

# Untersuchung zur katalytischen Beschleunigung bei der Ethanolbildung in natürlichen Fruchtsäften

Präsentation der Bachelorarbeit von Katrin Fahrenkrug unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. Manfred Sietz

Es wurde untersucht, wie sich die Verwendung eines Nanogold-Kieselgel-Katalysators kinetisch auf den Verlauf einer enzymatischen Gärreaktion auswirkt. Diese Untersuchungen basieren auf bisherigen Untersuchungen, in denen jeweils der Beginn der Gärung und nicht deren kinetischer Verlauf betrachtet wurde [1]. Bei einer enzymatischen Gärung, wird aus Glucose, unter Verwendung von Adenosindiphosphat Ethanol, Kohlenstoffdioxid und das energiereichere Adenosintriphosphat gebildet (Formel 1) [2]. Als Versuchsmedium wurde als Fruchtsaft Apfelsaft gewählt. Bei den Untersuchungen wurde insbesondere auf die Fortsetzung der Reaktion nach Bildung der ersten Gasblase geachtet, da die Frage, ob es sich hierbei um ein einmaliges Ereignis handelt, aufgekommen ist. Um den kinetischen Verlauf zu untersuchen, wurden Versuche mit drei Messreihen durchgeführt. Diese werden im Folgenden als Messreihen „Hefe“, „Hefe und Katalysator“ und „Katalysator“ bezeichnet. Die einzelnen Versuche decken unterschiedliche Versuchszeiträume ab und werden durch nachfolgende Reaktionsgleichung zusammengefasst:

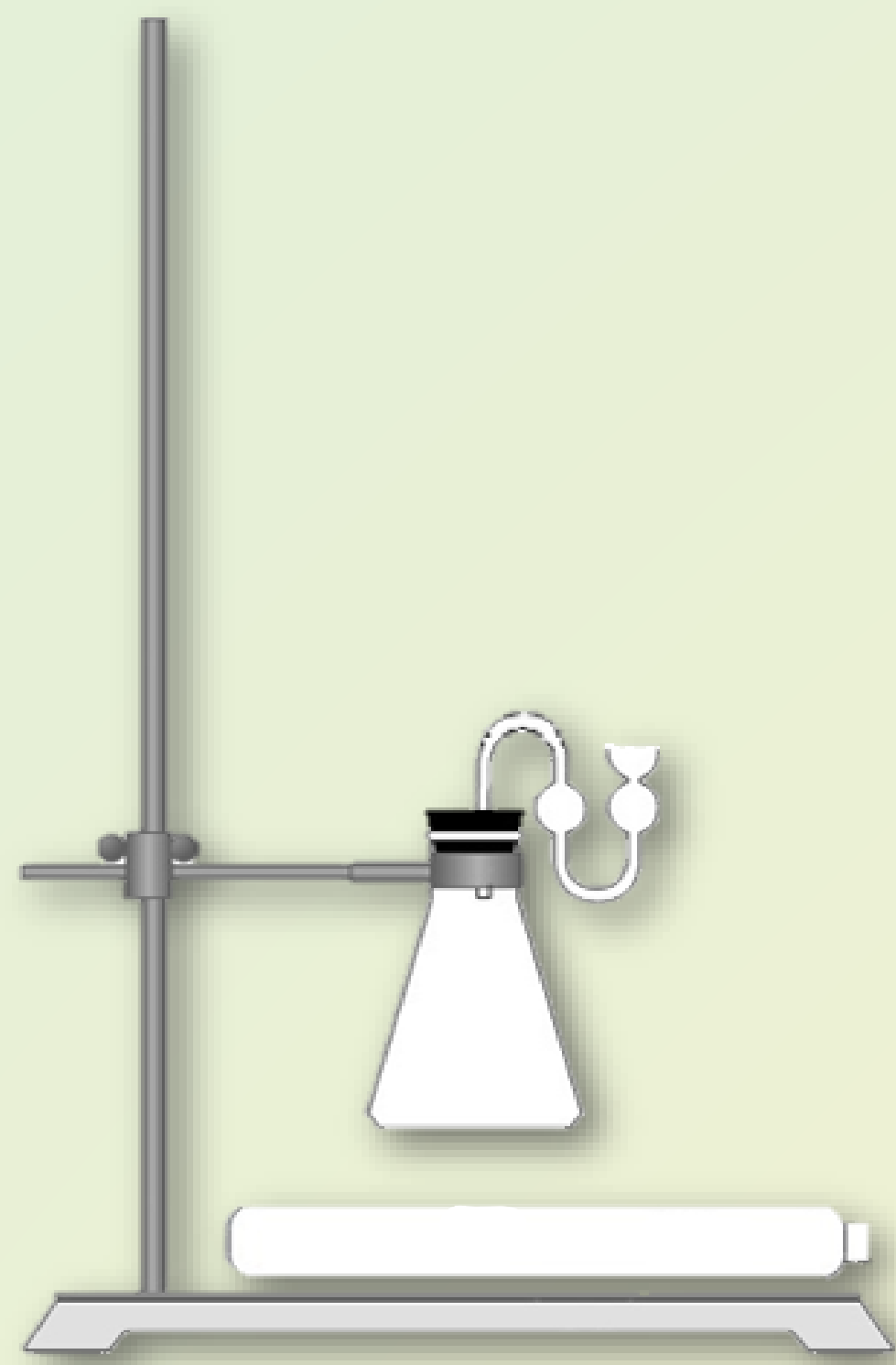


Abb. 1 – Aufbau des Gärversuchs und des Ethanoldauerversuchs

## Methoden

Für die Überprüfung der These, dass die erste Gasblase der Gärreaktion kein einmaliges Ereignis ist, wurde die Reaktion über die Bildung der ersten Gasblase hinaus kinetisch überwacht. Hierbei wurde der Durchtrittszeitpunkt der jeweils ersten zehn Gasblasen einer Reaktion bestimmt. Eine schematische Darstellung des hierzu verwendeten Aufbaus befindet sich in Abbildung 1. Es wurden mit einem identischen Versuchsaufbau dreitägige Versuche durchgeführt, bei denen nach 24 h, 48 h und 72 h Proben des flüssigen Rückstandes im Erlenmeyerkolben entnommen und anschließend der Ethanolgehalt mittels Gaschromatographie (GC) bestimmt wurden. Um eine Veränderung der Ergebnisse durch Nachgären zu verhindern, wurden die Proben zentrifugiert und bis zur Untersuchung eingefroren.

Zur Identifizierung des entstandenen Gases wurde dieses in einem weiteren, stickstoffgefluteten, Aufbau in einer Küvette gefangen und anschließend mittels Infrarot-Spektroskopie (IR-Spektroskopie) identifiziert. Diese Apparatur ist in Abbildung 2 dargestellt.

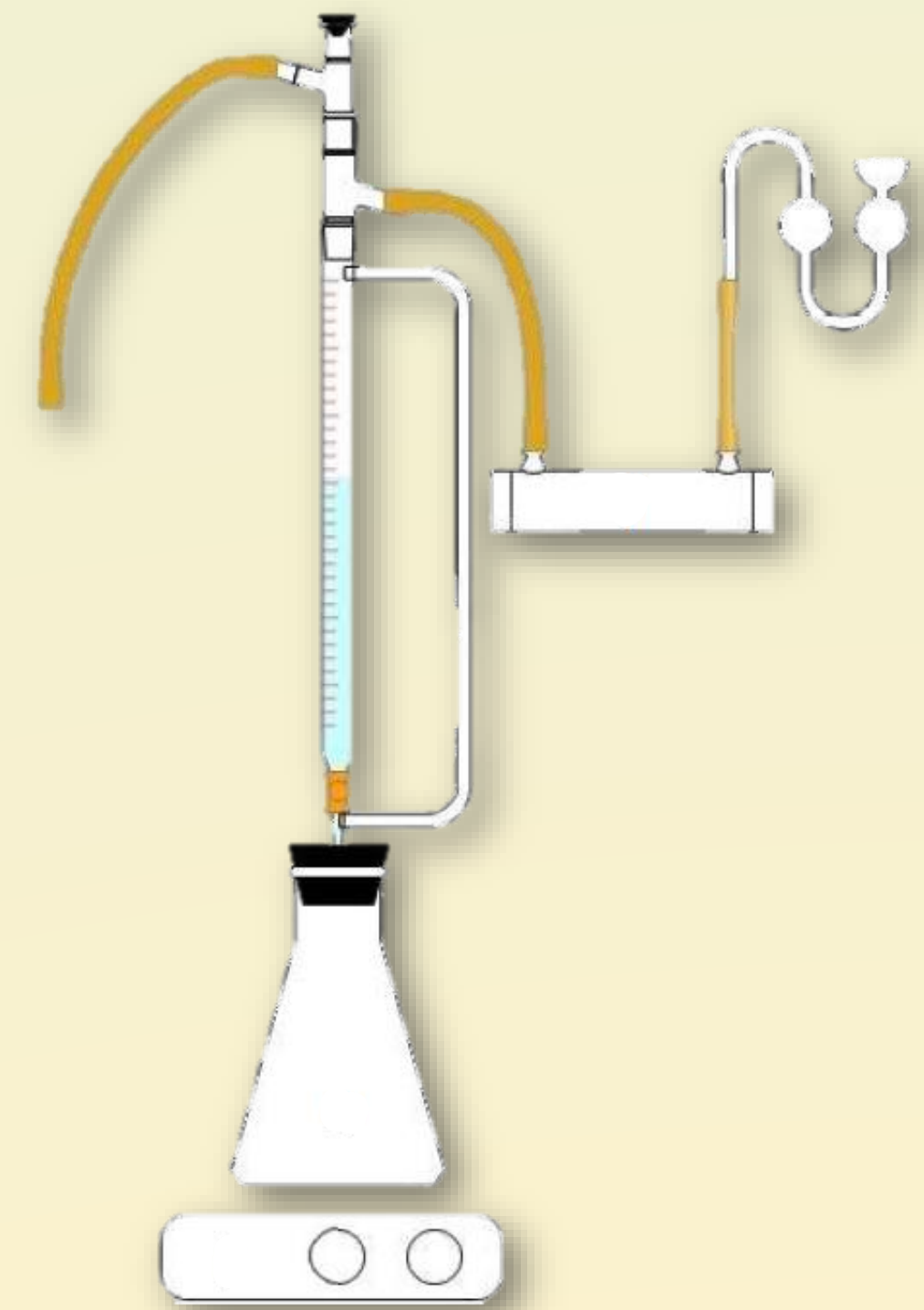


Abb. 2 – Aufbau für die IR-Untersuchung

## Ergebnisse und Auswertung

Durch die Untersuchung der Kinetik der Gasblasenbildung ist in Abbildung 3 erkennbar, dass die Messreihe mit Hefe und Katalysator mit durchschnittlich vier Minuten die geringste Dauer für den Durchgang einer Gasblase benötigt hat. Der Zusatz von Hefe, ohne Katalysator, zum Apfelsaft hat zu einem ähnlichen Verlauf der Gärreaktion während der Anfangsphase der Reaktion geführt, war jedoch 50 % langsamer.

Der Zusatz des Katalysators, ohne Hefe, hat zu einem beobachtbaren Einsetzen einer Gärung des Apfelsaftes geführt, jedoch war eine Verlangsamung des Reaktionsverlaufes zu beobachten. Die durchschnittliche Dauer einer Gasblasenbildung über die ersten zehn Stück beträgt zehn Minuten. Die Signifikanz des Einflusses vom Katalysator auf die Reaktion wurde über eine Analyse der Varianzen (Anova) belegt.

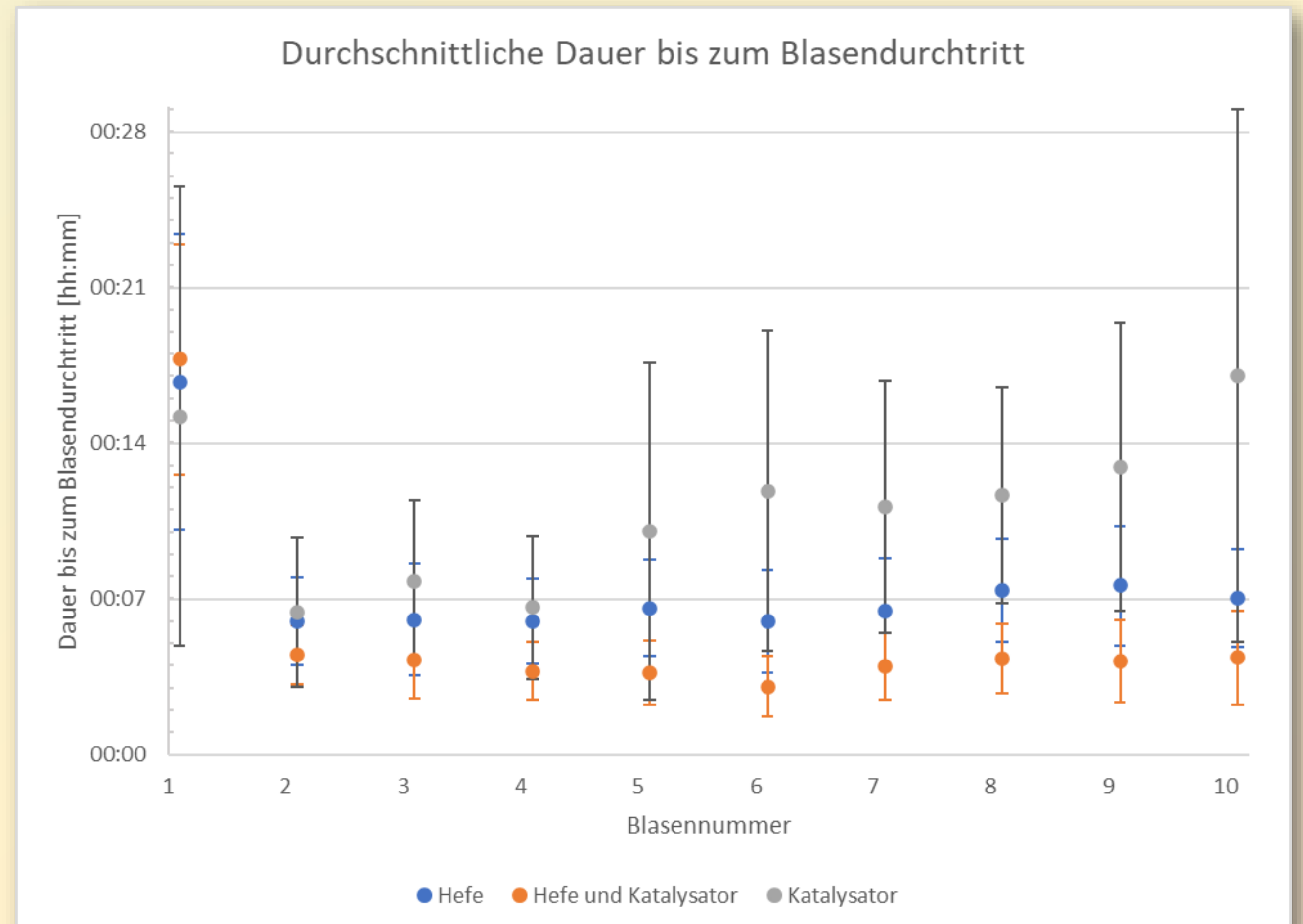


Abb. 3 – Durchschnittliche Dauer bis zum Blasendurchtritt

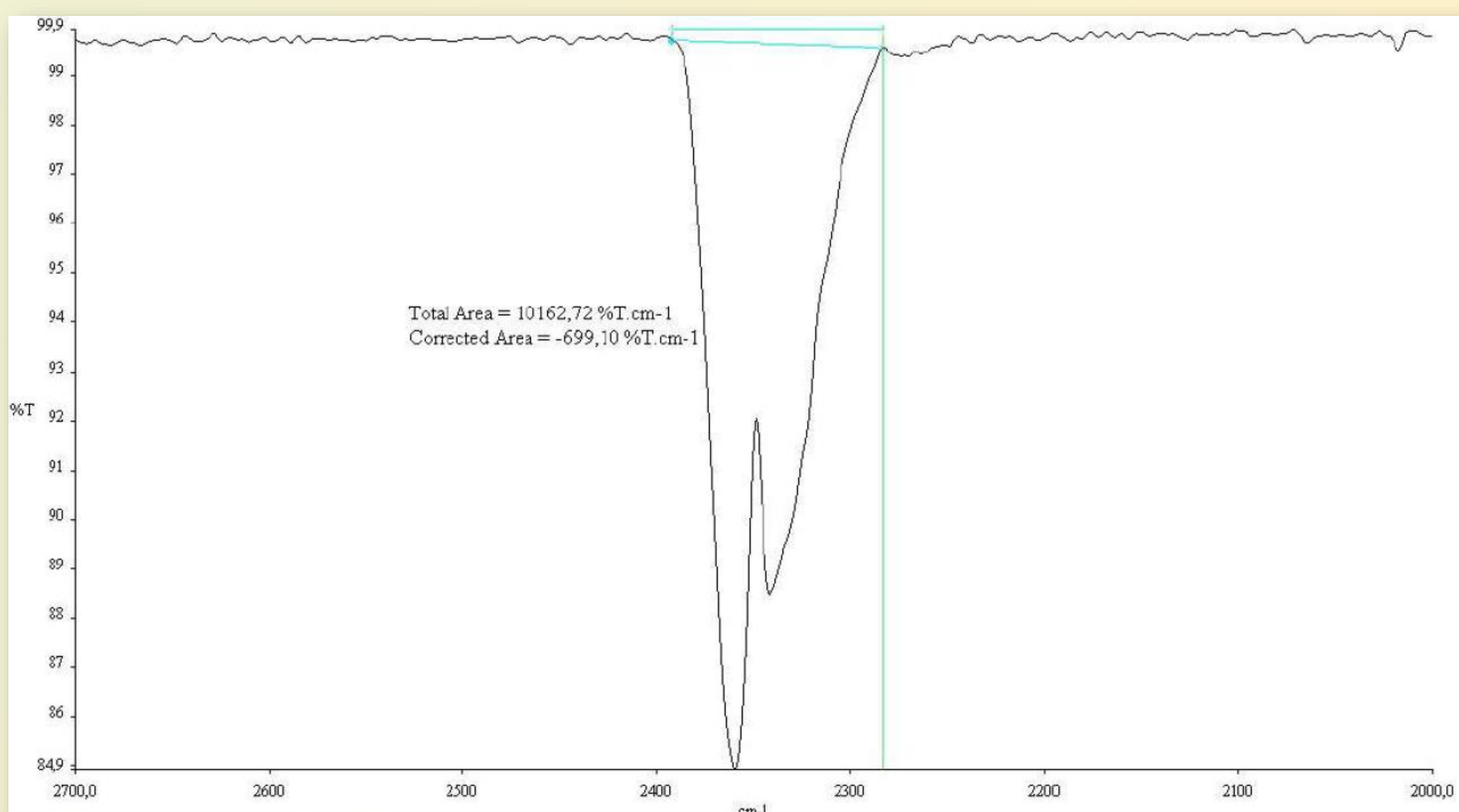


Abb. 4 – Beispiel eines IR-Peaks von CO<sub>2</sub>. Gemessen nach 30 min Reaktionsdauer.

## Ergebnisse und Auswertung

Aufgrund der Versuchsergebnisse des Gärversuchs wurde der Ethanolgehalt im Reaktionsrückstand der Messreihen mit Hefe und Hefe mit Katalysator untersucht. Für die Untersuchungen wurden nach 24 h, 48 h und 72 h Proben genommen und anschließend der Anteil des Ethanols mittels GC extern bestimmt. Für die Detektion wurde ein Flammenionisationsdetektor (FID) verwendet. Bei allen Untersuchungen ließ sich zum jeweils nächsten Zeitpunkt der Probennahme ein erhöhter Ethanolgehalt feststellen.

Mit Hilfe des in Abbildung 2 dargestellten Aufbaus wurde das Gas, das während der Gärung entsteht, aufgefangen und mittels IR-Spektroskopie untersucht. Zur Sicherstellung, dass kein Umgebungsgas untersucht wurde, war die gesamte Apparatur mit IR-inaktivem Stickstoff gespült. Mit Hilfe dieser Methode ließ sich die Bildung von Kohlendioxid nachweisen, das ein Nebenprodukt der Gärreaktion darstellt. Die Bildung dieses Gases wurde über einen Zeitraum von fünf Stunden nachgewiesen. Das CO<sub>2</sub>-Messsignal ist in Abbildung 4 abgebildet.

## Fazit

In dieser Arbeit ließ sich nachweisen, dass der Nanogold-Kieselgel-Katalysator einen signifikant positiven Einfluss auf die Gärreaktion von Apfelsaft mit Hefe hat. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Messreihe mit Zugabe von Hefe und Katalysator die schnellste Gärreaktion aufweist. Es kann die Aussage getroffen werden, dass die Reaktion und die zugehörige Gasblasenbildung in den ersten 48 h nicht zum Erliegen kommt. Der Nachweis wurde durch spektroskopische und gaschromatographische Untersuchungen abgesichert.

## Quellen:

- [1] Sietz, M. & Siemens, Y. (2022) „Bioethanol: Zügig gegärt“, Nachrichten aus der Chemie, Vol. 70, No. 10, S. 44–46.  
[2] Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J. & Stryer, L. (2018) Stryer Biochemie, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.  
Katrin Fahrenkrug, Prof. Dr. Manfred Sietz (2023) Untersuchung zur katalytischen Beschleunigung bei der Ethanolbildung in natürlichen Fruchtsäften, CC-BY-4.0