

Stoffwechsel bei Mehlkäferlarven

Franziskus Graber, Peter Bützer¹

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Warum gerade der „Mehlwurm“ als Versuchstier?	2
3	Das Experiment	2
3.1	Einige Bilder von Mehlkäferlarven	3
3.2	Das Ergebnis	4
3.3	Messdaten	4
4	Eine Versuchsanleitung für die Schule	4
4.1	Auswertung und etwas Theorie	5
4.2	Eine Reaktion 1. Ordnung	5
4.3	Kleine Rechnung	5
4.4	Aufgabe	5
5	Simulation	6
5.1	Simulationsdiagramm	6
5.2	Zeitdiagramm	6
5.3	Gleichungen	6
5.4	Vergleich der Messung mit der Simulation	7
5.5	Interpretation	7
6	Arbeitsblatt Stoffwechsel bei Mehlwürmern	8
6.1	Experiment	8

1 Einleitung²

Die Larven des Mehlkäfers werden volkstümlich «Mehlwürmer» genannt. Früher kamen sie relativ häufig im Mehl vor, wenn es nicht absolut sauber gelagert wurde. Schuld daran war der Mehlkäfer, der für seinen Nachwuchs das beste Milieu suchte und deshalb seine Eier auch ins für ihn zugängliche Mehl legte.

Das Thema Stoffwechsel wird gerne durch ein historisches Experiment gezeigt. Dabei wird ein Topf mit Erde und einer Pflanze lediglich gegossen und immer wieder gewogen. Das Experiment zeigt, dass die Pflanze offensichtlich Baustoffe aus der Luft aufnehmen muss, weil die Erde immer gleich bleibt, die Trockenmasse von Erde und Pflanze gesamthaft aber zunimmt.

Das Ganze kann auch umgekehrt gezeigt werden, dass eben tierische Organismen beim Stoffwechsel Kohlenstoff wieder freisetzen.

Bei diesem Experiment geht es nicht darum, nachzuweisen, dass das, was veratmet wird Kohlenstoff und Wasser ist, sondern vielmehr, wie gross der Stoffumsatz der Mehlwürmer ist. Man kann sagen: Er ist beträchtlich.

¹ Anschrift: Prof. Dr. Peter Bützer, Pädagogische Hochschule, St. Gallen

² Theorie, Bilder, Messungen und Anleitung von Franziskus Graber

2 Warum gerade der „Mehlwurm“ als Versuchstier?

Mehlwürmer eignen sich für den Versuch hervorragend aus mehreren Gründen. Als Futter für Ziervögel und Terrarientiere werden sie gezüchtet und sind leicht erhältlich. Ihre Haltung ist denkbar einfach, weil sie weder grosse Ansprüche ans Futter noch an die Haltungstemperatur stellen, wobei eine etwas höhere Temperatur als Zimmertemperatur das Experiment beschleunigt. Ausserdem können sie problemlos ohne Substrat in einer Schale gehalten werden, eine Massenhaltung, die zum Beispiel bei gefrässigen Heimchen nicht möglich wäre, diese würden sich gegenseitig auffressen. Mehlwürmer tun dies eigentlich nicht, allenfalls werden Puppen angeknabbert, die sich nach längerer Zeit des Experimentes bilden. Ein letztes Argument für Mehlwürmer als Versuchstiere: Man kann sie gut wägen, sie sind praktisch geruchsneutral und sauber anzufassen.

3 Das Experiment

Der Versuch ist denkbar einfach. Die Menge der Mehlwürmer hängt etwas davon ab, wie genau die Waage ist, die man verwendet. Beim vorliegenden Versuch wurden 295 Gramm Mehlwürmer eingesetzt. Am ersten Tag wurden 120 Gramm Apfel in Form von Apfelscheiben und 120 Gramm Vogelaufzuchtfutter zugegeben (Alternative: Brotresten). Auf den Boden der Schüssel kamen Hobelspäne, dann Mehlwürmer gemischt mit ihrer Nahrung. Die Temperatur in diesem Haufen wurde mit einem Thermometer verfolgt. Das ganze wurde auf einer Wärmeplatte der Terraristik leicht temperiert, wobei zwischen Wärmeplatte und Schale eine Isolierschicht angebracht wurde, dass die Mehlwürmer nicht gekocht würden. Das Experiment funktioniert aber auch, wenn auch etwas langsamer bei Zimmertemperatur. Die Abhängigkeit des Stoffumsatzes von der Temperatur lässt sich im Schülerversuch gut nachweisen.

3.1 Einige Bilder von Mehlkäferlarven



artgerechte Haltung von
Mehlkäferlarven



Chitinhaut



frisch gehäutete
Mehlkäferlarve



tote Mehlkäferlarve



Mehlkäferlarve, auch
«Mehlwurm» genannt



Mehlkäferpuppe

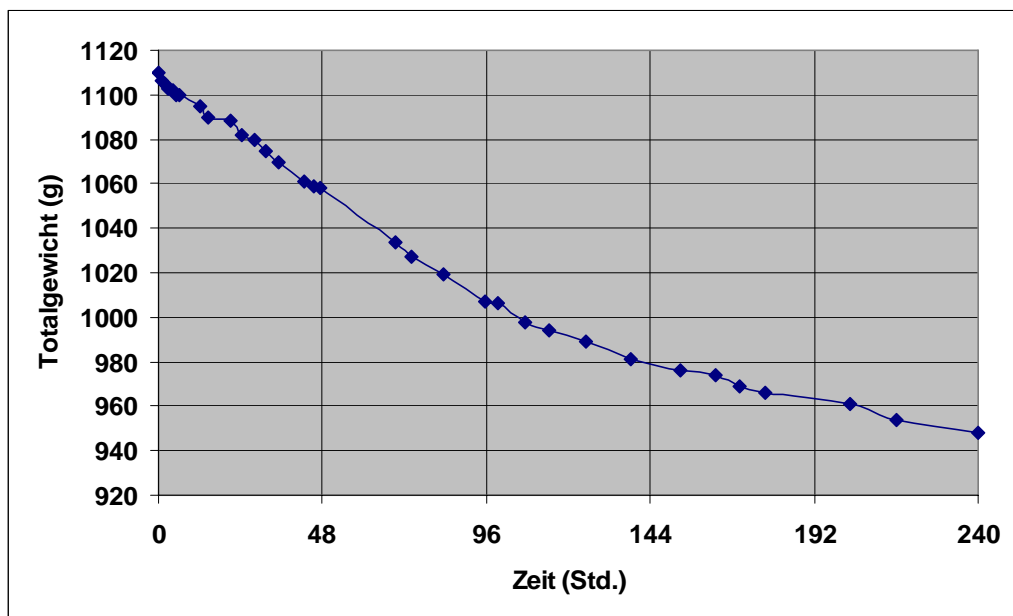
Fotos:
Franziskus Graber

3.2 Das Ergebnis

Die Mehlwürmer frassen gewaltig. Schon nach zwei Tagen war von den Äpfeln nichts mehr zu sehen und auch das Aufzuchtfutter war zum grossen Teil aufgefressen. Der Stoffwechsel zeitigte in den ersten Tagen eine relativ lineare Gewichtsabnahme (Veratmung) um 20 Gramm pro Tag, flachte dann aber je länger je mehr ab. Nach zehn Tagen waren 160 Gramm (zwei Drittel der Nahrung) veratmet und das Experiment musste abgebrochen werden, weil wegen der etwas hohen Temperatur einige Verluste eintraten, die dann unangenehm zu stinken begannen.



3.3 Messdaten



4 Eine Versuchsanleitung für die Schule

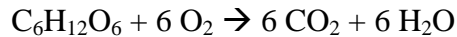
Mehrere Ansätze mit je 100 Gramm Mehlwürmern und 100 Gramm Nahrung (60 Gramm Apfel, 40 Gramm altes Brot).

Einen Ansatz im Luftschutzkeller, ein Ansatz am kühlen Fenstersims, ein Ansatz mitten im Schulzimmer, ein Ansatz über der Heizung, ein Ansatz im Brutschrank. Empfehlenswert wäre eine Temperaturreihe von etwa 12, 18, 24 und 30 Grad Celsius. Die Ansätze lässt man zwei Wochen laufen bis zur Auswertung. Täglich gegen Mittag sind die Schüler dafür verantwortlich, dass ihre Ansätze gesamthaft gewogen werden, dabei wird auch die Temperatur notiert. Auf die Messungen am Wochenende ist man für die Auswertung nicht unbedingt angewiesen, bei Gelegenheit kann die Lehrperson Samstag oder Sonntag wägen gehen.

4.1 Auswertung und etwas Theorie

Stoffwechselfvorgänge sind sehr vielschichtig und kompliziert, sind daran doch eine grosse Zahl verschiedener Enzyme beteiligt.

Im Wesentlichen wird beim Stoffwechsel zum Beispiel Zucker umgesetzt in Energie, Kohlendioxid und Wasser, wobei Sauerstoff verbraucht wird.



Das Verhältnis des abgeatmeten Kohlendioxides zum abgeatmeten Wasser ist 1:1.

4.2 Eine Reaktion 1. Ordnung

Die Nahrungsmenge nimmt durch den Stoffwechsel ab. Der Stoffumsatz der Mehlwürmer ist von der Nahrungsmenge direkt abhängig – je weniger Nahrung, desto langsamer der Stoffwechsel. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist nur von der Konzentration der veratmeten Stoffe abhängig. Kinetisch gesehen nennt man das eine **Reaktion 1. Ordnung**.

4.3 Kleine Rechnung

In diesem Experiment haben 300 Gramm Mehlwürmer in 10 Tagen 160 Gramm veratmet.

Ein Mol Kohlendioxid wiegt 44 Gramm, ein Mol Wasser wiegt 18 Gramm, ein Mol Wasser und ein Mol Kohlenstoff zusammen also rund 62 Gramm.

Es wurden also rund 5 Mole Kohlendioxid und 5 Mole Wasser als Gas freigesetzt und 5 Mole Sauerstoff verbraucht. Somit wurden insgesamt 5 Mole Gas gebildet, was ca. $5 * 24.6 = 123$ Liter ausmacht.

Ein anderer Gedanke: Angenommen mein Zimmer, wo das Experiment lief, wäre während diesen zehn Tagen luftdicht verschlossen gewesen, wie hätte sich das Experiment auf die CO₂-Konzentration ausgewirkt?

Zimmer misst 2,5 x 4 x 5 Meter, das sind 50'000 Liter. Bei einer Konzentration von 0,035% Kohlendioxid in der Luft sind das total 17,5 Liter. Zusätzliche 123 Liter hätten die Konzentration 0,25% ansteigen lassen.

Dagegen wirkt sich der Sauerstoffverbrauch verhältnismässig kaum aus: Bei einer Konzentration von 21% sind in meinem Zimmer 10'500 Liter Sauerstoff, 123 Liter werden verbraucht, gut 1%, also bleibt eine Gesamtkonzentration von 20,8 % bestehen.

4.4 Aufgabe

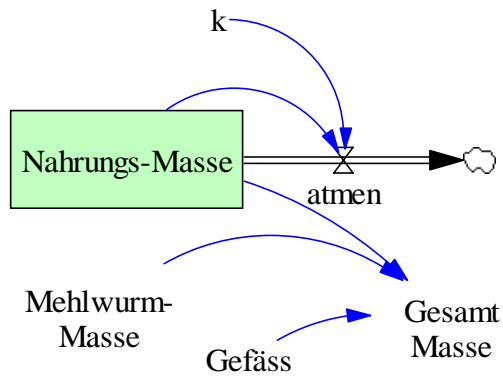
Man stelle ein Modell für diesen Versuch auf und simuliere den beobachteten Stoffwechsel der Mehlkäferlarven.

5 Simulation

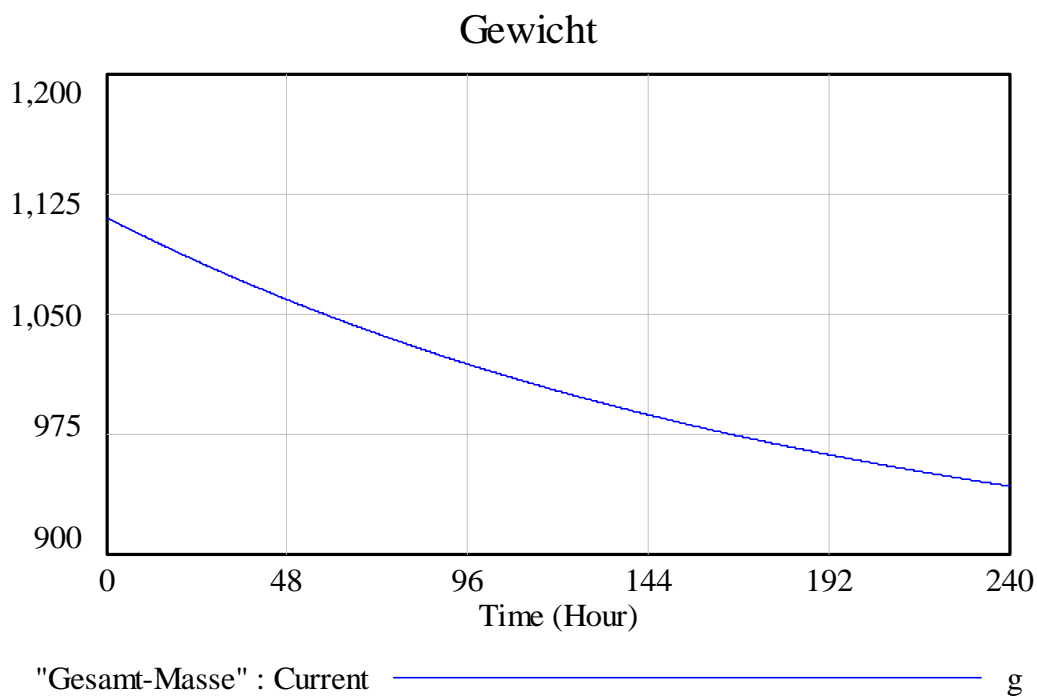
Annahmen:

- Der Nahrungs-Vorrat ist begrenzt.
- Der Stoffwechsel der Mehlkäferlarven ist umso rascher, je mehr Nahrung sie haben.

5.1 Simulationsdiagramm



5.2 Zeitdiagramm

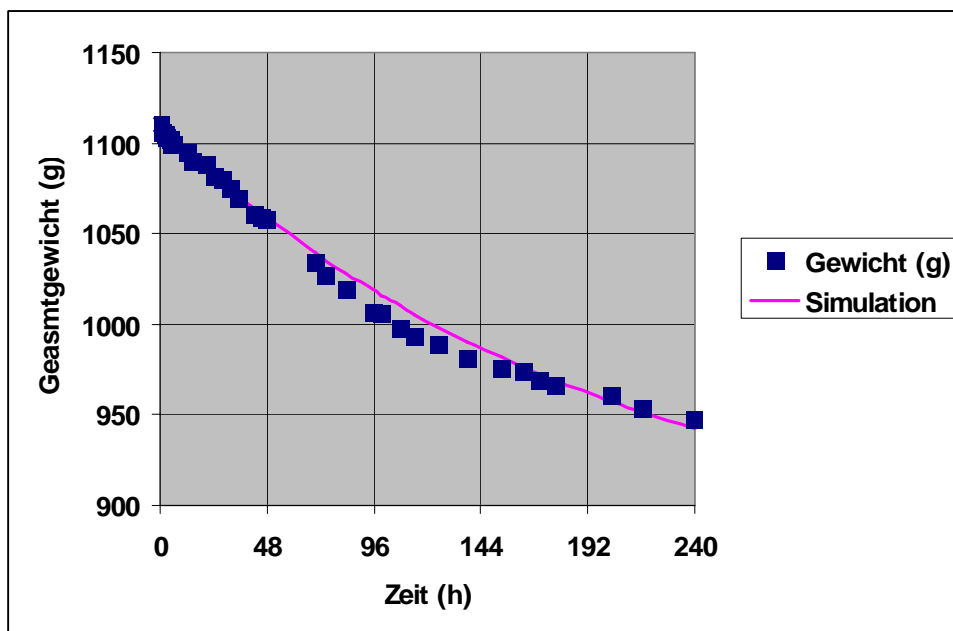


5.3 Gleichungen

- (01) $\text{atmen} = k \cdot \text{"Nahrung-Masse"}$
 Units: g/Hour
- (02) $\text{FINAL TIME} = 240$ (Masse des zugegebenen Futters)
 Units: Hour
 The final time for the simulation.
- (03) $\text{Gefäss} = 575$
 Units: g [0,?]

- (04) "Gesamt-Masse"= "Mehlwurm-Masse"+"Nahrung-Masse"+Gefäss
Units: g [0,?]
- (05) INITIAL TIME = 0
Units: Hour
The initial time for the simulation.
- (06) k= 0.005 (Anpassung an die Messung)
Units: 1/Hour [0,?]
- (07) "Mehlwurm-Masse"= 295
Units: g [0,?]
- (08) "Nahrung-Masse"= INTEG (-atmen, 240)
Units: g [0,?]
- (09) SAVEPER = TIME STEP
Units: Hour [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (10) TIME STEP = 0.25
Units: Hour [0,?]
The time step for the simulation.

5.4 Vergleich der Messung mit der Simulation



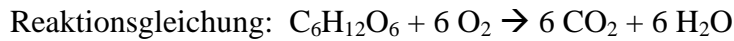
5.5 Interpretation

- Der Gewichtsverlauf lässt sich sehr gut mit einer Exponentialfunktion darstellen. Das heisst, der Stoffwechsel ist ungefähr proportional dem Nahrungsangebot – je weniger Nahrung, desto langsamer der Stoffwechsel.
- Die Summe aller Stoffwechselreaktionen verhält sich vorhersagbar.
- Die Halbwertszeit des Futterumsatzes ist bei diesem Experiment abgeschätzt ca. 139 Stunden ($HWZ = \ln(2)/0.005$) oder 5.8 Tage.
- Da die Temperatur nicht immer konstant war, zeigten sich auch Schwankungen bei der Stoffwechselgeschwindigkeit.

6 Arbeitsblatt Stoffwechsel bei Mehlwürmern

Wir wissen von der Biologie, dass Pflanzen mit Hilfe von Wasser, Kohlendioxid und Sonnenlicht Traubenzucker und Sauerstoff herstellen. Dieser Prozess heisst Photosynthese.

Bei Tieren läuft der umgekehrte Prozess und das kann man mit einem Experiment nachweisen. Das Gegenteil der Photosynthese heisst Atmung. Nährstoffe werden bei der Atmung wieder in Kohlendioxid und Wasser abgebaut bei gleichzeitigem Verbrauch von Sauerstoff.



6.1 Experiment

Material: 100 Gramm Mehlkäferlarven (Mehlwürmer), 60 g Apfel, 40 g trockenes Brot, Schale, etwas Hobelspäne, Waage.

Vorgehen: Wir geben auf den Boden der Schale die Hobelspäne, leeren die Mehlwürmer darauf und geben Apfelscheiben und trockene Brotstückchen nach oben aufgeführten Mengen dazu (Mengen wiegen und exakt protokollieren).

Jeden Tag wägen wir das Ganze um die gleiche Zeit und kontrollieren auch die Temperatur. Ins erste Feld tragen wir das Gewicht ins zweite Feld die Temperatur ein.

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag

8. Tag	9. Tag	10. Tag	11. Tag	12. Tag	13. Tag	14. Tag

Man trage Ergebnisse in die folgende Grafik ein. Was kann man ablesen?

