

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit wurde erreicht. Innerhalb des Mikro-Inkubators können Zellen über einen Zeitraum von 48 Stunden optimal gelagert und untersucht werden. Die Temperatur wird dabei in einem Bereich von 37 °C gehalten und die CO₂-Konzentration wird stabil innerhalb des akzeptierten Bereiches um den Sollwert geregelt.

Zur Regelung der Konzentration wurde ein Regler realisiert, der eine Mischform aus P-Regler und Zweipunktregler darstellt. Der P-Anteil kann große Abweichungen zum Sollwert schnell ausgleichen und der Zweipunktanteil gleicht geringe Änderungen aus. Dazu wurde zusätzlich zu der ermittelten Reglerverstärkung ein Offset von 10 ml/min hinzugerechnet.

$$\text{Versorgungsflow} \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right] = 44,8 \left[\frac{\text{ml}}{\% * \text{min}} \right] * \text{CO}_2[\%] + 10 \left[\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

Ein Vergleich der verschiedenen Volumina zeigt, dass sich das relativ große Volumen der Schläuche und der Kammer mit den im Vergleich dazu kleinen Versorgungsimpulsen akzeptabel regeln lässt.

Volumen Inkubator	300 ml
Volumen Schlauchsystem (bei einer Länge von etwa 1,5 m; Durchmesser von 4 mm)	etwa 12 ml
Max. Gasvolumen pro Impuls (200 ml/min)	etwa 14 ml

Tabelle 1 - Vergleich der Volumina

Durch diesen Vergleich lässt sich auch das träge Verhalten der Regelung erklären. Die Versorgungsimpulse müssen zunächst durch das Schlauchsystem und den Inkubator, bevor sie zu dem Sensor gelangen. Es wurde gezeigt, dass der Regler die Konzentration auch über einen langen Zeitraum im Sollwertbereich halten kann und auch simulierte Störungen nachregeln kann.

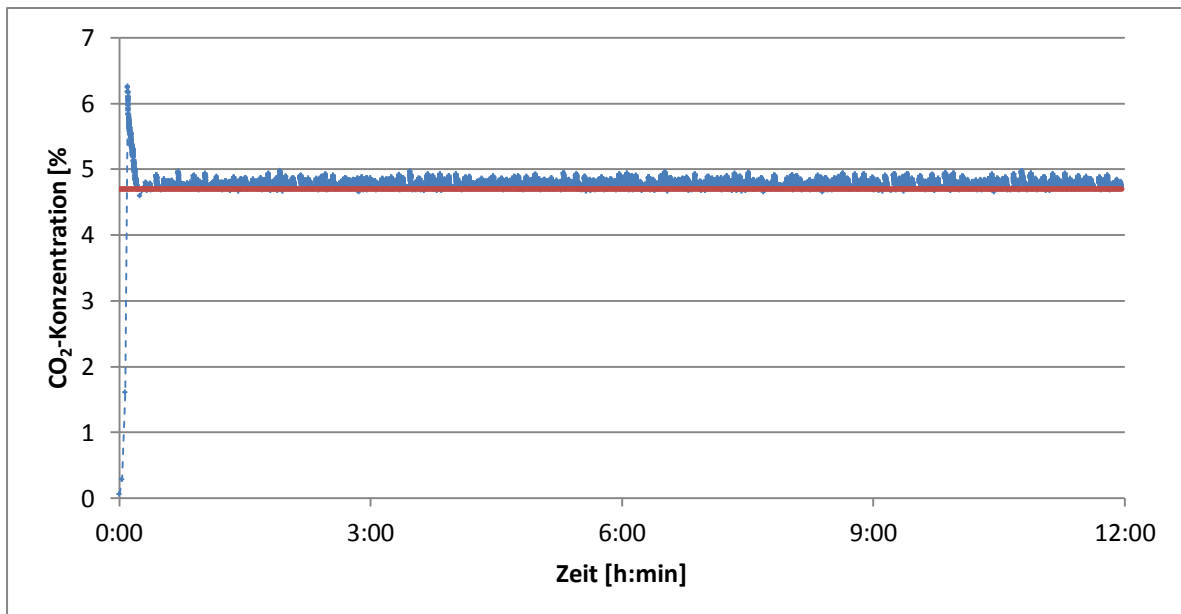


Abbildung 1 - Regelung über einen Zeitraum von 12 Stunden

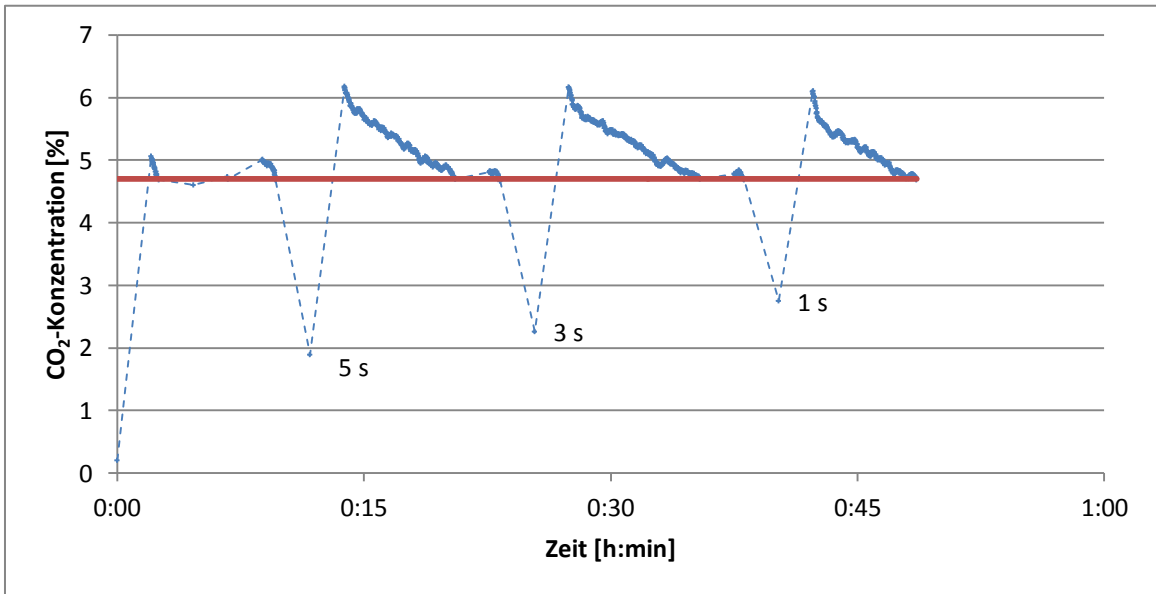


Abbildung 2 - Regelung bei simulierten Störungen; Deckel des Inkubators wurde für einige Sekunden geöffnet

Sobald die Konzentration unter Sollwertniveau sinkt, versucht der Regler die CO₂-Konzentration nach zu regeln. Der Regler ist so konzipiert, dass solche großen Änderungen sehr schnell geregelt werden können, dafür aber ein Überschwingen stattfindet. Die in dem Inkubator untersuchten Zellen lagern aber in einer Puffersubstanz, weshalb solche raschen Änderungen keinen direkten Einfluss auf den pH-Wert der Zellen haben.

Die in dem Inkubator untersuchten Zellen wurden über einen Zeitraum von 48 Stunden gelagert und nach Ablauf dieser Zeit untersucht. Dabei wurden sie mit einer identischen Zellkultur verglichen, welche in einem handelsüblichen Inkubator zeitgleich gelagert wurde. Der Vergleich der beiden Zellkulturen hat gezeigt, dass die Wachstumsraten im Mikro-Inkubator vergleichbar sind zu den Zellen im handelsüblichen Inkubator.

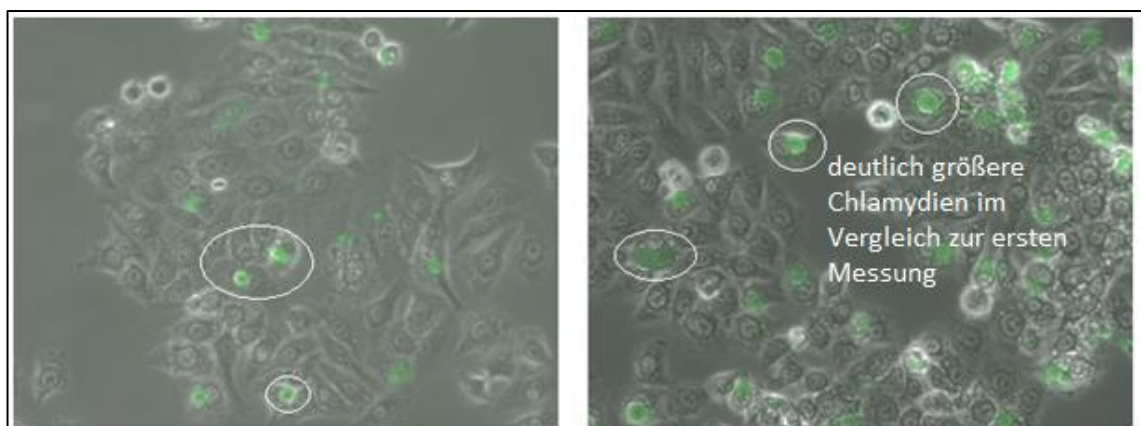


Abbildung 3 - Vergleich control (links) im handelsüblichen Inkubator und im Mikro-Inkubator (rechts) bei einer Vergrößerung von 40x mit optimierter Temperaturregelung (Quelle: Nadja Käding, M. Sc.; Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene)