

12.7 Exkurs: Die Natur macht es uns vor – wie Zellen unfreiwillige Reaktionen zum Laufen bringen

Vorbemerkungen

Es gibt Moleküle und Ionen, deren Elektronen sich nicht nur bei einem Atom (nicht bindende Elektronenpaare) oder zwischen zwei Atomrümpfen (Elektronenpaarbindungen) aufhalten. Chemische Reaktionen und moderne Analysemethoden zeigen, dass die Aufenthaltsräume von Elektronen – und damit ihr gegenseitiger Abstand – grösser sein können. Dies führt zu geringeren abstossenden Kräften und folglich zu einer niedrigeren potenziellen Energie. Solche «delokalisierten Elektronen» sind für viele Stoffeigenschaften verantwortlich, wie z. B. die Farbigkeit von Stoffen (Exkurs 18.6).

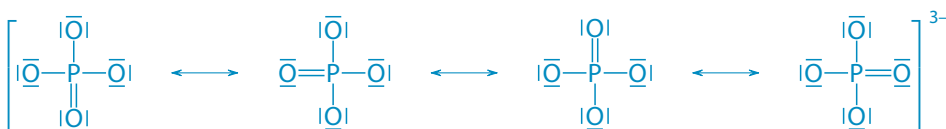
Beispiel

Die Phosphorsäure H_3PO_4 kann in wässriger Lösung drei Protonen an drei Wasser-Moleküle abgeben, wodurch das hydratisierte Phosphat-Ion PO_4^{3-} entsteht.



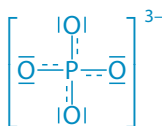
Die vier Bindungen P–O in diesem Ion sind alle gleich lang, kürzer als Einfach- und länger als Doppelbindungen. Dies weist darauf hin, dass es Elektronen gibt, die einen vergrösserten Aufenthaltsraum besitzen. Da sich mit Lewis-Formeln keine Bindungen darstellen lassen, die zwischen einer Einfach- und einer Doppelbindung liegen, behilft man sich mit sogenannten Grenzformeln. Diese geben Elektronenzustände an, die nicht existieren. Der wahre und damit energieärmere Zustand liegt dann dazwischen (\longleftrightarrow) und kann unklassisch durch Pünktchen oder kurze Striche für die delokalisierten Elektronen beschrieben werden.

Vier Grenzformeln für das Phosphat-Ion:



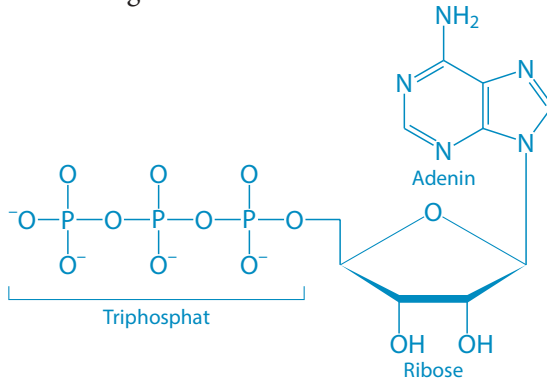
Insgesamt sind es 8 delokalisierte Elektronen, die sich im Bereich des gesamten Ions aufhalten. Die Zahl 8 ergibt sich aus der Anzahl Elektronenpaare, die ihren Platz tauschen, wenn man von der einen Grenzformel zur nächsten geht.

Unklassische Schreibweise des Phosphat-Ions:



Delokalisierung, Hydrationsenergie und verminderte abstossende Kräfte bringen endergonische Reaktionen zum Laufen

Beim Stoffwechsel im menschlichen Organismus gibt es zahlreiche endergonische Reaktionen, die ohne Energiezufuhr nicht ablaufen können. Ein universeller Energielieferant in jeder Form von Leben ist das Adenosintriphosphat mit der Abkürzung ATP:



Der Triphosphatteil von ATP ist aus drei Phosphat-Ionen gebildet. Die abstossenden Kräfte zwischen den nahe beieinanderliegenden vier negativen Ladungen verleihen dem Teilchen eine hohe potenzielle Energie. Ausserdem ist eine Delokalisierung der Elektronen, wie im vorangehenden Beispiel gezeigt, in dieser Konstitution nicht möglich.

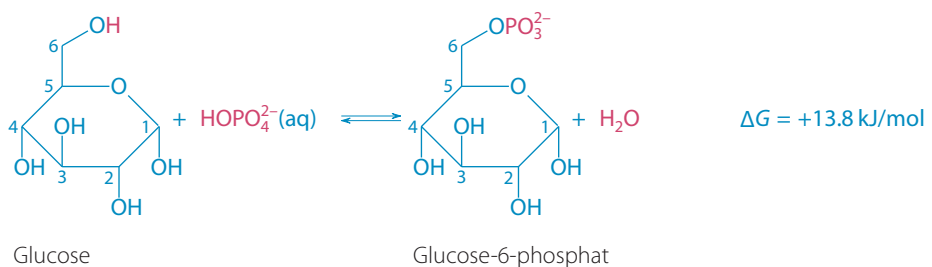
Das ATP-Ion kann nun ein Phosphat-Ion abspalten, das in der wässrigen Zellflüssigkeit hydratisiert wird. Ausserdem kommt es dabei zu einer ausgedehnten Delokalisierung von 8 Elektronen (vgl. oben), und die abstossenden Kräfte zwischen den negativen Ladungen existieren nicht mehr. Die Reaktion von ATP zu ADP, Adenosindiphosphat, ist deshalb ein stark exergonischer Vorgang (Abschnitt 12.4): Hydrations- und Delokalisierungsenergie werden frei.



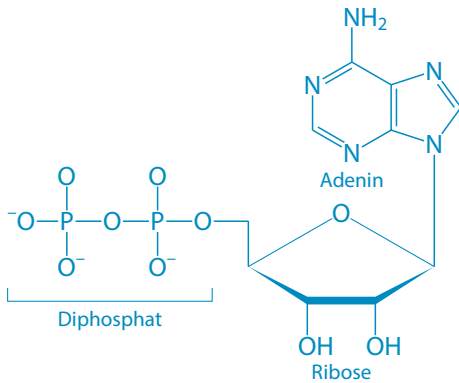
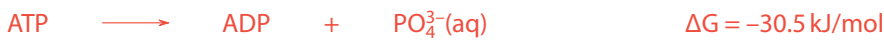
Phosphorylierung von Glucose-Molekülen

Eine wichtige Reaktion in der Zellatmung lebender Organismen ist die Verknüpfung einer Phosphatgruppe mit einem Glucose-Molekül zu Glucose-6-phosphat. Dieser Vorgang ist endergonisch, da die PO_4^{3-} -Gruppe nun nicht mehr hydratisiert wird und die Delokalisierung der Elektronen stark eingeschränkt ist. Das ATP stellt die Phosphatgruppe zur Verfügung und liefert dadurch die nötige Energie, sodass die unfreiwillige Reaktion ablaufen kann, wie die Zahlenwerte der freien Enthalpien zeigen:

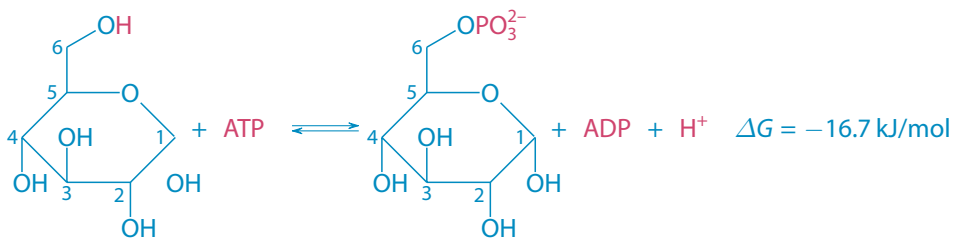
Teilreaktion 1:



Teilreaktion 2:



Die Gesamtreaktion ist exergonisch, da die frei werdende Energie grösser ist als die benötigte:



Die Verknüpfung von exergonischen mit endergonischen Vorgängen ermöglicht es also, dass ursprünglich unfreiwillige Reaktionen zum Laufen gebracht werden.

Zentrale Begriffe zum Exkurs 12.7

- › delokalisierte Elektronen
- › Phosphorsäure
- › Phosphat-Ion
- › Grenzformeln
- › Adenosintriphosphat, ATP
- › Adenosindiphosphat, ADP
- › Phosphorylierung