

# Identifikation und Optimalsteuerung zum transversalen Teilen von ultra-kalten Bose Gasen

N. Würkner †, A. Deutschmann-Olek †, A. Kugi †

†Automation and Control Institute, TU Wien, Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien, Österreich,  
E-Mail: wuerkner@acin.tuwien.ac.at

Ultra-kalte Atome sind eine etablierte experimentelle Systemklasse der quantenphysikalischen Forschung. Eine zentrale Rolle spielen dabei Bose-Einstein Kondensate (engl. *Bose-Einstein Condensates*, BECs), in denen eine Wolke von Atomen sich kollektiv wie ein einzelnes, makroskopisches Quantenobjekt verhält. Abseits der Grundlagenforschung sind diese Systeme beispielsweise für Präzisionsmessungen als Quantensensoren, z.B. als Materiewellen-Interferometer [3], von großem Interesse.

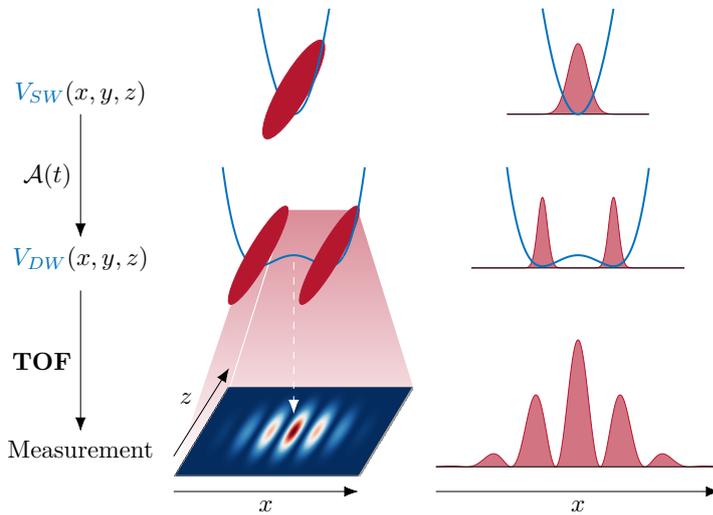


Abbildung 1: Schematische Darstellung des experimentellen Ablaufs. Das Kondensat wird in einem quadratischen Potential vorbereitet. Durch Veränderung des Eingangs  $\mathcal{A}(t)$  geht das Potential dynamisch zu einem Doppelpotenzial über. Nach Deaktivierung des Potentials interagieren die Atome im freien Fall und das resultierende Interferenzmuster kann gemessen werden. In der linken Spalte dargestellt als dreidimensionale Schematik und in der rechten als reduzierte, quasi-eindimensionale Dichteverteilung.

*baticity* [4]. Um dies zu ermöglichen muss typischerweise ein Optimalsteuerungsproblem gelöst werden [5, 6].

Die Manipulation dieser Kondensate stellt eine interessante Herausforderung in der Regelungstechnik dar. Eine typische Plattform zur Manipulation von BECs sind *Atom Chips*, welche ein magnetisches Potential erzeugt, das präzise geformt und gesteuert werden kann. Ein grundlegender Prozess in vielen BEC-Experimenten ist das transversale Teilen einer länglichen Atomwolke, welches durch zeitlich veränderliche Potentialkonfigurationen erreicht werden kann [2]. Derartige Teilen regt typischerweise unerwünschte Dynamiken des Kondensats an. Um diese Anregungen zu unterdrücken kann entweder das Potential sehr langsam (adiabatisch) verändert werden oder der gewünschte Zustand durch Nutzung der inhärenten nichtlinearen Dynamik des Systems mittels gezielter Steuerung erzeugt werden, ein sogenannter *shortcut to adiabaticity*.

In diesem Vortrag stellen wir einen strukturierten, modellbasierten Ansatz vor um ein BEC mit minimaler Anregung im Experiment transversal zu teilen [7]. Wir entwickeln ein reduziertes Modell des magnetischen Potentials und der kollektiven Dynamik des Kondensates, welches mit Hilfe von optimal gewählten Messungsszenarien zuverlässig kalibriert werden kann. Basierend auf diesem kalibrierten Modell leiten wir optimale Eingangstra-

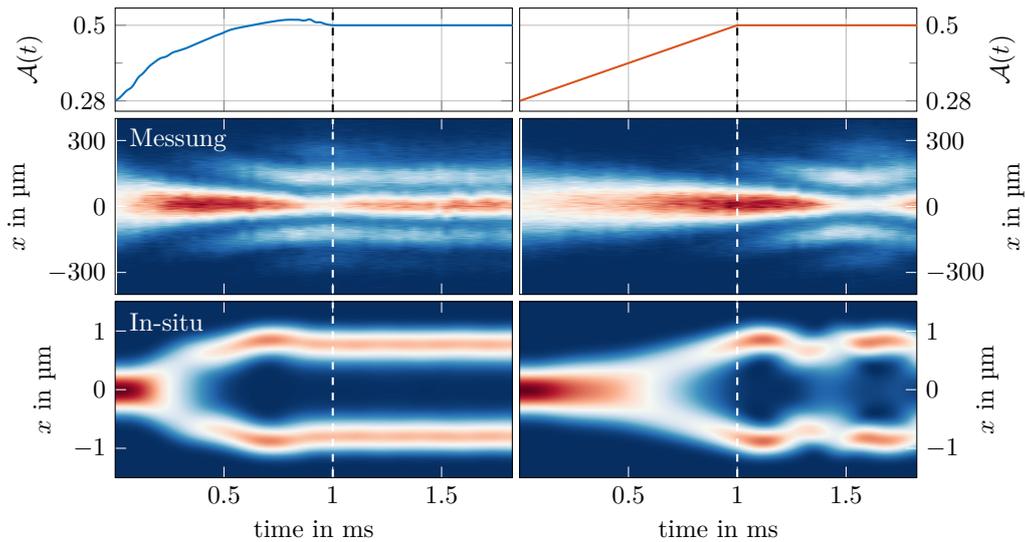


Abbildung 2: Optimale (links) und naive (rechts) Transition mit Eingangstrajektorie (oben), gemessenes Interferenzmuster (mitte), simulierte in-situ Dichte (unten).

jektoren her, welche Anregungen minimieren, siehe Abbildung 2, und bis ans Geschwindigkeitslimit der verfügbaren Aktuierung zuverlässig funktionieren. Abschließend präsentieren wir experimentelle Ergebnisse zum transversalen Teil als auch zur Eliminierung von bekannten Anregungen. Hierbei betrachten wir sowohl den Einfluss auf die klassische kollektive Dynamik des Kondensates als auch dessen Quantenfluktuationen.

## Literatur

- [1] J. Reichel and V. Vuletic, Atom Chips, Wiley, 2011.
- [2] S. Hofferberth, I. Lesanovsky, B. Fischer, J. Verdu, and J. Schmiedmayer, Radiofrequency-dressed-state potentials for neutral atoms, Nature Phys 2, 710, 2006
- [3] T. Berrada, S. van Frank, R. Bücker, T. Schumm, J.-F. Schaff, and J. Schmiedmayer, Integrated Mach–Zehnder interferometer for Bose–Einstein condensates, Nat Commun 4, 2077, 2013
- [4] A. del Campo and M. G. Boshier, Shortcuts to adiabaticity in a time-dependent box, Sci Rep 2, 1, 2012
- [5] S. Van Frank, M. Bonneau, J. Schmiedmayer, S. Hild, C. Gross, M. Cheneau, I. Bloch, T. Pichler, A. Negretti, T. Calarco, S. Montangero, Optimal control of complex atomic quantum systems, Sci Rep 6, 34187, 2016
- [6] J.-F. Mennemann, D. Matthes, R.-M. Weishäupl, and T. Langen, Optimal control of Bose–Einstein condensates in three dimensions, New Journal of Physics 17, 113027, 2015
- [7] N. Würkner, Y. Kuriatnikov, K. G. Kumaran, M.V. Ramana, T. Zhang, J. Schmiedmayer, M. Prüfer, A. Kugi, A. Deutschmann-Olek, Optimal control and identification methods for the splitting of Bose-Einstein condensates, in preparation