

## Lehrerhandreichung zur Experimentiereinheit „Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität“

### Bestandteile der Experimentiereinheit:

Die Schüler:

- wenden eigenständig naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden (Beobachten, Vergleichen, Experimentieren) an
- halten ihre Beobachtungen in mathematischen Darstellungen fest
- lernen den ökologischen Faktor Temperatur und dessen Toleranzbereich bei Hefe kennen
- beschäftigen sich mit der Wirkungsweise von Enzymen
- setzen sich mit dem Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität und der RGT-Regel auseinander
- befassen sich mit den Möglichkeiten eines Weblogs zum Austausch über Experimente

### 1. Zur Vorbereitung:

Stellen Sie zum Experimentieren für jede Gruppe (je 5-6 Personen) folgende Gerätschaften bereit:



3 große Messbecher (a 1000ml)



3 Messzylinder aus Glas  
(a 100ml)



3 kleine Messbecher (a 100ml)



3 Thermometer



3 Trichter



3 Plastikpipetten



1 Stoppuhr



Hefe (pro Gruppe 6g)



Zucker (pro Gruppe 15g)

Zusätzlich benötigen Sie noch: Waage (Messgenauigkeit 1g) und Wasserkocher.

Achten Sie darauf, die Messzylinder vor dem Versuch sorgfältig mit Spülmittel zu entfetten.

Drucken Sie für die Schüler das Beobachtungsprotokoll und gegebenenfalls die Wissensboxen zum Versuch (Enzyme als Biokatalysatoren, Der Einfluss der Temperatur auf die Hefe- und Enzymaktivität) aus.

Die Schüler können den Versuch mithilfe der Videoanleitung im Kniffelix Blog selbstständig durchführen. Besitzen Sie im Klassenraum keinen Internetzugang, finden Sie die Durchführungsanleitung ebenso in dieser PDF.



## 2. Versuch:

-  Die Videoanleitung und die Wissensboxen zum Versuch gibt es für die Schüler unter:  
[kniffelix.rz.tu-harburg.de/blog/2017/05/12/its-gonna-be-hot-einfluss-der-temperatur-auf-die-hefeaktivitaet](http://kniffelix.rz.tu-harburg.de/blog/2017/05/12/its-gonna-be-hot-einfluss-der-temperatur-auf-die-hefeaktivitaet)
-  Zweck des Experiments ist es, zu untersuchen, wie aktiv Hefe bei verschiedenen Temperaturen (bei 25°C, 35°C oder 45°C) ist.
-  Während des Versuchs messen die Schüler das Volumen des Hefeschums in den Messzylindern und ziehen daraus Rückschlüsse auf die Hefeaktivität.
-  Ihre Beobachtungen tragen die Schüler zunächst in eine Tabelle ein. Anschließend übertragen sie die Daten in ein Koordinatensystem.
-  Zum Schluss berechnen die Schüler, inwieweit die RGT-Regel auf die Hefeaktivität anwendbar ist.
-  Planen Sie am Ende Zeit zum Aufräumen und Spülen der Zylinder ein.

---

## 3. Besprechung der Ergebnisse:

Im Rahmen des Versuchs lernen die Schüler am Beispiel von Hefepilzen (Backhefe) den Umweltfaktor Temperatur kennen und untersuchen, inwieweit die Reaktionsgeschwindigkeitsregel (RGT-Regel) auf die Hefeaktivität anwendbar ist. Näheres zu den Themen finden Sie und die Schüler in den Wissensboxen.

Neben Zucker benötigt Hefe Wärme, um aktiv zu werden. Ein Indiz für die Aktivität ist der Hefeschaum, der sich bei der Umwandlung von Zucker in Energie bildet. Hefe zeigt ab einer Temperatur von -15°C Aktivität. Das Temperaturoptimum liegt zwischen 30°C und 40°C. Ab einer Temperatur von 70°C sterben Hefepilze ab. Der Toleranzbereich erstreckt sich somit von -15°C bis 70°C.

Die Hefe müsste demnach bei 35°C am meisten Schaum bilden und somit am aktivsten sein. So ließe sich zwar eine Erhöhung der Aktivität von 25°C zu 35°C feststellen, von 35°C zu 45°C nimmt die Hefeaktivität jedoch wieder ab. Hier lässt sich eine Einschränkung der RGT-Regel ableiten: Sie gilt nur bis zum Temperaturoptimum eines Organismus.

Ihre Ergebnisse können die Schüler im Kniffelix Blog teilen und mit denen der anderen Versuchsgruppen vergleichen. Dabei können und sollen sie sich gern auch über abweichende Ergebnisse und mögliche Fehlerquellen beim Experimentieren austauschen.



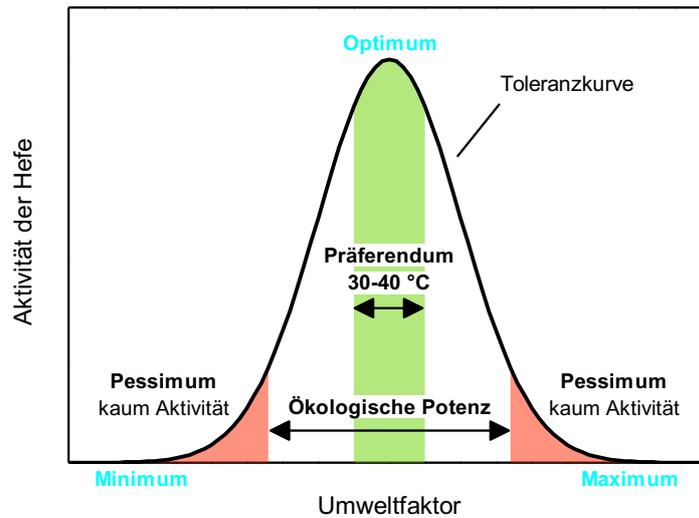


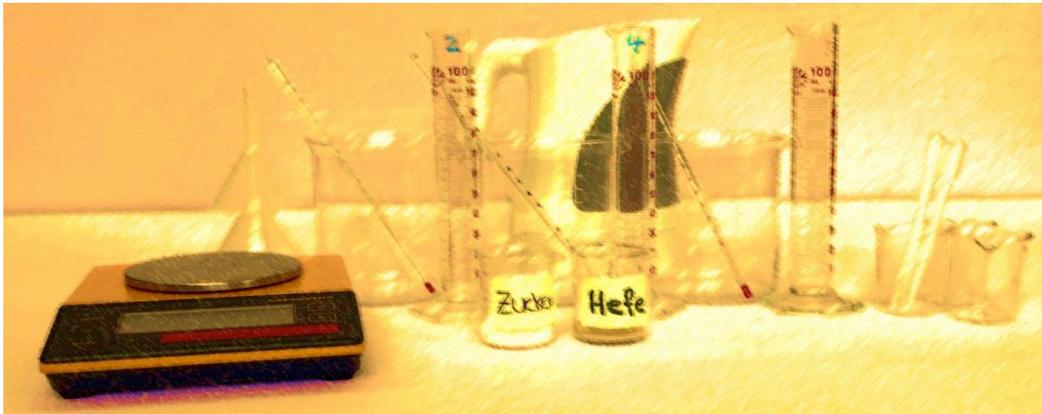
Abb.: Schematisch dargestellte Toleranzkurve für einen Umweltfaktor (z. B. Temperatur)

Mögliche Ursachen für abweichende Versuchsergebnisse:

-  **Wärmeleitfähigkeit des Messzylindermaterials:** Messzylinder aus Glas leiten die Temperatur aus dem Wasserbecken besser als beispielsweise Plastik.
-  **Messzylinder wurden im Vorfeld nicht ausreichend entfettet:** Durch das Fett im Zylinder wird die Schaumentwicklung gehemmt.
-  **Asynchrone Versuchsdurchführung:** Um die Versuchsergebnisse miteinander vergleichen zu können, müssen die Reaktionen in den Messzylindern zeitgleich ablaufen. Aus diesem Grund müssen die Hefe-Zucker-Gemische gleichzeitig in die Messzylinder gegeben und umgerührt werden. Ebenso müssen die Schaumwerte zeitgleich abgelesen werden.
-  **Keine konstante Temperatur im Wasserbecken:** Kühlt sich die Temperatur im Wasserbecken während der Versuchsdauer ab, verfälscht das die Ergebnisse.

## Versuch: It's gonna be hot! - Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität

### Materialien:



- 3 große Messbecher
- 3 Messzylinder (Volumen von 100ml)
- 3 kleine Messbecher
- 3 Trichter
- 3 Pipetten
- 3 Thermometer (zugleich **Rührstäbe**)
- 1 Waage
- Stoppuhr
- 6g Hefe
- 15g Zucker
- Wasser in 25°C, 35°C und 45°C
- Wasserkocher

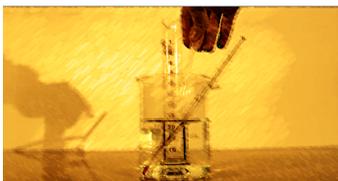
### Versuchsvorbereitung und -aufbau



1. Be a Team! Bildet eine Gruppe von 5-6 Personen.



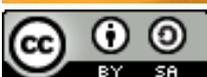
2. Bereitet Wasser in 25°C, 35°C und 45°C vor und befüllt damit je einen großen Messbecher. Achtet darauf, dass ihr den Wasserbecher nur bis zu einem Viertel mit Wasser füllt.



3. Stellt eure Standzylinder in die Wasserbecken. Befüllt eure Messzylinder mithilfe der Pipetten mit 20ml Wasser.



4. Wiegt dreimal 2g Hefe ab und mischt sie jeweils mit 5g Zucker.



## 5. Verteilt folgende Aufgaben in eurer Gruppe:



Der **Zeitwächter** guckt auf die Uhr und sagt alle 30 Sekunden Bescheid.



Der **Temperaturwächter** kontrolliert die Temperaturen in den Messzylindern und versucht sie konstant zu halten.



Drei **Protokollanten** beobachten jeweils einen Messzylinder. Immer wenn der Zeitwächter Bescheid gibt, notieren sie den Wert des Messzylinders.

Der mögliche **Beobachter** beobachtet die Zusammenarbeit in der Gruppe. Er achtet während der Versuchsdurchführung auf mögliche Auffälligkeiten des Versuches und notiert diese.

## Versuchsdurchführung



1. Get started! Nutzt die Trichter, um das Hefe-Zucker-Gemisch in die Messzylinder zu geben. Achtet darauf, dass ihr das Gemisch alle **gleichzeitig** in die Zylinder gebt und es **nicht** die Wand des Zylinders berührt!



2. Die Protokollanten rühren für 10 Sekunden die Mischungen in den Messzylindern um. Nutzt hierzu eure Thermometer als Rührstäbe. Der Zeitwächter gibt ein Startsignal vor und ruft nach 10 Sekunden Stopp. Mit dem Stoppsignal hören alle auf zu rühren und der Zeitwächter beginnt, die Zeit zu stoppen.



3. Der Zeitwächter gibt für 10 Minuten alle 30 Sekunden das Signal zu Abmessen und die Protokollanten notieren ihre Beobachtungen im Beobachtungsbogen. Während des Experiments achtet der Temperaturwächter auf eine gleichbleibende Temperatur in den Messzylindern.

# Versuch: It's gonna be hot! - Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität

## Beobachtungsprotokoll

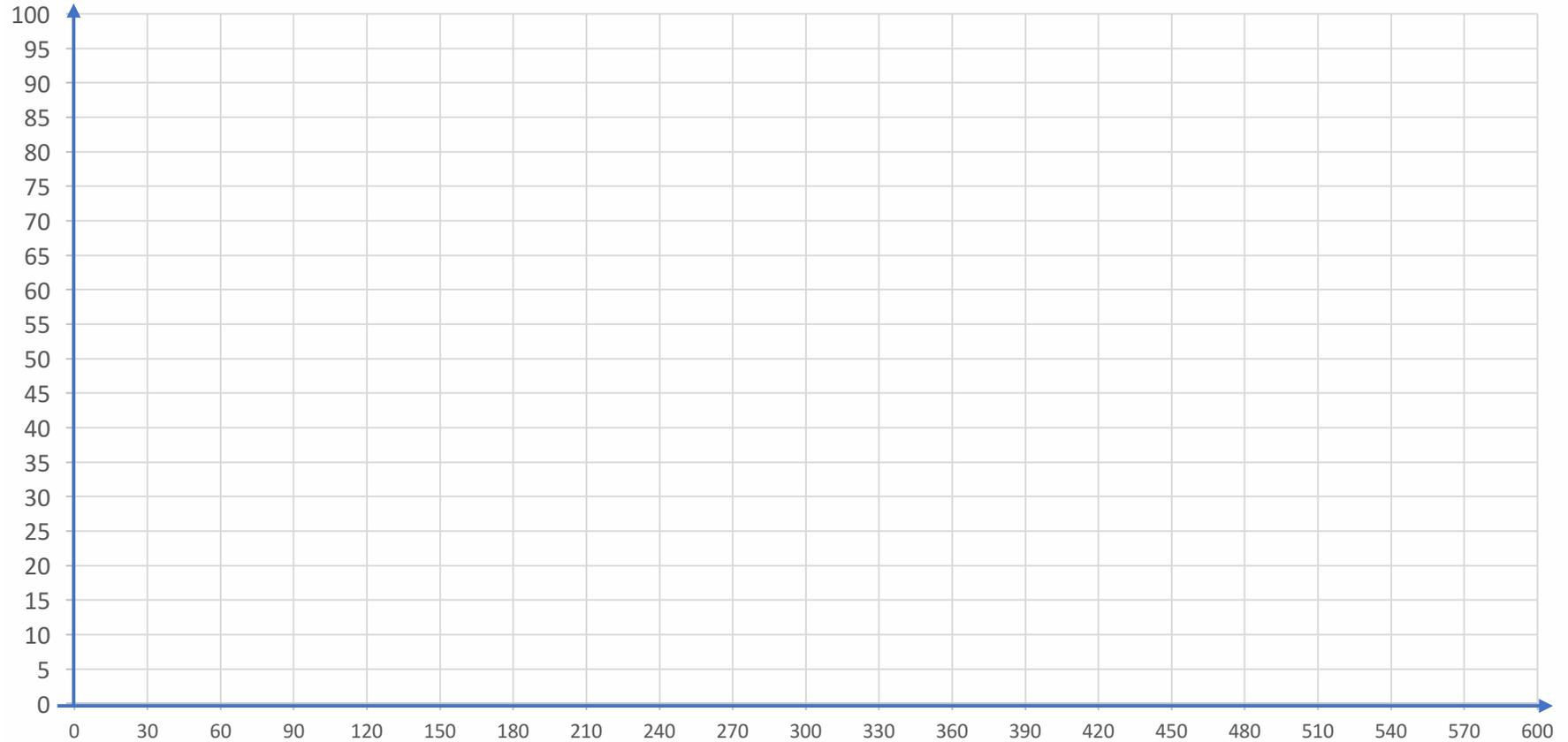
Zeit in Sekunden	Volumen in Milliliter bei 25°C	Volumen in Milliliter bei 35°C	Volumen in Milliliter bei 45°C
30			
60			
90			
120			
150			
180			
210			
240			
270			
300			
330			
360			
390			
420			
450			
480			
510			
540			
570			
600			



## Versuch: It's gonna be hot! - Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität

Visualisiere deine Versuchsergebnisse in dem untenstehenden Koordinatensystem.

Hefeaktivität bei verschiedenen Temperaturen



Legende:

□ 25 °C

Farbe

□ 35 °C

Farbe

□ 45 °C

Farbe





## Versuch: It's gonna be hot! - Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität

Errechne die durchschnittliche Reaktionsgeschwindigkeit der Hefe für die unterschiedlichen Temperaturen.

Temperatur	25°C	35°C	45°C
durchschnittliche Reaktionsgeschwindigkeit	ml/min	ml/min	ml/min

Ermittle die  $Q_{10}$ -Werte für die Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit.

$$Q_{10} (35-25) = \left[ \frac{\text{[ ]}}{\text{[ ]}} \right] =$$

$$Q_{10} (45-35) = \left[ \frac{\text{[ ]}}{\text{[ ]}} \right] =$$

## Enzyme als Biokatalysatoren

Enzyme ermöglichen den Ablauf unserer Lebensprozesse. Sie zählen zur Stoffgruppe der Proteine und werden auch Eiweiße genannt. Proteine kommen in den Zellen aller Lebewesen vor. Sie bestehen aus einer einzelnen oder aus mehreren miteinander verknüpften **Aminosäureketten**. In unserem Körper üben Proteine eine Vielzahl von Funktionen aus und beschleunigen den Ablauf von Stoffwechselreaktionen. Daher werden Enzyme auch als **Biokatalysatoren** bezeichnet.

**Katalysatoren beeinflussen die Geschwindigkeit einer Reaktion, indem sie die Aktivierungsenergie der zu reagierenden Teilchen herabsetzen (Abb. 1).** Als Aktivierungsenergie bezeichnet man die Energie, die eingesetzt werden muss, um einen energetisch höhergelegenen **Übergangszustand** zu erreichen, damit überhaupt eine Reaktion stattfindet.

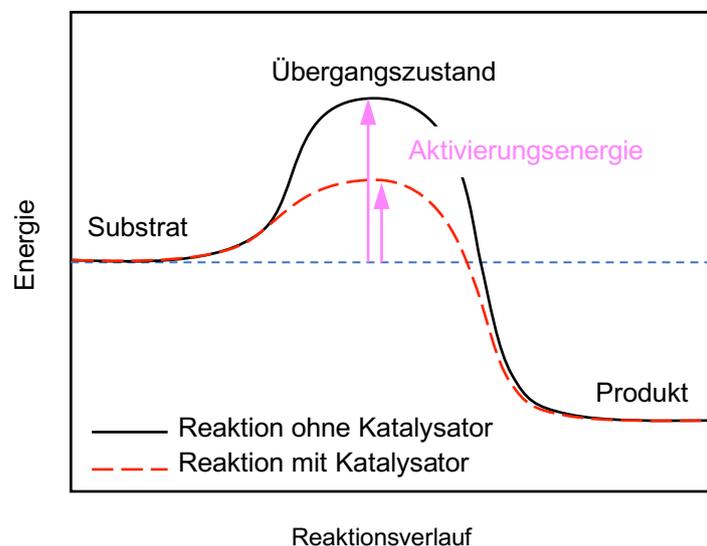


Abb. 1: Verringerung der Aktivierungsenergie durch einen Katalysator zur Erreichung eines Übergangszustands.

Um die Aktivierungsenergie herabzusetzen, bindet ein Enzym ein Molekül, das sogenannte **Substrat**, an sich. Die „Andockstelle“ wird als **aktives Zentrum** bezeichnet. Enzyme sind **substratspezifisch**. Das bedeutet, dass nur ein bestimmtes Substrat im aktiven Zentrum gebunden werden kann. Enzym und Substrat passen zusammen, wie der Schlüssel zu einem Schloss. Man spricht daher vom **Schlüssel-Schloss-Prinzip**.

Zusammen bilden Enzym und Substrat den **Enzym-Substrat-Komplex**. Im aktiven Zentrum werden Substratmoleküle gespalten oder miteinander verknüpft. Infolgedessen entstehen ein oder mehrere **Produkte**. Enzyme sind **wirkungsspezifisch**. Das bedeutet, dass Substrate immer auf die gleiche Weise zu den gleichen Produkten umgesetzt werden. Nach der Umsetzung trennen sich Enzym und Produkt(e) wieder voneinander. Das **Enzym** wird bei der Umsetzung **nicht verbraucht** und steht **unverändert** weiteren Reaktionen zur Verfügung.

## Quellen:

Dieses Dokument wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Oberstufenprofil Ökosystemforschung von Olaf Zeiske an der Goethe Schule Harburg und Kinderforscher an der TUHH erstellt. Die Inhalte beruhen auf Stundenmitschriften unter Verwendung der Schulbücher:

Baron et al. (2010): *Genetik*. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 7. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

Philipp et al. (2010): *Ökologie*. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 6. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

## Nützliche Links zum Thema:

[www.sofatutor.com/biologie/videos/enzyme-bau-und-wirkungsweise](http://www.sofatutor.com/biologie/videos/enzyme-bau-und-wirkungsweise)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

[www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/enzyme](http://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/enzyme)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

[www.chemie.de/lexikon/Enzym.html](http://www.chemie.de/lexikon/Enzym.html)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)



## Der Einfluss der Temperatur auf die Hefeaktivität

Hefen sind Pilze und einzellige Mikroorganismen, die wie wir Menschen, bestimmte Bedingungen zum Leben brauchen. Eine davon ist Wärme. Die Wärme in der Umgebungstemperatur nimmt Einfluss auf die Lebensfähigkeit und die Stoffwechselprozesse der Hefe. Man nennt eine solche Einflussgröße auch **Umweltfaktor**. Die Temperatur zählt zu den **abiotischen Umweltfaktoren**, da sie Teil der unbelebten Umgebung ist.

Einen weiteren Umweltfaktor, der auf die Hefe einwirkt, lernst du beim Experimentieren kennen. So benötigt sie Zucker, welcher ihr als Nahrung dient. Lebewesen besitzen für jeden Umweltfaktor einen definierten Bereich, in dem sie existieren können, den sogenannten **Toleranzbereich**. Der Toleranzbereich für die Temperatur liegt bei der Hefe zwischen  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**Minimum**) und  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**Maximum**).

Die Werte für Minimum und Maximum bilden die äußeren Grenzen der Lebensaktivität eines Organismus. Die Aktivität des Organismus ist an diesen Punkten am niedrigsten. Zwischen  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist die Aktivität der Hefe hingegen am höchsten. Hier ist die optimale Temperatur für Wachstum und Vermehrung gegeben. Da die Hefe diesen Temperaturbereich bevorzugt, also eine Präferenz für diesen zeigt, spricht man auch vom **Präferendum**. Der Wert, bei dem für die Hefe die bestmöglichen Bedingungen vorliegen wird in diesem Zusammenhang als biologisches **Optimum** bezeichnet. In diesem Bereich ist die Hefe am aktivsten. Anhand einer **Toleranzkurve** kann gezeigt werden, wie sich die Intensität der Lebensvorgänge in Abhängigkeit von einem Umweltfaktor verändert (Abb. 1).

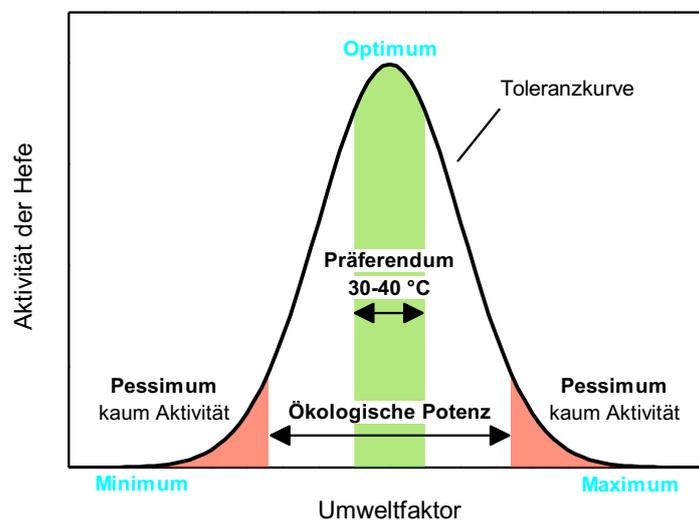


Abb. 1: Schematisch dargestellte Toleranzkurve für einen Umweltfaktor (z. B. Temperatur)

Nahе des Minimal- und des Maximalwertes kann ein Organismus gerade noch überleben. Ein Wachstum bzw. eine Vermehrung findet joch nicht mehr statt. Diese Bereiche nennt man auch **Pessima** (einfach: Pessimum). Die **ökologische Potenz** bezeichnet hingegen den Bereich, in dem ein Organismus ohne große Einschränkung seiner Lebensprozesse leben kann. Er umfasst den Toleranzbereich abzüglich der Pessima.



### Quellen:

Dieses Dokument wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Oberstufenprofil Ökosystemforschung von Olaf Zeiske an der Goethe Schule Harburg und Kinderforscher an der TUHH erstellt. Die Inhalte beruhen auf Stundenmitschriften unter Verwendung der Schulbücher:

Baron et al. (2010): Genetik. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 7. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

Philipp et al. (2010): Ökologie. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 6. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

### Nützliche Links zum Thema:

[www.philippbauer.de/info/bio/toleranzbereich/](http://www.philippbauer.de/info/bio/toleranzbereich/)

(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

[www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/oekologische-potenz](http://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/oekologische-potenz)

(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)



## Der Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität

Die **Reaktionsgeschwindigkeit** einer Reaktion ist abhängig von der Umgebungstemperatur. Das gilt auch für Reaktionen, welche durch Enzyme bereits beschleunigt ablaufen.

Wärme begünstigt den Ablauf biochemischer Reaktionen. Sie liefert Energie, wodurch die Eigenbewegung einzelner Teilchen bzw. Moleküle beschleunigt wird. Somit kommt es häufiger zu wirksamen Zusammenstößen der Teilchen. So verhält es sich auch zwischen Enzym und Substrat, wodurch eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur resultiert.

Dieser Umstand wird als sogenannte Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel, kurz **RGT-Regel**, bezeichnet. **Diese Faustregel besagt, dass chemische Reaktionen bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C etwa zwei- bis viermal so schnell ablaufen.**

Den Faktor, um den die Reaktionsgeschwindigkeit steigt, wenn die Temperatur um 10°C erhöht wird, wird **Q<sub>10</sub>-Wert** genannt und wird wie folgt berechnet:

$$Q_{10} = \left( \frac{V_{T2}}{V_{T1}} \right)$$

Legende:

V = Reaktionsgeschwindigkeit bei den Temperaturen T1 und T2

T1 = niedrigere der beiden Temperaturen

T2 = 10 Grad höhere Temperatur

Die RGT-Regel gilt jedoch nur bis zu einem gewissen Temperaturmaximum eines Organismus. Da Enzyme komplexe Proteinstrukturen beinhalten, bewirkt eine Erhöhung der Temperatur nicht nur eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit, sie zieht ab einer bestimmten Temperatur auch eine Strukturveränderung der Enzyme (**Konformationsveränderung**) nach sich. Oberhalb des Temperaturmaximums hat die fortschreitende Strukturveränderung zur Folge, dass Enzyme Substrate nicht mehr richtig binden können. Wird es zu heiß, wird die Enzymstruktur unumkehrbar (irreversibel) zerstört, man spricht von der **Denaturierung** des Proteins.

## Quellen:

Dieses Dokument wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Oberstufenprofil Ökosystemforschung von Olaf Zeiske an der Goethe Schule Harburg und Kinderforscher an der TUHH erstellt. Die Inhalte beruhen auf Stundenmitschriften unter Verwendung der Schulbücher:

Baron et al. (2010): Genetik. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 7. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

Philipp et al. (2010): Ökologie. Grüne Reihe: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie. 6. Auflage. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg.

## Nützliche Links zum Thema:

[www.bio-kompakt.de/stoffwechsel/enzyme/abhaengigkeit-der-enzymwirkung](http://www.bio-kompakt.de/stoffwechsel/enzyme/abhaengigkeit-der-enzymwirkung)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

[www.sofatutor.com/biologie/videos/enzyme-einfluesse-auf-die-enzymaktivitaet](http://www.sofatutor.com/biologie/videos/enzyme-einfluesse-auf-die-enzymaktivitaet)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

[www.klett.de/web/uploads/assets/31/317c9831/DO01045375\\_S098\\_S099.pdf](http://www.klett.de/web/uploads/assets/31/317c9831/DO01045375_S098_S099.pdf)  
(zuletzt abgerufen am 19.04.2017)

