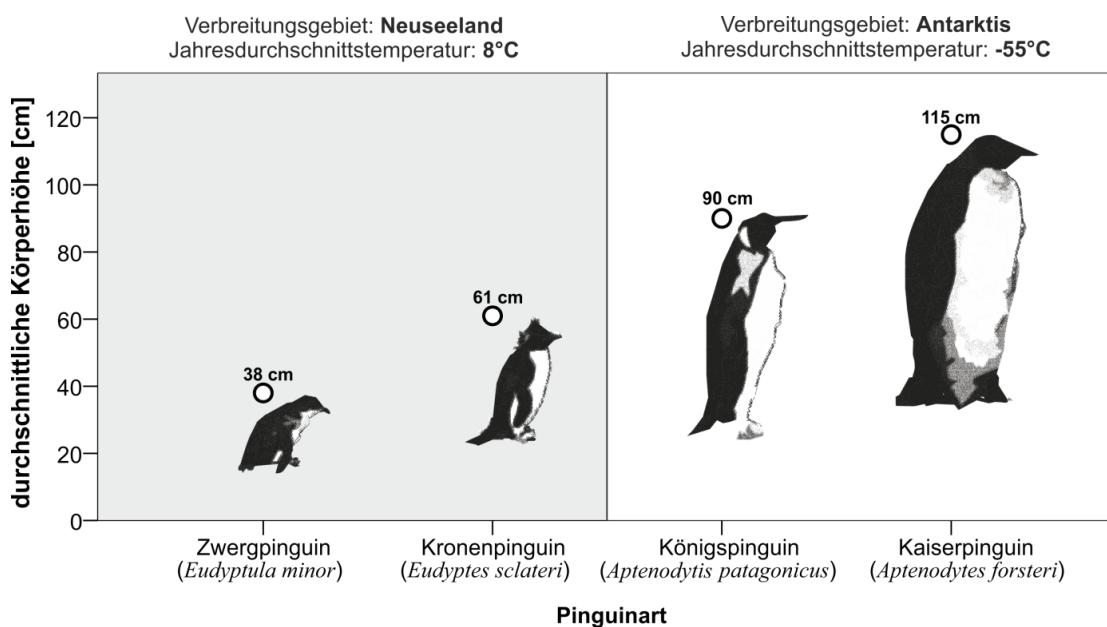


# 1. Pinguine in Reagenzgläsern?

Die Abbildung zeigt die durchschnittliche Körperhöhe von insgesamt vier Pinguinarten, die entweder in Neuseeland oder in der Antarktis verbreitet sind. Beide Lebensräume unterscheiden sich klimatisch. Während Neuseeland mit einer Jahresschnittstemperatur von 8 °C gemäßigtes Klimas aufweist, herrschen in der Antarktis extrem kalte Bedingungen. Die Jahresschnittstemperatur beträgt -55°C. Gleichzeitig haben die beiden Pinguinarten aus Neuseeland eine kleinere durchschnittliche Körperhöhe als die beiden Pinguinarten aus der Antarktis. Im Schnitt sind die beiden Pinguinarten zusammen doppelt so groß wie die Pinguinarten aus dem wärmeren Verbreitungsgebiet. Die Arten im kalten Verbreitungsgebiet sind folglich größer als die Arten im warmen Verbreitungsgebiet. Sind Arten einer Wirbeltierordnung oder mit großer Körperhöhe womöglich besser an kalte Lebensräume angepasst als kleinere Arten derselben Ordnung, weil sie weniger Wärme abgeben?



**Abb. 10.1:** Durchschnittliche Höhe vier verschiedener Pinguinarten in zwei Verbreitungsgebieten

## Fragestellung

Sind Vertreter einer Vogel- oder Wirbeltierordnung mit großer Körperhöhe besser an kalte Lebensräume angepasst als kleinere Vertreter derselben Ordnung, weil sie weniger Wärme abgeben?

## Hypothese

**A. Tiere mit größerer Körperhöhe geben weniger Wärme ab als kleinere Vertreter derselben Wirbeltierordnung.**

**Begründung** z. B.: Größere Pinguine können mehr Wärme speichern als kleinere Pinguine und sind deswegen besser vor Kälte geschützt. Der in Abbildung 10.1 dargestellte Zusammenhang ist ein Kausalzusammenhang, der auch auf andere Tierordnungen übertragen werden kann. Die Generalisierbarkeit wird auch schon mit der Bergmannschen Regel zum Ausdruck gebracht. Die Regel besagt: „Unter einigen nahe verwandten Vogel- und Säugetieren finden sich diejenigen mit den größeren Individuen in kalten Regionen, die mit den kleineren Individuen in den wärmeren Gegenden [...]“ (Bayrhuber, Hauber & Kull 2010, S. 205).

**B. Tiere mit größerer Körperhöhe geben nicht grundsätzlich weniger Wärme ab als kleinere Vertreter derselben Wirbeltierordnung.**

**Begründung** z. B.: Nach Erklärung der Bergmannschen Regel kommt man zu dem Schluss, dass der in Abbildung 10.1 dargestellte Zusammenhang kein Kausalzusammenhang ist. Darüber

hinaus ist der Zusammenhang keineswegs generalisierbar, d. h. er ist nicht auf Vertreter beliebiger Wirbeltierordnungen übertragbar. Der als Bergmannsche Regel bekannte Zusammenhang zwischen Körpergröße und Lebensraum ist nämlich auf „*die Energiebilanz gleichwarmer Tiere zurückzuführen. Diese ergibt sich aus dem Verhältnis der inneren Wärmefreisetzung und der nach außen gerichteten Wärmestrahlung. Während die Wärmefreisetzung vom Volumen des Tieres abhängt, wird die Wärmeabstrahlung von der Körperoberfläche bestimmt*“ (Bayrhuber, Hauber & Kull 2010). D. h. nicht nur die Körpergröße, sondern auch die Körperform wirkt sich auf das Maß der Wärmeabstrahlung aus. Tiere mit einem kleinen Oberflächen-Volumen-Verhältnis haben ein großes Körpervolumen bei vergleichsweise kleiner Körperoberfläche. Sie können also viel innere Wärme freisetzen und gleichzeitig weniger Wärme abstrahlen als Tiere mit dem gleichen Volumen und einer größeren Körperoberfläche.

## Planung

### Manipulierte Variablen

#### Tierordnungen mit unterschiedlicher Körperform

*Variiert als* A: schmale, langgestreckte Körperform (Reagenzgläser, d = 1,3 cm)



B: zylindrische Körperform (Bechergläser, 600 ml, d = 8,5)

C: kugelige Körperform (Bechergläser, 800 ml, d = 11)

*Erklärung* Hier wird die Wärmeabgabe eines ca. 90°C heißen Wasserkörpers an die Umgebung mit ca. 20 °C abgebildet. Wasser hat eine hohe spezifische Wärmekapazität, d. h. es gibt aufgenommene Wärme nur langsam wieder ab. Darüber hinaus ist der Wasseranteil in Vögeln und Wirbeltieren vergleichsweise hoch. Deswegen ist Wasser hier eine geeignete Modellsubstanz.

### Körperhöhe

*Variiert als* 1: klein



2: groß

*Erklärung* Die Körperhöhe wird hier als Wasserstandspiegel in cm abgebildet. Jede modellhaft abgebildete Tierordnung A, B und C wird durch einen kleineren und einen größeren Vertreter repräsentiert. D. h. es gibt jeweils einen Ansatz mit niedrigerer Füllhöhe und einen mit größerer Füllhöhe.

### Beobachtete Variable

#### Name Temperaturveränderung

*Erklärung* Nach der Starttemperatur werden alle zwei Minuten die Wassertemperaturen in den Ansätzen mit einem Thermometer gemessen.

*Beobachtet als* Temperatur in °C pro 2 Minuten Zeiteinheit und pro Ansatz

### Wichtige kontrollierte Variablen

- Starttemperatur der Ansätze einer Messreihe (ca. 90 °C), • Thermometer • Zylinderartige Grundform aller Ansätze

## Materialien und Aufbau

### Geräte

- |  |                          |                      |
|--|--------------------------|----------------------|
| • 2 Reagenzgläser und Reagenzglasständer | • 6 Thermometer          | • Wasserfester Stift |
| • 2 Bechergläser (800 ml, d = 11 cm)     | • 1 Messzylinder (10 ml) | • 2-3 Wasserkocher   |
| • 2 Bechergläser (600 ml, d = 8,5 cm)    | • 1 bis 3 Stoppuhr/en    | • Lineal             |

*Angaben für eine Experimentiergruppe, die alle Messreihen durchführt*

## Aufbau



Abb. 10.2: Experimentaufbau zu „Pingue in Reagenzgläsern“

## Durchführung

1. Zwei Wasserkocher werden mit je 1 Liter Wasser befüllt und das Wasser wird zum Kochen gebracht.
2. In der Zwischenzeit werden die Reagenzgläser wie folgt vorbereitet: Mit einem Messzylinder werden 10 ml Wasser abgemessen und in das erste Reagenzglas überführt. Mit einem wasserfesten Stift wird der Wasserpegel auf der Reagenzglasaußenseite mit einem Strich markiert. Das Reagenzglas wird nun geleert, in den Reagenzglasständer gestellt und mit der Zahl 1 beschriftet. In das zweite Reagenzglas werden zweimal 10 ml Wasser aus dem Messzylinder überführt, erneut wird der Wasserpegel kenntlich gemacht, das Wasser entleert, im Ständer platziert und mit der Zahl 2 beschriftet.
3. Nun werden insgesamt drei Messreihen A, B und C aufgebaut. Dazu werden die unten in der Tabelle aufgeführten Reagenzgläser (RG) und Bechergläser (BG) mit unterschiedlichen Volumina sortiert, beschriftet und jeweils mit einem Thermometer versehen.

A: schmale, langgestreckte Körperform (RG, d = 1,3 cm)

B: zylindrische Körperform (BG 600 ml, d = 8,5 cm)

C: kugelige Körperform (BG 800 ml, d = 11 cm)

Körperhöhe zweier verwandter Arten	A1	A2	Körperhöhe zweier verwandter Arten	B1	B2	Körperhöhe zweier verwandter Arten	C1	C2
Wasservolumen [ml]	10	20	Wasservolumen [ml]	100	500	Wasservolumen [ml]	500	700

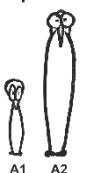
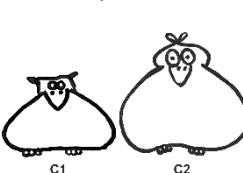
4. Die Messreihen sollten arbeitsteilig oder nacheinander durchgeführt werden.
5. Für jede Messreihe gilt folgende Anweisung: Die Gläser 2 und 1 werden nacheinander mit kochendem Wasser aus dem Wasserkocher entsprechend der in den Tabellen angeführten Volumina befüllt. Es wird ein Startzeitpunkt der Temperaturmessung bestimmt. Zum Startzeitpunkt sollte das Wasser in beiden Gläsern die gleiche Temperatur aufweisen (ca. 90°C). Die Starttemperaturen werden notiert. Anschließend wird die Wassertemperatur in beiden Gläsern alle 2 Minuten abgelesen. Nach 5 bis 6 Messergebnissen kann die Temperaturmessung beendet werden. Nun wird bei beiden Gläsern die Wasserpegelhöhe ausgemessen und notiert.

## Auswertungsaufgaben

1. Erstellen Sie ein Punktdiagramm (1). Tragen Sie dabei die Zeit in Minuten auf der x-Achse und die Wassertemperatur in °C auf der y-Achse auf. Verwenden Sie für jede Messreihe A, B und C eine andere Punktform, für jedes Glas eine andere Punktfarbe und verweisen Sie in einer Legende auf Messreihen und Gläser.
2. Berechnen Sie für jede Messreihe die Temperaturdifferenz zwischen Startzeitpunkt und der letzten Messung. Erstellen Sie ein Balkendiagramm (2). Tragen Sie dabei die Wasserpegelhöhe in cm auf der x-Achse und die Temperaturdifferenz in °C auf der y-Achse auf. Verwenden Sie für jede Messreihe eine andere Farbe und beschriften Sie jeden Balken mit der Glasnummer und verweisen Sie in einer Legende auf die Messreihen.

3. Berechnen Sie für jeden Ansatz die Oberfläche (O) und das Volumen-Oberflächenverhältnis und notieren Sie in einer Tabelle. (TIPP: Die Formel für die Oberfläche eines Zylinders lautet:  $O = 2\pi r^2 + 2\pi rh$ ).
4. Erstellen Sie ein drittes Balkendiagramm (3). Tragen Sie dabei die Oberfläche in  $\text{cm}^2$  auf der x-Achse und die Temperaturdifferenz in  $^\circ\text{C}$  auf der y-Achse auf. Verwenden Sie für jede Messreihe eine andere Farbe und beschriften Sie jeden Balken mit der Glasnummer und verweisen Sie in einer Legende auf die Messreihen.
5. Erstellen Sie ein vierthes Punktdiagramm (4). Tragen Sie dabei das Oberflächen-Volumen-Verhältnis auf der x-Achse und die Temperaturdifferenz auf der Y-Achse auf. Verwenden Sie für jede Messreihe A, B und C eine andere Punktform, für jedes Glas eine andere Punktfarbe und verweisen Sie in einer Legende auf Messreihen und Gläser.

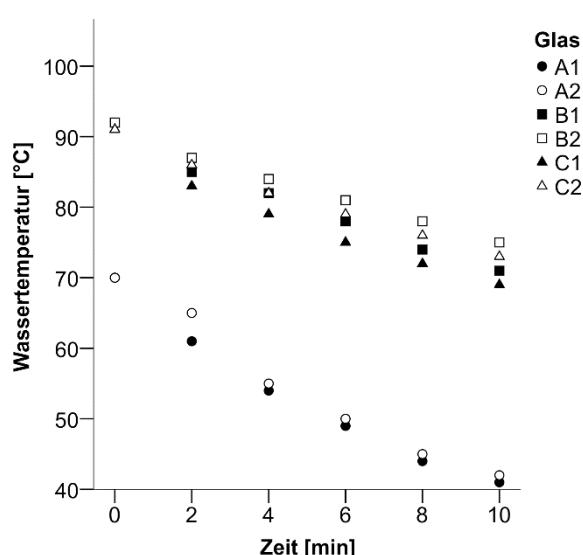
## Beobachtung

Zeit [min]	Wassertemperatur [ $^\circ\text{C}$ ]					
	Messreihe A		Messreihe B		Messreihe C	
	A 1	A 2	B 1	B 2	C 1	C 2
0	70	70	92	92	91	91
2	61	65	85	87	83	86
4	54	55	82	84	79	82
6	49	50	78	81	75	79
8	44	45	74	78	72	76
10	41	42	71	75	69	74
Füllhöhe[cm]	7,3	14,7	1,8	8,8	6,5	9,0
Fantasievögel, die die Körperformen und Körperhöhen repräsentieren:	Körperform A 	Körperform B 	Körperform C 			

## Auswertung und Schlussfolgerung

### a. Auswertung

1. Wassertemperatur in Abhängigkeit von der Zeit



### b. Schlussfolgerungen

1. Wassertemperatur in Abhängigkeit von der Zeit

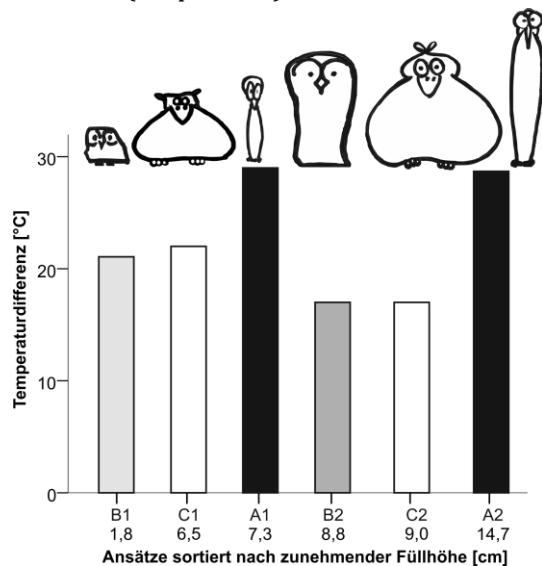
Glas

- A1
- A2
- B1
- B2
- ▲ C1
- △ C2

Mit der Zeit nimmt die Temperatur in allen Gläsern ab. Wärme wird aus dem heißen Wasserkörper an die kältere Umgebung abgegeben. Zusätzlich nimmt mit zunehmenden Füllvolumen die Temperatur langsamer ab. Die Unterschiede sind allerdings sehr klein und schwierig zu interpretieren. Die Wärmeabgabe vollzieht sich in den kleinen Reagenzgläsern schneller als in den anderen Gläsern. Obwohl die Temperaturdifferenz zwischen Wasserkörper und Umgebung im Vergleich zu den anderen Messreihen geringer ist, fallen die Temperaturwerte steiler ab.

### a. Auswertung

2. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Füllhöhe (Körperhöhe)



### b. Schlussfolgerungen

2. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Füllhöhe (Körperhöhe)

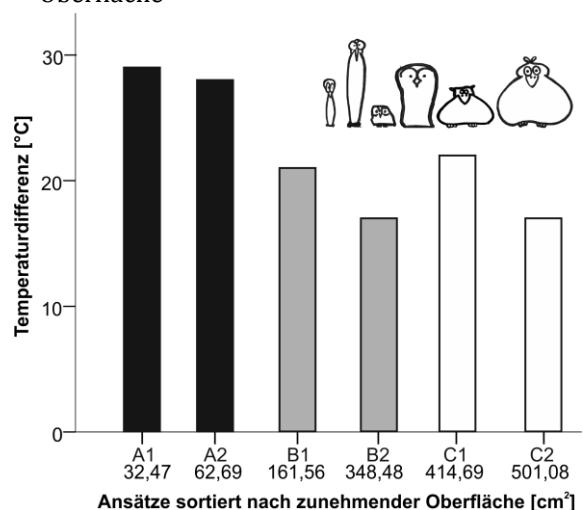
Anhand des Diagramms zur Temperaturdifferenz in Abhängigkeit der Körperhöhe lässt sich ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Temperaturabgabe nicht bestätigen. Je größer die Körperhöhe, desto geringer die Temperaturdifferenz (Temperaturabgabe) gilt nicht zwischen weit entfernten Tierarten. Auch innerhalb der Messreihen lässt sich dieser Zusammenhang nicht einheitlich bestätigen. Die Reagenzgläser, die hier eine Tierordnung mit langgestrecktem Körperbau repräsentieren, haben unterschiedliche Füllhöhen (Körperhöhen), geben aber vergleichbar viel Wärme an die Umgebung ab. Dieses Ergebnis stützt die Hypothese B mehr als Hypothese A.

3. Berechnung der Oberfläche und des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses

Messreihe	A		B		C	
	RG1	RG 2	BG 1	BG2	BG 1	BG 2
Glas						
Füllhöhe [cm]	7,30	14,70	1,80	8,80	6,50	9,00
Glas-Durchmesser [cm]	1,30	1,30	8,50	8,50	11,00	11,00
Glasradius [cm]	0,65	0,65	4,25	4,25	5,50	5,50
Wasservolumen [ml]	10,00	20,00	100,00	500,00	500,00	700,00
Temperaturdifferenz [°C]	29,00	28,00	21,00	17,00	22,00	17,00
Oberfläche [cm <sup>2</sup> ]	= 0,85π + 9,49π = 10,34π = 32,47	= 0,845π + 19,11π = 19,96π = 62,69	= 36,13π + 15,30π = 51,43π = 161,56	= 3613π + 74,8π = 110,93π = 348,48	= 60,50π + 71,50π = 132,00π = 414,69	= 60,50π + 99π = 159,50π = 501,08
OVV* [cm <sup>2</sup> /ml]	3,25	3,13	1,62	0,70	0,83	0,72

OVV:= Oberflächen-Volumen-Verhältnis

4. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Oberfläche

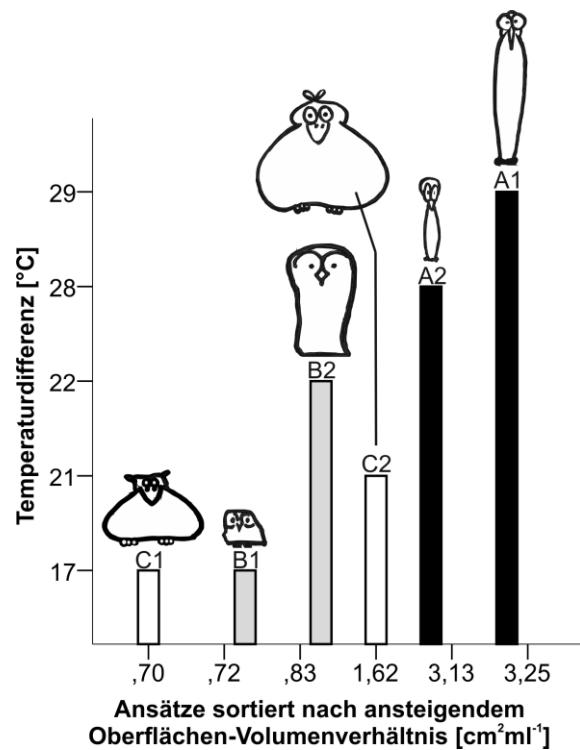


4. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Oberfläche

Wird die Temperaturdifferenz in Abhängigkeit der Körperoberfläche abgebildet, zeigt sich innerhalb der Messreihen der Trend: Je größer die Körperoberfläche, desto geringer ist die Wärmeabgabe an die Umgebung. Dieses Ergebnis ist kontrainduktiv. Theoretisch begründbar wäre, dass die Wärmeabgabe an die Umgebung mit zunehmender Oberfläche steigt. Die Oberfläche alleine kann demnach nicht als Variable herangezogen werden, um unterschiedlichen Körpergrößen nahe verwandter Arten in Verbreitungsgebieten mit unterschiedlichen Temperaturbedingungen zu erklären.

### a. Auswertung

5. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von dem Oberflächen-Volumen-Verhältnis



### b. Schlussfolgerungen

5. Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von dem Oberflächen-Volumen-Verhältnis

Die Abbildung der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses zeigt den nach der Erklärung der Bergmannschen Regel vorhergesagten Zusammenhang. Je größer das Oberflächen-Volumen-Verhältnis in einer Gruppe nahe verwandter Arten (mit vergleichbarer Körperform), desto größer ist die Wärmeabgabe nach außen. Zwischen weiter verwandten Arten gilt diese Beziehung allerdings nicht, wie die Ansätze C2 und B2 zeigen. Nach Bergmann erklärt sich dieser Zusammenhang durch die Energiebilanz gleichwärmer Tiere. Diese wiederum ergibt sich aus dem Verhältnis der inneren Wärmefreisetzung und der nach außen gerichteten Wärmestrahlung. Während die Wärmefreisetzung vom Volumen des Tieres abhängt, wird die Wärmeabstrahlung von der Körperoberfläche bestimmt (Bayrhuber, Hauber & Kull 2010).

## Lehrplanbezug

### Gymnasium Sek. II (Qualifikationsphase, GK, LK)

Inhaltsfeld	Ökologie / Angepasstheit
Kompetenzbereich und -erwartung	<b>Erkenntnisgewinnung:</b> „Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Aussagekraft von biologischen Regeln (u. a. tiergeographische Regeln) und grenzen diese von naturwissenschaftlichen Gesetzen ab (E7).“ (MSW-NRW, 2013, S. 32, 41).

### Gesamtschule (Progressionsstufe 2)

Inhaltsfeld	Lebensräume und Lebensbedingungen / extreme Lebensräume / Temperatur und Wärme
Kompetenzbereich und -erwartung	<b>Erkenntnisgewinnung:</b> „Die Schülerinnen und Schüler können Vermutungen zur Angepasstheit bei Tieren begründen und Experimente zur Überprüfung planen und durchführen (E3, E4, E5, E6)“ (MSW-NRW, 2011a, S. 33, 66). „Die Schülerinnen und Schüler können Messreihen (u. a. Temperaturveränderungen) durchführen und zur Aufzeichnung der Messdaten einen angemessenen Messbereich und sinnvolle Zeitintervalle wählen (E5, K3)“ (MSW-NRW, 2011a, S. 34).