

Experiment 18:

Anwendung gleichgewichtsthermodynamischer Gesetzmässigkeiten auf biologische Prozesse

Verfasserinnen: Lisa Palme, Tiziana Jametti, Laura Dafond, Angelika Weber

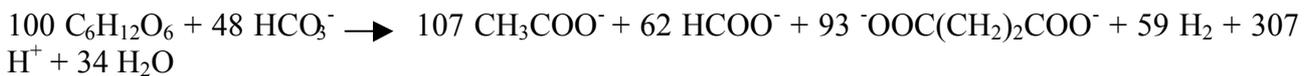
Betreuer: Kurt Hanselmann

Einleitung

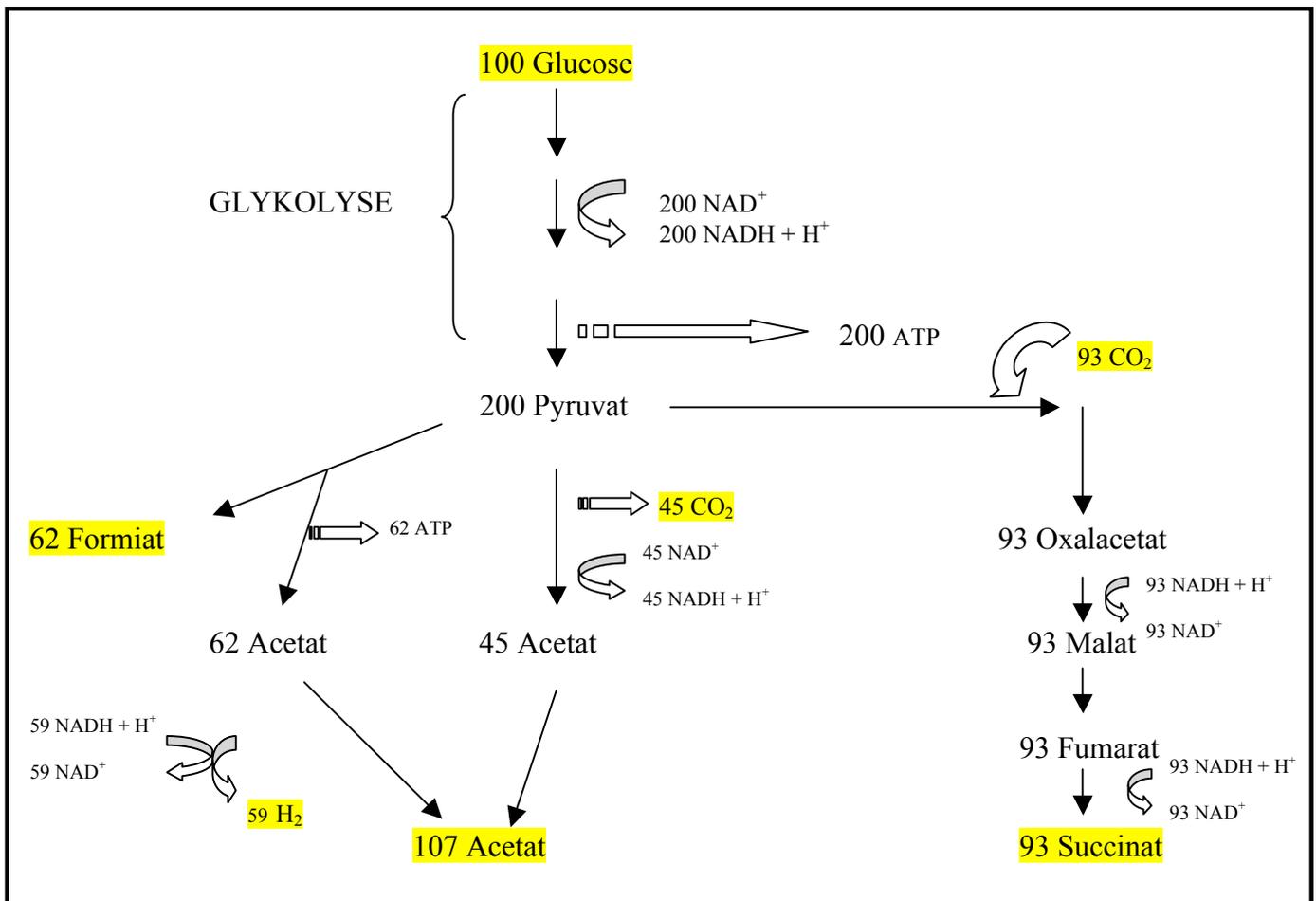
In diesem Praktikum haben wir gelernt, wie Mikroorganismen Energie durch exergonische Reaktionen (negative freie Enthalpie) gewinnen können.

Vorgehensweise

Erst haben wir die Fermentation von Glucose zu Acetat, Succinat und Formiat analysiert, die von *Ruminococcus flavefaciens* durchgeführt wird:



Mit wenigen biochemischen Kenntnissen haben wir die Stöchiometrie der Reaktion nachvollzogen.



Elektronen-Bilanz :

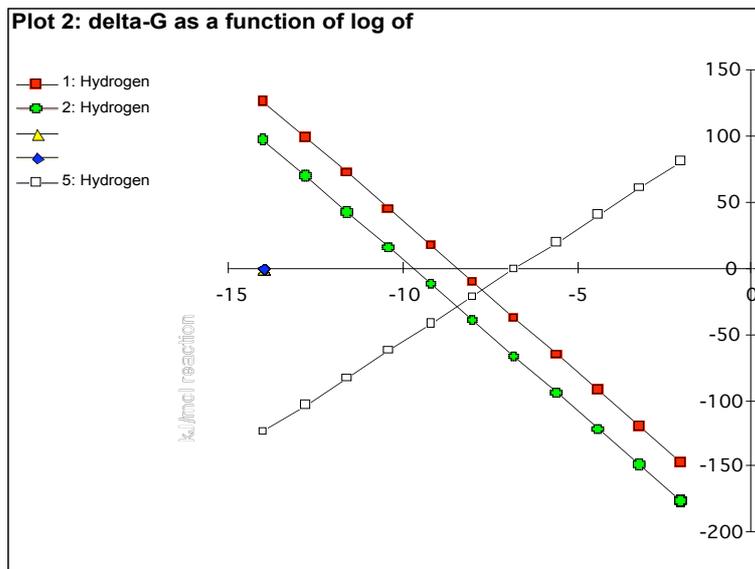
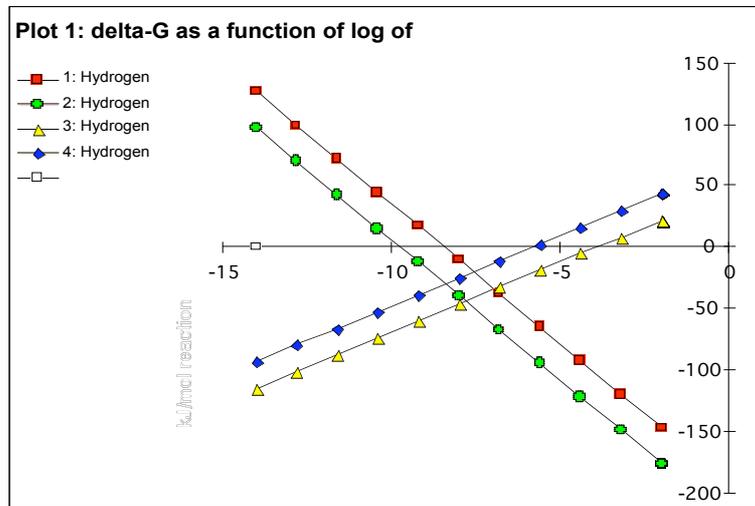
100 Glukose \rightarrow 200 Pyruvat + 200 NADH entspricht dem Übergang von 400 Elektronen
 200 Pyruvat + 200 NADH \rightarrow 107 Acetat + 62 Formiat + 93 Succinat + 59 Wasserstoff + 307
 Protonen + 34 Wasser Moleküle entspricht wiederum dem Übergang von 400 Elektronen

Als nächstes haben wir die Stoffwechselreaktionen von einigen Mikroorganismen mit dem Computer-Programm Thermodyn[®] untersucht. Dieses bezieht sich auf die Formel für die freie Reaktionsenthalpie $\Delta G_r = \Delta G_r^\circ + R \cdot T \cdot \ln Q$ und erlaubt uns, die Spontaneität der Reaktion (aber nicht die Geschwindigkeit!) zu verstehen. Es handelt sich hier um 5 verschiedene Mikroorganismen, die einen unterschiedlichen Stoffwechsel haben. Werden die Stoffwechselreaktionen mit Substraten, Produkten, deren Konzentrationen und stöchiometrischen Koeffizienten eingegeben, kann ein Plot aufgestellt werden, aus dem ersichtlich wird, unter welchen Bedingungen diese Mikroorganismen fähig sind zu überleben, d.h. aus dem exergonen Verlauf der Reaktion Energie für Stoffwechselprozesse zu gewinnen. In Bezug auf die Organismen im Pansen ist ausserdem ersichtlich, dass unter optimalen Bedingungen eine Symbiose möglich ist, da sie sich in einer effizienten Weise ergänzen.

Ergebnisse und Diskussion

REACTION No.	(S,P)	Stoich. Coeff.	Enter formula	State	Special remarks	Activity	Variable	Note	Compound	Formula
1	s	4	H2	aq		1,00E-07	v		Hydrogen	H2
1	s	1	CO2	aq		1,00E-03			Carbon dioxide	CO2
1	p	1	Methane	aq		1,00E-03			Methane	CH4
1	p	2	H2O	l		1,00E+00			Water	H2O
2	s	4	H2	aq		1,00E-14	v		Hydrogen	H2
2	s	1	SO42-	aq		1,00E-03			Sulfate	SO42-
2	s	1	H+	aq		1,00E-07			Proton	H+
2	p	1	HS-	aq		1,00E-03			Hydrogen sulfide	HS-
2	p	4	Water	l		1,00E+00			Water	H2O
3	s	1	Ethanol	aq		1,00E-03			Ethanol	C2H5OH
3	s	1	H2O	l		1,00E+00			Water	H2O
3	p	1	acetate	aq		1,00E-03			Acetate	CH3COO-
3	p	1	H+	aq		1,00E-07			Proton	H+
3	p	2	H2	aq		1,00E-14	v		Hydrogen	H2
4	s	1	n-butyrate	aq		1,00E-03			n-Butyrate	CH3(CH2)2COO-
4	s	2	H2O	l		1,00E+00			Water	H2O
4	p	2	acetate	aq		1,00E-03			Acetate	CH3COO-
4	p	1	H+	aq		1,00E-07			Proton	H+
4	p	2	H2	aq		1,00E-14	v		Hydrogen	H2
5	s	1	propionate	aq		1,00E-03			Propionate	CH3CH2COO-
5	s	2	water	l		1,00E+00			Water	H2O
5	p	1	acetate	aq		1,00E-03			Acetate	CH3COO-
5	p	1	CO2	aq		1,00E-03			Carbon dioxide	CO2
5	p	3	H2	aq		1,00E-07	v		Hydrogen	H2

Nach Eingabe aller Komponenten der fünf verschiedenen Reaktionsgleichungen in der Tabelle haben wir folgende Graphik erhalten:



Die logarithmische X-Achse zeigt die H₂-Konzentration, die in solche Reaktionen eine zentrale Rolle als Reduktionsmittel spielt. Die Y-Achse zeigt die ΔG_r Werte (in KJ/mol) zu den zugehörigen H₂-Konzentrationen. Zu bemerken ist, dass die Organismen leben können, wenn die Kurve unter der X-Achse liegt, also wenn ΔG_r negativ ist.

In Plot 1 ist ersichtlich, dass zwei Organismen (grün und rot) eine H₂-Konzentration von mehr als 10^{-8} kJ/mol benötigen, um überleben zu können. Dagegen weisen die blauen und gelben Organismen ein umgekehrtes Verhalten auf, d.h. dass die H₂-Konzentration kleiner als 10^{-4} kJ/mol sein muss.

Damit diese Organismen in einer Symbiose leben können, müssen sich die Bedingungen in einem Bereich finden, der einen Kompromiss zwischen den vier entsprechenden Wasserstoff-Konzentrationen darstellt. Aus den Reaktionsgleichungen wird ebenfalls ersichtlich, dass gewisse Mikroorganismen H₂ als Substrat für ihren Stoffwechsel benützen, während andere diesen Wasserstoff als Abfallprodukt produzieren. Somit ist in einer optimalen Symbiose die Konzentration an H₂ in einem gewissen Bereich stabil, da er ständig produziert und wieder verbraucht wird.