

Beispielaufgabe 1

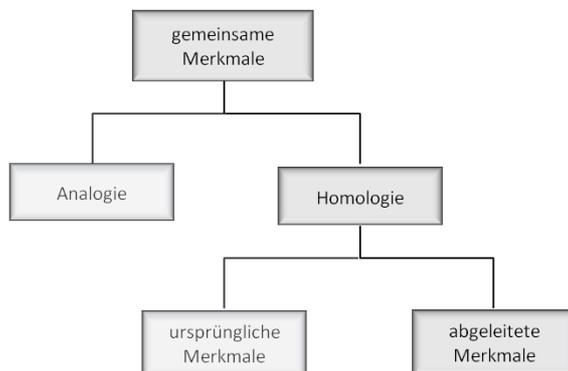
Der Fisch in uns

Menschen und Fische sind sich eigentlich nicht sehr ähnlich. Doch wenn man genau hinguckt, findet man tatsächlich Hinweise darauf, dass Menschen mit den Fischen verwandt sind.



Abb. 1: **Mensch mit Fisch** (© Eric Fahrner - stock.adobe.com).

Denn trotz der äußerlich starken Unterschiede weisen Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere – zu denen auch der Mensch gehört – **gemeinsame Merkmale** auf: sie besitzen eine **Wirbelsäule**, ein **Innenskelett** aus Knochen und Knorpeln, einen **Kopf**, einen **Rumpf** und meist **zwei Paar Extremitäten**.



Diese Merkmale unterscheiden sich nicht im Grundbauplan und haben sich aus ursprünglichen Merkmalen neu entwickelt. Es sind **abgeleitete Homologien**.

Abb. 2: **Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen** (nach Ridley 1996).

Die **abgeleiteten Homologien** der Wirbeltiere machen deutlich, dass sich Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere aus einer gemeinsamen Stammart entwickelt haben. Das heißt sie haben einen gemeinsamen Vorfahren, von dem sie diese abgeleiteten Merkmale geerbt haben.

Fasst man eine Stammart und alle Untergruppen, die sich aus dieser Stammart entwickelt haben, zu einer Gruppe zusammen, wird diese als **Monophylum** (mónos <gr.>: „allein, einzeln, einzig“, phylum <gr.-nlat.>: „Stamm“) bezeichnet.

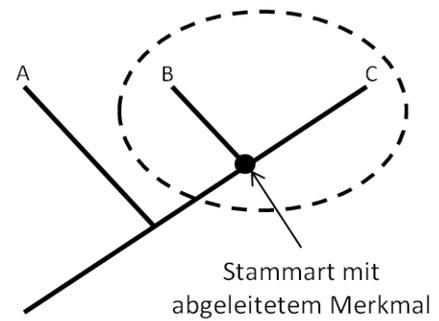


Abb. 3: **Monophyletische Gruppe.** A, B und C stellen Gruppen mit gemeinsamen abgeleiteten Merkmalen dar. B und C bilden zusammen mit der Stammart ein Monophylum.

Die fünf Tierklassen können somit zu dem **Monophylum** der Wirbeltiere zusammengefasst werden.



Wie aber sehen die Verwandtschaftsverhältnisse bei den Wirbeltieren genau aus? Bei welchen der fünf Tierklassen handelt es sich um monophyletische Gruppen?

Ziel ist es, herauszufinden, wie der Stammbaum der Wirbeltiere aussieht.

Ich überlege erst selbst, bevor ich weiter lese.



Damit der Stammbaum der Wirbeltiere aufgestellt werden kann, muss nach **abgeleiteten Homologien** gesucht werden, die sich nur bei bestimmten Tierklassen zeigen.

Der **erste Schritt** bei der Erstellung eines Stammbaums ist deshalb die Betrachtung der fünf Tierklassen hinsichtlich **gemeinsamer homologer Merkmale**.

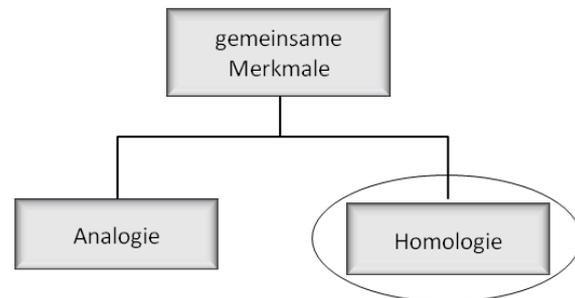


Abb. 4: Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen (nach Ridley 1996).



Bei Wirbeltieren kämen dafür welche Merkmale in Frage?

Wie bereits erwähnt findet man bei allen Wirbeltieren zwei Paar **Extremitäten**.



Über die Extremitäten bei Wirbeltieren weiß ich...

Bei den meisten Fischen sind diese Extremitäten in Form von paarigen **Brust- und Bauchflossen** ausgebildet. Sie dienen der Steuerung sowie der Fortbewegung, dem Bremsen und der Gleichgewichtshaltung. Der Grundbauplan der Flossen stimmt bei allen Fischen überein.

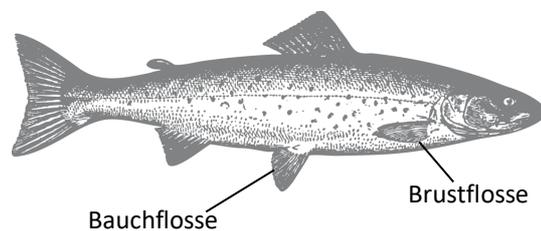


Abb. 5: Paarige Extremitäten beim Fisch (Quelle: IPN).

Ausgewachsene Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere haben **Extremitäten mit Zehen**, die im Grundbauplan übereinstimmen.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Flossen sind ein **homologes Merkmal** der Fische. Die Extremitäten mit Zehen sind ein **homologes Merkmal** der Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere.

Erstellt man für die Extremitäten eine Merkmalstabelle, so ergibt sich folgendes Bild:

	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
zwei paarige Extremitäten	X	X	X	X	X
Flossen	X	—	—	—	—
Extremitäten mit Zehen	—	X	X	X	X

Abb. 6: **Merkmalstabelle für Extremitäten der Wirbeltiere** (X - Merkmal ist vorhanden, — - Merkmal ist nicht vorhanden).

In der Merkmalstabelle kann man deutlich sehen, dass Fische ein **homologes Merkmal** aufweisen, das die übrigen Wirbeltiere nicht haben. Genauso besitzen Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere ein **homologes Merkmal**, das man nicht bei den Fischen findet.

Der **zweite Schritt** bei der Stammbaumkonstruktion ist die Unterscheidung zwischen **ursprünglichen** und **abgeleiteten Merkmalen**.

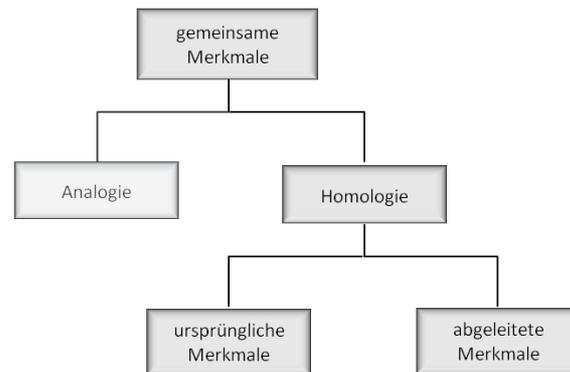


Abb. 7: **Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen** (nach Ridley 1996).

Für die Stammbaumerstellung muss man wissen, in welche Richtung die Entwicklung der Extremitäten gelaufen ist. Das heißt welches Merkmal **abgeleitet** ist, die Flossen oder die Extremitäten mit Zehen.



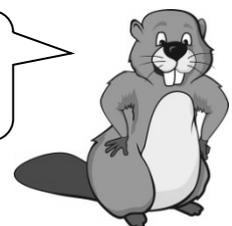
Welches Merkmal könnte abgeleitet sein?

Die Unterscheidung zwischen **ursprünglichen** und **abgeleiteten Merkmalen** erfolgt mithilfe des **Außengruppenvergleichs**.

Bei dem Außengruppenvergleich wird überprüft, ob das jeweilige Merkmal auch außerhalb der betrachteten Gruppe (Innengruppe) auftritt. Ist dies der Fall, so handelt es sich um ein **ursprüngliches Merkmal**.

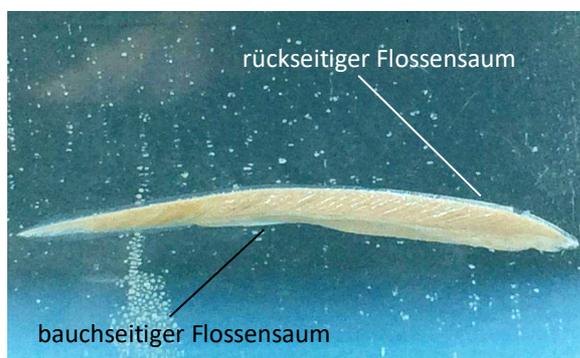
In der Innengruppe befinden sich die Untergruppen, deren Merkmale zwischen ursprünglich und abgeleitet unterschieden werden sollen. Die Außengruppe muss so gewählt werden, dass diese durch einen letzten gemeinsamen Vorfahren mit der Innengruppe verwandt ist.

Demnach wären also welche Tierklassen in der Innengruppe?



Zur Feststellung, ob es sich bei den **Flossen** oder bei den **Extremitäten mit Zehen** um ein **abgeleitetes Merkmal** handelt, betrachtet man die Fische sowie die übrigen Wirbeltiere als Innengruppe. Als Außengruppe benötigt man somit eine Gruppe, die unmittelbar mit den Wirbeltieren verwandt ist, die sogenannten Schädellosen.

Das Merkmal, das schon in der Außengruppe vorhanden ist, ist ursprünglich.



Ein Vertreter der Schädellosen ist das Lanzettfischchen. Am Rücken und am Bauch befindet sich ein Flossensaum, der bauchseitig in einem Faltenpaar liegt. Der in Falten liegende Flossensaum entspricht den paarigen Flossen der Fische.

Abb. 8: **Lanzettfischchen** (© Kirsten Reu).

In der **Außengruppe** findet man das Merkmal **Flossen**.



Jetzt weiß ich auch welches Merkmal ursprünglich ist und welches abgeleitet ist.

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Flossen der Fische stellen das **ursprüngliche Merkmal** dar. Die Extremitäten mit Zehen, die man bei den Amphibien, Reptilien, Vögeln und Säugetieren findet, haben sich aus diesem **ursprünglichen Merkmal abgeleitet**.



Monophyletische Gruppe ist / sind...

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere haben sich aus einer gemeinsamen Stammart entwickelt. Sie besitzen einen gemeinsamen Vorfahren, der sich von der Entwicklungslinie der Fische abgespalten hat, und werden zu der **monophyletischen Gruppe** der Landwirbeltiere (Tetrapoden; tetra <gr.>: „vier“, podes <gr.>: „Füße“) zusammengefasst.

Die erste Verzweigung im Stammbaum sieht somit folgendermaßen aus:

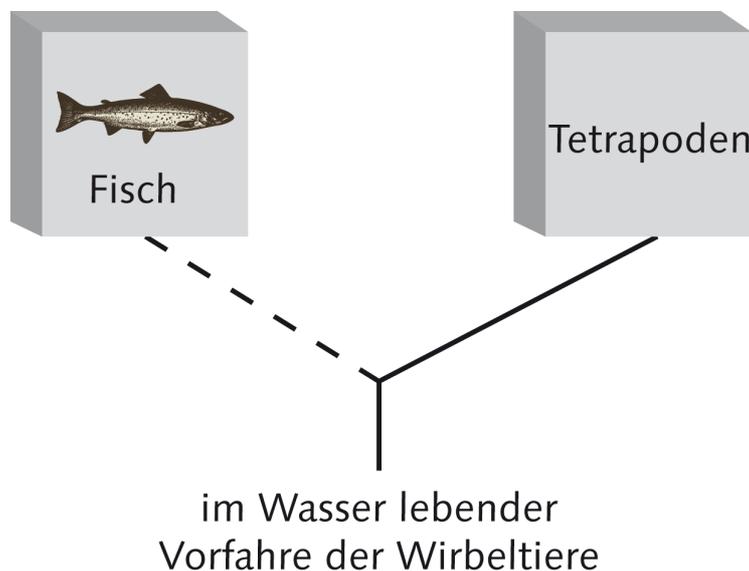


Abb. 9: Stammbaum der Wirbeltiere (Quelle: IPN).

Es ist noch nicht geklärt, ob die Einteilung der Fische ebenfalls anhand von abgeleiteten Merkmalen erfolgt. Es ist also nicht sicher, ob es sich auch bei den Fischen um eine **monophyletische Gruppe** handelt.

Um herauszufinden, ob alle Fische auf eine Stammart zurückzuführen sind, wiederholen sich die beiden Schritte der Stammbaumkonstruktion.



Wenn die Fische eine monophyletische Gruppe sind, dann...

Der erste Schritt besteht in der Betrachtung der **homologen Merkmale**.

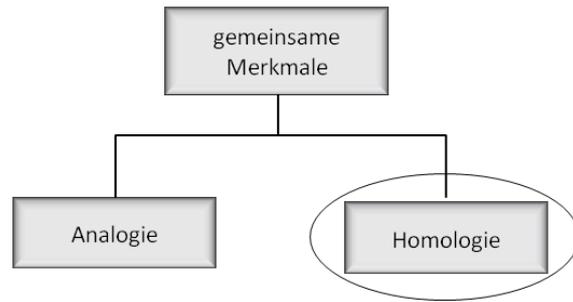


Abb. 10: Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen (nach Ridley 1996).

Zur Einteilung der Fischklasse werden Merkmale wie **Flossen** und **Kiemenatmung** genutzt. Diese Merkmale stimmen im Grundbauplan überein.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Flossen und die Kiemenatmung sind **homologe Merkmale**.

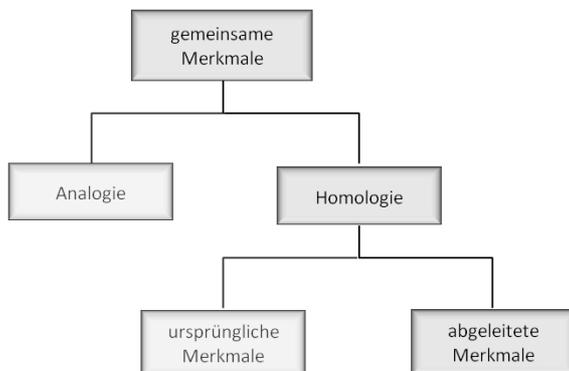


Abb. 11: Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen (nach Ridley 1996).

Damit es sich bei Fischen um eine **monophyletische Gruppe** handelt, muss man bei allen Fischen mindestens ein **abgeleitetes Merkmal** finden, das nicht bei den Landwirbeltieren (Tetrapoden) vorkommt.

Der **zweite Schritt** ist es zu untersuchen, ob es sich bei den **homologen Merkmalen** um **ursprüngliche** oder **abgeleitete Merkmale** handelt. Dafür verwendet man wieder den Außengruppenvergleich.

Die Fische stellen die Innengruppe dar, denn hier kommen die Merkmale vor, die untersucht werden sollen.

Die Außengruppe muss so gewählt werden, dass sie durch einen letzten gemeinsamen Vorfahren mit der Innengruppe verbunden ist. Wieder eignen sich die Schädelloren beziehungsweise das Lanzettfischchen.

Durch einen Blick in die Merkmalstabelle kann man jetzt erkennen, ob es sich um **ursprüngliche** oder **abgeleitete Merkmale** handelt.

	Lanzettfischchen	Fische
Flossen	×	×
Kiemenatmung	×	×

Abb. 12: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale von Fischen.



Die Flossen und die Kiemenatmung sind...

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Merkmale Flossen und Kiemenatmung sind auch in der Außen-
gruppe vorhanden. Es sind **ursprüngliche Merkmale**.

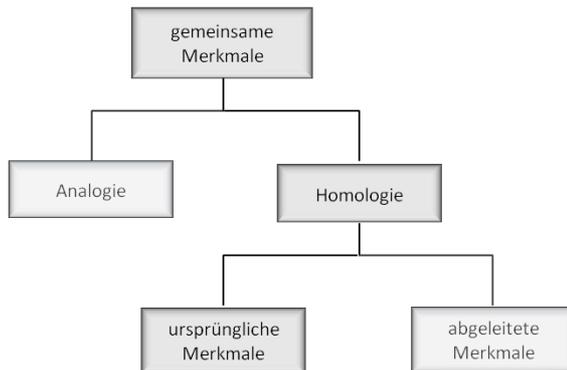


Abb. 13: Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen
(nach Ridley 1996).

Tatsächlich findet man keine **abgeleiteten Merkmale**, die alle Fische aufweisen. Die Einteilung in die Abstammungsgruppe der Fische erfolgt anhand von **ursprünglichen Merkmalen**.

Erfolgt die Gruppeneinteilung anhand von **ursprünglichen Merkmalen**, erhält man sogenannte **paraphyletische Gruppen** (pará <gr.>: „entlang, neben, bei“, phylum <gr.-lat.>: „Stamm“). Diese fassen ebenfalls Gruppen zusammen, die auf eine gemeinsame Stammart zurückzuführen sind. Allerdings sind nicht alle Verzweigungen, also alle Nachfahren dieser Stammart, enthalten.

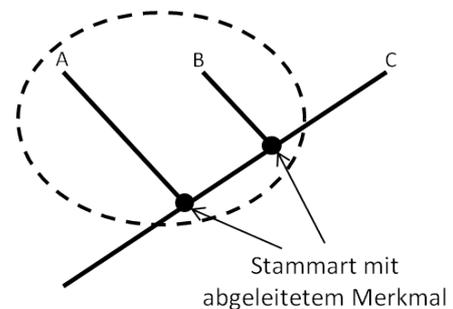


Abb. 14: **Paraphyletische Gruppe**. A, B und C stellen Gruppen mit gemeinsamen abgeleiteten Merkmalen dar. A und B bilden eine paraphyletische Gruppe.



Bei den Fischen handelt es sich um eine ... Gruppe, denn...

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Die Fische sind also eine **paraphyletische Gruppe**.

Es gibt sogar Fische, die **abgeleitete Merkmale** mit den Landwirbeltieren (Tetrapoden) gemeinsam haben: die Lungenfische. Das macht deutlich, dass sich Lungenfische und Tetrapoden aus einer Stammart entwickelt haben. Lungenfische sind deshalb näher mit den Tetrapoden verwandt als mit den übrigen Fischen.

Aus diesem Grund müsste der Stammbaum eigentlich folgendermaßen aussehen:

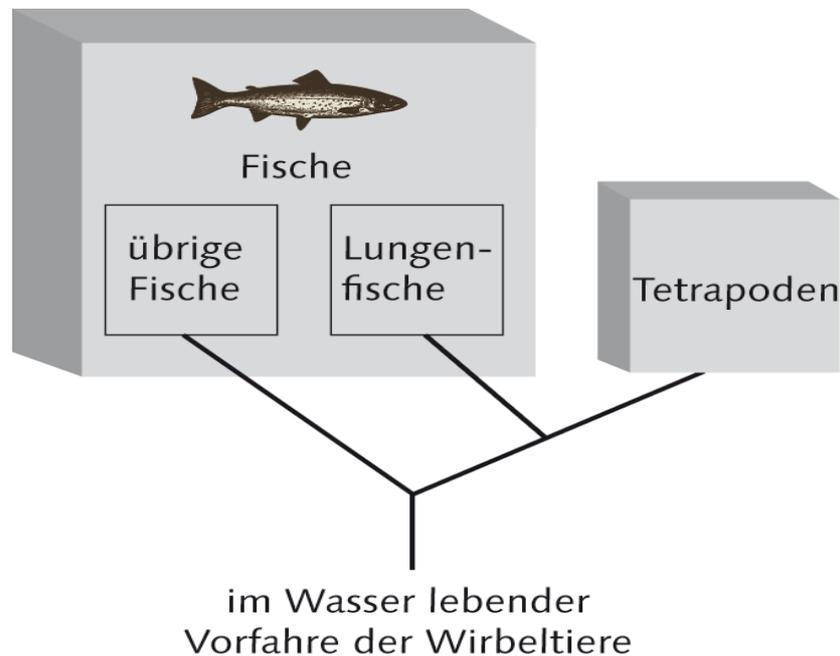


Abb. 15: Stammbaum der Wirbeltiere (Quelle: IPN).

Für die Erstellung des Wirbeltierstammbaums muss jetzt geklärt werden, welche Tetrapodenklasse am nächsten mit den Fischen verwandt ist.

Zuerst betrachtet man die Tetrapoden hinsichtlich **gemeinsamer Merkmale**. Handelt es sich um **homologe Merkmale**, muss mit dem **Außengruppenvergleich** zwischen **ursprünglichen** und **abgeleiteten Merkmalen** unterschieden werden.

Einige Merkmale der fünf Wirbeltierklassen sind in der folgenden Merkmalstabelle aufgeführt.

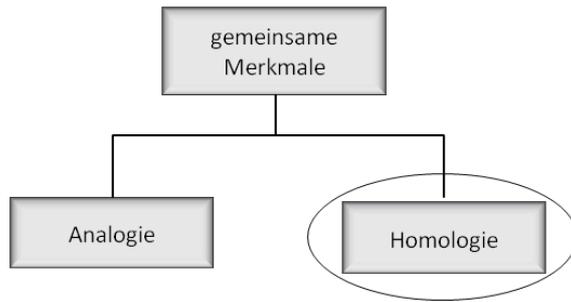
	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	—	—	×	×	×
nackte Haut	—	×	—	—	—
Hornschuppen	—	—	×	×	—
Federn	—	—	—	×	—
Haare	—	—	—	—	×
Milchdrüsen	—	—	—	—	×

Abb. 16: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Bei Merkmalstabellen die, wie oben, viele verschiedene Merkmale beinhalten, sucht man sich zunächst das Merkmal heraus, das bei den meisten Tierklassen vorkommt.



Über die Embryonalhülle weiß ich...



Der **erste Schritt** ist die Betrachtung der **homologen Merkmale**. Man muss also wissen, ob es sich bei der **Embryonalhülle** um **ein homologes Merkmal** handelt.

Abb. 17: Unterscheidung bei gemeinsamen Merkmalen (nach Ridley 1996).



Wenn die Embryonalhülle ein homologes Merkmal ist, dann müsste...

Die Embryonalhülle umgibt den Embryo und ist mit Fruchtwasser gefüllt. Bei Reptilien und Vögeln wird die Embryonalhülle noch zusätzlich von einer Schale umgeben.

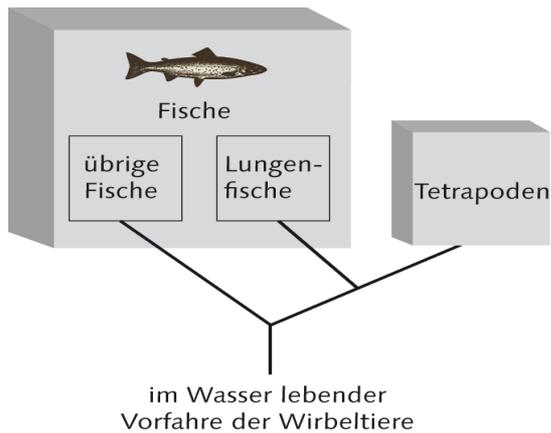
Auch bei Säugetieren bildet sich eine Embryonalhülle. Allerdings verbleibt der Embryo die gesamte Entwicklung im Körper. Eine schützende Schale wird hier nicht ausgebildet.

Der Grundbauplan der **Embryonalhülle** stimmt bei den Reptilien, den Vögeln und den Säugetieren überein.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Embryonalhülle ist ein **homologes Merkmal**.

Als nächstes muss geklärt werden, ob das **Fehlen** oder **das Vorhandensein der Embryonalhülle** ein **abgeleitetes Merkmal** ist.



Zu der Innengruppe gehören die Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Als Außengruppe nimmt man eine Tiergruppe, die durch einen letzten gemeinsamen Verwandten mit der Innengruppe verbunden ist.

Abb. 18: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).



Als Außengruppe wählt man...

Als Außengruppe wählt man die Lungenfische. Der Außengruppenvergleich kann jetzt mithilfe der Merkmalstabelle erfolgen.

	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	—	—	×	×	×
nackte Haut	—	×	—	—	—
Hornschuppen	—	—	×	×	—
Federn	—	—	—	×	—
Haare	—	—	—	—	×
Milchdrüsen	—	—	—	—	×

Abb. 19: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Fische, also auch die Lungenfische, haben wie die Amphibien keine Embryonalhülle. In der Außengruppe findet man demnach nicht das Merkmal Embryonalhülle.

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Embryonalhülle ist ein **abgeleitetes Merkmal** von Reptilien, Vögeln und Säugetieren.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Reptilien, Vögel und Säugetiere haben sich aus einer gemeinsamen Stammart entwickelt, die sich von der Entwicklungslinie der Amphibien getrennt hat. Sie werden zu der **monophyletischen Gruppe** der Nabeltiere (Amnioten) zusammengefasst.

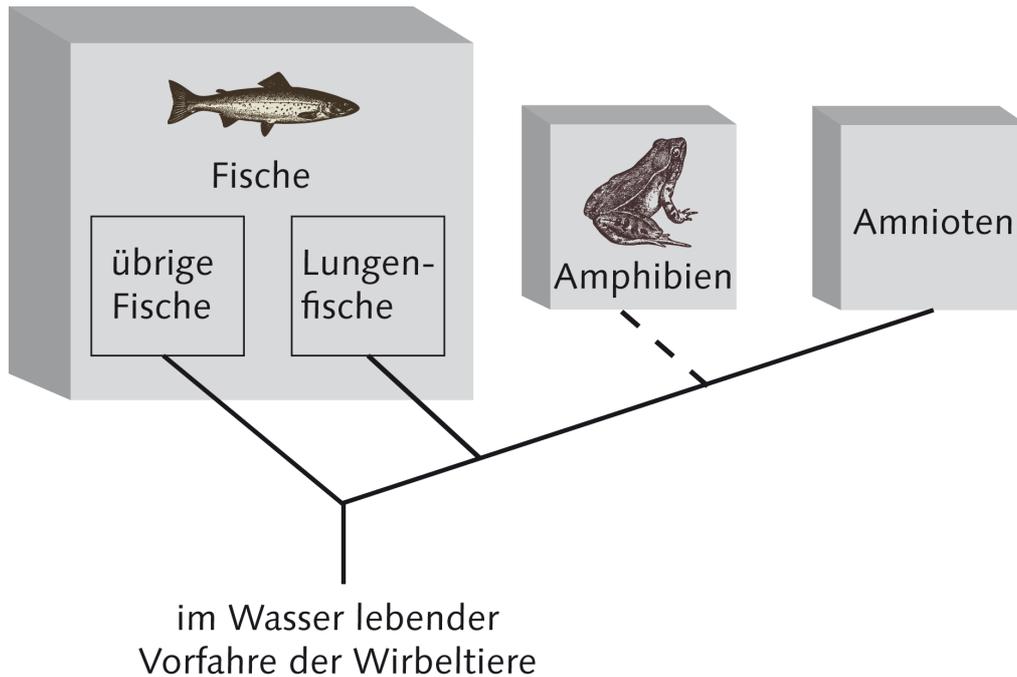


Abb. 20: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

Da es sich bei dem **Fehlen der Embryonalhülle** um ein **ursprüngliches Merkmal** handelt, steht noch nicht fest, ob es sich bei den Amphibien um eine **monophyletische Gruppe** handelt.



Um festzustellen, ob es sich bei den Amphibien um eine monophyletische Gruppe handelt, muss...

In der Merkmalstabelle kann man erkennen, dass nur die Amphibien eine **nackte Haut** aufweisen.

	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	—	—	×	×	×
nackte Haut	—	×	—	—	—
Hornschuppen	—	—	×	×	—
Federn	—	—	—	×	—
Haare	—	—	—	—	×
Milchdrüsen	—	—	—	—	×

Abb. 21: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Dieses Merkmal findet man bei allen Amphibien. Außerdem ist der Grundbauplan der Haut bei allen Amphibien gleich.

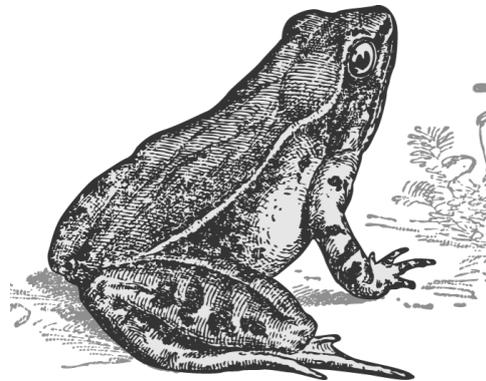


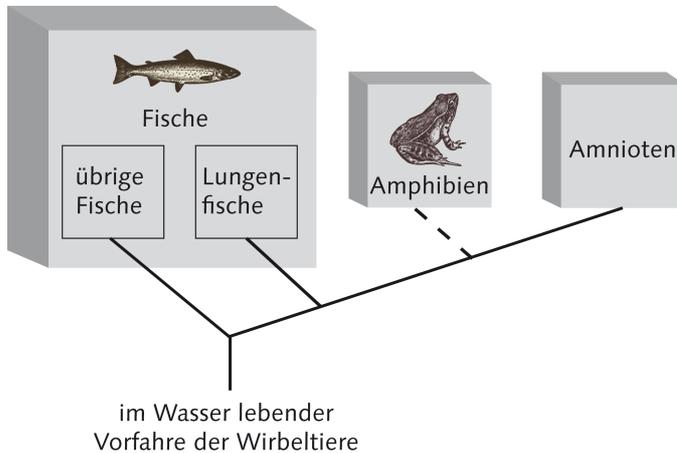
Abb. 22: **Amphib** (Quelle: IPN).



Das bedeutet, dass...

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Bei der nackten Haut handelt es sich um ein **homologes Merkmal**.



Die Außengruppe muss über einen letzten gemeinsamen Vorfahren mit der Innengruppe verwandt sein.

Abb. 23: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Bei den Lungenfischen (Außengruppe) ist die Haut nicht nackt. Sie ist von zahlreichen Schuppen bedeckt. Die nackte Haut der Amphibien (Innengruppe) ist also ein **abgeleitetes Merkmal**.

**3. Lösungsschritt:
Schlussfolgerung auf die
Verwandtschaftsbeziehung**

Jetzt weiß man, dass sich alle Amphibien aus einer Stammart entwickelt haben. Es ist eine **monophyletische Gruppe**.

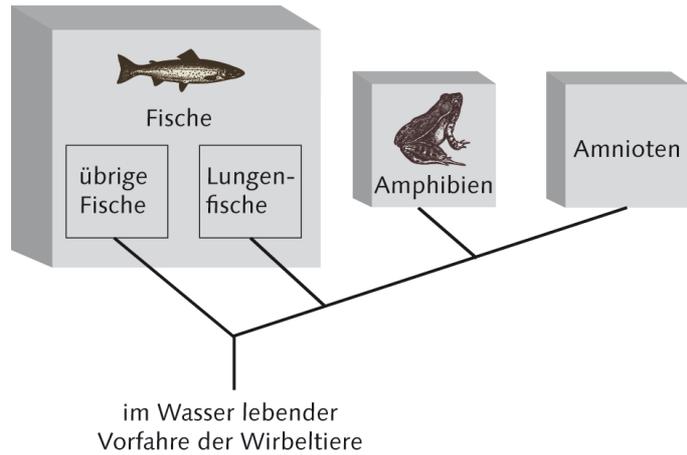


Abb. 24: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

Bleibt noch zu klären, wie die Verwandtschaftsverhältnisse bei den Nabeltieren (Amnioten) aussehen.



Hier überlege ich erst einmal selbst, bevor ich weiter lese.

Die Merkmalstabelle gibt wieder Aufschlüsse darüber, wie die Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der Nabeltiere (Amnioten) aussehen könnten.



Welches Merkmal könnte Aufschluss darüber geben?

	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	—	—	×	×	×
nackte Haut	—	×	—	—	—
Hornschuppen	—	—	×	×	—
Federn	—	—	—	×	—
Haare	—	—	—	—	×
Milchdrüsen	—	—	—	—	×

Abb. 25: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Die Hornschuppen deuten darauf hin, dass Reptilien und Vögel näher miteinander verwandt sind als Reptilien und Säugetiere beziehungsweise als Vögel und Säugetiere.

Zunächst muss klar sein, dass es sich bei den **Hornschuppen** um ein **homologes Merkmal** handelt.

Die Hornschuppen der Reptilien werden aus der obersten Hautschicht gebildet. Sie wachsen –im Gegensatz zu den Schuppen der Fische- nicht mit.

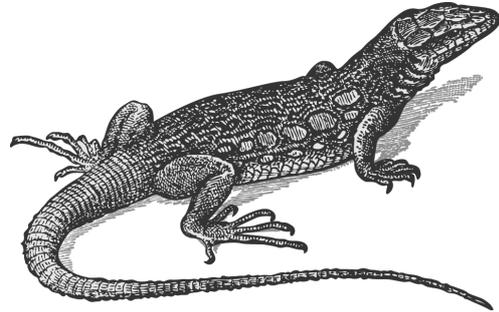


Abb.26: Reptil (Quelle: IPN).



Abb. 27: Vogel (Quelle: IPN).

Vögel haben beschuppte Beine, die wie die Schuppen der Reptilien aus Horn bestehen und aus der obersten Hautschicht gebildet werden.



Jetzt kann ich mich entscheiden, ob es sich bei den Hornschuppen um ein homologes Merkmal handelt,

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Hornschuppen der Reptilien und Vögel haben den gleichen Grundbauplan, sie sind **homolog**.

Der Außengruppenvergleich zeigt, dass Reptilien und Vögel (Innengruppe) ein **homologes Merkmal** besitzen, das man bei den Amphibien (Außengruppe) nicht findet.

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Hornschuppen sind somit ein **abgeleitetes Merkmal** der Reptilien und Vögel.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Sie haben sich aus einer gemeinsamen Stammart entwickelt. Das heißt, sie bilden eine **monophyletische Gruppe**.

Der Stammbaum der Wirbeltiere kann um eine weitere Verzweigung ergänzt werden.

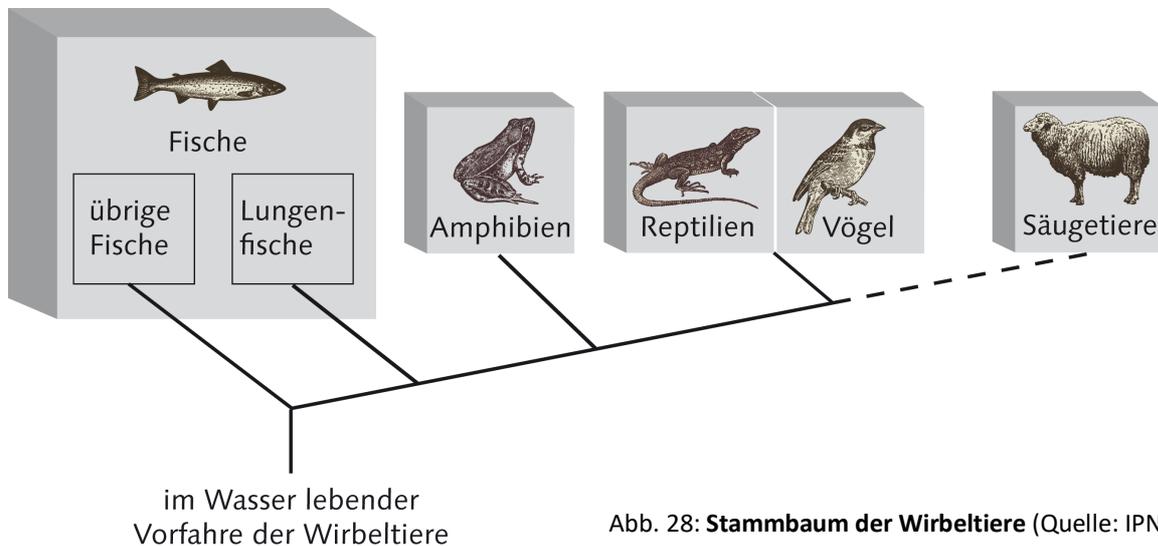


Abb. 28: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).



Was muss man tun, um die Verwandtschaftsverhältnisse weiter zu untersuchen?

Um die Verwandtschaftsverhältnisse der Wirbeltiere weiter aufzuklären, muss jetzt untersucht werden, ob es sich bei den Reptilien, Vögeln und Säugetieren jeweils um **monophyletische Gruppen** handelt.

	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	–	–	×	×	×
nackte Haut	–	×	–	–	–
Hornschuppen	–	–	×	×	–
Federn	–	–	–	×	–
Haare	–	–	–	–	×
Milchdrüsen	–	–	–	–	×

Abb. 29: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Bei allen Vögeln findet man Federn mit dem gleichen Bauplan.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Federn der Vögel sind ein **homologes Merkmal**.

Für die Überprüfung, ob die **Federn** ein **abgeleitetes Merkmal** sind, stellen die Vögel die Innengruppe dar. Die Amphibien sind die Außengruppe.

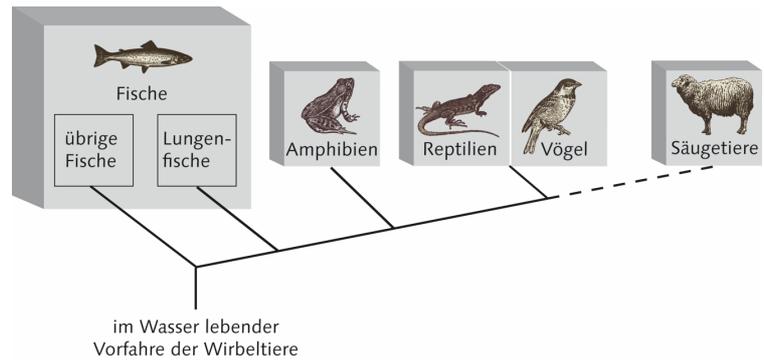


Abb. 30: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).



Die Reptilien müssen nicht betrachtet werden, weil...

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Federn sind in der Außengruppe nicht vorhanden und somit ein **abgeleitetes Merkmal** der Vögel.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Die Vögel stellen eine **monophyletische Gruppe** dar.

Der Stammbaum verzweigt sich weiter:

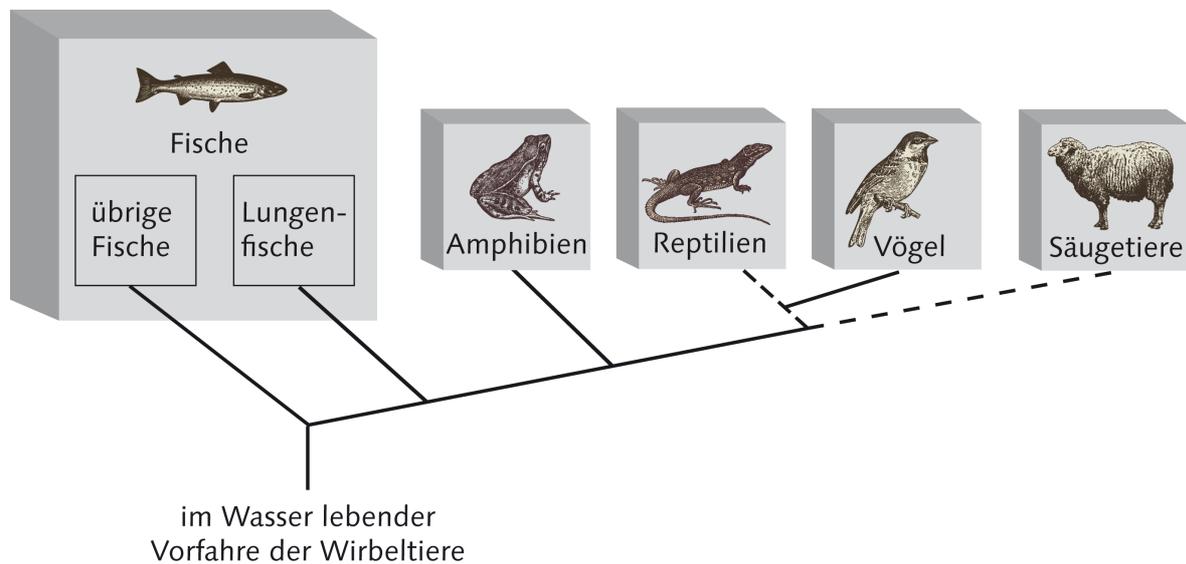


Abb. 31: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

Bei den Reptilien handelt es sich allerdings **nicht** um eine **monophyletische Gruppe**.



Woran kann man das in der Tabelle erkennen?

	Amphibien	übrige Reptilien	Krokodile	Vögel
1 Herzhauptkammer	X	X	—	—
2 Herzhauptkammern	—	—	X	X

Abb. 32: Merkmalstabelle für das Merkmal Anzahl der Herzhauptkammern.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Anzahl der Herzhauptkammern ist ein **homologes Merkmal**.

Krokodile, die zu den Reptilien gezählt werden, besitzen wie die Vögel 2 Herzhauptkammern.

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Der Außengruppenvergleich mit den Amphibien zeigt, dass es sich dabei um ein **abgeleitetes Merkmal** handelt.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Das bedeutet, dass sich Krokodile und Vögel aus einer Stammart entwickelt haben und enger miteinander verwandt sind als Krokodile und die übrigen Reptilien.

Die Einteilung in die Reptiliengruppe erfolgt anhand von **ursprünglichen Merkmalen**.



Zeichnen Sie den Stammbaum der Wirbeltiere mit den neuen Verzweigungen.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Die Reptilien sind also eine **paraphyletische Gruppe**.

Deshalb sieht der Stammbaum folgendermaßen aus:

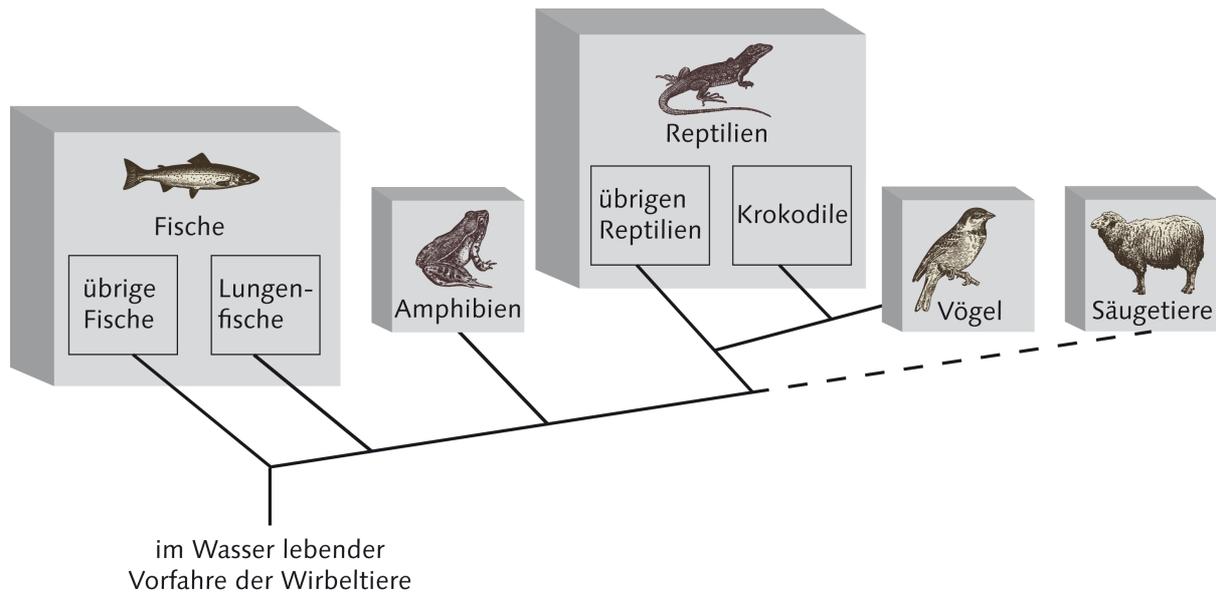


Abb. 33: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

Abschließend muss geklärt werden, ob es sich bei den Säugetieren um eine **monophyletische** oder **paraphyletische Gruppe** handelt.

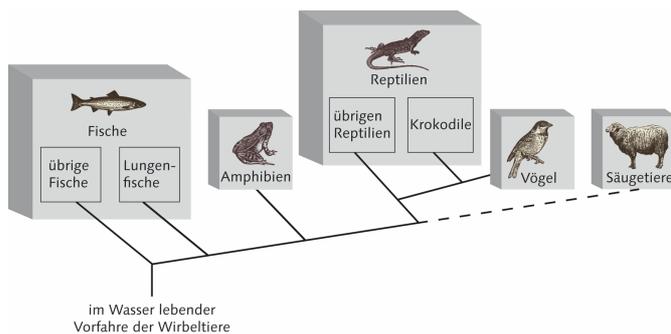
	Fische	Amphibien	Reptilien	Vögel	Säugetiere
Embryonalhülle (Amnion)	–	–	×	×	×
nackte Haut	–	×	–	–	–
Hornschuppen	–	–	×	×	–
Federn	–	–	–	×	–
Haare	–	–	–	–	×
Milchdrüsen	–	–	–	–	×

Abb. 34: Merkmalstabelle für ausgewählte Merkmale der Wirbeltiere.

Die **Haare** und die **Milchdrüsen** stimmen im Bauplan bei allen Säugetieren überein.

1. Lösungsschritt: Betrachtung homologer Merkmale

Die Haare und die Milchdrüsen sind **homologe Merkmale**.



Bei den Reptilien und Vögeln (Außengruppe) findet man nicht die Merkmale **Haare** und **Milchdrüsen** der Innengruppe.

Abb. 35: Stammbaum der Wirbeltiere (Quelle: IPN).

2. Lösungsschritt: Unterscheidung zwischen ursprünglichen und abgeleiteten Merkmalen

Die Haare und die Milchdrüsen sind **abgeleitete Merkmale** der Säugetiere.

3. Lösungsschritt: Schlussfolgerung auf die Verwandtschaftsbeziehung

Die Säugetiere bilden eine **monophyletische Gruppe**.

Die Verwandtschaftsverhältnisse der Wirbeltiere sind im Stammbaum dargestellt.

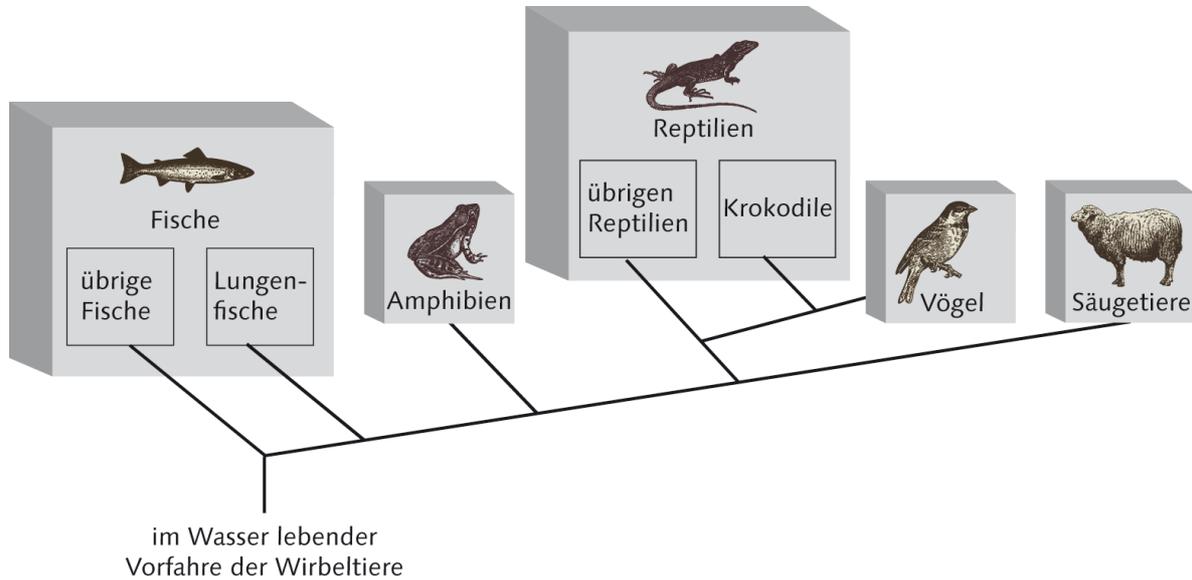


Abb. 36: **Stammbaum der Wirbeltiere** (Quelle: IPN).

Bei den fünf Wirbeltierklassen sind nur die Amphibien, Vögel und Säugetiere **monophyletische Gruppen**.

Fische und Reptilien werden anhand von **ursprünglichen Merkmalen** eingeteilt und sind somit **paraphyletische Gruppen**.