

# Ethanolbildung in Bananen

Peter Bützer

## Inhalt

1	Einführung.....	1
2	Modell .....	2
2.1	Annahmen: .....	2
2.2	Simulation(Typ 1) .....	2
2.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	3
2.4	Vergleich der Simulation mit Messungen' .....	4
2.5	Weshalb das logistische Wachstum als Basis? .....	4
2.6	Interpretation .....	4

## 1 Einführung

Viele natürliche Lebensmittel enthalten durch Ethanolentstehung während der Reifung oder Zubereitung gewisse Mengen an Ethanol. Die mit Lebensmitteln wie Brot, Bananen oder Traubensaft aufgenommene Ethanolmenge ist so niedrig, dass sie sowohl für Kinder als auch für Erwachsene absolut ungefährlich ist.

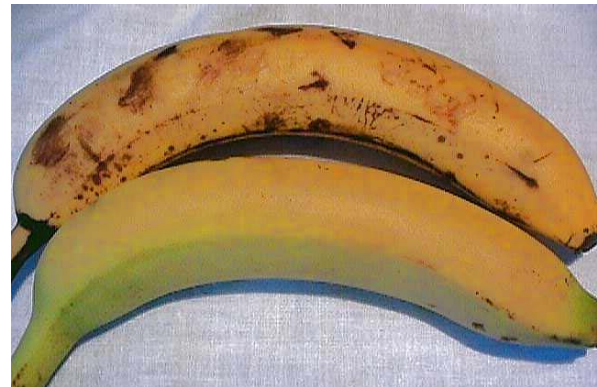


Abbildung 1: Bei der Reifung bilden Bananen Ethanol (Alkohol)

Ethanol entsteht einmal durch die alkoholische Gärung. Diese findet bereits im frischen Obst oder nach Abfüllung durch Einwirkung von Hefen auf den Fruchtzucker statt. Entsprechend finden sich im Obst, zum Beispiel bei vollreifen Bananen, 6 Gramm Ethanol pro kg, oder in Fruchtsäften und anderen Obstprodukten Ethanol. Natürliche Obstsäfte enthalten bis zu 3 Gramm Ethanol pro Liter, Traubensaft sogar bis zu 10 Gramm Ethanol pro Liter.

Auch bei der Brotherstellung kann Ethanol entstehen. Zum Beispiel bei der Teiglockerung durch Hefen. Normales Mischbrot enthält zwischen zwei bis vier Gramm Ethanol pro kg.

Es entstehen auch gewisse Mengen an Ethanol bei der Milchsäuregärung. Deshalb enthalten auch Sauerteigbrot, Sauerkraut oder Kefir Ethanol.

Lagerzeit (Tage)	Ethanolgehalt (g/100g) Messungen
0	0.015
1	0.03
2	0.07
3	0.08
4	0.1
5	
6	
7	0.27
8	0.35
9	0.5
10	0.6
11	
12	
13	0.9
14	0.9

## 2 Modell

### 2.1 Annahmen:

1. Die Geschwindigkeit der Ethanolbildung in Bananen ist gemessen worden. Somit kann die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante praktisch ermittelt werden – in unserem Fall:  $k_{\text{eth}} = 0.39$ .
2. Die Geschwindigkeit der Ethanolbildung ist bei der enzymatischen Reaktion proportional der Konzentration (hier Menge pro Banane) der Einfachzucker.
3. Die Kapazität, wie viel Ethanol gebildet werden kann, ist durch die Menge an Zucker begrenzt (vereinfachte Annahme: Einfachzucker). Dies ist ein freier Parameter. Damit kann ermittelt werden, wie gross die maximale Ethanolmenge in einer Banane zu erwarten ist.
4. Die Reifung bewirkt eine Bildung von Einfachzucker, der vergoren werden kann. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Reifung der Ethanolbildung proportional ist.
5. Die Simulation hat das logistische Wachstum als Grundlage.

Wichtig:

Eine Simulation soll nur möglichst wenig freie oder zu bestimmende Parameter enthalten, damit sie einen hohen Erkenntniswert erreicht.

### 2.2 Simulation<sup>1</sup>(Typ 1)<sup>2</sup>

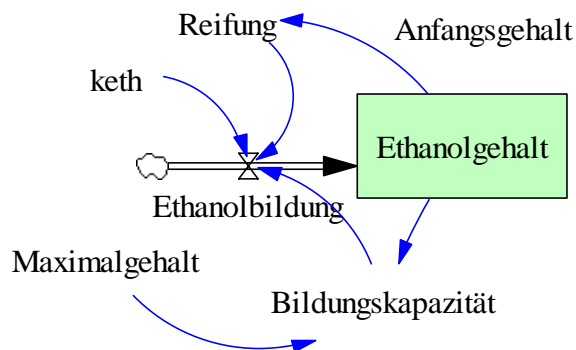
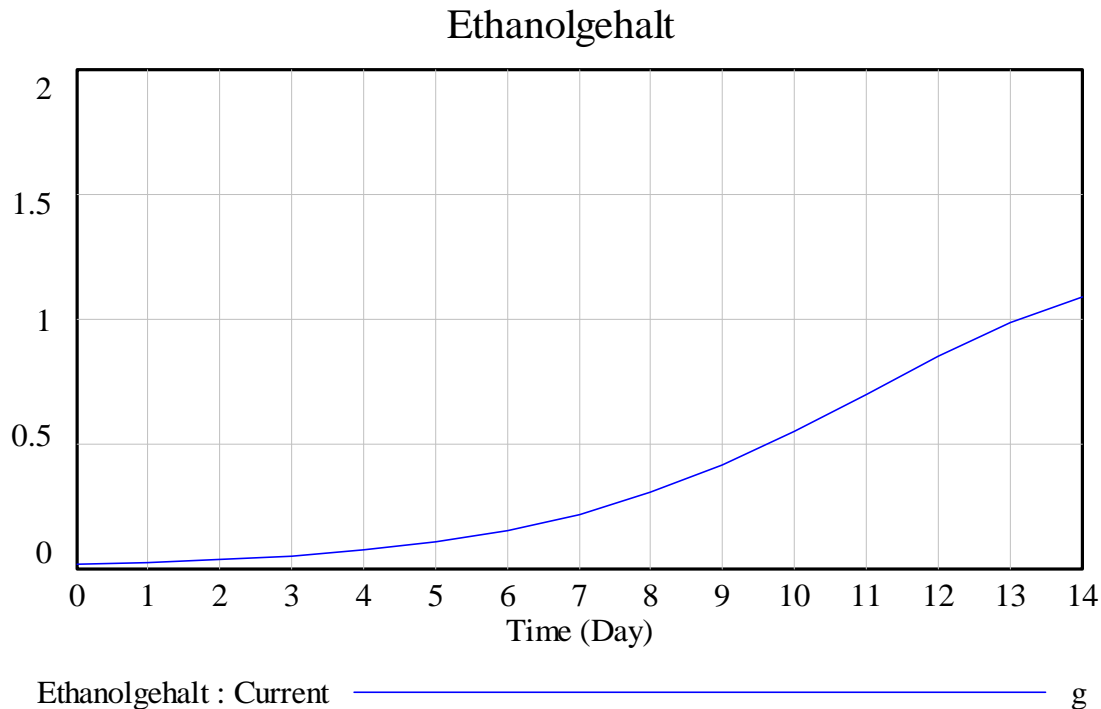


Abbildung 2: Simulationsdiagramm der Ethanolbildung

<sup>1</sup> Simulations-Software: Vensim® PLE, Ventana Systems, Inc., <http://www.vensim.com/>

<sup>2</sup> Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 37ff



**Abbildung 3: Zeitdiagramm der Ethanolbildung**

### 2.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Anfangsgehalt= 0.015  
Units: g [0.01,0.3]  
Dieser Gehalt wird experimentell bestimmt
- (02) Bildungskapazität= Maximalgehalt-Ethanolgehalt  
Units: g [0,?]  
Das ist ein Mass z.B. für den noch verfügbaren Zucker
- (03) Ethanolbildung=  $k_{eth} * Reifung * Bildungskapazität$   
Units: g/Day [0,?]  
Reaktionsgeschwindigkeit der Ethanolbildung
- (04) Ethanolgehalt= INTEG (Ethanolbildung, Anfangsgehalt)  
Units: g [0,?]  
Aktueller Ethanolgehalt der ganzen Banane
- (05) FINAL TIME = 14  
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (06) INITIAL TIME = 0  
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (07)  $k_{eth}$ = 0.39 (freier Parameter)  
Units: 1/Day/g [0,0.5]  
Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante der Ethanolbildung - die ist selbstverständlich temperaturabhängig!
- (08) Maximalgehalt= 1.25 (freier Parameter, bester Wert für die Anpassung)  
Units: g [0,2]  
Der Maximalgehalt wird durch die maximal verfügbare Zuckermenge gegeben

- (09) Reifung= Ethanolgehalt  
Units: g [0,?]  
Die Reifung wird dem aktuellen Ethanolgehalt proportional gesetzt
- (10) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (11) TIME STEP = 1  
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.

## 2.4 Vergleich der Simulation mit Messungen<sup>3,4</sup>

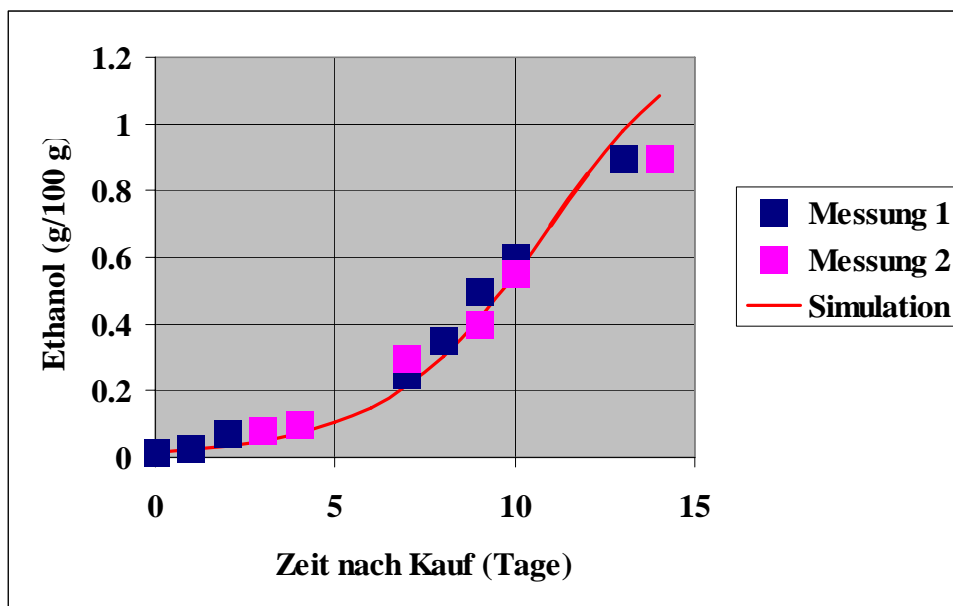


Abbildung 4: Vergleich der gemessenen Ethanolgehalte mit der Simulation

## 2.5 Weshalb das logistische Wachstum als Basis?

Die Reifung ermöglicht die Ethanolbildung, das ist der „Antrieb“. Es steht nur eine begrenzte Menge Zucker zur Verfügung. Somit ist zu erwarten, dass ein Maximalgehalt an Ethanol, der aus diesem Zucker gebildet wird, in diesen Zellen gebildet und damit gemittelt über die ganze Frucht begrenzend sein wird.

## 2.6 Interpretation

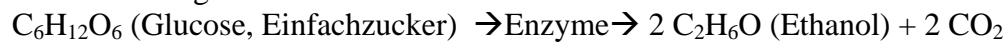
Weil viele natürliche Nahrungsmittel wenig Ethanol enthalten, hat sich auch der Stoffwechsel des Menschen dieser Situation angepasst. Bei den mikrobiellen Verdauungsprozessen im Darm entsteht Ethanol in kleinsten Mengen. Deshalb hat die Leber die Fähigkeit mit dem Enzym Alkoholdehydrogenase in begrenztem Masse Alkohol abzubauen – Blutalkoholgehalt

<sup>3</sup> Keul J., Gesundheitliche Auswirkungen des Alkoholgehalts in Lebensmitteln unter besonderer Berücksichtigung von Kindern, <http://www.ukl.uni-freiburg.de/med/med8/de/alkohol.htm>, 30.12.2002

<sup>4</sup> Mitteilung, Lebensmittel Hygiene, Nr. 90, 1999, S.429

weniger als 0.02% - und dem Körper die gewonnene Energie zur Verfügung zu stellen. In der Leber hat es deshalb nur kleine Mengen des Enzyms Alkoholdehydrogenase.

Ethanolbildung:



Die Mengen an Ethanol, die normalerweise mit der üblichen Nahrung aufgenommen werden sind sehr klein. Mit dieser Simulation kann die obere Grenze des Ethanolgehalts einer Banane grob abgeschätzt werden ca. 1.25 g/100 g.

Der Anteil der Schale am essbaren Teil ist ca. 1/3. Somit kann nach unserer Abschätzung eine reife Banane ca. 8 Gramm Ethanol enthalten, was recht gut mit den allgemeinen Angaben der Einleitung übereinstimmt, weil das Verdunsten nicht berücksichtigt wurde.