

Hochauflösende Ortsabbildungen mit einem Impulsspektrometer in drei Dimensionen

Johannes von Vangerow

Im Laufe der Zeit ist unser Verständnis für chemische Reaktionen immer tiefgreifender und detaillierter geworden. Entscheidend dazu beigetragen hat die zunehmend höhere Auflösung, mit der eine Reaktion untersucht werden kann. Ein Meilenstein in der Entwicklung auf dem Gebiet der Reaktionsdynamik war die Erfindung des sogenannten "Velocity Map Imaging" (VMI). Mit dieser Technik kann der Geschwindigkeitsvektor eines elektrisch geladenen Reaktionsproduktes durch ein elektrostatisches Linsensystem mit hoher Präzision abgebildet werden. Durch Photoionisation ist dies ebenfalls für neutrale Reaktionsprodukte möglich. Modifiziert man die Potentialkonfiguration des elektrostatischen Linsensystems, so lässt sich anstatt des Geschwindigkeitsvektors auch der Ortsvektor eines geladenen Teilchens abbilden. Prinzipiell basiert dies auf der Veränderung der Brennweite des teilchenoptischen Systems. Dieser Modus wird "Spatial Map Imaging" (SMI) Modus genannt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde das in der AG Wester verwendete VMI-Spektrometer für Ortsabbildungen optimiert. Dadurch gelang es erstmals, eine dreidimensionale räumliche Ionenstruktur ortsaufgelöst mit diesem Spektrometer abzubilden. Als abzubildendes Objekt diente eine massenselektiv aufgezeichnete Ionenverteilung, die durch Photofragmentation von Toluol bei 300 K mit einem fokussierten Laserstrahl erzeugt wurde. Es resultierte eine laterale Auflösung von weniger als $4,1 \mu\text{m}$ bis maximal $2,2 \mu\text{m}$. Gemeinsam mit einer weiteren Arbeit stellt dies die bisher höchste erreichte Ortsauflösung und die genaueste Abbildung des zweidimensionalen Intensitätsprofils einer Photoionisation durch SMI dar. Erstmals wurde auch eine dreidimensionale Ortsabbildung durch SMI realisiert, deren Auflösung auf der $50 \mu\text{m}$ Skala liegt.

Um dies zu verwirklichen, wurde der Abbildungsprozess des Ionenspektrometers zunächst simuliert, wodurch es unter Verwendung von Optimierungsalgorithmen gelang, optimale Potentialkonfigurationen für die Ortsabbildung in drei Dimensionen mit dem Linsensystem des Spektrometers zu finden. Weitergehend wurde die Ortsabbildung in Form einer analytischen Gleichung zweiter Ordnung beschrieben. Die hierzu simulierten Abbildungskoeffizienten erwiesen sich als konsistent mit dem Experiment. Dadurch ist es in Zukunft möglich, den Einfluss verschiedener Parameter, wie etwa eine andere Potentialkonfiguration, auf die Abbildungseigenschaften des Spektrometers abzuschätzen. Der ortsabbildende Modus wurde in dieser Arbeit bereits erfolgreich angewandt, um die thermische Expansion einer Ionenverteilung zu messen und präzise abzubilden.

Durch die Implementierung von SMI in das Streuexperiment der AG Wester ist es in Zukunft möglich, eine genaue Überlagerung von Laser- und Teilchenstrahlen zu gewährleisten. Dies erlaubt die Weiterführung von Streuexperimenten mit Laser-ausgerichteten Molekülen bei größerem Strahlüberlapp und vereinfacht zukünftig geplante Experimente mit vibrationsangeregten Molekülen. Die Kombination von SMI mit Kreuzstrahlexperimenten stellt außerdem die Möglichkeit in Aussicht, neben differentiellen auch absolute Wirkungsquerschnitte mit dem VMI/SMI-Spektrometer messen zu können.