoch zumindest in Bezug auf die dort enthaltenen Saponine widerlegt und einen völlig anderen Wirkmechanismus belegen können (► Kap. 8.3.3).

Die diuretische Wirkung der Saponindrogen ist nachweisbar, jedoch nicht eindeutig zu erklären. Es wird vermutet, dass die resorbierten Saponinanteile das Nierenepithel reizen und sich durch die gesteigerte Durchblutung auch die Harnproduktion vermehrt.

Diese bei allen Saponinen vorhandenen Wirkungen werden noch durch spezifische ergänzt, deren Mechanismus aber nicht sicher geklärt ist. So hat Aescin eine gefäßprotektive Wirkung. Als Wirkmechanismus wird eine Hemmung von abbauenden Enzymen in der Kapillarwand der Gefäße angenommen.

Außerdem finden sich antibiotische und antimykotische Wirkungen. Von den in Ginsengwurzeln vorkommenden Saponinen wird eine stoffwechselanregende Wirkung angenommen, die besonders im Alter die Vitalität verbessern soll.

Die pharmazeutische Technologie braucht Saponine als Emulgatoren. Die pharmazeutische Industrie verwendet einige Saponine als Grundmaterial für die halbsynthetische Produktion von Steroidhormonen.

8.3.3 Saponindrogen mit expektorierender Wirkung



PRAXISTIPP

Die expektorierende Wirkung einer Droge wird durch eine hohe Flüssigkeitszufuhr unterstützt. Empfehlen Sie den Patienten viel zu trinken, sodass der Schleim besser abgehustet werden kann.

Efeu

Monographie: Efeublätter, *Hederae folium*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Hedera helix*, Araliaceae.

Synonym: Totenranke.

Vorkommen: Die Pflanze ist heimisch in West-, Mittel- und Südeuropa. Das immergrüne Holzgewächs zählt aufgrund seiner Haftwurzeln zu den Kletterpflanzen und zeichnet sich durch die Besonderheit aus, zwei verschiedene Blattformen zu besitzen (Heterophyllie, ► Kap. 3.4.4). Die unteren, jüngeren Blätter sind gelappt, dunkelgrün und ledrig, die oberen sind hingegen länglich-eiförmig, hellgrün und ganzrandig.

Gewinnung: Erntezeit ist vom Frühjahr bis zum Frühsommer. Es werden die Blätter aus dem unteren Bereich der Pflanze gesammelt.

Inhaltsstoffe: Hauptinhaltsstoffe sind mit 2,5–6 % Saponine vom Triterpentyp. Außerdem besitzt die Droge wenig ätherisches Öl, Chlorogensäure und Kaffeesäure.

Anwendung: Durch den Gehalt an Saponinen dient die Droge als Expektorans und Sekretolytikum. Darüber hinaus besitzt die Droge eine bronchodilatatorische Wirkung durch einen indirekten β -sympathomimetischen Effekt, in der Wirkstärke mit Salbutamol vergleichbar. Der Effekt beruht jedoch nicht auf einer direkten Stimulation der β -Rezeptoren des Bronchialtrakts, sondern auf einer Up-Regulation der Rezeptorzahl. Die sekretolytische Wirkung beruht auf einer gesteigerten Surfactantproduktion der Epithelzellen des Bronchialtrakts. Surfactant verringert die Oberflächenspannung des Bronchialschleims, macht ihn somit dünnflüssiger und leichter abhustbar.

Am häufigsten wird der Trockenextrakt dieser Droge in Form von Fertigpräparaten verwendet. Frische Efeublätter oder Presssaft können zu einer Kontaktallergie in Form einer Dermatitis führen.



NOCH MEHR INFOS

Mit „kletterndem Heu“ gegen Husten. Dieser Artikel bietet ein ausführliches Portrait der Arzneipflanze Efeu.



Primel

Monographie: Primelwurzel, *Primulae radix*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Primula veris* und *Primula elatior*, Primulaceae.

Synonym: Schlüsselblumenwurzel.

Vorkommen: Die Schlüsselblume (Abb. 8.5) ist ein Frühlingsblüher, der auf den Wiesen und in den Wäldern Europas und Asiens heimisch ist. Die Pflanze ist mehrjährig und überwintert mit ihrer Blattrosette.

Gewinnung: Die Droge besteht aus dem Rhizom und den anhängenden Wurzelteilen. Die Ernte erfolgt im Herbst. Den besten Ertrag liefern dreijährige Pflanzen. Um den Erhalt der Gattung zu sichern, stehen die unterirdischen Teile von *Primula* unter Naturschutz.



Abb. 8.5 Schlüsselblume

Makroskopische Merkmale: Die Droge besteht aus vielen dünnen Wurzelstücken (Durchmesser etwa 1 mm) von weißlicher oder bräunlicher Farbe.

Inhaltsstoffe: 3–12 % eines Gemischs aus Triterpensaponinen. Außerdem enthält die Droge als Speicherorgan noch größere Mengen Polysaccharide wie Stärke, diverse Zucker und Zuckeralkohole.

Anwendung: Als Expektorans bei Katarrhen der Luftwege.

Senega

Monographie: Senegawurzel, *Polygalae radix*, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Polygala senega* oder *Polygala tenuifolia*, Polygalaceae.

Synonym: Klapperschlangenwurzel.

Vorkommen: Die Klapperschlangenwurzel wächst als ca. 40 cm hohe Staude in Nordamerika und Kanada.

Gewinnung: Die Wurzel und der Wurzelkopf werden ausgegraben und getrocknet. Der Wurzelkopf ist ein gedrungenes Sprossstück, aus dem im Sommer Sprossachsen austreiben.

Inhaltsstoffe: Als Reservestoff findet sich fettes Öl in den Parenchymzellen, Stärke fehlt hingegen. Pharmazeutisch interessant ist ein Saponingehalt von ca. 10 %. Der wichtigste Vertreter ist Senegin. Der Geruch der Droge beruht auf ihrem Gehalt an Methylsalicylat, das aus einem Glykosid enzymatisch freigesetzt wird.

Anwendung: Aufgrund des Saponingehalts als Expektorans bei zähem oder zu geringem Auswurf.

Süßholz

Monographie: Süßholzwurzel, *Liquiritiae radix*, Süßholzwurzeltrockenextrakt als Geschmackskorrigens, Ph. Eur.

Stammpflanze: *Glycyrrhiza glabra*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Glycyrrhiza inflata*, Fabaceae (o Abb. 8.6).

Synonym: Lakritzenwurzel.

Vorkommen: Süßholz ist in Mitteleuropa und Asien beheimatet. Es existieren zwei unterschiedliche Varietäten, die verschiedene Handelsformen liefern: Das russische Süßholz aus *G. glabra* var. *glandulifera* kommt geschält in den Handel, *G. glabra* var. *typica* wird im Mittelmeerraum angebaut und liefert eine ungeschälte Sorte.

Gewinnung: Die Droge besteht aus den ungeschälten, getrockneten Wurzeln und ihren sehr lang werdenden unterirdisch wachsenden Ausläufern.

Makroskopische Merkmale: Die Wurzel hat eine graubraune Rinde mit den Narben der abgefallenen Nebenwurzeln. Ihr Geschmack nach Lakritze ist ein unverwechselbares Kennzeichen der Süßholzwurzel. Die Droge lässt sich leicht in Längsrichtung auffasern und der Holzkörper ist typisch gelb gefärbt.

Inhaltsstoffe: 2–15 % Triterpensaponine, darunter v. a. Glycyrrhizin, das Ammonium- und Calciumsalz der Glycyrrhizinsäure. Diese Säure besteht aus dem Aglykon Glycyrrhetinsäure, das mit zwei Molekülen Glucuronsäure verknüpft ist. Dadurch verliert das Molekül seine Saponineigenschaften. Das Glykosid wirkt kaum noch hämolysierend, beim isolierten Aglykon tritt diese Wirkung wieder auf.

Verschiedene Flavone wie Liquiritin und Isoliquiritin sind für die Gelbfärbung der Droge verantwortlich. Außerdem sind noch Zucker, Stärke, Aminosäuren und Mineralien enthalten.



o Abb. 8.6 Süßholzpflanze

Anwendung: Zur Schleimlösung und Erleichterung des Auswurfs bei Entzündungen der oberen Atemwege (Bronchitis).

Zur Unterstützung der Behandlung von krampfartigen Beschwerden bei Magenschleimhautentzündungen (chronische Gastritis).

Die expektorierende Wirkung wird auf das Saponin Glycyrrhizinsäure zurückgeführt. Man vermutet den gleichen Wirkungsmechanismus wie bei anderen Saponindrogen.

Eine spasmolytische Wirkung wird auf die beiden Flavonoid-Aglyka Isoliquiritigenin und Liquiritigenin zurückgeführt. Die beschleunigte Heilung von Magengeschwüren bei Einnahme von Süßholzwurzel lässt auf eine antiphlogistische Wirkung schließen, die wiederum der Glycyrrhizinsäure bzw. ihrem Aglykon zugeschrieben wird. Diese sollen den Abbau des körpereigenen Cortisols in der Leber verzögern. Glycyrrhizin und Glycyrrhetin haben selbst einen mineralocorticoiden Effekt, da sie strukturelle Ähnlichkeit zu dem körpereigenen Mineralocorticoid Aldosteron besitzen. Bei Überdosierung oder Langzeittherapie besteht die Gefahr entsprechender Nebenwirkungen: Ödembildung durch verringerte NaCl-Ausscheidung sowie damit verbundene Wasserretention bei gleichzeitig vermehrter Kaliumausscheidung und Erhöhung des Blutdrucks. Da Lakritze meistens aus eingedicktem Süßholzwurzel extrakt hergestellt wird, ist bei großen Verzehrsmengen derselbe Effekt zu erwarten!

PRAXISTIPP

Aufgrund der Gefahr von Nebenwirkungen soll Süßholzwurzel nicht länger als 4–6 Wochen angewendet werden.



8

Zur Therapie eines Magengeschwürs wird Süßholzwurzel meistens in Form des dickflüssigen Extrakts (Succus Liquiritiae) verwendet. Er wird als wässriger Extrakt bei 40 °C hergestellt und dann im Vakuum eingedampft. Bei diesem Verfahren entstehen vermehrt die beiden spasmolytisch wirksamen Flavonoid-Aglyka aus dem Flavonglykosid Liquiritin. In Stangen oder Scheiben gepresst ist der Extrakt als Lakritze im Handel. Glycyrrhizinsäure und Ammoniumchlorid sind die geschmackgebenden Bestandteile von Salmiakpastillen und entsprechenden Produkten.

Die Kombination des stark süß schmeckenden Glycyrrhizins mit den anderen in der Wurzel enthaltenen Kohlenhydraten macht Süßholzwurzel außerdem zu einem beliebten Geschmackskorrigens für Teemischungen. Dieser angenehme Geschmack hat Süßholzwurzel sogar zu einer Art Naschwerk für Kinder gemacht. Sie kauen und lutschen die geschälte Wurzel, bis sie nicht mehr nach Lakritze schmeckt.

GUT ZU WISSEN

Süßholzwurzelextrakt ist Bestandteil von Lakritze und Salmiakpastillen. Das Naschen großer Lakritz-Mengen kann zu Bluthochdruck und Wassereinlagerungen führen.

aha