

Das Glucose-Molekül in didaktischen Reduktionsstufen

von Heinz Schmidkunz

Die Glucose im Chemieunterricht

Lebensmittel findet man als Unterrichtsinhalte in den meisten Lehrplänen der einzelnen Bundesländer. Chemisch gesehen besitzen die einzelnen Nährstoffe (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) im Vergleich zu anorganisch-chemischen Formeln, wie sie normalerweise im Anfangsunterricht herangezogen werden, recht komplexe Strukturen. Dieser Sachverhalt bereitet gerade im Bereich der Sekundarstufe I schon immer Schwierigkeiten. Als Alternative ergibt sich eigentlich nur der Verzicht auf die Verwendung von Molekülstrukturen. Dann allerdings bleibt es bei einer sehr oberflächlichen Betrachtung der Nährstoffe, die auch in einem anderen Unterrichtsfach vorgenommen werden könnte. Es hat daher nie an Versuchen gefehlt, vereinfachte Molekülstrukturen zu entwickeln und in den Unterricht einzuführen, um chemische Vorgänge zu erläutern. In diesem Zusammenhang ist es interessant zu vermerken, daß selbst in biochemischen Fachbüchern [1, 2] auf vereinfachte Glucose-Molekül-Strukturdarstellungen zurückgegriffen wird, um chemische Formelbilder und Reaktionen übersichtlich und schnell überschaubar zu gestalten.

Überlegungen zur Vereinfachung chemischer Strukturen sind schon deshalb notwendig geworden, weil im neuen Lehrplan NRW für das Gymnasium im 10. Schuljahr der Einstieg in die organische Chemie über Zucker (Glucose) erfolgen kann.

Vereinfachung und didaktische Reduktion

Nach Kirschner muß eine Aussage mit hoher Komplexität auf das Verständnisniveau der Adressaten zurückgeführt, also reduziert werden. Er spricht dabei von einer didaktischen Reduktion der äußeren Differenzierung. Hierbei wird stufenweise die komplexe Aussage in eine für die Adressaten verständliche Endaussage umgewandelt. Bei dieser Art der Reduktion wird auf Merkmale, die Hinweise auf Einzelheiten geben, verzichtet. Es ist allerdings zu vermerken, daß der Gültigkeitsumfang und der Gegenstand der Aussage erhalten bleiben sollen. Nach Kirschner ist eine Vereinfachung durchaus als ein Element der didaktischen Reduktion anzusehen.

Auch nach Bleichroth [3] ist die Vereinfachung eine Methode der didaktischen Reduktion. So schreibt er: „Abbau der Komplexität bedeutet dann zunächst, die Einzellemente und ihre Beziehungen zueinander unter der Ganzheit zu erkennen und aufzudecken, sodann die Zahl der Elemente auf ein Maß zu reduzieren, das den Gesamtzusammenhang noch erkennen läßt.“

Die Frage nach dem Elementaren einer Glucose-Formel (Glucosekonformation) ist schwierig zu beantworten. Ist es die Vierbindigkeit der Kohlenstoffatome, die in der Darstellung deutlich werden muß, oder ist es der heterocyclische Sechsring (Pyranring)? In den Publikationen sowohl

in chemischen Fachbüchern als auch in Schulbüchern wird vor allem Wert auf die Darstellung der Ringstruktur gelegt, die Darstellung der Vierbindigkeit der Kohlenstoffatome wird der Vereinfachung geopfert.

Die Vereinfachungsreihe der Glucose-Molekül-Darstellung

Die Konformation des Glucosemoleküls soll nun stufenweise vereinfacht, d. h. reduziert werden. Wie schon angedeutet, werden vereinfachte Darstellungen auch in chemischen Fachbüchern vorgenommen. So verzichten z. B. auch Autoren in neuen Biochemiebüchern [1, 2] auf die Darstellung der Kohlenstoffatome im Sechsring des Glucosemoleküls, teilweise werden auch die Wasserstoffatome nicht mehr eingezeichnet.

Starting from actual scientific knowledge of the conformation of a glucose molecule seven levels of a didactic reduction are presented and explained. Mainly requirements of intermediate level in schools are taken into account. Finally the levels are related to Grüner's suggested reduction scheme.

1. Die nach heutigen fachwissenschaftlichen Erkenntnissen wohl exakteste Darstellungsweise des Glucosemoleküls sollte neben allen Substituenten an den C-Atomen auch die Bindungswinkel berücksichtigen.

In den Abbildungen 1a und 1b werden die Bindungswinkel angedeutet. Während in der Abbildung 1a die Kohlenstoff-Atome durch schwarze Kugeln dargestellt werden, wird das Sauerstoff-Atom durch eine „weiße Kugel“ (hier weißer Kreis) symbolisiert. Beide Abbildungen sind der Literatur [4] entnommen.

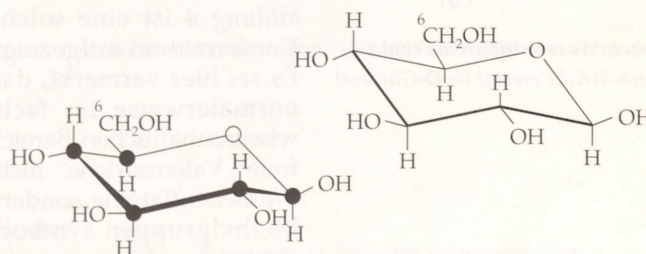


Abb. 1a: β -D-Glucose

Abb. 1b: β -D-Glucose

In der Abbildung 1b erfolgte bereits eine erste Reduktion. Die C-Atome im Ringsystem erscheinen nicht mehr. Man muß sie sich in den Ecken des Rings denken.

Auf eine in beiden Konformationsformeln vorgenommene Vereinfachung soll noch hingewiesen werden. Die Substituenten am C-6-Atom wurden bereits summarisch erfaßt.

Neben der hier aufgeführten energiestabilen Sesselkonformation des Moleküls tritt auch noch eine „Wannen-

oder Bootsform“ in Erscheinung. Auf eine Abbildung wird hier verzichtet, weil eine solche Darstellung im Schulbereich (Sek. I) praktisch bedeutungslos ist.

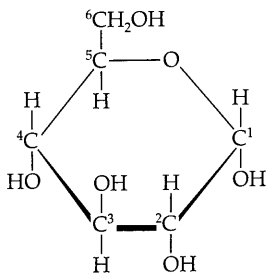


Abb. 2: Ringform der α -D-Glucose (Projektionsformel nach Haworth)

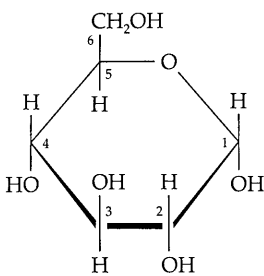


Abb. 3: Ringform ohne C-Atome

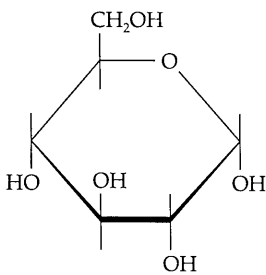


Abb. 4: Wasserstoffatome sind durch Striche ersetzt (α -D-Glucose)

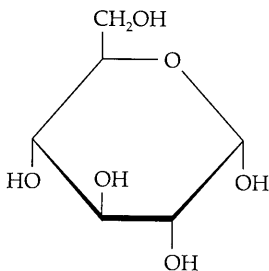


Abb. 5: Die Wasserstoffatome werden nicht mehr berücksichtigt

2. Etwas gebräuchlicher ist die in *Abbildung 2* aufgeführte Konformation des Moleküls, wobei das Schwergewicht auf die Darstellung der Ringstruktur gelegt wird.

Die Komplexität einer solchen Struktur ist noch sehr hoch. Als Ausgangsformel, um folgende Reduktionsstufen erklärend und genetisch abzuleiten, eignet sie sich sehr gut.

3. Die nächste Stufe der Vereinfachung besteht im Weglassen der Kohlenstoffatome. Allein die Eckpunkte des Sechserings deuten die Existenz der C-Atome an. Die Molekülformel wird dadurch etwas übersichtlicher und das Augenmerk wird auf die Substituenten der C-Atome gelenkt (*Abb. 3*). Am C-6-Atom bleibt die summarische Zusammenfassung der Substituenten als Vereinfachung erhalten.

4. Wesentlich für die α -D-Glucose ist die räumliche Anordnung der OH-Gruppen im Ringsystem. Die Darstellung wird übersichtlicher, wenn die Wasserstoff-Atome weggelassen und durch Bindestriche ersetzt werden. In *Abbildung 4* ist eine solche Konformation aufgezeigt. Es sei hier vermerkt, daß normalerweise im fachwissenschaftlichen Bereich freie „Valenzstriche“ nicht Wasserstoffatome sondern Methylgruppen symbolisieren.

5. Schließlich können auch die Bindestriche für die H-Atome völlig verschwinden. Das bedeutet allerdings, daß die sichtbare Vierbindigkeit der Kohlenstoff-Atome verloren geht. Die Stellung der OH-Gruppen bleibt unangetastet (*Abb. 5*). Der Sachverhalt muß vor der Ver-

wendung solcher vereinfachten Strukturen mit den Schülerinnen und Schülern erörtert werden.

6. In einer nächsten Vereinfachungsstufe werden selbst die OH-Gruppen nur durch Striche symbolisiert. Die α -D-Glucose unterscheidet sich von der β -D-Glucose nur durch die räumliche Stellung der OH-Gruppe am C-1-Atom. Die beiden Darstellungsweisen werden in der *Abbildung 6* gezeigt.

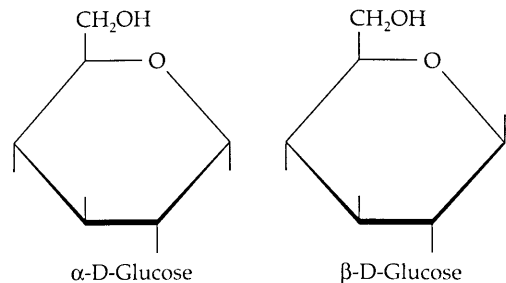


Abb. 6: Ringform ohne Wasserstoffatome und ohne OH-Gruppen

7. Für die Bildung von Stärke und Cellulose sind nur die OH-Gruppen an den C-1- und C-4-Atomen des Glucose-Moleküls wichtig. Alle übrigen OH-Gruppen und natürlich auch die Wasserstoff-Atome können weggelassen. Das C-6-Atom wird dann nur durch einen Strich oder gelegentlich durch einen Strich mit Punkt symbolisiert. In *Abbildung 7* wird diese verkürzte Konformation dargestellt.

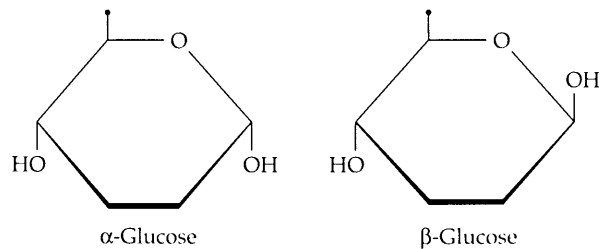


Abb. 7: Es werden nur noch die OH-Gruppen am C-1- und C-6-Atom gezeichnet

Mit diesen stark reduzierten Glucose-Strukturen lassen sich die Stärke und die Cellulose noch voneinander unterscheiden. In den *Abbildungen 8* und *9* sind die beiden Makromoleküle aufgezeigt.

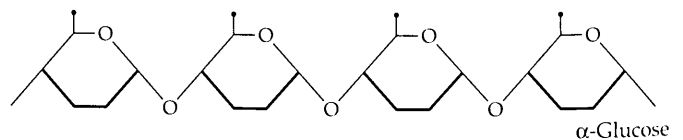


Abb. 8: Stärke

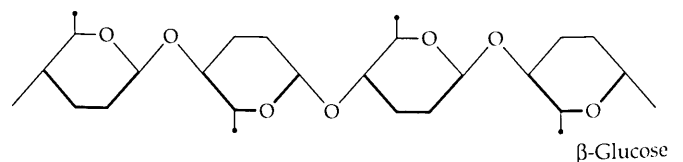


Abb. 9: Cellulose

8. Wenn die didaktische Reduktion bis zum ausschließlichen Verbleib des Sechser-Ringes durchgeführt wird,

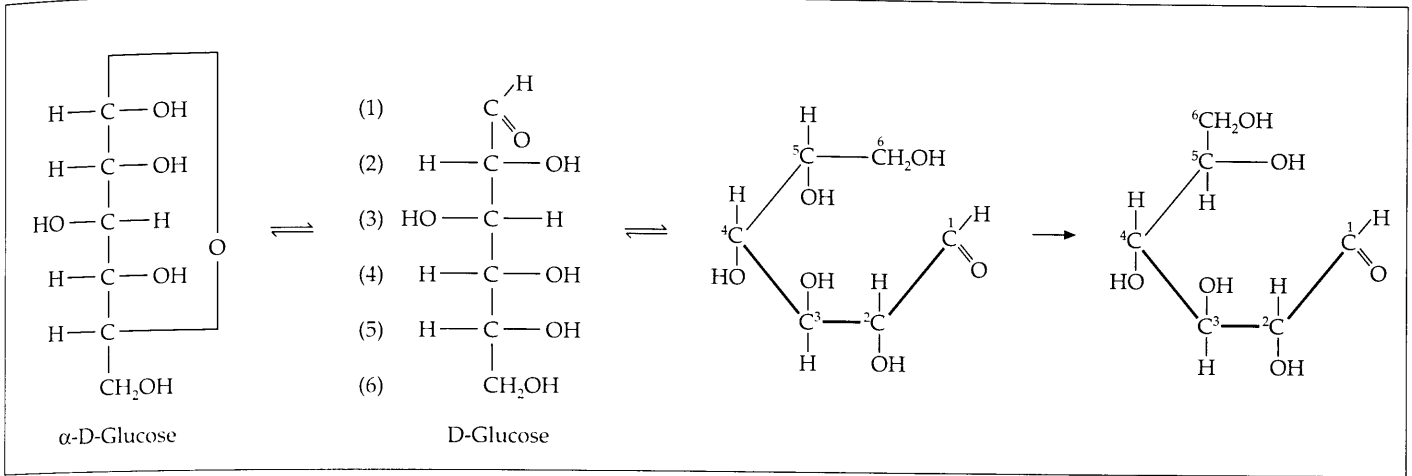


Abb. 11: Offene Form des Glucose-Moleküls

wenn also auf H-Atome und OH-Gruppen und deren symbolhafte Andeutung vollständig verzichtet wird, so ist mit einer solchen Form eine Unterscheidung von α -D-Glucose und β -D-Glucose und damit von Stärke und Cellulose nicht mehr möglich. Die Makromolekülbildung aus Monomeren kann aber verdeutlicht werden. Trotzdem muß hier die Frage gestellt werden, ob diese didaktische Reduktion noch den Kriterien standhält (keine fachliche Verfälschung), die man an einer didaktischen Reduktion zugrunde legt. Das in *Abbildung 10* dargestellte Makromolekül zeigt nicht mehr die Sauerstoff-Atome, die die Sechser-Ringe miteinander verbinden.

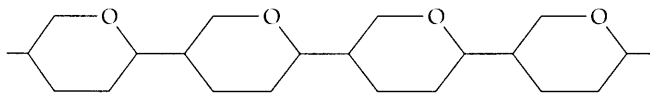


Abb. 10: Makromoleküle mit stark didaktisch reduzierten Glucose-molekülen

Eine weitere Reduktion wäre sicher nicht mehr sinnvoll. So würde das Weglassen des Sauerstoff-Atoms im Ring fachlich nicht mehr zu vertreten sein.

Bisher wurde nur eine didaktische Reduktion der Ringstruktur betrachtet. Wie wir aber wissen, gibt es beim Glucose-Molekül ein Gleichgewicht zwischen einer offenen (kettenförmigen) Form und der Ringstruktur (*Abb. 11*). Will man die Aldehydfunktion der Glucose aufzeigen, wie es vielfach im Unterricht geschieht (z. B. Silberspiegel-Bildung), so muß man zunächst auf die offene Form zurückgreifen.

Es ist dabei zu überlegen, ob es nicht sinnvoll ist, von der offenen Form auszugehen, um dann den Übergang zur Ringstruktur zu vollziehen. Man kommt ohne eine kurze Betrachtung räumlicher Strukturen nicht aus. So zeigt es sich, daß bei der D-Glucose die OH-Gruppen unterschiedlich nach „oben“ oder „unten“ zeigen, wenn man sich den Sechser ring senkrecht zur Papierebene vorstellt. Der Unterschied der α -D-Glucose zur β -D-Glucose wird allein durch die räumliche Stellung der OH-Gruppe am C-1-Atom bewirkt. Im Chemieunterricht der Sekundarstufe I (auch noch in einem 11. Schuljahr) kann auch noch auf das D in der D-Glucose verzichtet werden, weil die beiden Spiegelbildisomeren D und L im Bereich der Sek. I normalerweise keine Bedeutung haben. Man wird dann nur von Glucose, bzw. von α -Glucose und β -Glucose sprechen.

Die einzelnen Reduktionsstufen des Glucose-Moleküls lassen sich auch in eine Reduktionsfeld nach *Grüner* (siehe *Basisartikel*) einordnen. Die Ausgangsaussage ist in der in *Abbildung 1a* gezeigten Struktur zuzuordnen. Die in *Abbildung 1b* dargestellte Form wäre davon bereits eine erste horizontale Reduktionsstufe (AA1).

Abbildung 2 zeigt die erste vertikale Reduktionsstufe (AI). Daraus läßt sich eine horizontale Reduktion mit der *Abbildung 3* (AI-1) gestalten.

Abbildung 4 stellt eine zweite vertikale Stufe (AII) dar, die mit den *Abbildungen 5* und *6* zwei horizontale Stufen umfaßt (AII-1 und AII-2).

In den *Abbildungen 7* und *10* können zwei weitere vertikale Stufen (AIII und AIV) gesehen werden.

Daraus ergibt sich folgendes Reduktionsfeld (*Abb. 12*):

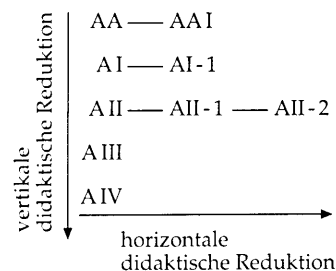


Abb. 12: Reduktionsfeld nach Grüner auf das Glucose-Molekül bezogen

Literatur

[1] Voet, D., Voet, J. G.: Biochemie. VCH-Verlag, Weinheim 1994.
 [2] Dose, K.: Biochemie. Springer-Verlag, 4. Aufl., Berlin 1994.
 [3] Bleichroth, W.: Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. NiU-Physik 1 (1990), Heft 6.
 [4] Christen, H., R.: Chemie. Otto Salle Verlag, Frankfurt/Main 1978.

Prof. Dr. Heinz Schmidkunz, geb. 1929,
 Universitätsprofessor für Chemiedidaktik in Dortmund.
 Adresse: Obermarktstr. 125, 44267 Dortmund.