

**Vorgesehene Bearbeitungsdauer für diese Aufgabe:** **75 Minuten**

Gesamtdauer der Klausur gemäß VV zu § 14 Absatz 1 APO-GOST: 135–180 Minuten

## **Thema: Die Regulation des Glucoseabbaus**

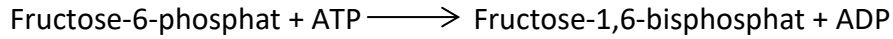
Die Glykolyse ist der zentrale Prozess im Energiestoffwechsel aller Lebewesen. Sie beinhaltet den Abbau von Glucose zu Pyruvat, welches in den Citratzyklus eingehen kann, und dient der Bereitstellung von Energie. Die Regulation des Glucoseabbaus ist von entscheidender Bedeutung für den Organismus.

### **Aufgabenstellung:**

1. Stellen Sie die Bedeutung von  $\text{NADH} + \text{H}^+$  für die ATP-Erzeugung in Mitochondrien dar. (3 BE)
2. Beschreiben Sie die in Abbildung 1 gezeigten Ergebnisse (M 1). Analysieren Sie diese im Hinblick auf die Regulation der Phosphofruktokinase (M 1). (9 BE)
3. Erklären Sie die in Abbildung 2 gezeigten Zusammenhänge (M 3). Erläutern Sie die physiologische Bedeutung dieser Regulation im Hinblick auf den Abbau der Glucose (M 3). (14 BE)
4. Beurteilen Sie, inwiefern die Einnahme von Niacin-Präparaten zu „mehr Energie“ führen kann (M 1 bis M 3). (4 BE)

### M 1 Das Enzym Phosphofructokinase

In eukaryotischen Zellen wird der Glucoseabbau an mehreren Stellen reguliert. Eine zentrale Rolle kommt dabei dem Enzym Phosphofructokinase (PFK) zu. Es katalysiert folgende Reaktion:



In einer Untersuchung wurde die relative Reaktionsgeschwindigkeit der Fructose-1,6-bisphosphat-Synthese bei konstanter Konzentration von Fructose-6-Phosphat untersucht (Abbildung 1).

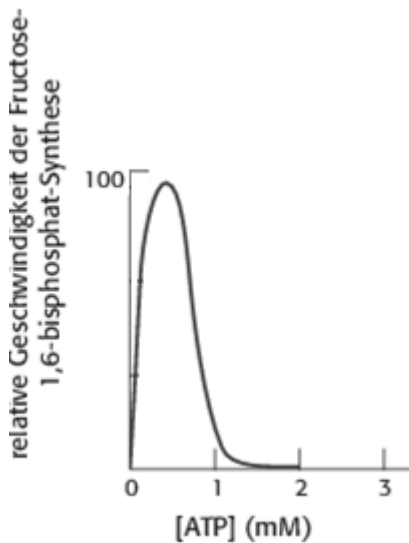


Abbildung 1 Relative Reaktionsgeschwindigkeit der Synthese von Fructose-1,6-bisphosphat durch die Phosphofructokinase in Abhängigkeit von der ATP-Konzentration

## M 2 Das Enzym Pyruvatdehydrogenase

Ein weiteres Schlüsselenzym beim Glucoseabbau ist die Pyruvatdehydrogenase (PDH). Dieses Enzym katalysiert die oxidative Decarboxylierung und wird in seiner Aktivität durch verschiedene Faktoren reguliert (Abbildung 2). Kinasen sind Enzyme, die eine Phosphatgruppe von ATP auf andere Substrate übertragen, Phosphatasen sind Enzyme, die die gegenteilige Reaktion einer Kinase bewirken. Eine hohe Konzentration an Calcium- und Magnesiumionen führt zur Zellaktivierung. Die Zellen werden dadurch stimuliert, ihre spezifischen Funktionen, z. B. Kontraktionen, auszuüben.

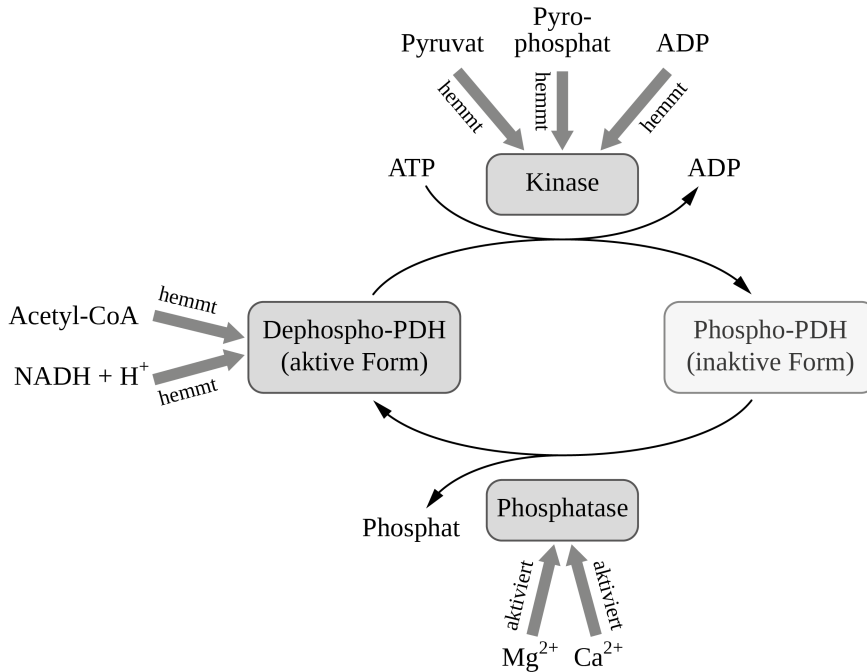


Abbildung 2 Regulation der Pyruvatdehydrogenase (PDH)

## M 3 Das Nahrungsergänzungsmittel Niacin

Niacin zählt zu den Nahrungsergänzungsmitteln, d. h. zu Lebensmittelprodukten, die zur unterstützen der Versorgung des menschlichen Stoffwechsels mit Vitaminen oder Mineralstoffen eingenommen werden können. Niacin ist ein Sammelbegriff für drei Vorstufen des NAD<sup>+</sup>, die im Körper zu NAD<sup>+</sup> bzw. zu NADH + H<sup>+</sup> umgewandelt werden. Niacin wurde früher auch als Vitamin B3 bezeichnet. Der Markt für Nahrungsergänzungsmittel gilt als zukunftssträftig und wird stark beworben. Das unten angegebene Zitat stammt aus einem Artikel eines Gesundheitsportals:

### „Für mehr Energie

*Vitamin B3 ist Bestandteil von NAD bzw. NADH (Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid-Hydrid), einem Coenzym im Bereich der Energiegewinnung in der Zelle. Je mehr NADH vorhanden ist, umso mehr Energie kann gebildet werden.“*

Vorgesehene Bearbeitungsdauer für diese Aufgabe:

75 Minuten

Gesamtdauer der Klausur gemäß VV zu § 14 Absatz 1 APO-GOST: 135–180 Minuten

Thema: Die Regulation des Glucoseabbaus <i>Lösungsvorschlag</i>	BE (AFB)	Erreichte BE
<b>1</b>		
<p><b>Darstellen</b> Im Verlauf der Glykolyse, der oxidativen Phosphorylierung und des Citratzyklus wird NADH + H<sup>+</sup> gebildet. Dieses überträgt seine Elektronen über verschiedene Redoxsysteme der Atmungskette auf Sauerstoffmoleküle. Die Elektronentransportkette der Redoxsysteme der Atmungskette ermöglicht den Transport von Protonen aus der Matrix in den Intermembranraum der Mitochondrien. Der entstehende Protonengradient führt zur ATP-Synthese durch die in der inneren Mitochondrienmembran lokalisierte ATP-Synthase, d. h. NADH + H<sup>+</sup> ist von entscheidender Bedeutung für die ATP-Erzeugung.</p>	3 (I)	
<b>2</b>		
<p><b>Beschreiben</b> Ohne ATP liegt die relative Geschwindigkeit, mit der Fructose-6-Phosphat umgesetzt wird, bei null. Liegt die ATP-Konzentration zwischen etwa 0,1 und 0,5 mM, so erhöht sich die relative Geschwindigkeit, mit der Fructose-6-Phosphat umgesetzt wird, auf maximal 100 %. Ab einer Konzentration von 0,5 mM ATP nimmt die Enzymaktivität ab. Ab einer ATP-Konzentration von 1,5 mM liegt die relative Geschwindigkeit wieder bei null.</p>	3 (I)	
<p><b>Analysieren</b> Das Enzym PFK überträgt eine Phosphatgruppe von ATP auf Fructose-6-phosphat. Es entsteht Fructose-1,6-bisphosphat, das weiter abgebaut werden kann. Die PFK-Aktivität ist abhängig von der ATP-Konzentration. Ohne ATP fehlt das Substrat, daher beträgt die relative Geschwindigkeit der Umsetzung null. Bei einer hohen ATP-Konzentration ist ein weiterer Glucoseabbau zur Bereitstellung von ATP nicht notwendig. Das Enzym Phosphofruktokinase wird in seiner Aktivität gehemmt. Im Fall der Phosphofruktokinase ist ATP selbst der Inhibitor. Daher liegt eine Hemmung dieses Enzyms durch eines seiner Substrate vor.</p>	5 (II) 1 (III)	
<b>3</b>		
<p><b>Erklären</b> Das Enzym Pyruvatdehydrogenase (PDH) katalysiert die oxidative Decarboxylierung, die zur Bildung von Acetyl-CoA führt, das in den Citratzyklus eingeht. Das Enzym PDH liegt in zwei Formen vor, als aktive Form Dephospho-PDH und als inaktive Form Phospho-PDH. Bei hohen ATP-Konzentrationen liegt vorwiegend die inaktive Form Phospho-PDH vor, weil eine Kinase eine Phosphatgruppe des ATPs auf die Dephospho-PDH überträgt und damit inaktiviert. Diese Kinase wird durch Pyruvat, ADP und Pyrophosphat gehemmt, sodass bei geringer ATP-Konzentration und hoher Pyruvat-Menge Dephospho-PDH überwiegt und der Abbau von Pyruvat ablaufen wird. Eine hohe Ca<sup>2+</sup>- und Mg<sup>2+</sup>-Konzentration führt zur Zellaktivierung, d. h. in diesen Zellen steigt der Bedarf an ATP. Die Phosphatase spaltet dann die Phosphatgruppe der Phospho-PDH ab. Damit wird die Dephospho-PDH aktiviert und es kommt zu einem verstärkten Glucoseabbau. Es wird mehr Acetyl-CoA gebildet und im Citratzyklus werden verstärkt NAD<sup>+</sup>-Moleküle zu NADH + H<sup>+</sup> reduziert. Ein hoher NADH + H<sup>+</sup>-Spiegel bzw. Acetyl-CoA-Spiegel hemmen die Dephospho-PDH, sodass weniger Pyruvat abgebaut wird.</p>	3 (I) 3 (II) 2 (III)	
<p><b>Erläutern</b> Da die Umwandlung von Pyruvat zu Acetyl-CoA irreversibel ist, soll mehrstufige Regulation gewährleisten, dass die Produktion von Zwischenprodukten und Produkten mit der Geschwindigkeit abläuft, die erforderlich ist, um die Zelle in einem stabilen Fließgleichgewicht zu halten und die Überproduktion von Zwischenprodukten zu vermeiden. Das Schlüsselenzym PDH kann durch zwei andere Enzyme an- und abgeschaltet werden. Der Grad der Abschaltung wird durch verschiedene Faktoren moduliert: Einerseits beeinflusst das Verhältnis zwischen den Konzentrationen des Substrats Pyruvat und den Produkten der Reaktion NADH + H<sup>+</sup> und Acetyl-CoA den Komplex, d. h. bei einem Überschuss an Substrat wird aktiviert, bei einem Überschuss an Produkten wird gehemmt. Andererseits bestimmt die Menge an verwertbarer Energie für die Zelle die Aktivität der PDH, d. h. eine hohe Konzentration an Energieäquivalenten hemmt, eine geringe Konzentration aktiviert.</p>	4 (II) 2 (III)	
<b>4</b>		
<p><b>Beurteilen</b> Die in der Nahrung enthaltene Energiemenge kann nicht durch die Einnahme von Niacin-Produkten erhöht werden kann. Allenfalls bei einem krankheitsbedingten Mangel an NADH + H<sup>+</sup> im Körper kann</p>	3 (II)	

<b>Thema: Die Regulation des Glucoseabbaus</b>	<b>BE (AFB)</b>	<b>Erreichte BE</b>
<i>Lösungsvorschlag</i>		
die Einnahme von Niacin-Präparaten helfen, die mit der Nahrung zur Verfügung stehende Energiemenge besser zu nutzen. Ein durch Zufuhr von Niacin erhöhter NADH + H <sup>+</sup> -Spiegel bewirkt, dass der weitere Glucoseabbau an zwei Stellen gehemmt wird. Daher lässt sich die ATP-Menge nicht einfach über Zufuhr von Niacin-Präparaten erhöhen.	1 (III)	
	<b>30</b>	

#### KLP-Bezüge

Inhaltliche Schwerpunkte und Aspekte	Stoff- und Energiebilanz von Glykolyse, oxidative Decarboxylierung, Tricarbonsäurezyklus und Atmungskette Stoffwechselregulation auf Enzymebene Chemiosmotische ATP-Bildung Redoxreaktionen
Konkretisierte Kompetenzerwartung	stellen die wesentlichen Schritte des abbauenden Glucosestoffwechsels unter aeroben Bedingungen dar und erläutern diese hinsichtlich der Stoff- und Energieumwandlung erklären die regulatorische Wirkung von Enzymen in mehrstufigen Reaktionswegen des Stoffwechsels nehmen zum Konsum eines ausgewählten Nahrungsergänzungsmittels unter stoffwechselphysiologischen Aspekten Stellung
Übergeordnete Kompetenzerwartung	S1 beschreiben biologische Sachverhalte sowie Anwendungen der Biologie sachgerecht S2 strukturieren und erschließen biologische Phänomene sowie Anwendungen der Biologie auch mithilfe von Basiskonzepten E2 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu biologischen Sachverhalten E9 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen E14 stellen bei der Interpretation von Untersuchungsbefunden fachübergreifende Bezüge her. K9 nutzen geeignete Darstellungsformen für biologische Sachverhalte und überführen diese ineinander B1 analysieren Sachverhalte im Hinblick auf ihre Bewertungsrelevanz,

#### Literatur

Berg et al. 2018, Stryer Biochemie, Spektrum Akademischer Verlag (Abbildung 1 verändert nach Abbildung 16.2)

Heinrich et al. 2014, Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie des Menschen, Springer (Abbildung 2 verändert nach Abbildung 18.6)

<https://www.zentrum-der-gesundheit.de/ernaehrung/vitamine/b-vitamine/vitamin-b3>